Nuovo Circondario Imolese

piano operativo comunale circondario imolese

BORGO TOSSIGNANO • CASALFIUMANESE • CASTEL DEL RIO • CASTEL GUELFO • CASTEL SAN PIETRO TERME • DOZZA • FONTANELICE • IMOLA • MEDICINA • MORDANO

COMUNE DI IMOLA

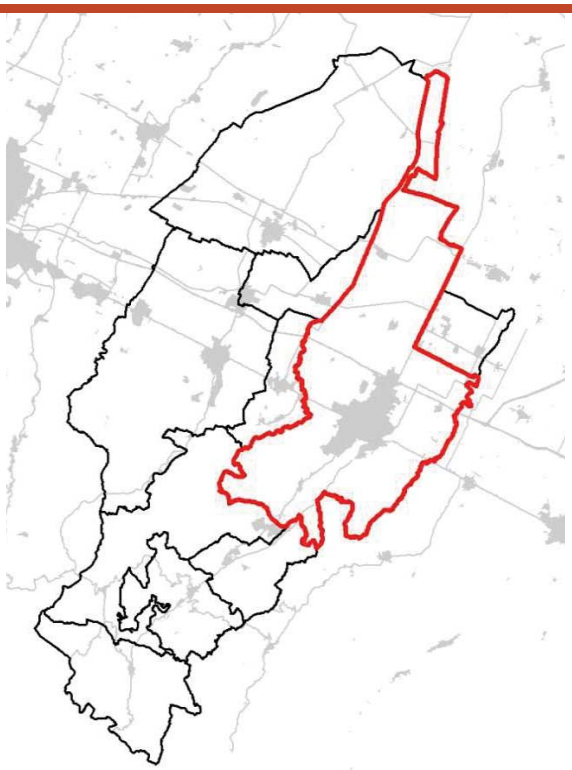
Sindaco	Manuela Sangiorgi
Assessore all'Urbanistica	Massimiliano Minorchio
Segretario Comunale	Andrea Fanti
Dirigente	Bruno Marino
Adozione	Delibera C.C. n. 184 del 21/12/2017
Approvazione	Delibera C.C.

POC 2017-2022

DOCUMENTO DI VALSAT

ALLEGATO 2 – MATRICE SUOLO

AGGIORNATO A SEGUITO DELLE CONTRODEDUZIONI



PROGETTO POC
Comune di Imola
Servizio
Pianificazione, Edilizia Privata e Ambiente

ELABORAZIONE CARTOGRAFICA
Ufficio di Piano Federato

INDICE

Ambito AR.5: R13B VIA CESENA – VIA SERRAGLIO	STUDIO GEONET SRL
Ambito AR.10: VIA DI VITTORIO	Dott. Massimo Borghetti
Ambito AR.11: COOP CERAMICA	PERIGEO
Ambito AR.14: SILVIO ALVISI	AIRIS
Ambito ANS_C1.1: N3B PIRANDELLO	Dott. Maurizio Castellari
Ambito ANS_C2.5: CARLINA MONTANARA	Dott. Massimo Borghetti
Ambito ASP_AN2.4_1: CORRECCHIO LASIE	Dott. Enzo Lucchi
Ambito ASP_AN2.4_2: CORRECCHIO LASIE	Dott. Davide Sasdelli
Ambito ASP_AN1.8: LUGHESE	Dott. Maurizio Castellari
Ambito ASP_AN2.7: LASIE	Dott. Righini e Dott. Berti Ceroni
Ambito ASP_AN2.9: LASIE	Dott. Maurizio Castellari
Ambito N127: CA' NOVA BELVEDERE	Dott. Maurizio Castellari

COMUNE DI IMOLA (BO)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE DI UN'AREA SOTTOPOSTA A P.O.C., SITUATA IN VIA CESENA

RELAZIONE SUI RISULTATI

(AI SENSI DELLA D.G.R. EMILIA ROMAGNA N. 2193, DEL 21/12/2015)



DATA : NOVEMBRE 2017

COMMITTENTE: SIG. BACCHILEGA RENATO

COMM. INT. 062.17

Spazio riservato per timbro
e firma degli Enti Competenti

Timbro e firma
(professionisti incaricati)

dott. geol. TIZIANO RIGHINI
(n. 1038 Ordine Geologi Emilia Romagna)

dott. geol. CARLO BERTI CERONI
(n. 1241 Ordine Geologi Emilia Romagna)

GEO-NET
GEOLOGIA & AMBIENTE - GEOTERMIA

GEO-NET S.r.l. - via Grieco, 9/B - 40026 Imola BO - Tel. 0542.628479 - Fax 0542.643370 - info@geo-net.it - www.geo-net.it - P.Iva e C.F. 02453721207

INDICE

1 Premessa 3

2 Normativa di riferimento 7

3 Considerazioni relative a quanto previsto dagli strumenti di pianificazione 8

4 Prima fase di analisi 11

(Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000) 11

4.1 Caratteri stratigrafici, litologici e morfologici 11

4.2 Idrologia e Idrogeologia 14

4.3 Caratteristiche tettonico-strutturali e sismogenetiche del territorio 19

4.4 Storia sismica del territorio 20

5 Indagini geognostiche 28

5.1 Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT) 28

5.2 Indagine geofisica HVSR con Tromografo 29

5.3 Indagini geofisiche con metodologia MASW-Re.Mi. 31

6 Caratterizzazione litostratigrafica del primo sottosuolo e parametrizzazione meccanica dei terreni 32

7 Considerazioni in merito alla valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione 35

7.1 Valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione – metodo di Robertson & Wride (1998) – Prove penetrometriche CPT 35

7.1.1 Indice del potenziale di liquefazione (Iwasaki, 1982) 38

7.1.2 Risultati delle verifiche a liquefazione da prove CPT 39

7.2 Metodo di Seed & Idriss (1982) – Prove penetrometriche SPT 40

7.2.1 Risultati delle verifiche condotte sul sito in oggetto 40

8 Seconda fase di analisi (ai sensi della D.G.R. 2193/2015) 41

8.1 Valutazione della risposta sismica locale e microzonazione sismica dell'area in oggetto 41

8.2 Considerazioni in merito alle frequenze proprie del sottosuolo 45

ELENCO ALLEGATI:

- PROVE PENETROMETRICHE CPT ESEGUITE NEL MESE DI NOVEMBRE 2017: DATI E GRAFICI
- INDAGINI HVSR (NOVEMBRE 2017): RELAZIONE TECNICA
- INDAGINE MASW/HVSR (NOVEMBRE 2017): RELAZIONE TECNICA
- SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO ESEGUITI NEL 2010 (AREA EX PEMPA): LOGS STRATIGRAFICI
- INDAGINE MASW (2010 EX PEMPA): RELAZIONE TECNICA
- INDAGINE HVSR (2010 EX PEMPA): RELAZIONE TECNICA
- VERIFICHE SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE PROVE CPT
- VERIFICHE SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE PROVE SPT

Spazio riservato GEO-NET			
Approvazione Dir. Tecnico	Data	Approvazione Ufficio Geologico	Data
Tiziano Righini	29/11/2017	Carlo Berti Ceroni	29/11/2017
Nome file: 062.17 Studio MZS			

MICROZONAZIONE SISMICA E ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

D.G.R. EMILIA ROMAGNA N. 2193, DEL 21/12/2015

1 Premessa

Su richiesta del Sig. Bacchilega Renato è stato redatto il presente documento, allo scopo di soddisfare la richiesta, inoltrata dal Comune di Imola (n° 0044559 U del 14/11/2017), in cui si richiedeva uno studio geologico allo scopo di "*acquisire il parere dell'ufficio competente in materia di vincolo sismico e verifiche di compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti geologici ed idrogeologici ai sensi dell'Art. 5 della L. R. n° 19 del 2008 ed in conformità con il DGR 2193 del 21 dicembre 2015 entrato in vigore l'8 gennaio 2016".*

L'area oggetto di studio rientra nell'ambito del programma POC 2017-2022, ed è situata in via Cesena, nell'ambito della zona industriale del comune di Imola (BO).

Di seguito si riportano alcuni estratti relativi a:

- Foto satellitare (fonte: Google Earth);
- Carta Tecnica Regionale (Fonte Progetto CARG Emilia Romagna);

in cui è indicata l'ubicazione dell'area interessata dalla presente indagine.



Figura 1: Foto satellitare Google Earth



Figura 2: Estratto Carta Tecnica Regionale

Lo studio è stato svolto mediante la consultazione della cartografia tematica disponibile in letteratura ed un sopralluogo per acquisire direttamente la natura litologica dei terreni, le caratteristiche morfologiche, idrologiche superficiali e sotterranee dell'area.

Direttamente in sito è stata inoltre realizzata, nel mese di novembre 2017, una campagna di indagini geognostiche e geofisiche articolatasi nella realizzazione di:

- n° 3 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n°1 indagine geofisica in array (con metodologia MASW/HV)
- n° 3 indagini geofisiche con metodologia HVSR a stazione singola, di cui una eseguita direttamente in corrispondenza dell'area POC (via Cesena) e altre due sono state realizzate nell'intorno dell'area come richiesto dal Comune di Imola. HVSR-2 è stato realizzato nella via Cogne (ad Est dell'area in esame), mentre HVSR-3 è stata realizzata in Piazza Romagna, situata a Nord rispetto all'area POC in esame.

Di seguito si riporta l'ubicazione delle indagini effettuate direttamente in sito (*Figura 3a*).

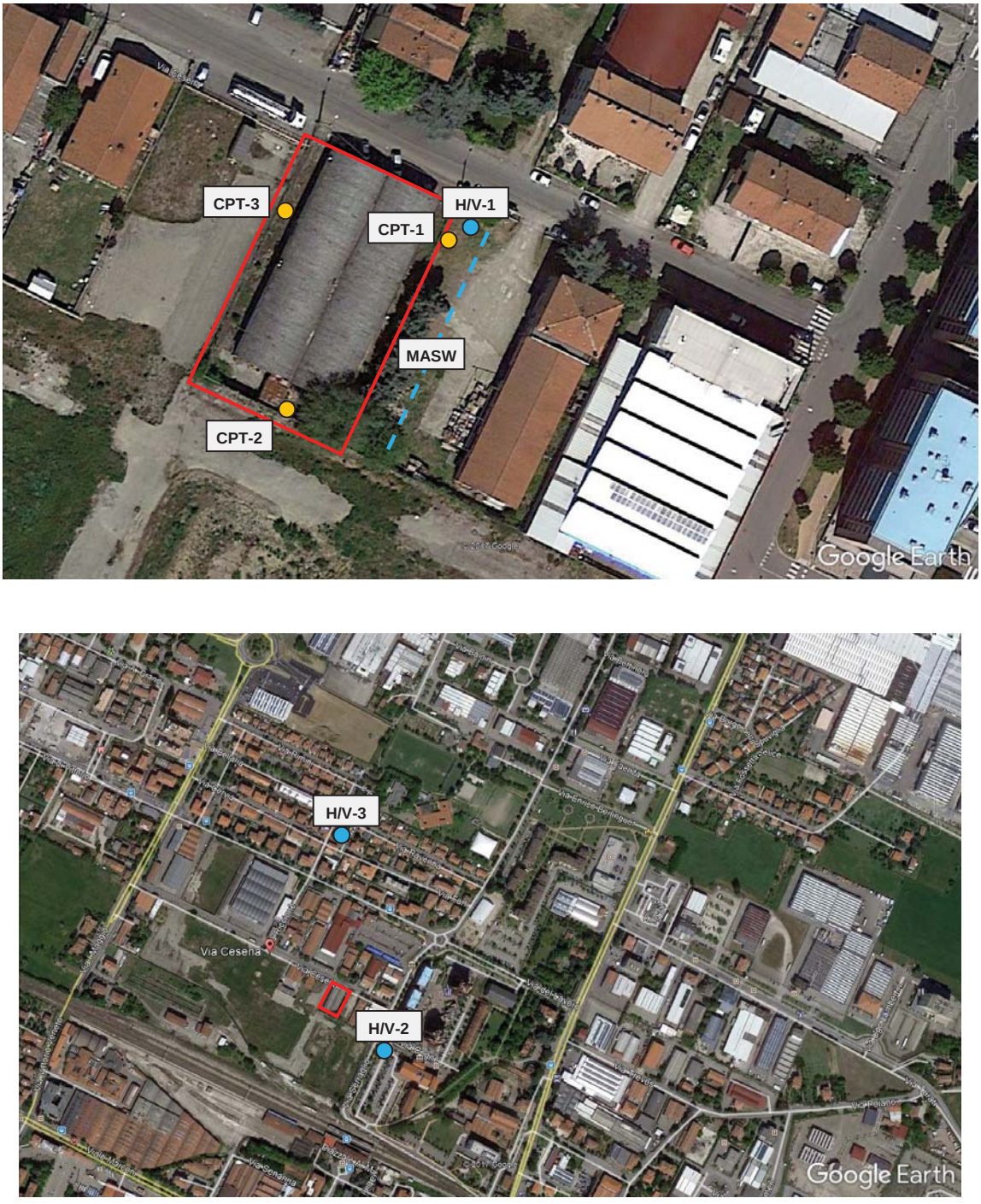


Figura 3a: Localizzazione delle indagini effettuate direttamente all'interno dell'area POC di via Cesena. Il riquadro rosso indica l'area sottoposta a POC

Inoltre si è fatto riferimento direttamente a dati derivanti da un'indagine eseguita dal Dott. Geol. Angelo Angeli nel 2010, nell'area Ex Pempa situata nelle immediate adiacenze al lotto in esame. In particolare, durante la suddetta indagine furono realizzati n° 2 sondaggi a carotaggio continuo (denominati S72 o S1/10 e S73 o S2/10), n° 2 indagini geofisiche MASW e n° 1 indagine geofisica con tromografo (HVSR). Di seguito (*Figura 3c*) si riporta la localizzazione delle indagini di cui sopra.

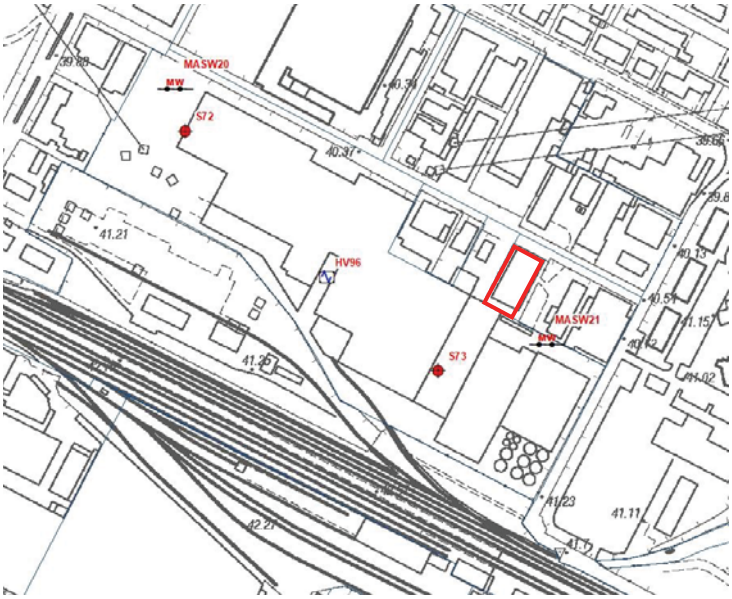


Figura 3b: Localizzazione dei punti di indagine disponibili effettuate nell'area Ex Pempa. Il riquadro rosso indica l'area POC di via Cesena

Infine, è stato fatto riferimento agli esiti di alcune indagini effettuate dalla scrivente società nell'intorno dell'area in esame (vedi ubicazione punti di indagine in *Figura 3c*), alle indagini disponibili presenti nell'archivio regionale del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli e alla sezione geologica 081 disponibili on-line presso il sito della Regione Emilia Romagna, http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati.



Figura 3c: Localizzazione dei punti di indagine disponibili nell'intorno dell'area in esame (riquadro rosso)

2 Normativa di riferimento

La stesura della presente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- ✓ Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- ✓ "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988;
- ✓ Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL.PP. n° 30483, 24 Settembre 1988;
- ✓ AGI: raccomandazione sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977;

- ✓ AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990;
- ✓ DGR 2193 del 21/12/2015;
- ✓ L.R. n° 19 del 2008;
- ✓ PSC Nuovo Circondario Imolese (studio di MZS) 2013-2016;
- ✓ PTCP Provincia Bologna.

3 Considerazioni relative a quanto previsto dagli strumenti di pianificazione

La **Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/05/2007** ha sancito l'adozione, in ambito regionale, dell'"*Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000*" denominato "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna, per la pianificazione territoriale e urbanistica*": tale documento contiene "*i criteri per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio*".

In data 08/01/2016 è stata tuttavia pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Emilia Romagna (BURL) la **Deliberazione della Giunta Regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015**, che sancisce l'aggiornamento del precedente atto di coordinamento tecnico: tale documento, entrato in vigore il giorno stesso della sua pubblicazione, "…*deve essere osservato per l'approvazione degli atti di programmazione territoriale ed urbanistica…*".

Di conseguenza, **la D.G.R. 2193/2015 è stata adottata quale riferimento tecnico e normativo per la redazione del presente studio**.

Come riportato al §1 della succitata Deliberazione, "*gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione del rischio sismico […] attraverso analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione urbanistica, ed orientano le proprie scelte localizzative, i possibili processi di trasformazione urbana e la realizzazione delle opere di interesse pubblico verso scenari di prevenzione e mitigazione del rischio sismico*".

Tali obiettivi vengono perseguiti attraverso la redazione di appositi Studi di Risposta Sismica Locale e Microzonazione Sismica, la cui realizzazione è regolata dalle linee guida riportate al §2 della DGR 2193 – "D*isposizioni Generali*", che suddividono l'analisi in due fasi distinte con diversi livelli di approfondimento:

- Una prima fase, "*…diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rottura del terreno…)*".

- Una seconda fase, avente come obiettivo la micro zonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati e dei risultati delle indagini, **la seconda fase di analisi può essere condotta con due distinti livelli di approfondimento**:

2a "*nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività i<15°, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale*" la microzonazione può essere redatta in base al **secondo livello di approfondimento**

2b nelle aree soggette a liquefazione e densificazione, nelle aree instabili e potenzialmente instabili o nelle aree caratterizzate da rapide variazioni della profondità del substrato rigido, il cui modello stratigrafico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, è invece richiesta la realizzazione di un'analisi condotta in base al **terzo livello di approfondimento**

La **Tav.2c – Foglio I "*Rischio Sismico: Carta delle aree suscettibili di effetti locali*"** del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Bologna classifica l'area in oggetto come ***A – "Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche***".

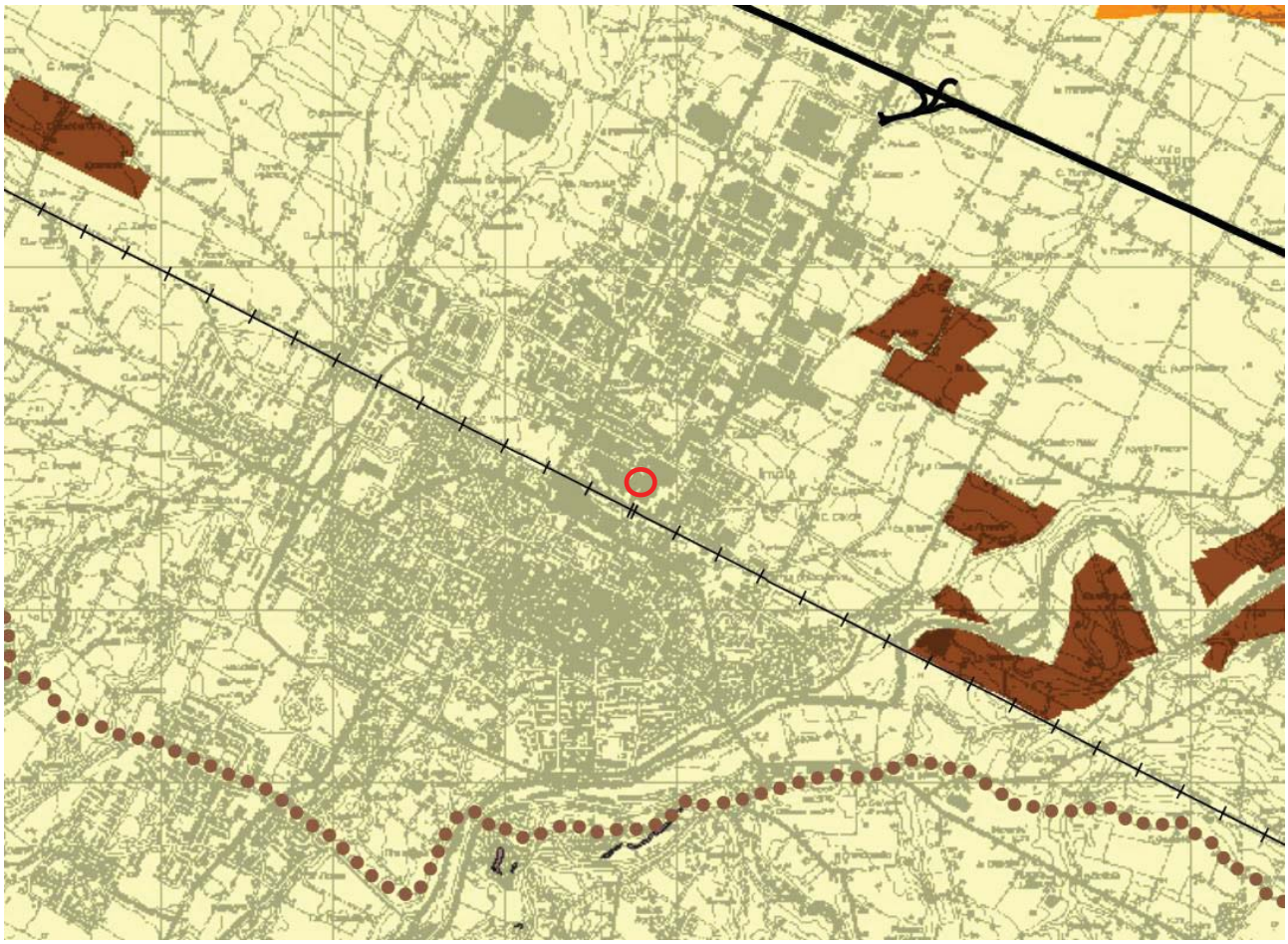


Figura 4: Estratto della Tav.2c – Foglio I "Rischio Sismico: Carta delle aree suscettibili di effetti locali" del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Bologna

Il punto 1a del paragrafo 4 dell'Elaborato E2 – "Norme e indirizzi normativi in materia sismica" dello Studio di Microzonazione Sismica del PSC del Nuovo Circondario Imolese, contenente le "Norme di carattere sismico per la pianificazione operativa ed attuativa (POC/PUA)", evidenzia che in fase di elaborazione dei POC si dovranno espletare le analisi di massimo approfondimento se richiesto per la zona omogenea individuata nella cartografia di MZS.

La ***Tavola 10 – Foglio 3 "Carta di Sintesi"*** dello Studio di Microzonazione Sismica redatta per il PSC del Nuovo Circondario Imolese (NCI) inserisce l'area in esame tra quelle ***"…oggetto di approfondimento di II livello"***.

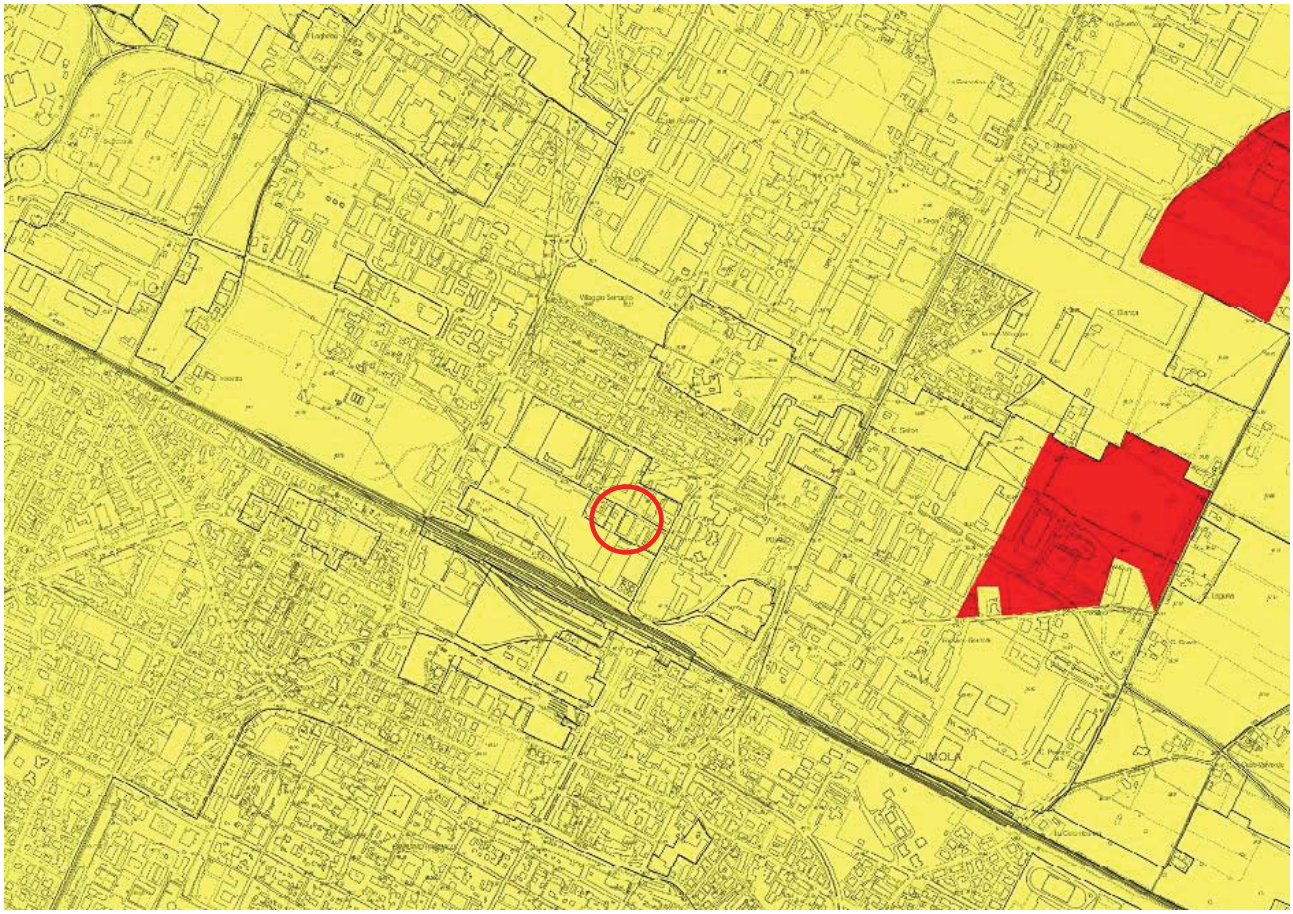


Figura 5: Tavola 10 – Foglio 3 "Carta di Sintesi" dello Studio di Microzonazione Sismica redatta per il PSC del Nuovo Circondario Imolese

4 Prima fase di analisi

(Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000)

4.1 Caratteri stratigrafici, litologici e morfologici

Il sito in oggetto è ubicato in via Cesena, circa m. 380 a SE dell'intersezione tra tale asse viario e la via I° Maggio, nell'ambito dei una zona produttiva in Comune di Imola (BO): la quota assoluta della superficie topografica, desunta dall'estratto della Carta Tecnica Regionale risulta pari a m. 41,2 s.l.m.

Il contesto morfologico in cui si inserisce il sito in oggetto è sostanzialmente pianeggiante, caratterizzato da superfici ampie e prive di rilevanti irregolarità topografiche, fatta salva una debole immersione in direzione NNE verso la Pianura Padana.

L'esame dell'estratto della Carta Geologica (di cui si riporta un estratto in Figura 6) evidenzia come il sito in oggetto insista su un complesso di depositi sedimentari continentali di piana alluvionale che sovrastano, a loro volta la conoide del Fiume Santerno.

Quest'ultimo corpo sedimentario, caratterizzato da una tipica forma a ventaglio, è stato originato dall'accumulo di sedimenti in corrispondenza dello sbocco in pianura del succitato corso d'acqua, dove il brusco calo del gradiente morfologico e l'espansione della corrente fluviale, non più incanalata nella vallata, determinavano una diminuzione della capacità di trasporto della corrente stessa, che rilasciava quindi i materiali trasportati con una gradazione decrescente verso valle.

Il carattere torrentizio del Fiume Santerno, unito all'elevata erodibilità dei litotipi affioranti in corrispondenza di gran parte del suo bacino idrografico, si sono tradotti in passato nell'instaurarsi di tassi di sedimentazione molto elevati, che hanno portato alla messa in posto di spessori rilevanti di depositi alluvionali: l'alternanza di fasi di magra/morbida (che si traducevano nella deposizione di intervalli a prevalente composizione pelitica) e di eventi piena (che portavano alla messa in posto di litotipi "grossolani", sabbie e ghiaie) è infine responsabile della tipica configurazione stratigrafica della conoide.

La cartografia tematica consultata segnala nell'area in esame la presenza di terreni superficiali descritti come sabbie limose di piana alluvionale: dal punto di vista stratigrafico, i terreni che costituiscono il primo sottosuolo del sito in oggetto sono attribuiti al **Subsintema di Ravenna** (**AES8**) un'unità stratigrafica a limiti inconformi entro la quale vengono ricompresi, per convenzione, i terreni depostisi tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

A maggiori profondità, la *Sezione geologica n.081 CARG* Imola-Comacchio (disponibile on-line all'indirizzo http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia) segnala la presenza di depositi sedimentari costituiti da ghiaie amalgamate (AES Indiff.) che, a loro volta, sovrastano terreni riferibili al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore indifferenziato (AES) e al Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI). Tali depositi risultano sovrapposti ai termini più antichi riconducibili alla Formazione delle Sabbie di Imola (IMO) e, a maggiori profondità, al Substrato Marino Mio-Plio-Pleistocenico (vedi *Figura 7*).

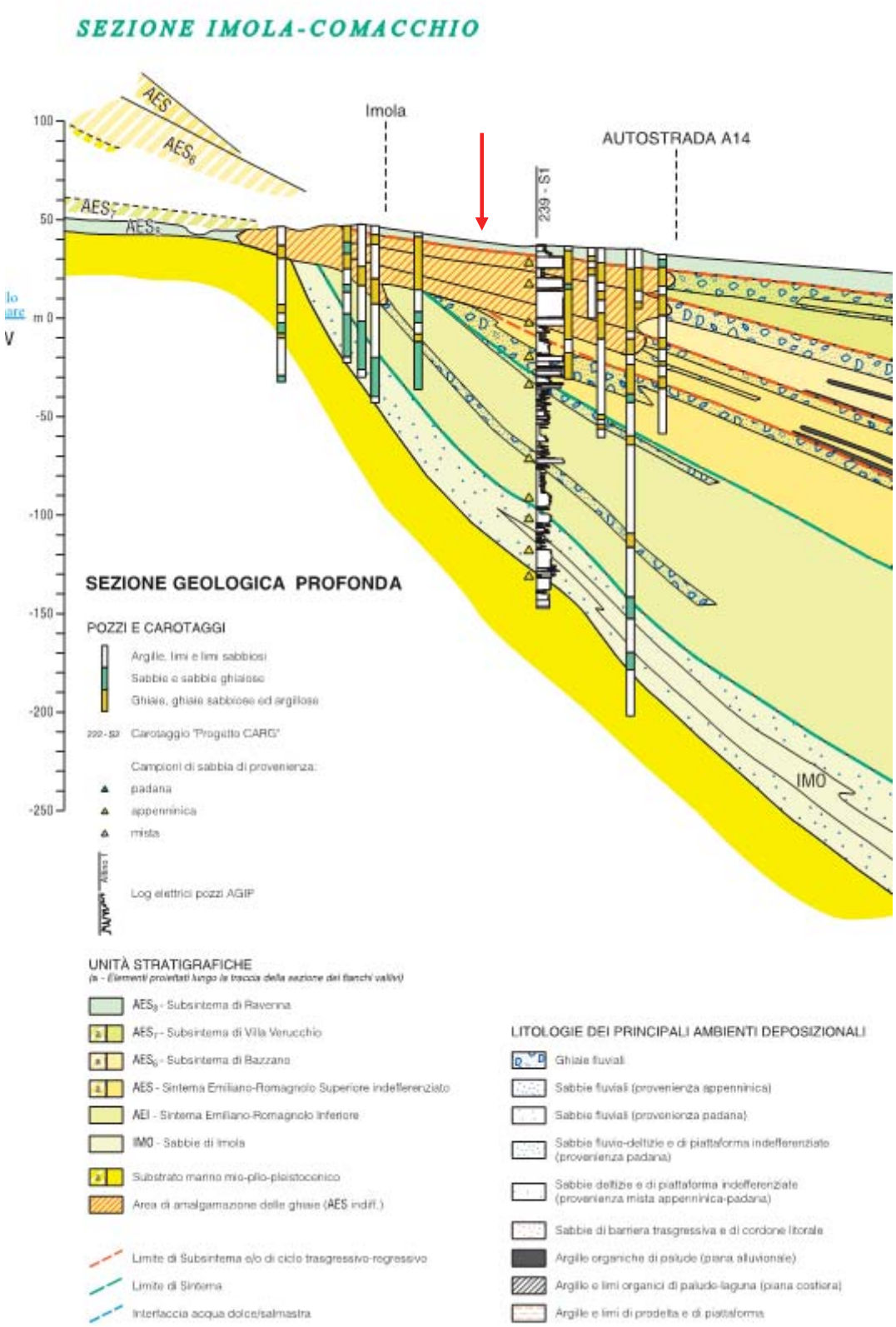


Figura 7: Schema stratigrafico del sottosuolo. Sezione 081 Imola-Comacchio (CARG Emilia Romagna). La freccia rossa mostra la posizione indicativa dell'area in esame rispetto alla sezione

4.2 Idrologia e Idrogeologia

La deposizione dei sedimenti alluvionali su cui insiste il sito in oggetto è attribuibile al Fiume Santerno. Attualmente, questo corso d'acqua scorre in direzione WSW-ENE con andamento sinuoso circa m. 1.500 a SSE del sito stesso. Tale assetto è il risultato di una progressiva migrazione dell'asta fluviale in direzione E causata da attività neotettoniche esplicatesi lungo le discontinuità strutturali presenti in corrispondenza dello sbocco della vallata.

Il Canale dei Molini di Imola, di origine artificiale, fluisce parallelamente alla SP610 circa m. 350,0 a E del sito. Essendo l'area in oggetto inserita all'interno di un ambito fortemente antropizzato, la regimazione delle acque superficiali è affidata alla rete fognaria urbana.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, si sottolinea come, nell'ambito della campagna di indagine svolta in occasione del presente studio non sia stata individuata la presenza di acqua nel sottosuolo, perlomeno fino alle massime profondità raggiunte dalle prove penetrometriche realizzate (3,4-3,8 m.).

Si sottolinea che i sondaggi effettuati nel 2010, all'interno dell'adiacente area Ex Pempa, permisero di rilevare la presenza della falda idrica sotterranea a profondità di m. 19,3-19,5 (cfr. logs stratigrafici allegati al presente studio).

Da quanto si può evincere da uno studio effettuato dal Geologo Gabriele Cesari, nel 2006, in corrispondenza dell'area in esame, la prima falda idrica permanente si troverebbe ad una profondità di m. 19,0-20,0 dal locale piano campagna, in accordo anche con quanto desunto dai logs stratigrafici relativi ai sondaggi effettuati all'interno dell'area Ex Pempa.

Di seguito (*Figura 8*) si riporta un estratto della carta delle isopieze della falda idrica sotterranea presente all'interno dell'acquifero costituito dalle ghiaie amalgamate riferibili alla conoide del Fiume Santerno, da cui si evince che la quota piezometrica della tavola d'acqua si attesta a circa m. 20,0-21,0 s.l.m. La direzione di deflusso preferenziali delle acque sotterranee è diretta verso N.



Figura 8: Isopieze della falda idrica sotterranea situata all'interno dei depositi di conoide del Fiume Santerno (Tratto da Cesari G., 2006).

Per quanto riguarda i principali strumenti di pianificazione in ambito idrologico, va segnalato che, in base alle indicazioni del **Piano Gestione Rischio Alluvioni** (**PGRA**) approvato in data 03/03/2016, l'area in esame ricade all'interno degli ambiti definiti **Reticolo (idrografico) Principale e secondario** (**RP**) e **Reticolo (idrografico) Secondario di Pianura (RSP)**, costituiti, rispettivamente, "*…dall'asta del Fiume Po e dai suoi principali affluenti nei tratti di pianura e nei principali fondovalle montani*" e "*…dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio-bassa pianura padana*".

Le mappe di pericolosità e di rischio di alluvioni concernenti l'area in esame sono state quindi realizzate sulla base delle indicazioni riportate dal § 5.1 della D.G.R. 1300/2016.

- La ***TAV.238NE – "Castel San Pietro Terme"*** relativa alla "**Mappa di pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti**" – Ambito territoriale reticolo naturale principale e secondario - allegata al Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Emilia Romagna (approvato in data 03/03/2016, in attuazione della Direttiva 2007/60/CE, recepita dalla normativa italiana per mezzo del D.Lgs. 49/2010) evidenzia come il sito in oggetto sia ubicato in corrispondenza di un'area classificata **P1 – L (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi).**

  Per quanto riguarda gli elementi potenzialmente esposti, la succitata cartografia riporta la presenza, nell'intorno del sito in oggetto, di reti per la distribuzione di servizi, e attività produttive.

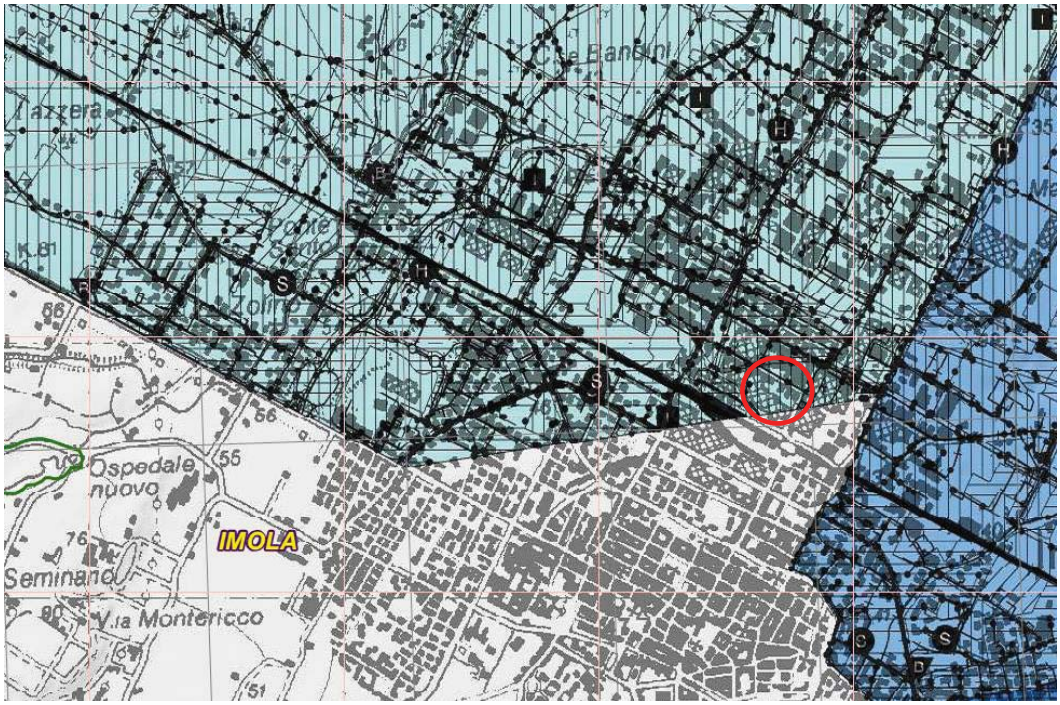


Figura 9: estratto della TAV.238NE – della "Mappa di pericolosità e degli elementi esposti del PGRA. Le aree campite in azzurro chiaro sono classificate come "P1 – L – scarsa probabilità di alluvioni o eventi estremi", mentre il tratteggio verticale evidenzia la presenza di attività produttive.

- La ***TAV.239NO – "Imola"*** relativa alla "**Mappa di pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti**" – Ambito territoriale reticolo secondario di pianura - allegata al Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Emilia Romagna (approvato in data 03/03/2016, in attuazione della Direttiva 2007/60/CE, recepita dalla normativa italiana per mezzo del D.Lgs. 49/2010) evidenzia come il sito in oggetto sia ubicato in corrispondenza di un'area classificata **P2 – M (alluvioni poco frequenti Tr tra 100 e 200 anni – media probabilità).**

  Per quanto riguarda gli elementi potenzialmente esposti, la succitata cartografia riporta la presenza, nell'intorno del sito in oggetto, di reti per la distribuzione di servizi, e attività produttive.

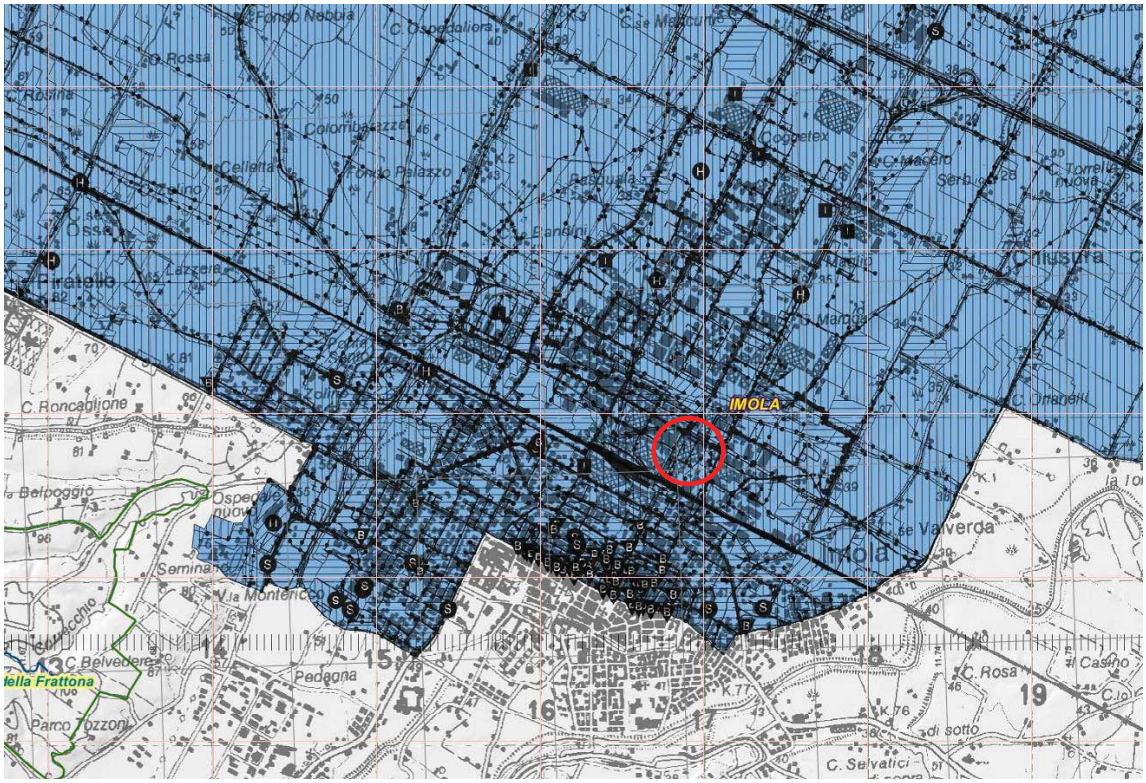


Figura 10: estratto della TAV.239NO – della "Mappa di pericolosità e degli elementi esposti del PGRA. Le aree campite in azzurro sono classificate come "P2 – M.

- La ***TAV.239NO – "Imola"*** della "**Mappa del rischio potenziale**" allegata al allegata al Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) della Regione Emilia Romagna, evidenzia come **al sito in oggetto sia attribuita una classe di rischio R2** (**Rischio medio**)

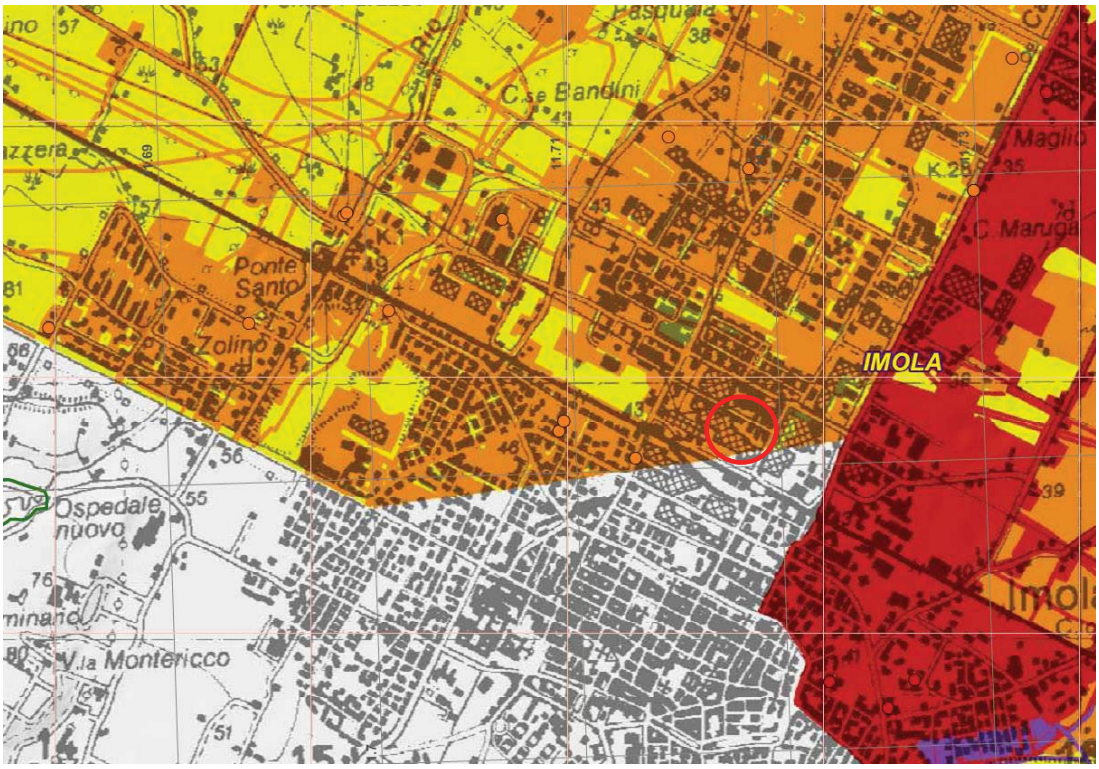


Figura 11: estratto della TAV.239NO – della "Mappa del rischio potenziale del PGRA. Le aree campite in arancio sono classificate a rischio medio R2

Il coordinamento tra il succitato PGRA ed i preesistenti Piani Stralcio di Bacino redatti dall'Autorità di Bacino del Reno (tra cui il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, PSAI) è gestito da un'apposta variante approvata in data 27/04/2016.

- La ***TAV.MP10*** della **"mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni"**, facente parte del **Progetto di Variante di Coordinamento tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni ed i Piani Stralcio di Bacino**, attribuisce l'area in esame ad uno scenario di pericolosità **P1 – Alluvioni rare.**

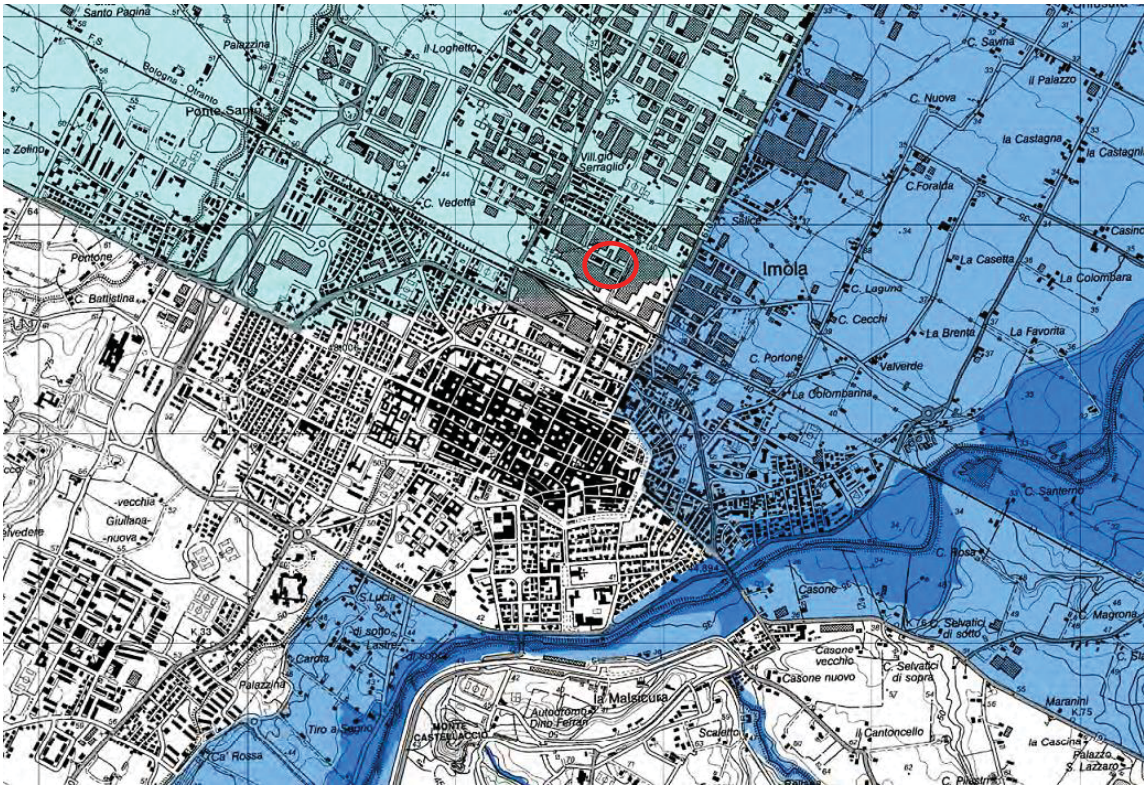


Figura 12: estratto della TAV.MP10 – Mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni". Le aree campite in azzurro chiaro sono classificate come "P1 – alluvioni rare".

4.3 Caratteristiche tettonico-strutturali e sismogenetiche del territorio

L'attività sismica del territorio in esame risulta connessa all' attività orogenetica appenninica e definita nell'ambito di specifiche zone sismogenetiche, nelle quali gli eventi possono ritenersi circoscritti o definiti in relazione all'assetto tettonico del territorio. Recenti studi hanno messo in luce il legame sismogenetico tra la Pianura Padana e il fronte della catena appenninica.

In base alla più recente zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9 e redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), l'area in esame ricade all'interno della **zona-sorgente 914** (Meletti C. & Valensise G., 2004).

In base **al database delle sorgenti sismogenetiche italiane DISS 3.2.0**, il sito in oggetto risulta collocato ad N della Sorgente Sismogenica Composita ITCS001 "Castel San Pietro Terme" e ad W della ITCS011 "Ascensione-Armaia". Le magnitudo attese dei sismi riconducibili a queste sorgenti, desunte sulla base degli eventi sismici avvenuti in passato nell'area, sono stimate pari a **Mw =5,8-6,0**.

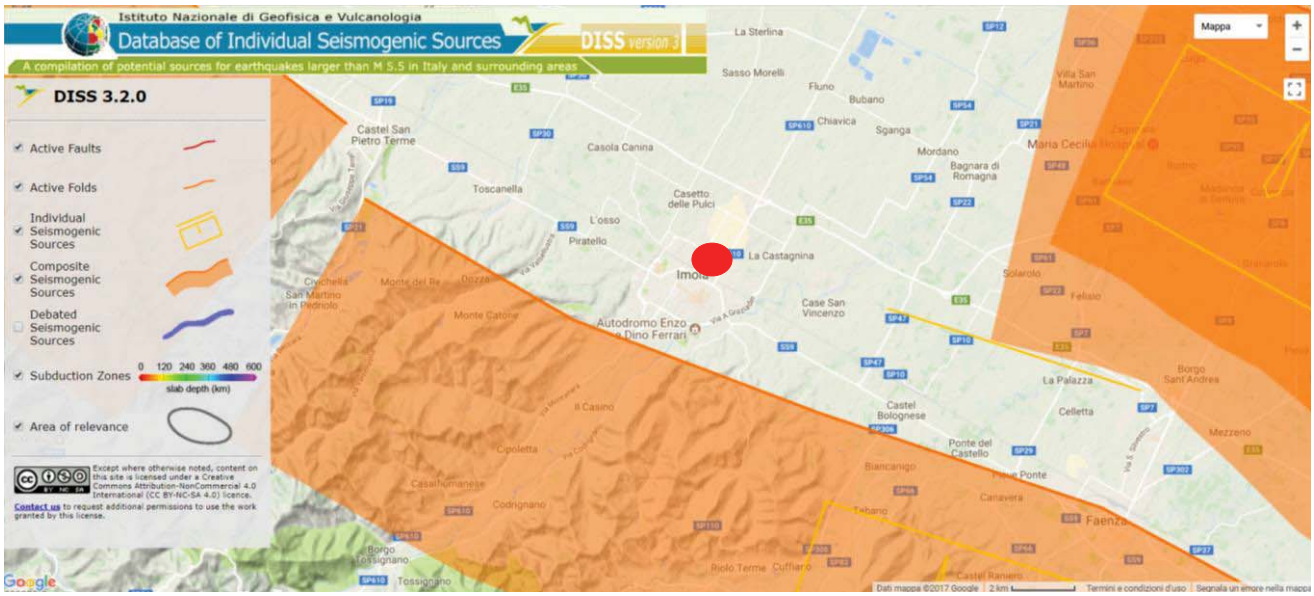


Figura 13: Distribuzione delle "zone" sismogeniche, riportata dal DISS 3.2.0: il punto rosso evidenzia l'ubicazione dell'area in esame.

4.4 Storia sismica del territorio

Il territorio in esame è stato più volte interessato da fenomeni sismici; la ricostruzione di una storia sismica del Comune di Imola è stata condotta sulla base dei dati contenuti nel database macrosismico italiano versione CPTI15 - DBMI 15, disponibile on-line all'indirizzo https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15.

La tabella seguente riporta l'elenco degli eventi sismici storici che hanno interessato l'area in esame, indicandone l'intensità al sito, l'anno in cui tale evento si è verificato e la denominazione dell'evento stesso.

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9	6.05
4	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.59
7-8	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5.84
F	1725 10 29 17 40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5.67
6	1732 08 09	Romagna	3	6	4.63
4	1756 10 06 20	Costa pesarese	7	4-5	3.93
F	1756 10 22	Golfo di Manfredonia	4	5-6	4.40
3	1779 06 01 23 55	Bolognese	8		
5	1779 06 04 07	Bolognese	12	7	5.22
5	1779 06 10 08 35	Bolognese	10		
F	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
5	1779 11 23 18 30	Bolognese	14	5	4.70
6-7	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6.12
6	1781 07 17 09 40	Faentino	46	8	5.61
5	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5.66
6	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5.45
7	1813 09 21 07 45	Romagna	12	7	5.28
F	1828 10 08 22 30	Romagna	8	5-6	4.57
6	1854 06 16 13 25	Imola	9	5	4.57
6	1870 10 30 18 34	Forlivese	41	8	5.61
2-3	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
3	1874 10 07	Imolese	60	7	4.96
5	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
4	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4.84
F	1878 06 04 14 40	Bolognese	13	5	4.52
5	1880 07 23 01 50	Imola	3	5	4.16
4	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5.22

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1881 02 14 09 00 3	Appennino bolognese	21	6	4.77
4	1887 09 30 15 55	Faenza	10	5	4.12
3	1889 03 08 02 57 0	Bolognese	38	5	4.53
F	1891 08 01 13 32 2	Lugo	15	4-5	4.36
NF	1892 12 29 13 47 4	Castel del Rio	36	5-6	4.37
2-3	1897 12 18 07 24 2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
2	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6	4.59
2	1899 06 26 23 17 2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1911 02 19 07 18 3	Forlivese	181	7	5.26
F	1911 03 20 15 47	Forlivese	25	6	5.09
NF	1911 09 13 22 29 0	Chianti	115	7	5.08
3-4	1913 07 21 22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
NF	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4.65
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
NF	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08
2-3	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
2-3	1917 12 02 17 39	Appennino forlivese	32	6-7	5.09
5	1918 11 10 15 12 2	Appennino forlivese	187	9	5.96
5	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
F	1924 01 02 08 55 1	Senigallia	76	7-8	5.48
5	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05
3-4	1929 04 11 00 56	Bolognese	10	4	4.72
3	1929 04 12 00 32	Bolognese	7	4	4.82
4	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
4	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
4-5	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5.10
4	1929 04 22 14 19	Bolognese	12	5-6	4.61
3	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5.20
4-5	1929 05 01 21 13	Imolese	3	4	4.57
4-5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5.29
3	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
2	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
3	1931 04 05 13 34	Faentino	14	6	4.40
4-5	1931 04 11 01 26	Faentino	19	4-5	4.81
2-3	1931 09 05 01 25 5	Mugello	28	6	4.88

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2	1931 12 15 03 23	Mugello	35	6	4.62
SF	1934 05 28 21 09	Faentino	10	4	3.94
3	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
4	1952 07 04 20 35 1	Appennino forlivese	64	7	4.94
NF	1953 12 14 07 11 0	Appennino forlivese	48	5-6	4.70
3	1956 04 26 03 00 0	Appennino bolognese	89	6	4.74
NF	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4.73
4-5	1965 12 18 09 22 2	Pianura romagnola	11	5	4.54
5	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
4	1978 12 05 15 39 0	Romagna	34	4-5	4.61
3	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
3-4	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
2-3	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1989 09 13 21 54 0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
2-3	1999 01 25 22 45 5	Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	2002 11 02 10 57 4	Ferrarese	79	4	4.21
4	2003 01 26 19 57 0	Appennino forlivese	35	6	4.66
5	2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6	5.24

Il diagramma riportato di seguito, proveniente dalla stessa fonte bibliografica, riporta invece la collocazione temporale (in ascissa) e l'intensità al sito in corrispondenza dell'area oggetto del presente studio (in ordinata) degli eventi sismici sopra descritti, limitatamente a quelli con intensità epicentrale uguale o superiore a 4.

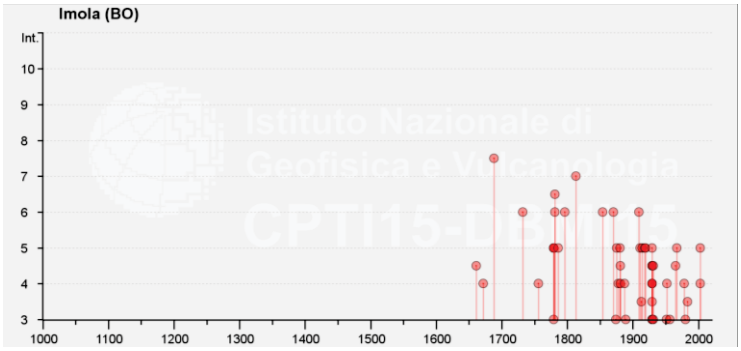


Diagramma che riporta le intensità al sito (Is) in occasione degli eventi sismici sopra descritti

4.5 Sintesi dei risultati dello studio di MZS a supporto del PSC del Nuovo Circondario Imolese

In occasione della stesura del PSC del Nuovo Circondario Imolese, redatto in forma associata, è stato eseguito uno studio finalizzato alla microzonazione sismica dei territori appartenenti ai 10 comuni che costituiscono il Circondario stesso. In particolare lo studio ha avuto come obiettivi:

- "*l'approfondimento a scala comunale delle analisi sismiche di primo livello (DAL 112/2007) condotte dalla Provincia di Bologna nell'ambito della variante in materia di riduzione del rischio sismico del PTCP;*
- *la microzonazione sismica degli ambiti del territorio urbanizzato e urbanizzabile (anali di secondo livello).*"

I risultati dello studio sono stati riassunti in apposite cartografie delle quali si riportano di seguito gli stralci relativamente all'area situata in via Cesena interessata sottoposta a POC.

La **Tav.2 "*Carta di analisi – Potenziale di liquefazione nelle aree di pianura*"** allegata allo studio di micro zonazione sismica del PSC del Nuovo Circondario Imolese evidenzia la non completa verifica di tutti i criteri per la potenziale liquefazione dei terreni in corrispondenza dell'area in esame; inoltre, la medesima cartografia evidenzia come le analisi numeriche condotte sui dati disponibili presso le banche dati del Comune e della Regione e riferite all'intorno del sito in oggetto abbiano dato esito generalmente negativo. Infine la stessa carta classifica l'area in esame come zona in cui la falda risulta soggiacente a profondità maggiori a m. 3,5.



Fig.14: Estratto della Tav.2 dello Studio di Microzonazione Sismica del NCI.

La **Tav.3 "*Carta di analisi – Potenziali cedimenti post-sismici nelle aree di pianura*"** allegata allo studio di micro zonazione sismica del PSC del Nuovo Circondario Imolese classifica l'area in oggetto con "*ininfluente presenza di depositi coesivi soffici*".



Fig.15: Estratto della Tav.3 dello Studio di Microzonazione Sismica del Nuovo circondario Imolese.

La **Tav.4 "*Carta di analisi – Modelli geologici nelle aree di pianura*"** allegata allo studio di micro zonazione sismica del PSC del Nuovo Circondario Imolese classifica l'area in oggetto in Zona 11.

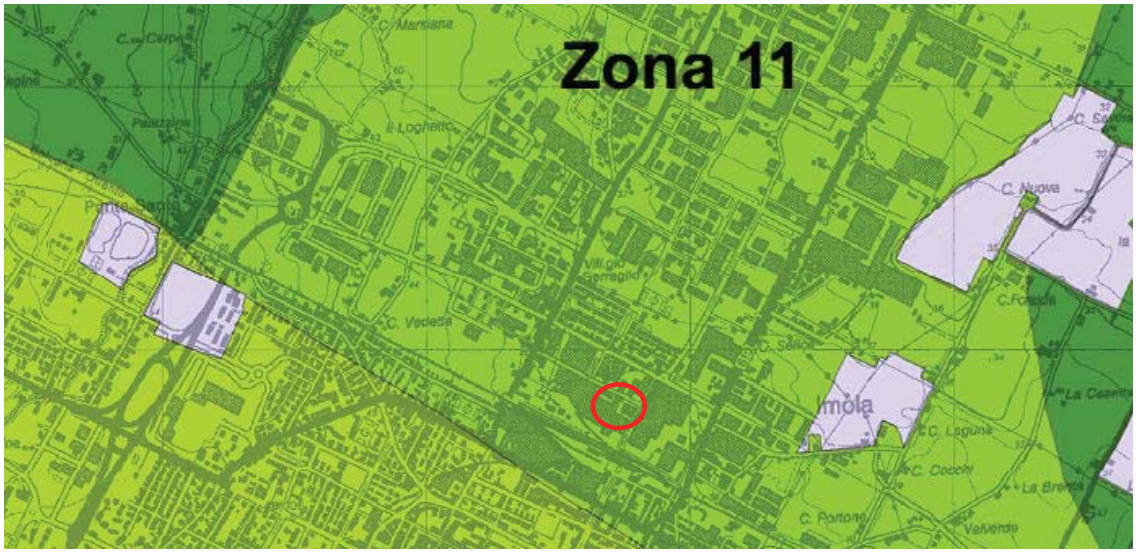


Fig.16: Estratto della Tav.4 dello Studio di Microzonazione Sismica del Nuovo circondario Imolese

Detta zona 11 viene descritta in dettaglio come riportato nella tabella successiva.

Zona 11		
	Descrizione litologico-tessiturale	Note
Unità 1	Depositi di copertura prevalentemetne limosi (con argille più raramente sabbie) di spessore limitato a pochi metri (massimo 5-6)	Conoide del Santerno. Localmente (estremità settore a NO della Zona) nell'Unità 1 possono essere presenti strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili
Unità 2	Depositi prevalentemente ghiaiosi pluridecametrici derivanti dall'amalgamazione di orizzonti grossolani riferibili a unità stratigrafiche diverse. Sono presenti intercalazioni sporadiche (1-2m) di peliti e/o sabbie limose	

La ***TAV.6.3*** - *"**Carta delle velocità**"* allegata allo studio di micro zonazione sismica del PSC del Nuovo Circondario Imolese evidenzia come, nell'intorno dell'area in esame, siano state stimate velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri del sottosuolo (**Vs30**) **comprese tra 399-495 m/s.**

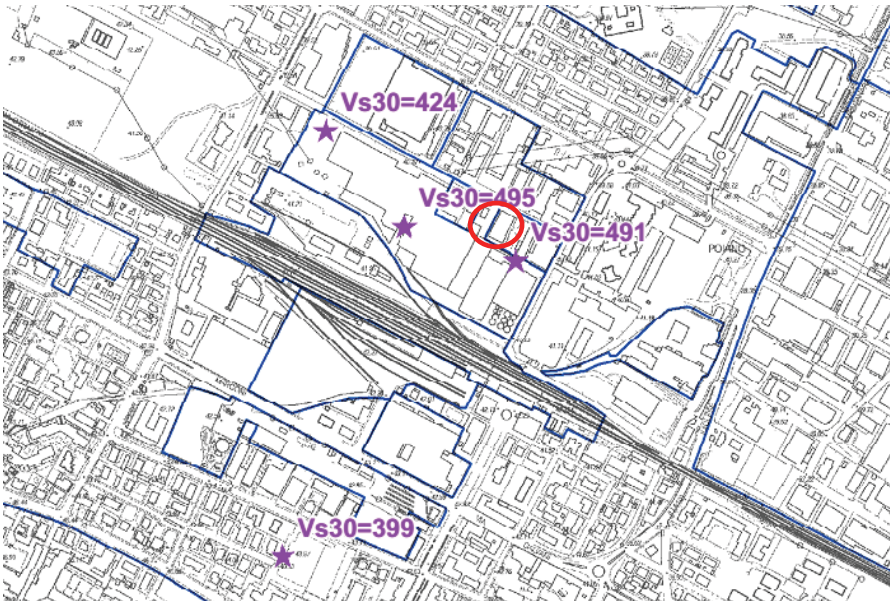


Fig. 17: Estratto dell TAV. 6.3 "Carta delle velocità". La freccia bianca indica la posizione dell'area in esame.

La ***TAV. 7.3*** - *"Carta dei fattori di amplificazione PGA"* allegata allo studio di micro zonazione sismica del PSC del Nuovo Circondario Imolese attribuisce al **fattore di amplificazione della PGA**, nell'area in esame, un valore **FA PGA = 1,6.**



Fig. 18: Estratto della TAV. 7.3 "Carta dei fattori di amplificaizone della PGA".

La ***TAV. 8.3*** - *"Carta dei fattori di amplificazione SI (0,1-0,5sec.)"* attribuisce, in corrispondenza dell'area in esame, al **fattore di amplificazione dell'intensità di Housner (SI) nell'intervallo compreso tra 0,1-0,5 sec.** un valore **FA SI (0,1-0,5 sec.) = 1,7.**



Fig. 19: Estratto della TAV. 8.3 "Carta dei fattori di amplificazione SI (0,1-0,5 sec.)".

La ***TAV. 9.3*** - *"Carta dei fattori di amplificazione SI (0,5-1,0sec.)"* attribuisce all'area in esame un **fattore di amplificazione dell'intensità di Housner (SI) nell'intervallo compreso tra 0,5-1,0 sec.** pari a **FA SI (0,5-1,0 sec.) = 1,9.**

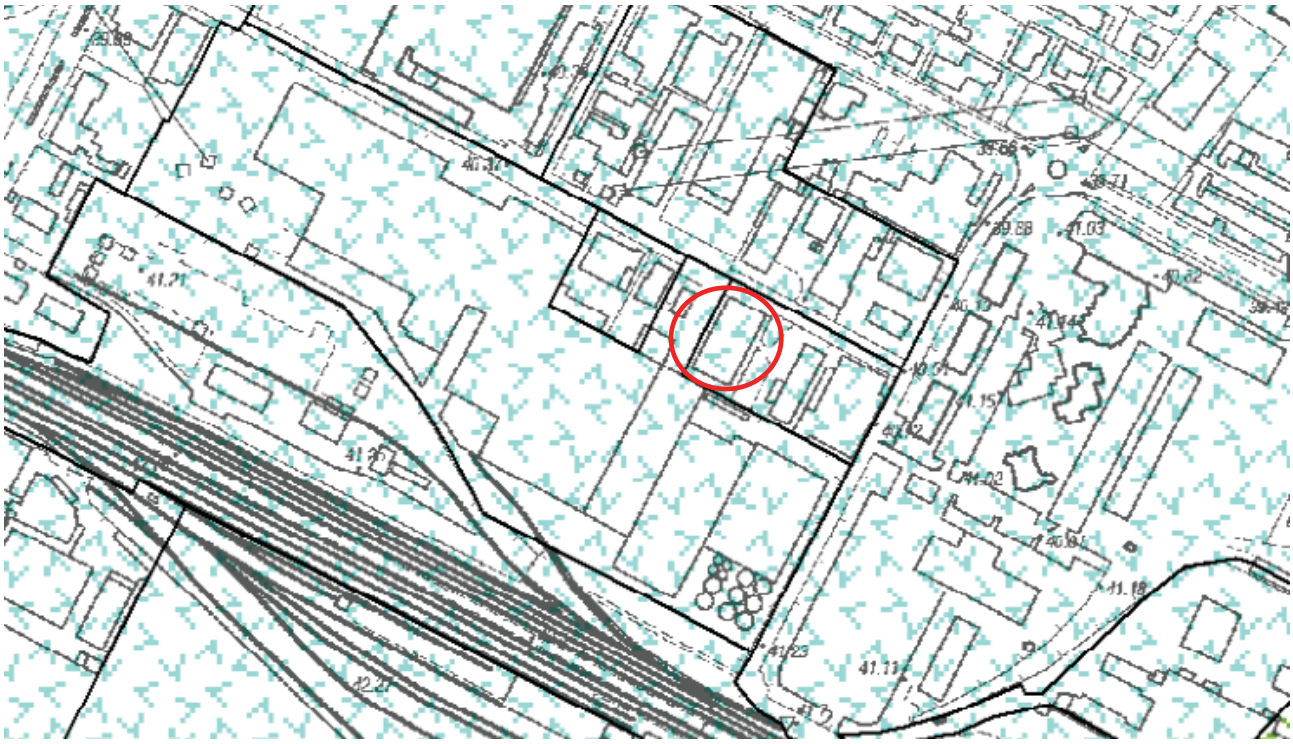


Fig. 20: Estratto dell TAV. 9.3 "Carta dei fattori di amplificaizone SI (0,5-1,0 sec.)".

Estratto dell TAV. 10.3 "Carta di sintesi". Le aree campite in colore giallo sono da classificate come da sottoporre ad approfondimenti di secondo livello, mentre le aree campite in colore rosso sono classificate come da sottoporre ad approfondimenti di terzo livello. La freccia bianca indica la posizione dell'area in esame.

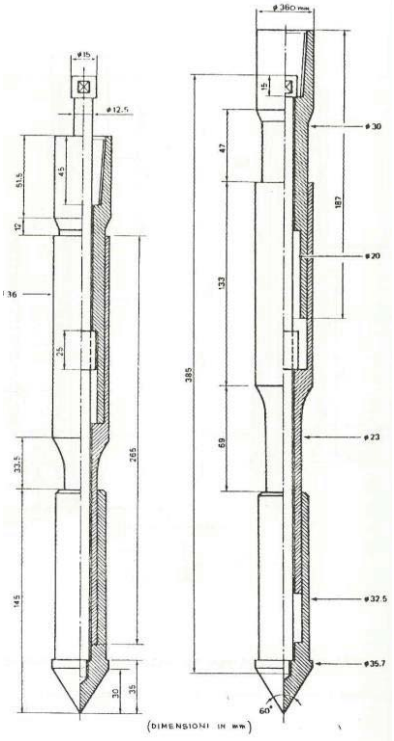
5 Indagini geognostiche

Il modello geologico sviluppato sulla base della documentazione bibliografica consultata, dei sopralluoghi eseguiti e dell'esperienza acquisita nel corso di indagini svolte nell'intorno dell'area.

Inoltre si è fatto direttamente riferimento alle indagini eseguite direttamente sull'area sottoposta a POC e alle indagini eseguite nel 2010 nell'adiacente area Ex Pempa e rese disponibili dal NCI (cfr. Cap.1).

5.1 Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)

Per l'esecuzione di tale prova si è utilizzato un penetrometro semovente PAGANI da 20 t. La punta meccanica è di tipo telescopico con manicotto - "punta Begemann" (cfr. figura a lato), con diametro di base pari a 37,5 mm. e angolo di apertura del cono pari a 60°, come da raccomandazioni AGI 1977 e indicazioni internazionali standardizzate. La batteria di aste è composta da una serie di spezzoni di aste cave di lunghezza pari a 1 m. e con diametro esterno di 36 mm. al cui interno è posta la batteria di astine che permette l'apertura della punta meccanica. La penetrazione avviene ad una velocità costante pari a 2 cm/sec (con tolleranza ± 0,5 cm/sec), indipendentemente dalla resistenza opposta dal terreno.



Il dispositivo di spinta è reso solidale al terreno mediante un duplice ancoraggio in modo da non muoversi rispetto al piano di lavoro durante l'immissione. Esso agisce alternativamente sulla batteria di aste interne (consentendo l'avanzamento dapprima della punta e poi del manicotto laterale) e su quella di aste cave esterne (durante tale fase la punta si richiude e torna in posizione iniziale). Si ottengono in tal modo misure "discontinue", poiché il ciclo di apertura-chiusura avviene ogni 20 cm, che consistono in:

- Lp: spinta necessaria per l'avanzamento della sola punta;
- Lp+Ll: spinta per l'avanzamento della punta e del manicotto;

Tramite semplici formule di conversione si ottengono:

- Qc: resistenza alla punta;
- Fs: resistenza per attrito locale sul manicotto;

Un'indicazione della stratigrafia dei terreni indagati è fornita dal rapporto tra la resistenza all'infissione statica della punta (Q_c) e la resistenza per attrito laterale locale (Fs) che il materiale sviluppa sul manicotto della punta meccanica. Nell'interpretazione quantitativa dei risultati, che consente di determinare le grandezze di alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati

mediante formule empiriche, si è tenuto in considerazione che le prove sono assimilabili a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito. Pertanto, in terreni coesivi, si ottiene una stima della coesione non drenata Cu. Nei terreni sabbiosi è possibile valutare il grado di addensamento e una stima del valore di angolo di attrito.

Le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri sono riportate nella tabella seguente.

PROVA PENETROMETRICA CPT		
PARAMETRO	SIGLA	CORRELAZIONE
Litologia		Schmertmann 1978
Resistenza (o coesione) non drenata	**cu**	Marsland (1974) e Marsland & Powell (1979)
Modulo edometrico	**Mo $_{ed}$**	Buismann & Sanglerat
Peso di volume terreni coesivi	γ	Meyerhof ed altri
Angolo d'attrito	ϕ	Caquot
Densità relativa	**Dr**	Schmertmann
Modulo di Young	**Ey**	Robertson e Campanella (1983)
Peso di volume terreni granulari	γ	Meyerhof

Le 3 prove penetrometriche realizzate nel mese di novembre 2017 sono state spinte fino al raggiungimento delle condizioni di rifiuto meccanico, avvenuto a profondità variabili fra circa m. 3,4-3,8 rispetto alla quota locale del piano di campagna, dopodiché, in tutti i casi, la penetrazione si è arrestata a causa del raggiungimento di un banco di ghiaia e sabbia molto addensato. Al termine dell'esecuzione delle prove penetrometriche CPT non è stata riscontrata la presenza di una falda idrica all'interno dei fori.

5.2 Indagine geofisica HVSR con Tromografo

Al fine di valutare alcune caratteristiche di risposta sismica dei terreni presenti nel sottosuolo del sito in oggetto, è stata realizzata una specifica indagine geofisica HVSR mediante l'utilizzo di un'apparecchiatura tromografica digitale "Tromino Engy®", prodotta dalla Micromed S.p.A.

Questo strumento dispone di tre sensori sismometrici, ciascuno associato a un canale velocimetrico (N-S, E-W e Up-Down), atti a registrare il microtremore sismico ambientale in corrispondenza dell'intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 1.024 Hz.

Il microtremore sismico (altrimenti definito "rumore sismico di fondo") è presente ovunque sulla crosta terrestre, ed è generato da fenomeni quali i moti oceanici, i fenomeni atmosferici, a cui possono contribuire

fonti locali derivanti da attività antropiche. Inoltre, i microtremori possono essere in parte costituiti da onde di volume, quali onde P, S e superficiali: le onde superficiali esprimono velocità prossime a quelle delle onde S (Lachet e Bard, 1994) il che ne fa un utile strumento per la determinazione delle velocità di queste ultime.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) si basa sull'analisi dei rapporti tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto (H/V): numerosi studi (Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chavez-Garcia, 1994; Ibs-von Seht and Wohlenberg, 1999) hanno evidenziato come questi rapporti forniscano stime affidabili delle frequenze proprie di risonanza del sottosuolo, perlomeno in presenza di un modello semplice e unidimensionale del sottosuolo stesso, con una strato "soffice" posto al di sopra di uno strato rigido ("bedrock" o "bedrock-like"). In presenza di simili circostanze si può osservare come un'onda che viaggia attraverso lo strato "soffice", venga parzialmente riflessa dall'interfaccia con il bedrock: l'onda riflessa interferisce con i treni d'onda incidenti, sommandosi e raggiungendo la massima ampiezza quando la lunghezza dell'onda incidente stessa è pari a 4 volte lo spessore dello strato interessato (H).

Di conseguenza:

f = Vs/4H

dove Vs è la velocità delle onde S all'interno dello strato di spessore H, la cui frequenza di risonanza propria è pari a (f).

Per quanto le condizioni reali siano di rado così lineari (in quanto spesso ci si trova in presenza di più strati, di una topografia articolata o di disturbi di vario genere), l'analisi della curva descritta dall'andamento del rapporto H/V(f) consente di risalire alle informazioni relative alle frequenze di risonanza proprie degli strati del sottosuolo e, di conseguenza, al loro spessore.

E' quindi possibile derivare dalla curva H/V un profilo del sottosuolo, in termini di frequenze proprie e di spessori degli strati attraversati, mettendo a confronto la curva sperimentale con una curva "sintetica", in presenza di adeguati "vincoli" ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche. (Fäh et al., 2001; Mulargia, et al., 2007).

Una volta effettuato tale confronto è possibile effettuare una stima indicativa del valore del parametro Vs30.

Sul piano esecutivo, l'indagine tromografica richiede la collocazione dello strumento sul terreno, avendo cura di posizionarlo orizzontalmente (mediante apposita bolla) e di renderlo solidale al suolo tramite appositi "piedi" d'appoggio: la procedura di acquisizione del "rumore" sismico richiede tempi di registrazione di circa 20 minuti, e viene eseguita ad una frequenza di campionamento di 128 Hz. L'elaborazione dei dati registrati avviene per mezzo del software Grilla® (Micromed S.p.A.), opportunamente settato (i parametri del setting sono riportati nell'apposito report, allegato alla presente relazione).

5.3 Indagini geofisiche con metodologia MASW-Re.Mi.

Per determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) nel sottosuolo del sito in oggetto, nell'ambito della campagna di indagini svolta in loco è stata realizzata **n.1 indagine geofisica in array** condotta con metodologia MASW-Re.Mi.

Per mezzo delle tecniche MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999) e **Re.Mi** (Refraction Microtremor) **è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde di taglio (S)** mediante lo studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale).

L'idea su cui si fondano l metodi MASW e Re.Mi, è basata sull'utilizzo del fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh (ed in particolare della loro componente verticale) per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio.

A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obbiettivo è di derivare una curva di dispersione sperimentale *velocità di fase – frequenza* (c_f -*f*), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda; nel presente studio è applicata un procedimento che prevede una trasformata *tempo di ritardo – slowness* (τ-*p*) e una trasformata di Fourier dal dominio τ a quello della frequenza. Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-*slowness* o frequenza-velocità di fase (la *slowness* è infatti il reciproco della velocità).

Nell'ambito del metodo MASW, si procede ad un'energizzazione a distanza prefissata dal primo geofono e si calcolano i tempi di arrivo del relativo impulso ai ricevitori successivi: al contrario, l'analisi Re.Mi utilizza i microtremori ambientali quale fonte di eccitazione, e la trasformata frequenza-*slowness* viene impiegata per l'analisi dell'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica.

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stata utilizzata una strumentazione DOLANG JEA24 a 24 bit. Operativamente, è stato realizzato uno stendimento composto da 6 geofoni verticali da 4,5 Hz interspaziati tra loro di m. 4,0.

Per quanto riguarda i dettagli dei risultati così ottenuti si rimanda alla relazione tecnica allegata al presente documento.

6 Caratterizzazione litostratigrafica del primo sottosuolo e parametrizzazione meccanica dei terreni

Sulla base delle indagini geognostiche realizzate è stato ricostruito l'assetto stratigrafico del sottosuolo il quale descrive le caratteristiche dei terreni riscontrati a partire dalla quota del piano di campagna presente al momento delle indagini.

Si specifica che le prove penetrometriche CPT-1 e CPT-2 sono state realizzate in corrispondenza del piazzale asfaltato antistante i capannoni esistenti, mentre le prove CPT-3 e CPT-4 sono state realizzate in corrispondenza dell'area verde che si trova immediatamente a N del piazzale stesso e la cui quota topografica risulta elevata di circa 0,6-0,8 metri rispetto alla quota del piazzale, in ragione del fatto che (come riferito da personale tecnico aziendale) tale area verde è stata rialzata, in passato, mediante apporto di terreni di risulta derivante dalla progressiva edificazione dello stabilimento.

I risultati delle indagini hanno permesso di verificare che in superficie è presente uno spessore di circa m. 0,6, costituito materiali inerti riportati (**Unità litologica R**) che formano il pacchetto strutturale dei piazzali circostanti l'area in esame.

Al di sotto dell'unità più superficiale si è distinta la presenza di argille limose e limi argillosi con grado di consistenza medio-basso (**Sotto-Unità litologica A1**) che si protrae fino a profondità variabili fra m. 0,8-1,8 che sovrasta terreni con simili caratteristiche tessiturali, ma caratterizzati da un grado di consistenza medio/medio-elevato determinato da effetti di sovraconsolidazione dovuti al disseccamento (**Sotto-Unità litologica A2**). Tale unità si protrae fino a profondità variabili fra m. 3,0-3,4 rispetto al p.c.

Infine, fino alle massime profondità raggiunte dalle prove penetrometriche è stata accertata la presenza di un banco costituito da ghiaia di granulometria assortita in matrice limoso sabbiosa e sabbioso argillosa (**Unità litologica B**). Sulla base di quanto si evince dalle stratigrafie dei 2 sondaggi effettuati nell'adiacente area Ex Pempa, si può affermare che tale banco ghiaioso risulta addensato/molto addensato e si protrae fino ad almeno m. 20,0 di profondità rispetto al p.c.

Nell'ambito della campagna di indagini svolta in sito in occasione del presente studio non è stata riscontrata traccia della falda idrica sotterranea, fino alle massime profondità raggiunte dalle prove CPT.

I logs stratigrafici dei sondaggi a carotaggio continuo evidenziano infatti che la falda idrica sotterranea si attesta a profondità di m. 19,3-19,5, all'interno dei depositi grossolani ghiaiosi.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva relativa all'assetto litostratigrafico del sottosuolo, unitamente ad una serie di parametri geotecnici desunti sulla base delle prove penetrometriche effettuate nel mese di novembre 2017. In *corsivo* è indicato il range dei valori riscontrati compreso fra un minimo ed un massimo; in **grassetto** viene indicato il valore medio (matematico) del parametro calcolato considerando i singoli strati individuati.

In allegato si riportano i dettagli dei parametri geotecnici stimati sulla base delle prove penetrometriche effettuate; inoltre si riportano **i grafici riassuntivi** relativi ad ogni prova.

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRIZZAZIONE MECCANICA DEI TERRENI (dati da CPT)

UNITÀ LITOLOGICA		PROFONDITA' (m) Da	PROFONDITA' (m) A	DESCRIZIONE	cu (kPa)	Mo_{ed} (MPa)	Dr (%)	ϕ (°)	Ey (MPa)	γ (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)
TA		0,0	0,6	Materiali inerti di riporto sottofondo piazzali esterni	-	-	-	-	-	*18,9-21,8*	*19,7-22,6*
					-	-	-	-	-	20,0	20,8
A	**A1**	0,6	0,8-1,8	Argille limose e limi argillosi con grado di consistenza medio-basso	*26-59*	*3,8-4,7*	-	-	-	*17,8-19,2*	*18,6-20,0*
					45	4,6	-	-	-	18,7	19,5
	A2	0,8-1,8	3,0-3,4	Argille limose e limi argillosi con grado di consistenza medio/medio-elevato *Terreni sovraconsolidati causa disseccamento*	*55-160*	*4,1-9,6*	-	-	-	*19,0-20,8*	*19,8-21,6*
					96	6,0	-	-	-	19,9	20,7
B		3,0-3,4	Max Prof raggiunte A rifiuto (3,4-3,8)	Banco di ghiaia in matrice limoso sabbiosa e sabbioso argillosa, da addensato a molto addensato	-	-	*86-99*	*37-42*	*32-93*	*18,6-23,3*	*21,6-24,1*
					-	-	91	40	66	20,4	22,5

7 Considerazioni in merito alla valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione

Secondo lo studio di MZS redatto a supporto del PSC del Nuovo Circondario Imolese, l'area oggetto di studio ricade all'interno di una zona del territorio del comune di Imola in cui non si prevedono fenomeni di liquefazione dei terreni, in caso di sisma (vedi Fig. 14 al § 4.5 del presente documento).

Allo riprova di tale ipotesi si riportano di seguito alcune ulteriori considerazioni e verifiche puntuali eseguite sulla scorta dei dati derivanti dalla presente indagine.

- Innanzitutto si è potuto stabilire che, in corrispondenza dell'area POC via Cesena, la falda idrica sotterranea risulta attestarsi a profondità superiori a 15 metri come confermato dai risultati dei sondaggi geognostici eseguiti nel 2010 in area immediatamente adiacente (cfr. § 4.2 del presente documento).
- La falda idrica sotterranea risulta contenuta all'interno di un banco di ghiaia eterometrica in matrice sabbioso limosa e sabbioso argillosa molto addensato, che si protrae fino alla profondità di almeno m. 20,0 rispetto al p.c.
- Si è proceduto, in ogni casoì, ad eseguire alcune verifiche numeriche sulla scorta dei dati geotecnici derivanti dalle prove CPT realizzate in sito e delle prove SPT realizzate nel corso dei sondaggi effettuati nell'area Ex Pempa.

7.1 Valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione – metodo di Robertson & Wride (1998) – Prove penetrometriche CPT

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione viene definita attraverso il fattore di sicurezza. Tale coefficiente (Fs) è definito dal rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione e la domanda di resistenza alla liquefazione e si può riassumere con la seguente espressione:

$$Fs = CRR/CSR$$

Dove: CSR è la tensione tangenziale ciclica prodotta da un sisma;
CRR è la resistenza tangenziale del terreno

Il parametro CSR (resistenza alla liquefazione) è definito con l'equazione semiempirica proposta da Seed & Idriss (1971):

$$CSR_{7,5} = \tau_{av}/\sigma'v - (0.65\ a_{max}/g\ \sigma v_0/\sigma'v_0\ rd)$$

Dove:

τ_{av}= valore medio definito come 0,65 τ_{max}

a_{max} = accelerazione massima di picco al piano campagna del terremoto di progetto

g = accelerazione di gravità

$\sigma v0/\sigma'v0$ = rapporto tra tensione totale ed efficace alla profondità considerata

rd = coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo.

Per la determinazione della resistenza alla liquefazione (CRR) si utilizzano i dati acquisiti durante l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche (SPT), prove penetrometriche statiche (CPT), nonché da misure di velocità delle onde di taglio (Vs) eseguite con prove sismiche.

Inoltre per terremoti di magnitudo diverso da 7,5 è necessario inserire un coefficiente correttivo MSF (Magnitudo Scaling Factor) applicato per convenzione alla capacità di resistenza alla liquefazione e non al carico sismico.
Pertanto si può considerare:

$$Fs = CRR_{7,5}/CSR*MSF$$

La verifica a liquefazione del deposito è effettuata in condizioni di free-field (assenza di manufatti sulla superficie del deposito) alle profondità dove sono presenti depositi potenzialmente liquefacibili.

Un metodo di verifica che può essere utilizzato è quello basato sul parametro di comportamento del terreno Ic; tale parametro è funzione della resistenza alla punta, $\mathbf{q_c}$ e della resistenza laterale del manicotto, $\mathbf{f_s}$ misurate nelle prove CPT. In particolare:

$$Ic = [(3.47-logQ)^2 + (1.22+logF)^2]^{0.5}$$

dove Q e F sono funzioni di q_c e f_s.

Il parametro **Ic**, una volta calcolato, viene impiegato per la determinazione del fattore di correzione $\mathbf{K_c}$, definito in funzione delle caratteristiche granulometriche del terreno, secondo le formule:

- Per $Ic \leq 1,64 \rightarrow K_{c=1}$
- Per $1,64 \leq Ic \leq 2,6 \rightarrow K_c = - 0,0403 * Ic^4 + 5,581* Ic^3 + 21,63* Ic^2 + 33.75* Ic – 17,88$
- Per $Ic \geq 2,6 \rightarrow$ Non può avvenire il fenomeno della liquefazione

Il parametro K_c è a sua volta necessario per la determinazione della resistenza alla punta penetrometrica corretta normalizzata a 100kPa $(q_{c1N})_{cs}$:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

Tale resistenza viene impiegata per il calcolo della resistenza alla liquefazione CRR (cfr. § 6.3.3), secondo le formule:

$$\mathbf{CRR_{7,5} = 0.833 * [(q_{c1N})_{cs}/1000] + 0,05 \quad per\ 0 < (q_{c1N})_{cs} < 50}$$

$$\mathbf{CRR_{7,5} = 93 * [(q_{c1N})_{cs}/1000]^3 + 0,08 \quad per\ 50 < (q_{c1N})_{cs} < 160}$$

Da quanto sopra riportato si evince l'importanza dell'esatta determinazione del valore di Ic.

- Secondo il metodo utilizzato, se il valore di **Ic > 2.6** il terreno è classificabile come un materiale a comportamento argilloso, con **scarse probabilità di liquefazione**.

- Al contrario se **Ic < 2,6** è necessario calcolare **il coefficiente di sicurezza Fs** sulla base del quale **l'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista**.

Robertson e Wride raccomandano la seguente procedura:

- Inizialmente si procede alla distinzione dei terreni classificati come argille da quelli classificabili come sabbie e limi: tale risultato viene ottenuto calcolando la resistenza alla punta adimensionalizzata (Q) con la seguente equazione:

$$\mathbf{Q = [(q_c - \sigma_{vo})/p_a] * [(p_a/\sigma'_{vo})^n] = [(q_c - \sigma_{vo})/ \sigma'_{vo}]}$$

- Se il valore di **Ic** per n = 1 è > di 2,6, il terreno sarà classificato come "di natura argillosa", e conseguentemente troppo ricco di argilla per liquefare
- Se il valore di **Ic** per n = 1 < di 2,6, il terreno sarà classificato come "di natura granulare", e, di conseguenza, il fattore di normalizzazione (C_Q) e la resistenza alla punta dimensionale (Q) dovranno essere ricalcolati con esponente n =0,5
- Se il valore di **Ic** per n = 0,5 è < di 2,6, il terreno sarà classificato come "non plastico e granulare", e il valore di **Ic** potrà essere direttamente impiegato per stimare la resistenza alla liquefazione
- Se il valore di **Ic** per n = 0,5 è > di 2,6, è possibile che il terreno sia "limoso e possibilmente plastico": in tal caso, il parametro qc1N deve essere calcolato usando un esponente n = 0,75.

- Il valore di Ic intermedio (con n=0,75) può venire impiegato per calcolare la resistenza alla liquefazione: in tal caso, dovrà però essere prelevato un campione per verificare la liquefacibilità del suolo con altri metodi (i.e. metodo "Cinese").

7.1.1 Indice del potenziale di liquefazione (Iwasaki, 1982)

Le conseguenze della liquefazione in caso di sisma dipendono da fattori quali l'estensione del fenomeno stesso, la profondità alla quale tale fenomeno si verifica e le condizioni del piano campagna (inclinazione, presenza di incisioni, ecc.): poiché tali fattori non sono esaustivamente contemplati nell'ambito del metodo fin qui descritto, all'analisi puntuale della suscettibilità dei terreni alla liquefazione va affiancata una stima globale dell'incidenza del fenomeno e delle potenziali conseguenze.

Una valutazione approssimata può essere compiuta mediante l'indice del potenziale di liquefazione (LPI), desunto con la metodologia proposta da Iwasaki, (1982): questo indice tiene conto dello spessore degli strati liquefacibili e della loro prossimità alla superficie libera, nonché della distanza dal valore unitario del fattore di sicurezza FS calcolato.

L'indice LPI è calcolato con la seguente formula

$$\mathbf{LPI = \int_0^{20} (10-0{,}5z) * F_L * dz}$$

dove

- z è la profondità della misura (in metri dal p.c.)
- F è una funzione del fattore di sicurezza (Fs) in funzione della profondità (z)

$$\mathbf{F_L\,(z) = 1 - Fs\,(z) \quad per\ Fs\,(z) <= 1}$$
$$\mathbf{F_L\,(z) = 0 \quad per\ Fs\,(z) > 1}$$

- L'indice viene valutato generalmente integrando su uno spessore totale di m. 20,0 dal piano campagna ($\int_0^{20}$), poiché in letteratura sono rari i fenomeni di liquefazione avvenuti a profondità maggiori.

I valori del LPI possono essere compresi fra un minimo di 0 ed un massimo di 100 in funzione del numero di livelli suscettibili di liquefazione individuati.

Iwasaki ha proposto una valutazione del rischio legato alla liquefazione basato su quattro distinte categorie, come di seguito riportate:

LPI=0	**Rischio di liquefazione molto basso**
0<LPI≤5	**Rischio di liquefazione basso**
5<LPI≤15	**Rischio di liquefazione alto**
LPI≥15	**Rischio di liquefazione molto alto**

Valori crescenti dell'indice LPI indicano conseguenze potenzialmente più gravi sul terreno in oggetto e sulle strutture con esso interagenti.

7.1.2 Risultati delle verifiche a liquefazione da prove CPT

In base alle metodologie descritte nei paragrafi precedenti, sono state effettuate le verifiche numeriche per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni indagati mediante prove CPT.

I parametri di input utilizzati sono i seguenti:

- **Mw (Magnitudo) = 6,14** (massimo valore di magnitudo associato alla zona-sorgente 914)
- **P.G.A. = 0,47 g** (massimo valore di PGA derivante dalla combinazione del fattore di amplificazione FA PGA – vedi §8.1 - ed il valore a_{gR} accelerazione orizzontale di picco su roccia o terreno rigido di riferimento).
- Si è ipotizzato che durante il sisma il livello piezometrico si trovi ad una profondità di soggiacenza pari a m. 1,0 dal p.c.

Come si evince dalle tabelle e dai grafici relativi alle suddette verifiche, e riportati in allegato al presente documento, non si riscontra la presenza di strati di terreno potenzialmente liquefacibili.

Le valutazioni del potenziale di liquefazione, condotte secondo la metodologia proposta da (**Iwasaki et alii, 1978),** hanno evidenziato che **i terreni che costituiscono il sottosuolo del sito in oggetto presentano un potenziale di liquefacibilità molto basso/basso**.

Prova	LPI	Rischio
CPT-1	**0,0**	**Molto basso**
CPT-2	**0,0**	**Molto basso**
CPT-3	**0,0**	**Molto basso**

I medesimi valori, rapportati alle **Classi di Potenziale di Liquefazione** (Sonmez, 2003) evidenziano un **potenziale di liquefazione basso:**

Prova	LPI	Sonmez, 2003
CPT-1	**0,0**	**Basso**
CPT-2	**0,0**	**Basso**
CPT-3	**0,0**	**Basso**

7.2 Metodo di Seed & Idriss (1982) – Prove penetrometriche SPT

Questo metodo è basato sulla determinazione della resistenza al taglio mobilitata (CRR) a partire dalle risultanze delle prove SPT in foro:

$$CRR = Na/90$$

In cui:

$$Na = N1 + N'_{SPT} * 1,7/(0,7 + \sigma'v)$$

Dove:

N'_{SPT} = numero di colpi della prova SPT corretto

$\sigma'v$ = tensione litostatica verticale efficace

N1 = 0 se d_{50} > 0,25 mm

N1 = 7,5 se d_{50}< 0,25 mm

Con d_{50}: diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50% espresso in mm

Il calcolo della CSR viene invece determinato come al paragrafo precedente (Seed & idriss, 1971), con la particolarità che il valore del parametro **rd** (coefficiente riduttivo dell'azione sismica) è stato calcolato nel modo seguente:

- se z > 30,0 rd = 1 - (0.015*z)
- se 30,0 < z < 23,0 rd = 0,774 – (0,008*z)
- se 23,0 < z < 9,15 rd = 1,174 - (0,0267*z)
- se z < 9,15 rd = 1,0 – (0,00765*z)

Dove z corrisponde alla profondità di esecuzione della prova, espressa in metri.

7.2.1 Risultati delle verifiche condotte sul sito in oggetto

1) Nel caso in esame, **le verifiche sono state condotte** sulla base delle risultanze delle prove SPT realizzate all'interno dei fori di sondaggio in occasione della campagna di indagine svolta nell'area Ex Pempa.

2) 2) Nell'ambito di tali verifiche, **la profondità di soggiacenza della falda idrica sotterranea è stata imposta pari a m. 1,0 dal piano campagna locale**.

3) La verifica a liquefazione del deposito è effettuata in **condizioni di free-field** (cioè assenza di manufatti e/o sovraccarichi strutturali sulla superficie del deposito).

4) Il valore utilizzato pe dell'$\mathbf{a_{max}/g = 0,47.}$

5) Le verifiche a liquefazione sono state condotte assumendo una **magnitudo di riferimento** (**Mw**) **pari a 6,14**.

Come si desume dai risultati tabellari riportati nel foglio di calcolo allegato alla presente, i coefficienti di sicurezza Fs calcolati indicano, in tutti i casi, valori maggiori a 1,0; pertanto i terreni sottoposti a verifica non presentano, nelle condizioni di sisma ipotizzate, caratteristiche predisponenti ai fenomeni di liquefazione.

8 Seconda fase di analisi (ai sensi della D.G.R. 2193/2015)

8.1 Valutazione della risposta sismica locale e microzonazione sismica dell'area in oggetto

Sulla base di quanto emerso dai risultati delle indagini effettuate direttamente nel sito oggetto di POC (via cesena) e di quelle prese in esame realizzate nel limitrofo lotto "Ex Pempa" si può affermare che:

- le verifiche numeriche per la valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione hanno dato esiti negativi;
- poiché sulla base dei risultati dei sondaggi eseguiti nell'area limitrofa (Ex Pempa) l'IP i terreni coesivi sovrastanti le ghiaie assumono valori generalmente < 30%, non si è ritenuto necessario in questa effettuare la quantificazione della stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica nei suddetti terreni[1];
- l'area in oggetto è pianeggiante;

di conseguenza, **la microzonazione sismica dell'area in esame è stata condotta con le metodologie proprie del II livello di approfondimento (analisi semplificata), secondo quanto previsto dalla D.G.R. 2193/2015 al § 4.1.**

Secondo quanto riportato nel §A2.1 del succitato allegato A2, "*per calcolare i Fattori di Amplificazione…devono essere realizzate indagini geotecniche e geofisiche che permettano la definizione dello spessore del deposito di copertura o la profondità del substrato rigido (H) e della*

[1] In fase di progettazione e realizzazione dei futuri interventi diretti sarà necessario valutare e approfondire tale aspetto, in ragione anche delle caratteristiche costruttive delle opere, con particolare riferimento alla tipologia e geometria delle fondazioni, nonché alle azioni di progetto previste

velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (Vs_H e V_s30)", secondo la formula di seguito riportata:

$$Vs_H = H / \Sigma^N{}_{i=1}(h_i/Vs_i)$$

Dove

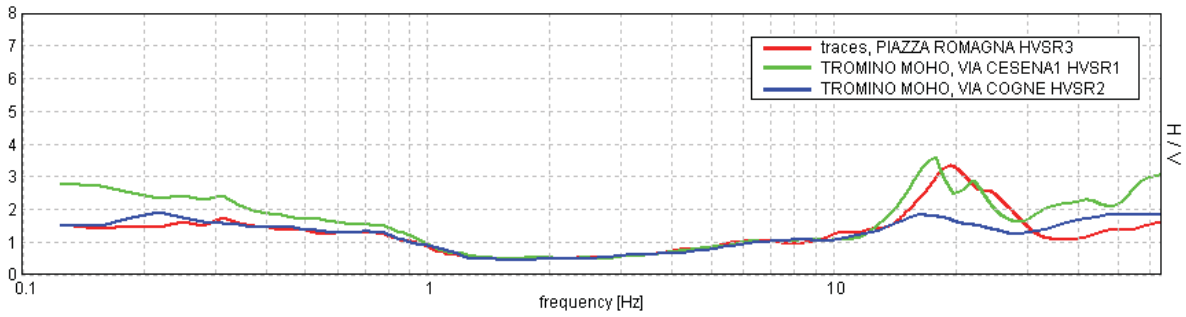
N è il numero degli strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura

H è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato rigido

h_i è lo spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al substrato rigido)

Vs_i è la velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al substrato rigido)

In corrispondenza del sito in oggetto, le indagini effettuate hanno evidenziato, in primo luogo, la presenza di ridotti spessori di terreni fini (3-4 metri circa) che sovrastano strati di ghiaie amalgamate con spessori decametrici. Il contatto fra queste due litologie si traduce in un importante variazione di impedenza evidenziata nelle registrazioni HVSR realizzate presso il sito in oggetto e nelle aree circostanti (vedi grafico sotto riportato).



Da quanto si osserva dal grafico sopra riportato, il picco principale del rapporto H/V risulta situato fra circa 15 e 25 Hz, corrispondente al contatto fra i terreni fini superficiali e il banco di ghiaia sottostante.

Il secondo picco, situato fra circa 0,7-0,9 Hz individua un ulteriore contrasto di impedenza presumibilmente situato a profondità superiori ai 100-120 metri dal p.c. Tale profondità risulta compatibile con il tetto della Formazione marina delle Sabbie Gialle (IMO) che costituisce in questo caso il substrato geologico (vedi sezione 081 CARG).

Di conseguenza, l'assetto stratigrafico del sito in oggetto, è riconducibile all'ambito di MARGINE *"settore di transizione fra la zona collinare … e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini, sovrastanti orizzonti grossolani"; il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche.*

In particolare, l'ambito in oggetto è assimilabile a **MARGINE tipo A**, "*caratterizzato da spessore di terreni fini sovrastanti orizzonti grossolani inferiore a 30 m.; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico*".

I parametri da adottare per effettuare la selezione dei fattori di amplificazione risultano:
H = m. 3,0-3,4 (spessore terreni fini superficiali).
V_{SH} = 157 m/s (media pesata delle velocità delle onde di taglio nei depositi fini).

La determinazione dei **fattori di amplificazione sismica**, è stata quindi effettuata sulla base degli abachi riportati al § A2.1.1 dell'Allegato A2 alla già citata delibera e, più in particolare, "*MARGINE tipo A*".

	150	200	250	300	350	400
5	2.3	2.1	1.8	1.5		
10	2.3	2.2	2.0	1.8		
15	2.1	2.1	2.0	1.8		
20	2.1	2.1	2.0	1.9		
25	2.0	2.0	2.0	1.9		
30	1.9	1.9	1.9	1.9		

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 $H\,(m)$, riga 1 $Vs_H\,(m/s)$

	150	200	250	300	350	400
5	2.2	1.9	1.7	1.6		
10	2.6	2.4	2.0	1.8		
15	2.6	2.5	2.2	1.9		
20	2.5	2.5	2.3	2.0		
25	2.3	2.3	2.2	2.1		
30	2.1	2.1	2.1	2.0		

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H\,(m)$, riga 1 $Vs_H\,(m/s)$

	150	200	250	300	350	400
5	1.8	1.7	1.6	1.6		
10	2.3	2.0	1.8	1.7		
15	3.2	2.6	2.1	2.0		
20	3.5	3.1	2.5	2.1		
25	3.7	3.4	2.8	2.4		
30	3.6	3.5	3.0	2.6		

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H\,(m)$, riga 1 $Vs_H\,(m/s)$

Sulla base dei valori di Vs_{30} ottenuti dalle indagini geofisiche realizzate, si può stabilire che i valori dei Fattori di Amplificazione litologici, in corrispondenza del sito in oggetto, sono:

- F.A. P.G.A. = 2,3
- F.A. intensità spettrale (0,1s<T_0<0,5s) = 2,2
- F.A. intensità spettrale (0,5s<T_0<1,0s) = 1,8

Gli effetti della topografica possono essere trascurati per pendii con inclinazione media <15° (Allegato A 2.2, DGR 2193/2015).

Di seguito si riportano le cartografie sintetiche in cui sono evidenziati i fattori di amplificazione secondo quanto richiesto dalla DGR 2193/2015.

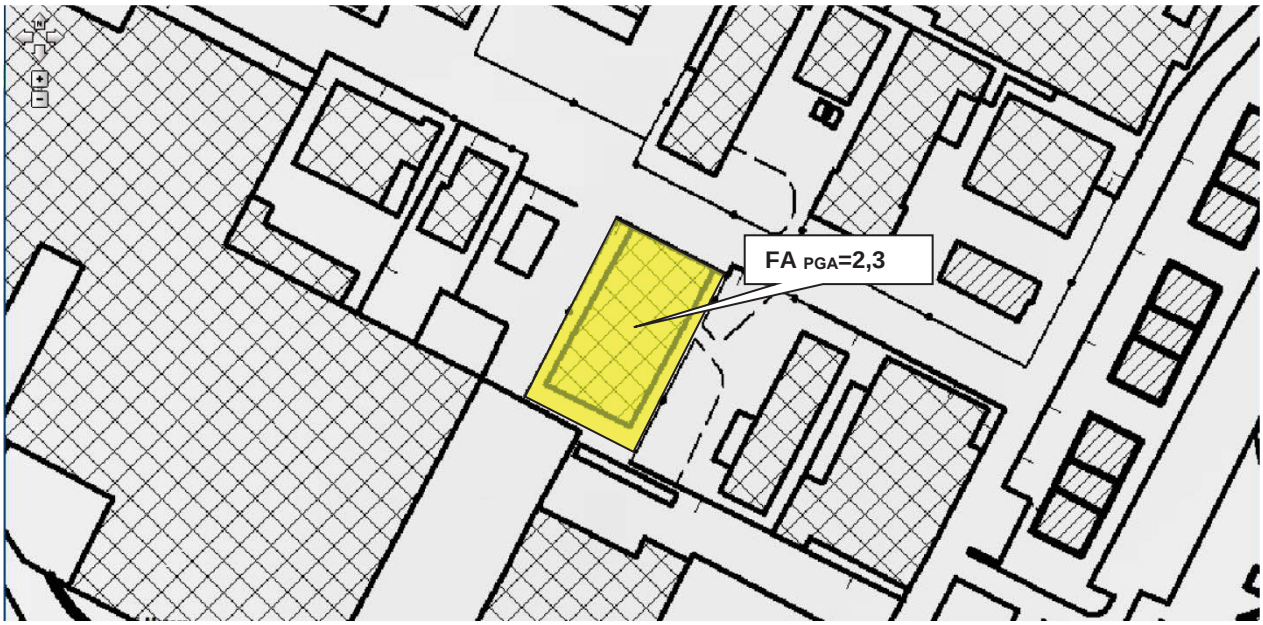


Fig. 21: Carta dei fattori di amplificaizone FA PGA relativi all'area in oggetto



Fig. 22: Carta dei fattori di amplificaizone $FA_{0,1-0,5s}$ *relativi all'area in oggetto*



Fig. 23: Carta dei fattori di amplificaizone $FA_{0,5\text{-}1,0s}$ *relativi all'area in oggetto*

8.2 Considerazioni in merito alle frequenze proprie del sottosuolo

Quanto fin qui esposto non offre alcuna indicazione relativa alla frequenza principale di risonanza del sottosuolo del sito in oggetto, che costituisce uno dei parametri fondamentali per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale.

Gli effetti sismici di sito sono causati prevalentemente da amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche o topografiche: in particolare, qualora un'onda sismica incidente funga da funzione di eccitazione dei terreni presenti nel primo sottosuolo di un sito, tali terreni possono essere indotti a vibrare alla loro frequenza propria, con un'ampiezza limitata solo dal fattore di dissipazione intrinseca (Mulargia, et al., 2007). Se la frequenza di risonanza del suolo viene a coincidere con quella delle strutture su di esso edificate, può prodursi il fenomeno della doppia risonanza che si traduce in un'amplificazione delle onde sismiche e nell'induzione di sollecitazioni con forte potere distruttivo.

Le indagini tromografiche condotte con metodologia HVSR a stazione singola hanno evidenziato alcuni picchi del rapporto H/V: tali picchi sono da considerarsi legati alla presenza di discontinuità sismiche nel sottosuolo e sono indicativi delle frequenze di risonanza dei terreni presenti, per quanto non siano ad esse riconducibili in modo semplice (Mulargia, et al., 2007).

Di seguito si riporta il valore di frequenza in corrispondenza del quale sono stati individuati i picchi del rapporto H/V.

Indagine	Picchi H/V
HVSR-1 (via Cesena)	**0,8-1,1 Hz; 9,5-12,0 Hz**
HVSR-2 (via Cogne)	**0,8-1,1 Hz; 9,5-12,0 Hz**
HVSR-3 (Piazza Romagna)	**0,8-1,1 Hz; 9,5-12,0 Hz**

E' doveroso sottolineare che "*l'ampiezza del picco H/V […] non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice*" (Mulargia, et al., 2007) e non costituisce, pertanto, una indicazione diretta della pericolosità connessa a ciascuna frequenza.

Imola, 29 novembre 2017

Dott. Geol. Tiziano Righini

Dott. Geol. Carlo Berti Ceroni

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT-1

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20												
2	0,40	CI	104,6	117,6	6,3	22,8	>9	20,1	20,9	88,8	45,0	6,3	180,02
3	0,60	C	39,2	43,9	4,6	12,5	5,5	18,5	19,3	--	--	--	143,49
4	0,80	C	45,8	51,1	4,7	13,8	6,5	18,7	19,5	--	--	--	159,57
5	1,00	C	49,0	54,7	4,7	14,4	7,0	18,9	19,6	--	--	--	170,32
6	1,20	C	68,6	76,6	4,1	17,6	9,0	19,4	20,2	--	--	--	188,44
7	1,40	C	68,6	76,4	4,1	17,6	9,0	19,4	20,2	--	--	--	194,66
8	1,60	C	101,3	113,1	6,1	22,4	9,0	20,1	20,8	--	--	--	214,69
9	1,80	C	127,5	142,3	7,6	25,8	9,0	20,4	21,2	--	--	--	229,23
10	2,00	C	127,5	142,2	7,6	25,8	9,0	20,4	21,2	--	--	--	234,09
11	2,20	C	140,6	156,7	8,4	27,3	9,0	20,6	21,4	--	--	--	242,73
12	2,40	C	160,2	178,6	9,6	29,6	9,0	20,8	21,6	--	--	--	252,75
13	2,60	C	98,1	108,6	5,9	21,9	9,0	20,0	20,8	--	--	--	234,77
14	2,80	C	104,6	115,8	6,3	22,8	9,0	20,1	20,9	--	--	--	240,75
15	3,00	C	107,9	119,3	6,5	23,3	9,0	20,1	20,9	--	--	--	245,13
16	3,20	I	--	--	239,8	89,2	>9	18,6	21,6	100,0	40,7	58,4	478,48
17	3,40	I	--	--	362,8	114,8	>9	0,0	0,0	100,0	42,4	88,3	535,01

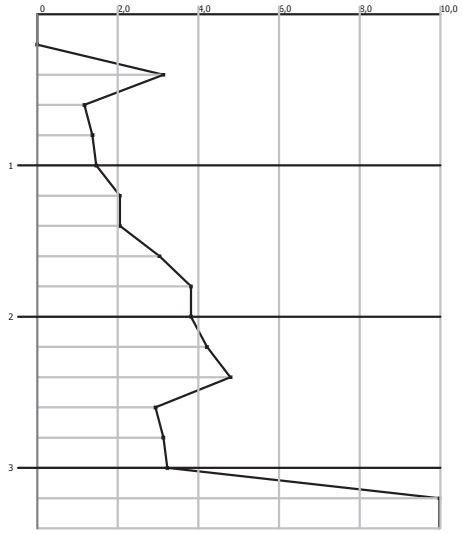
GEO-NET S.R.L.
VIA GRIECO. 9/B
40026 IMOLA (BO)
www.geo-net.it

Probe CPT - Cone Penetration CPT-1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

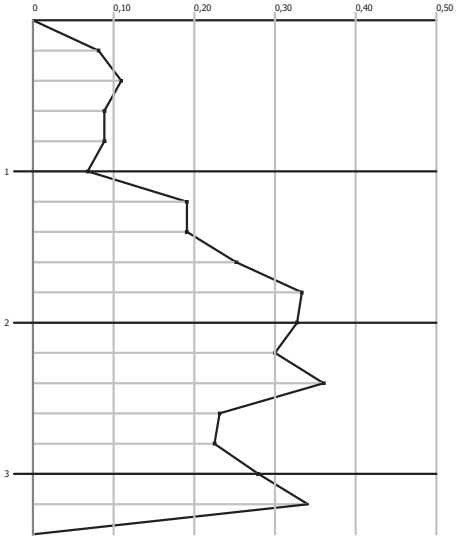
Committente:
SIG. BACCHILEGA RENATO
Cantiere: POC - VIA CESENA
Località: IMOLA (BO)

Data: 23/11/2017

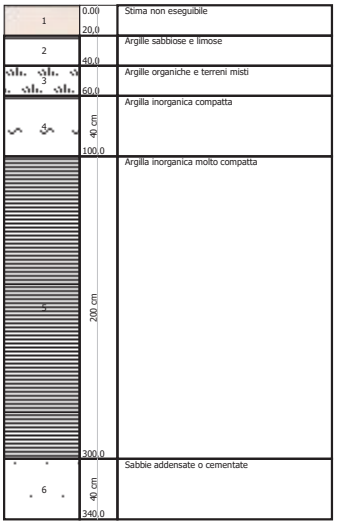
Resistenza punta Qc (Mpa)



Resistenza laterale Fs (Mpa)



Interpretazione Stratigrafica (Schmertmann 1978)



Scala profondità 1:50 - Qc: 1 cm=1,88 Mpa - Fs: 1 cm=0,09 Mpa -

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT-2

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20	C	0,5	0,5	0,1	0,8	0,5	11,0	11,8	--	--	--	52,03
2	0,40	CI	297,9	335,0	17,9	43,3	>9	21,8	22,6	100,0	45,0	17,9	264,03
3	0,60	C	78,9	88,4	4,7	19,2	9,0	19,7	20,4	--	--	--	175,62
4	0,80	C	59,3	66,2	4,5	16,1	8,6	19,2	20,0	--	--	--	176,22
5	1,00	C	42,9	47,7	4,7	13,2	6,1	18,6	19,4	--	--	--	172,97
6	1,20	C	53,2	59,1	4,7	15,1	7,6	19,0	19,8	--	--	--	185,61
7	1,40	C	59,7	66,3	4,5	16,2	8,6	19,2	20,0	--	--	--	194,69
8	1,60	C	56,5	62,5	4,6	15,7	8,1	19,1	19,9	--	--	--	197,21
9	1,80	C	63,0	69,7	4,3	16,7	9,0	19,3	20,0	--	--	--	205,25
10	2,00	C	95,7	106,3	5,7	21,6	9,0	20,0	20,7	--	--	--	225,47
11	2,20	C	102,7	114,0	6,2	22,6	9,0	20,1	20,9	--	--	--	232,22
12	2,40	C	106,0	117,6	6,4	23,0	9,0	20,1	20,9	--	--	--	237,11
13	2,60	C	119,0	132,1	7,1	24,7	9,0	20,3	21,1	--	--	--	245,55
14	2,80	C	128,8	143,0	7,7	25,9	9,0	20,4	21,2	--	--	--	252,32
15	3,00	C	132,1	146,5	7,9	26,3	9,0	20,5	21,3	--	--	--	256,52
16	3,20	CI	534,6	599,2	32,1	61,8	>9	22,8	23,6	86,7	37,5	32,1	414,53
17	3,40	CI	727,5	816,0	43,6	74,6	>9	23,3	24,1	94,4	38,6	43,7	451,94
18	3,60	I	--	--	221,5	85,0	>9	18,6	21,6	99,5	39,4	54,0	480,62
19	3,80	I	--	--	363,1	114,8	>9	0,0	0,0	100,0	41,5	88,4	547,47

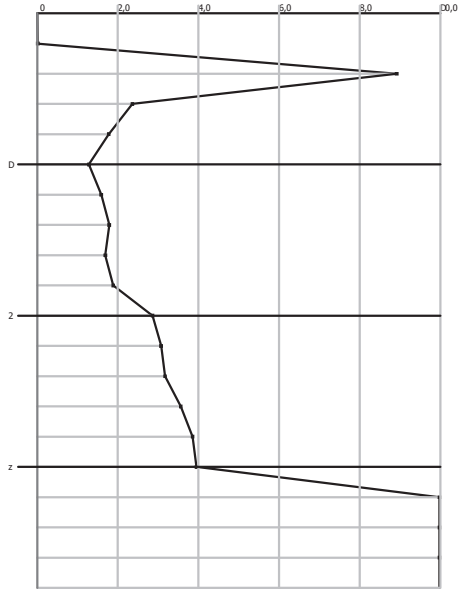
GEO-NET S.R.L.
VIA GRIECO. 9/B
40026 IMOLA (BO)
www.geo-net.it

Probe CPT - Cone Penetration CPT-2
Str1u ento 1tin hlato PAGANI TG 6z (200 3N)

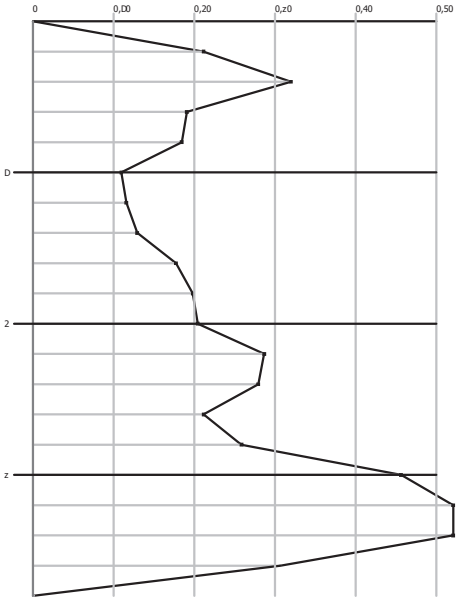
Cou u ittentek
SIG. BACC: ILEGA RENATO
Cantierek POC - VIA CESENA
Locanitak IMOLA (BO)

Hatak 2z/DC/2007

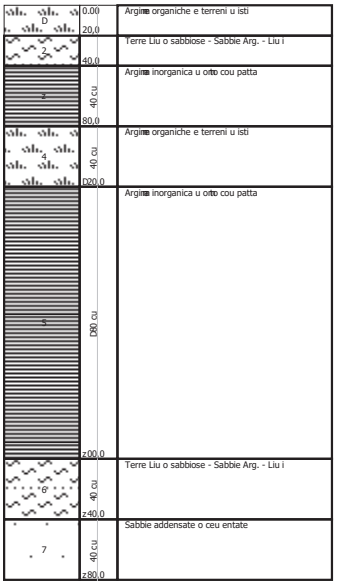
Resisteni a p1nta Qc (Mpa)



Resisteni a nteram Fs (Mpa)



Interpretal ione Stratigrafica (Schu ertu ann D978)



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT-3

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (KPa)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)
Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (KN/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Mpa)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20												
2	0,40	C	81,7	91,9	4,9	19,6	9,0	19,7	20,5	--	--	--	137,69
3	0,60	C	49,0	54,9	4,7	14,4	7,0	18,9	19,7	--	--	--	149,24
4	0,80	C	45,8	51,1	4,7	13,8	6,5	18,7	19,5	--	--	--	159,57
5	1,00	C	49,0	54,7	4,7	14,4	7,0	18,9	19,6	--	--	--	170,32
6	1,20	C	39,2	43,5	4,6	12,5	5,5	18,5	19,3	--	--	--	170,16
7	1,40	C	36,0	39,7	4,5	11,9	5,0	18,3	19,1	--	--	--	172,79
8	1,60	C	26,2	28,5	3,8	9,8	3,5	17,8	18,6	--	--	--	167,35
9	1,80	C	39,2	43,1	4,6	12,5	5,5	18,5	19,3	--	--	--	184,11
10	2,00	C	55,6	61,3	4,6	15,5	8,0	19,0	19,8	--	--	--	200,05
11	2,20	C	62,1	68,5	4,3	16,6	9,0	19,2	20,0	--	--	--	207,85
12	2,40	C	91,5	101,5	5,5	21,0	9,0	19,9	20,7	--	--	--	226,71
13	2,60	C	85,0	94,0	5,1	20,1	9,0	19,8	20,5	--	--	--	227,12
14	2,80	C	98,1	108,5	5,9	21,9	9,0	20,0	20,8	--	--	--	236,35
15	3,00	C	55,6	60,6	4,6	15,5	8,0	19,0	19,8	--	--	--	215,96
16	3,20	C	71,9	78,8	4,3	18,1	9,0	19,5	20,2	--	--	--	228,90
17	3,40	C	85,0	93,4	5,1	20,1	9,0	19,7	20,5	--	--	--	238,54
18	3,60	I	--	--	294,8	101,1	>9	18,6	21,6	100,0	41,3	71,8	509,64
19	3,80	I	--	--	384,6	118,9	>9	0,0	0,0	100,0	42,3	93,6	548,79

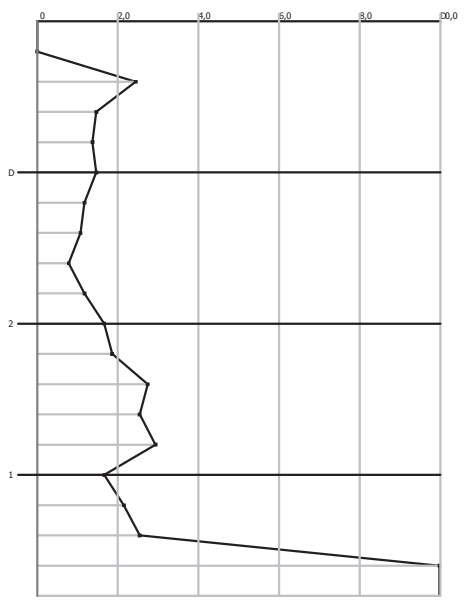
GEO-NET S.R.L.
VIA GRIECO. 9/B
40026 IMOLA (BO)
www.geo-net.it

Probe CPT - Cone Penetration CPT-1
Strumento utilizzato PAGANI TG 61 (200 3N)

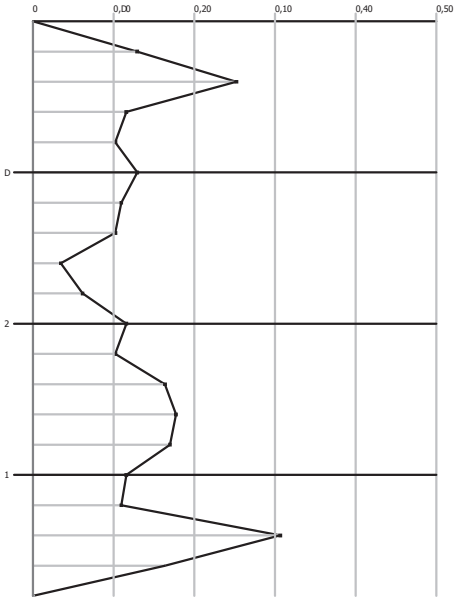
Committentek
SIG. BACC: ILEGA RENATO
Cantierek POC - VIA CESENA
Localitàk IMOLA (BO)

Hatak 21/DD/2007

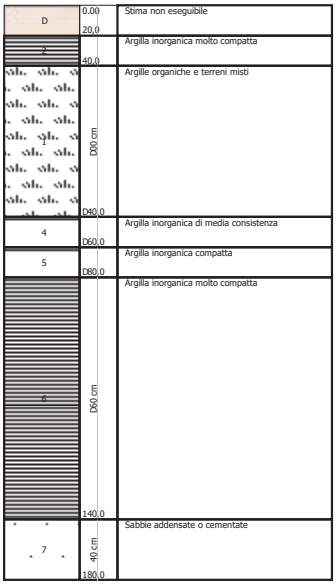
Resistenza punta Qc (Mpa)



Resistenza laterale Fs (Mpa)



Interpretazione Stratigrafica (Schmertmann D978)



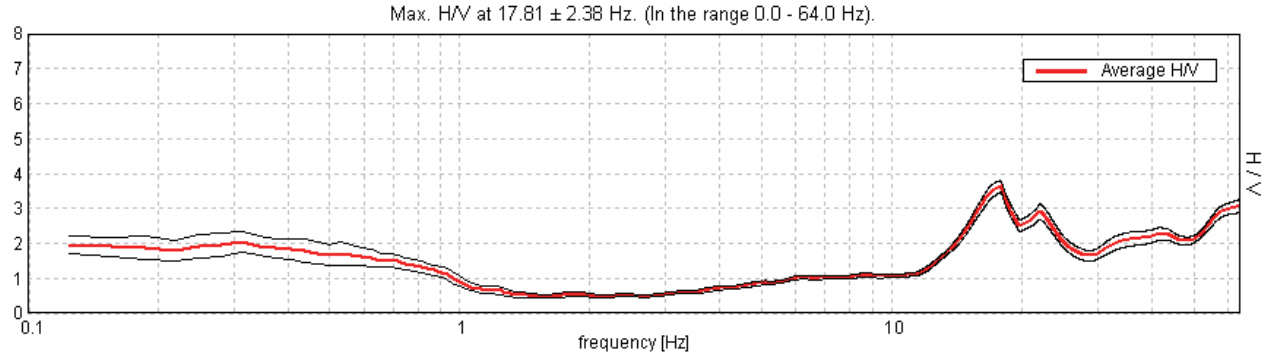
Scala profondità D¥50 - Qck D cm=D,88 Mpa - Fsk D cm=0,09 Mpa -

TROMINO MOHO, VIA CESENA1 HVSR1

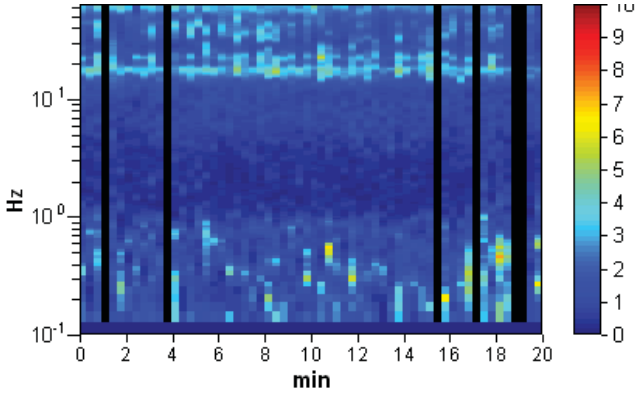
Instrument: TEP-0123/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 19/11/17 12:01:31 End recording: 19/11/17 12:21:32
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00''. Analyzed 90% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

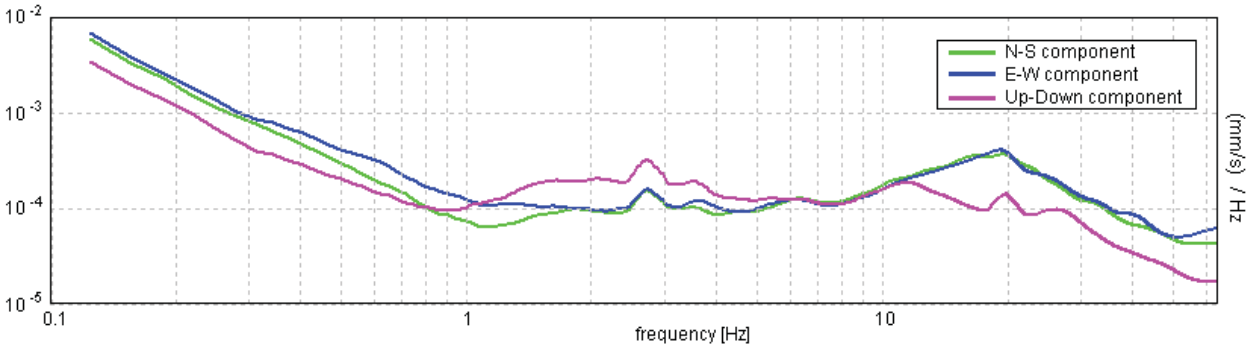
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



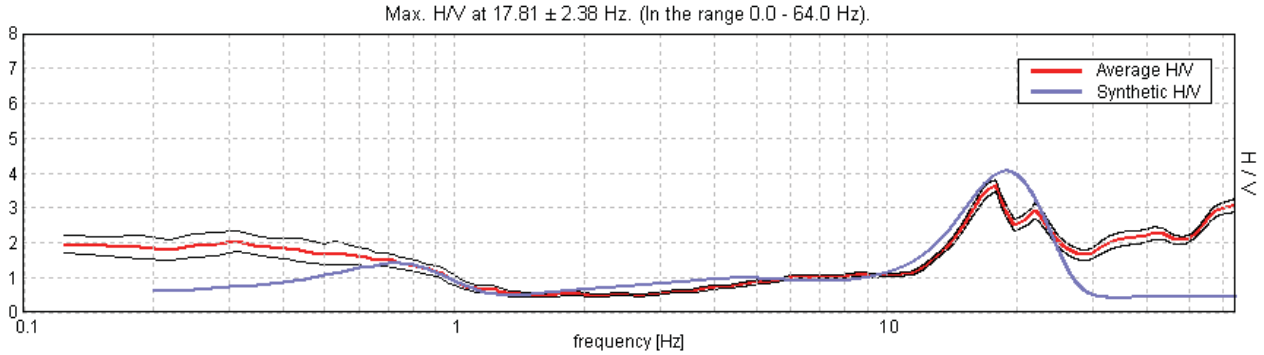
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

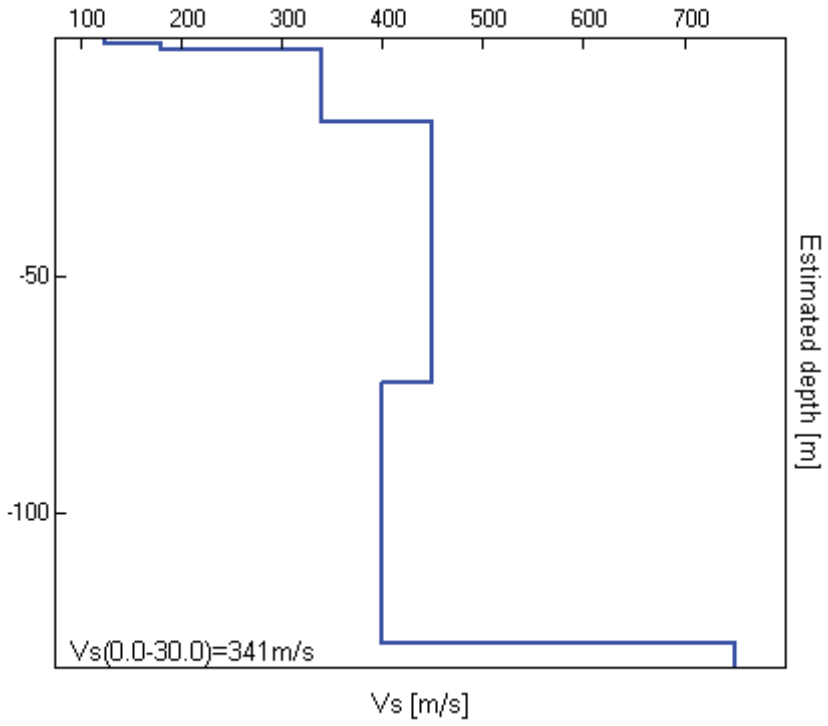


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	125	0.39
2.40	1.40	180	0.39
17.40	15.00	340	0.39
72.40	55.00	450	0.39
127.40	55.00	400	0.39
inf.	inf.	750	0.39

Vs(0.0-30.0)=341m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 17.81 ± 2.38 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	17.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	19237.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 856 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	13.594 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	26.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.63 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.13355| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.37885 < 0.89063		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1695 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

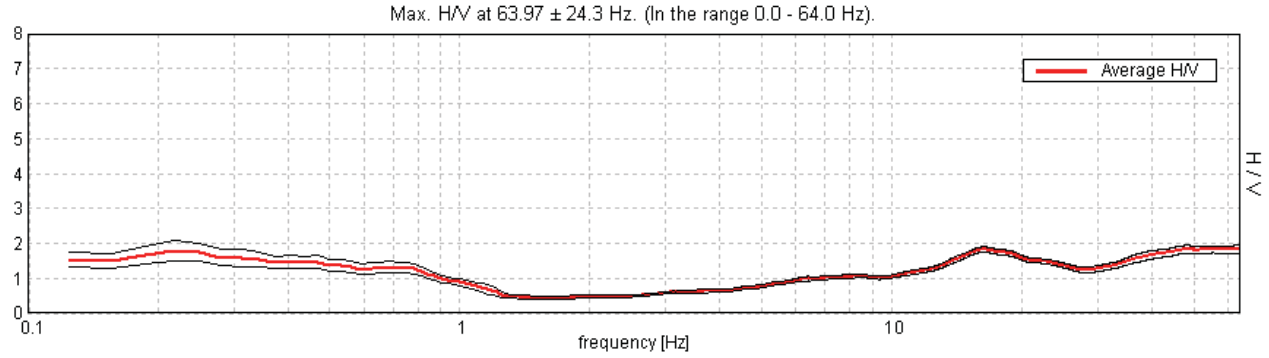
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TROMINO MOHO, VIA COGNE HVSR2

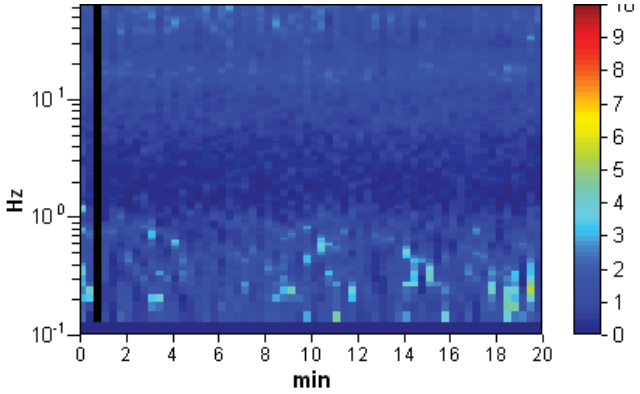
Instrument: TEP-0123/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 19/11/17 12:38:29 End recording: 19/11/17 12:58:29
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00''. Analyzed 98% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

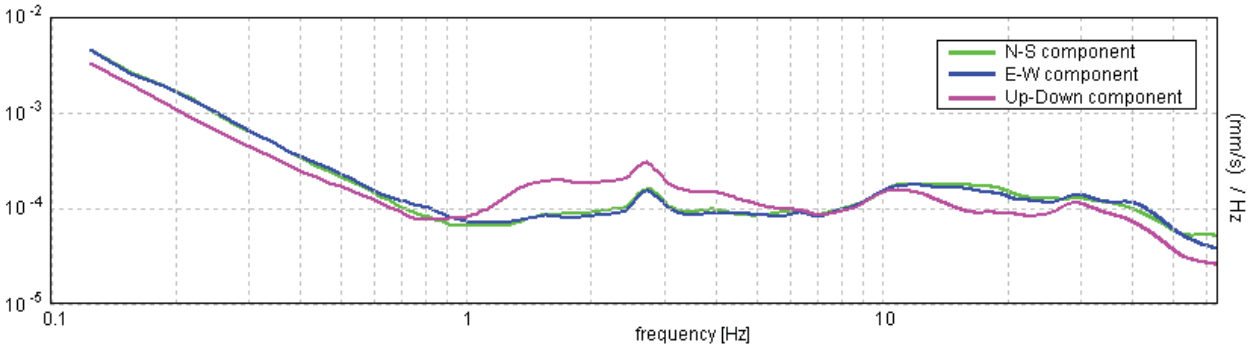
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



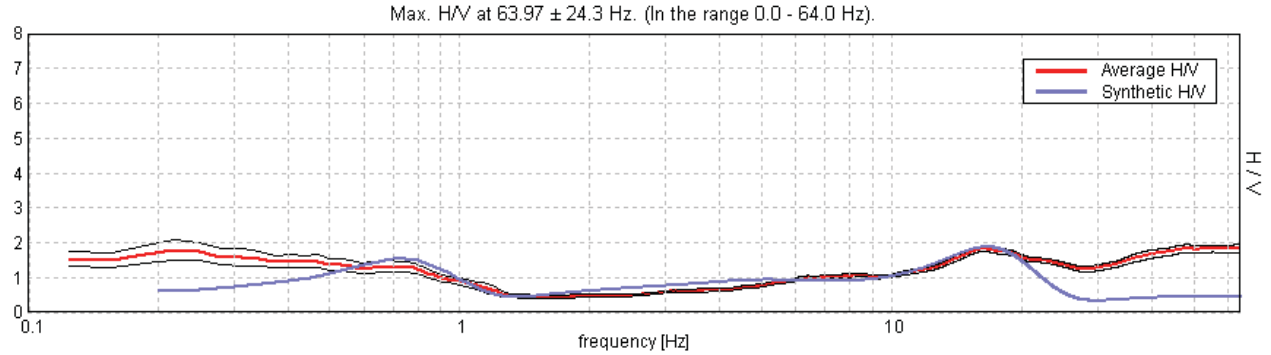
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

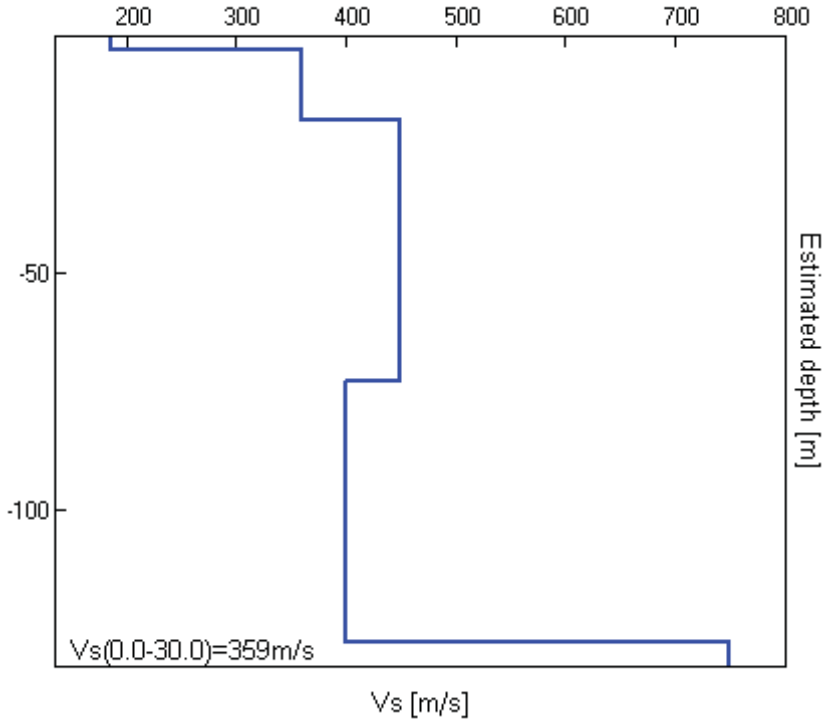


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.70	2.70	185	0.42
17.70	15.00	360	0.42
72.70	55.00	450	0.42
127.70	55.00	400	0.42
inf.	inf.	750	0.42

Vs(0.0-30.0)=359m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 63.97 ± 24.3 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	75483.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.85 > 2		NO
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.37981| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	24.2958 < 3.19844		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1338 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

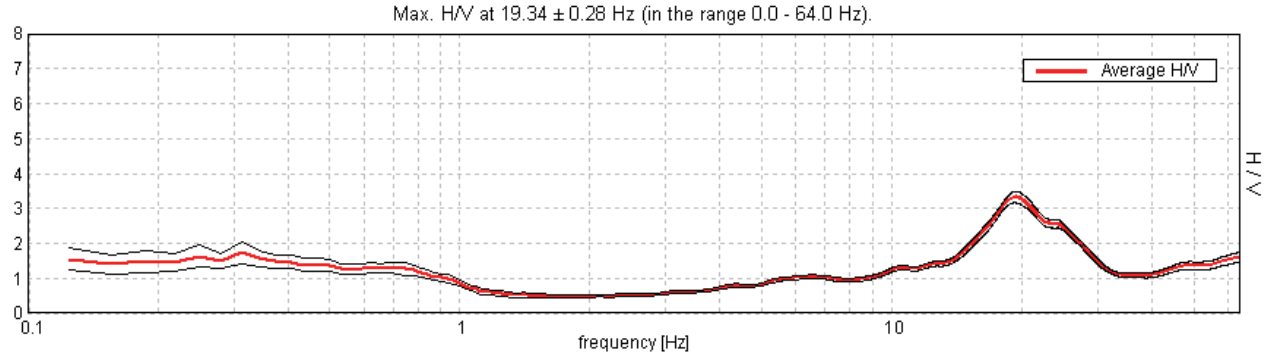
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TRACES, PIAZZA ROMAGNA HVSR3

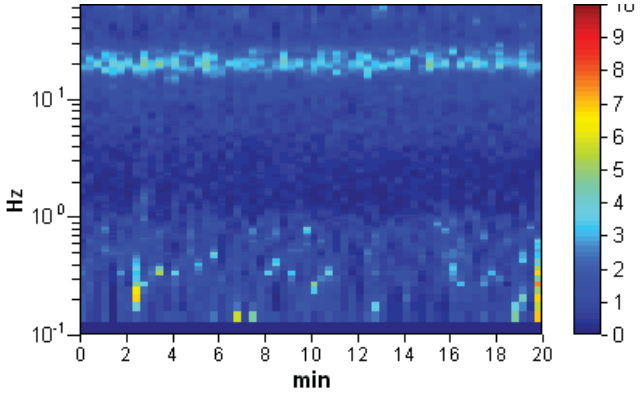
Instrument: TEP-0123/01-10
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 19/11/17 13:09:03 End recording: 19/11/17 13:29:04
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00''. Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

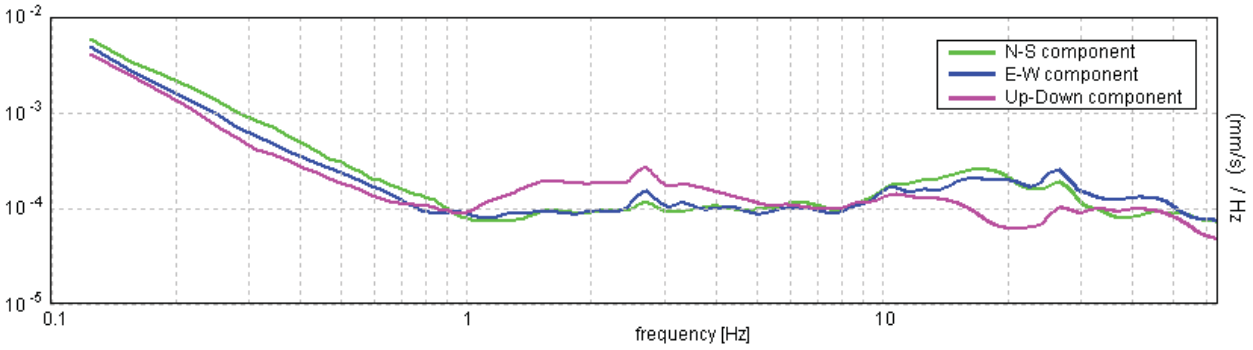
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



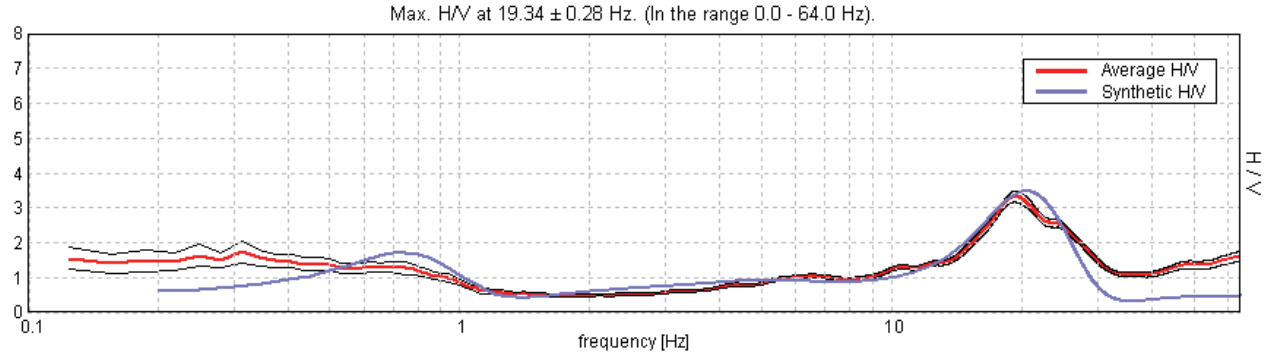
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

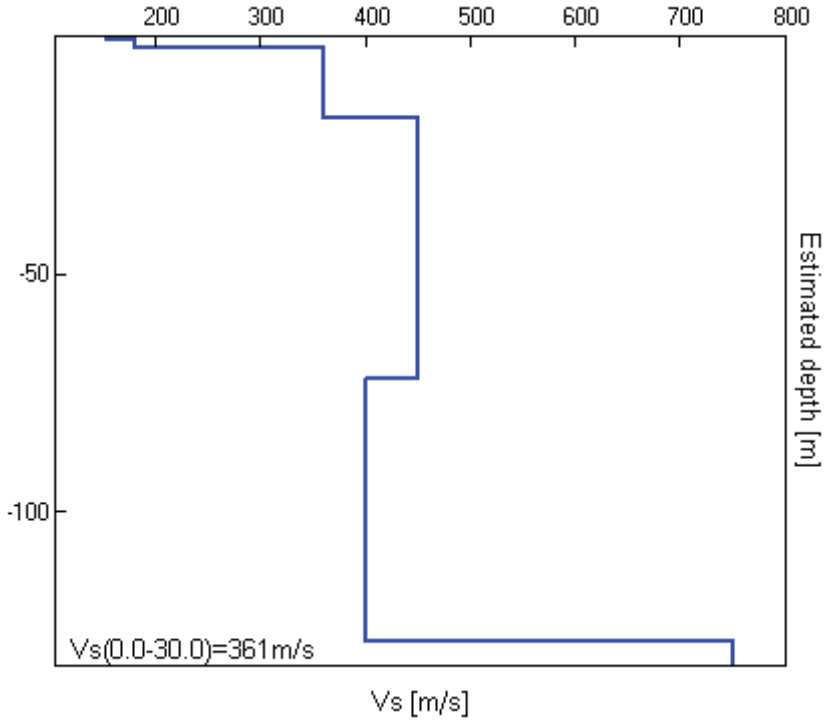


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.80	0.80	155	0.42
2.20	1.40	180	0.45
17.20	15.00	360	0.45
72.20	55.00	450	0.45
127.20	55.00	400	0.45
inf.	inf.	750	0.42

Vs(0.0-30.0)=361m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 19.34 ± 0.28 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	19.34 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	23212.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 930 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	14.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	29.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.33 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.01464| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.2831 < 0.96719	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1664 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

COMUNE DI IMOLA

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (Vs_{30}) dei terreni costituenti l'area di via Cesena.

GEOTEA s.r.l.
Geologia Territorio Ambiente

GEOTEA SRL
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail geotea.srl@database.it



Committente: *GEO-NET S.R.L.*

Dott. Geol. Stefano Maggi

Data indagine 23/11/2017

Commessa 17.263

MOD PROD06 B REV01

SOMMARIO……

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO _____ 3

3 PREMESSE _____ 4

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI _____ 5

4.1 Introduzione generale _____ 5

4.2 Tecnica MASW _____ 6

4.3 Tecnica Re.Mi. _____ 7

4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata _____ 7

5 Risultati indagine _____ 9

5.1 TECNICA IN ARRAY _____ 9

5.2 TECNICA HVSR _____ 10

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO _____ 12

7 CONCLUSIONI _____ 13

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- Il presente documento viene identificato con il numero 17.263 rev. n°0;
- Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Stefano Maggi;
- Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 24/11/2017;
- Il documento si compone di n°13 fogli

EME E

Presso l'area di via Cesena nel comune di Imola (BO), in data 23/11/2017 è stata effettuata un'indagine geofisica mediante prova in array con tecnica *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves)*, Re.Mi. (*Refraction Microtremor*) e misura a stazione singola con tecnica *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (Vs) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).

- N. 1 profilo sismico in array con tecnica MASW-ReMi.
- N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR (HVSR1)

Per quanto riguarda la prova in array l'acquisizione è stata effettuata mediante sismografo digitale modello Dolang 24 canali 24 bit. La misura a stazione singola è stata eseguita con tromografo digitale modello Tromino® Engy.
Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

DE C IZIONE DELLE INDA INI

4.1 Introduzione generale

Le tecniche basate sullo studio della propagazione delle onde superficiali vengono introdotte per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica negli anni novanta. Le tecniche MASW, Re.Mi., ESAC sono metodi di indagine mediante i quali è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (*Vs*) in relazione alla profondità (*Vs versus profondità*), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde *R*). Tali tecniche permettono quindi di ottemperare a quanto previsto nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro Vs_{30}. La classificazione prevista per i terreni comprende cinque categorie definite da una simbologia alfanumerica da *A* ad *E* e successive integrazioni *S1* e *S2*. A ciascuna di queste categorie corrisponde una valutazione quantitativa della risposta sismica dei terreni sottoposti ad una accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. Il parametro Vs_{30} rappresenta la media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio *S* nei primi 30 metri di sottosuolo indagato e viene espressa matematicamente dalla seguente equazione:

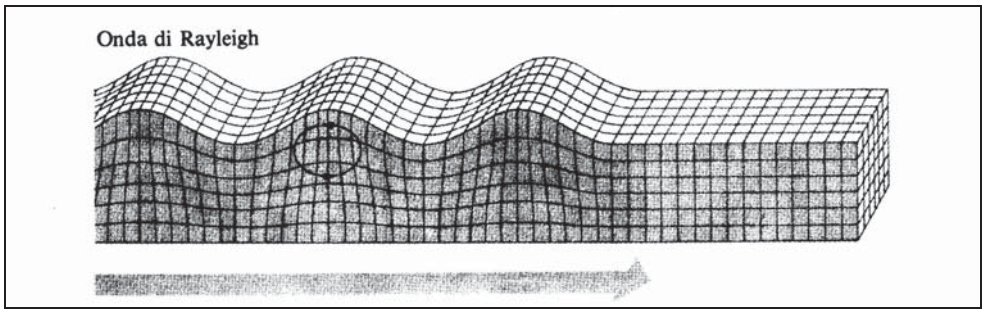
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove V_{S30} : velocità media ponderata delle onde di taglio "S";
hi : spessore dello strato esimo;
Vi : velocità delle onde di taglio "S" nello strato esimo.

Esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di *Rayleigh* (*P+Sv*), si conoscono le onde di *Love* (*Sh*) e le onde di *Lamb*. Le onde di *Rayleigh* rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) *P* e onde di taglio verticali *Sv* ogniqualvolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Le onde *R* si propagano alla superficie libera (vedi Fig. 1) con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $\lambda/2\pi$ (dove λ è la lunghezza d'onda). L'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.
L'utilizzo delle onde superficiali di tipo *Rayleigh* per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio *Vs* è giustificato da una serie di fattori:

- La percentuale di energia convertita in onde *R* è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde *P* (7%) e onde *S* (26%);
- il metodo d'analisi basato sulle onde *R* non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;

- la propagazione delle onde di *Rayleigh*, anche se influenzata dalla *Vp* (velocità delle onde di compressione *P*) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della *Vs* che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.



F **M**

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali e le onde *Rayleigh*, è una caratteristica chiamata *dispersione*. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde *R* questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato. In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda λ (e quindi per una certa frequenza ν) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $\lambda/2.5$) . Inoltre, la velocità delle onde *R* (*Vr*) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (*Vs*).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio *Vs*, ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di *Rayleigh*, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

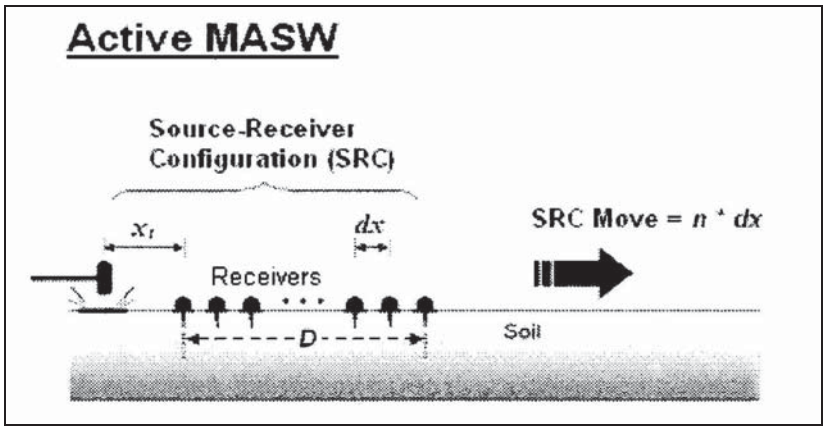
4.2 Tecnica MASW

La procedura *MASW* si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- costruzione della curva di dispersione : grafico velocità di fase *Vr* – frequenza ν,
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della *Vs.*

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori (vedi Fig. 2). L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la

strumentazione DOLANG JEA 24 descritta nelle premesse.



F **2** **MA**

Mediante il software si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro di velocità di fase (trasformata di Fourier) dal quale è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.
Si procede quindi alla definizione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio *S.*
L'elaborazione dei dati acquisiti, avvenuta mediante software Grilla, è riportata in dettaglio nel rapporto d'indagine allegato alla presente relazione.

4.3 Tecnica Re.Mi.

A differenza del convenzionale metodo MASW, il quale prevede l'utilizzo di una sorgente sismica attiva (es: mazza battente), la tecnica Re.Mi. utilizza onde di superficie generate passivamente dall'ambiente circostante. L'origine di questo cosiddetto "rumore di fondo" è sia di tipo naturale (onde oceaniche di marea, perturbazioni atmosferiche) sia di tipo antropico (traffico veicolare, industrie, ferrovie, etc…).
L'utilizzo di profili di geofoni a geometria lineare, genera il problema della sovrastima della velocità di fase (velocità apparente) nello spettro di velocità che si ottiene dall'elaborazione dei dati. La velocità apparente nello spettro deriva dal fatto che la direzione di propagazione delle onde (rumore di fondo) non necessariamente è parallela allo stendimento di geofoni. Per questo motivo la pratica comune prevede che il picking sulla curva di dispersione sperimentale venga eseguito non in corrispondenza del massimo di energia, ma in corrispondenza del bordo inferiore.
Il metodo Re.Mi. eseguito nel presente studio ha sfruttato la stessa geometria di profilo utilizzata per il metodo MASW. Solitamente il campionamento complessivo è della durata di qualche minuto.

4.4 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni

molto deboli (dell'ordine dei µm/s). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

[illegible] ULTATI INDA[illegible] INE

5.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata……Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang

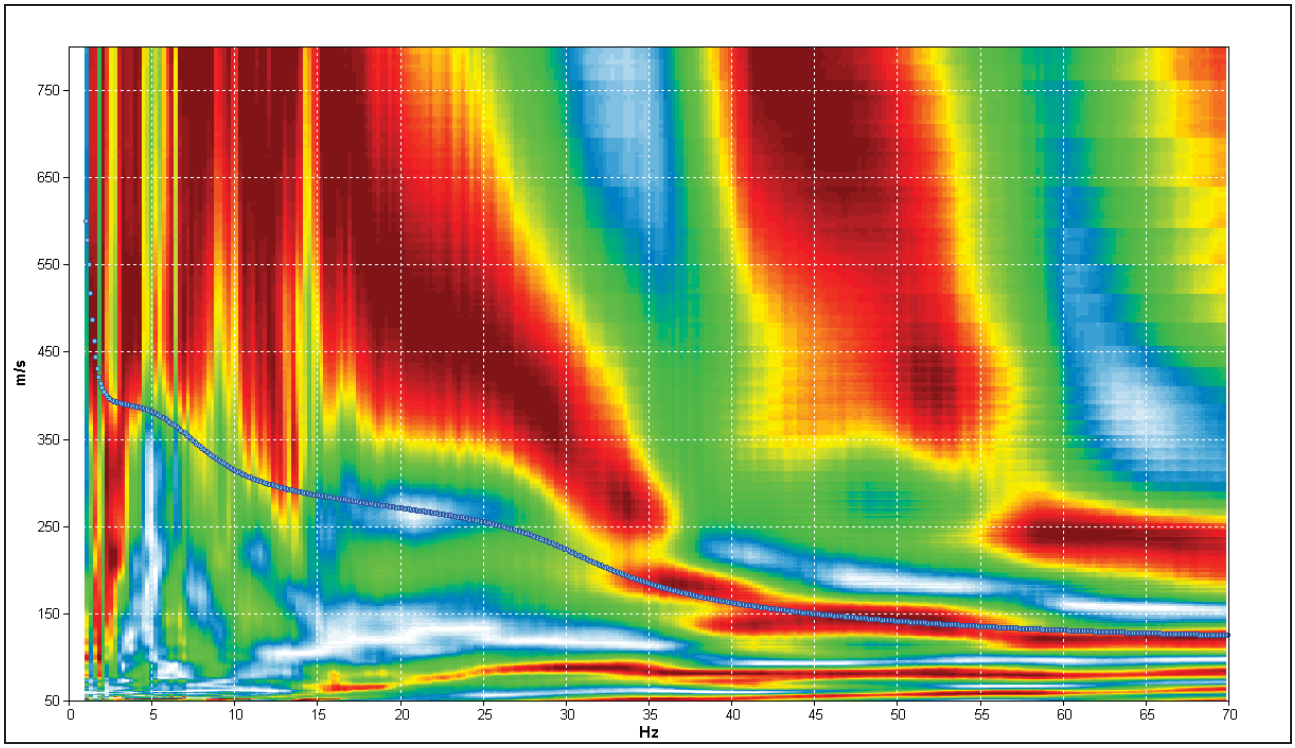
Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz)……6

Spaziatura tra i geofoni……4.00 m

Frequenza di campionamento……2.000 Hz (MASW) – 250 Hz (Re.Mi.)

Lunghezza traccia acquisita……2 sec (MASW) – 64 sec (Re.Mi.)

Sorgente……mazza (10 Kg) e rumore ambientale



F[illegible] MA[illegible] M[illegible] D[illegible]

5.2 TECNICA HVSR

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 23/11/2017

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00''.

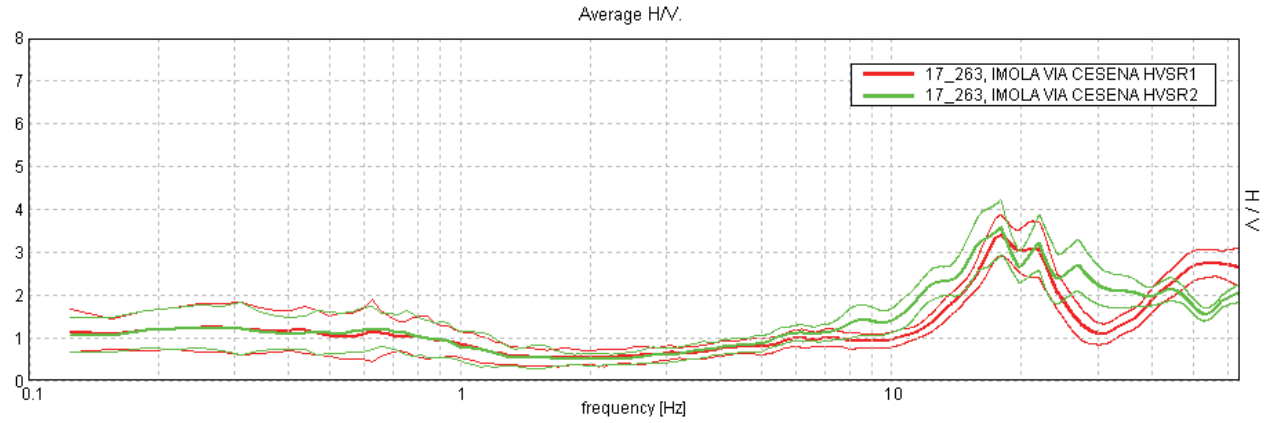
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

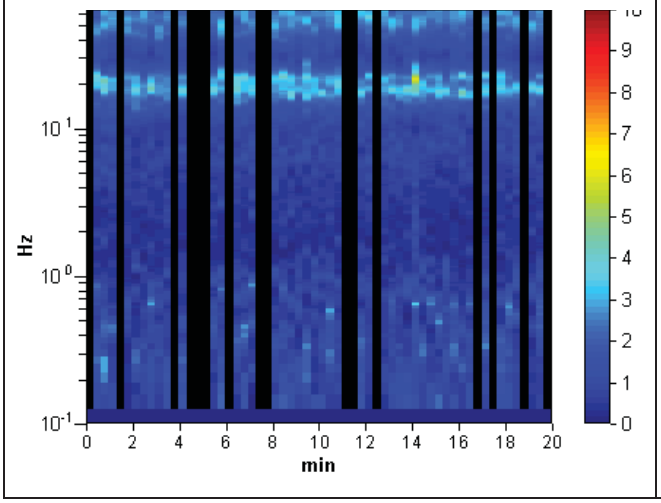
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

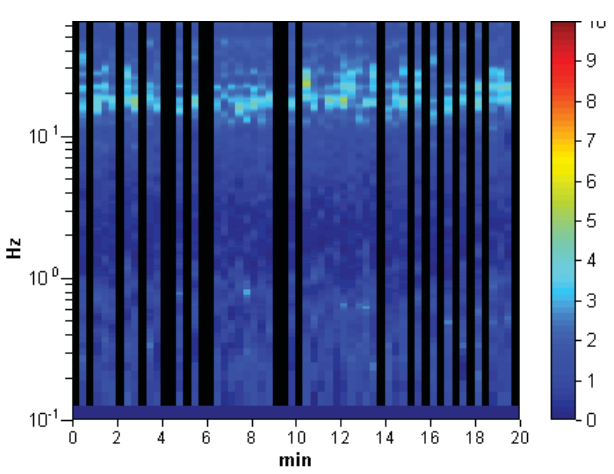
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (HVSR)



SERIE TEMPORALE HVSR1



SERIE TEMPORALE HVSR2



F **C**

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

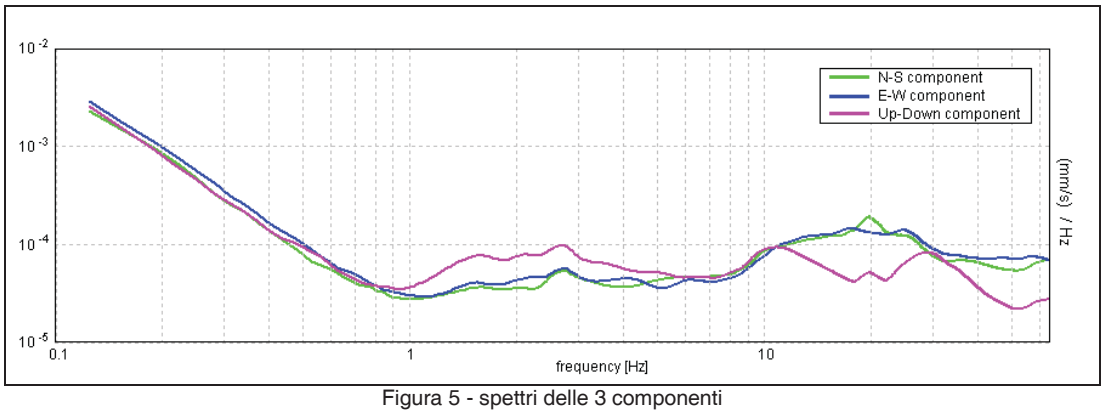
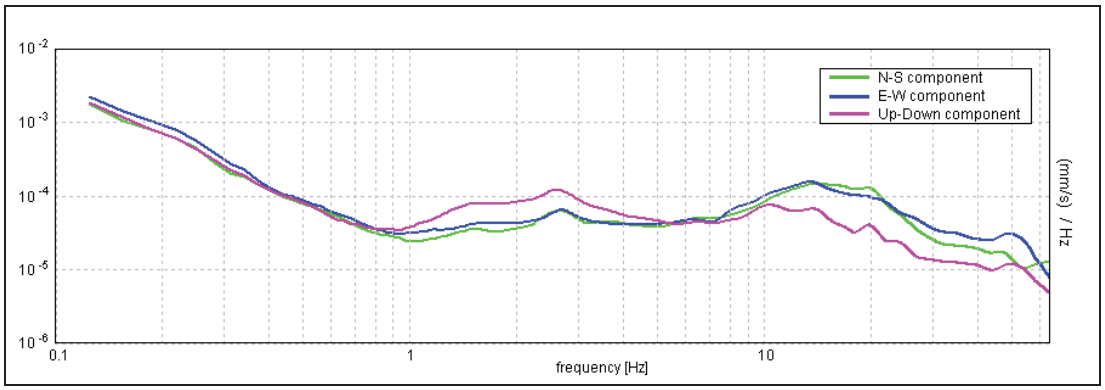


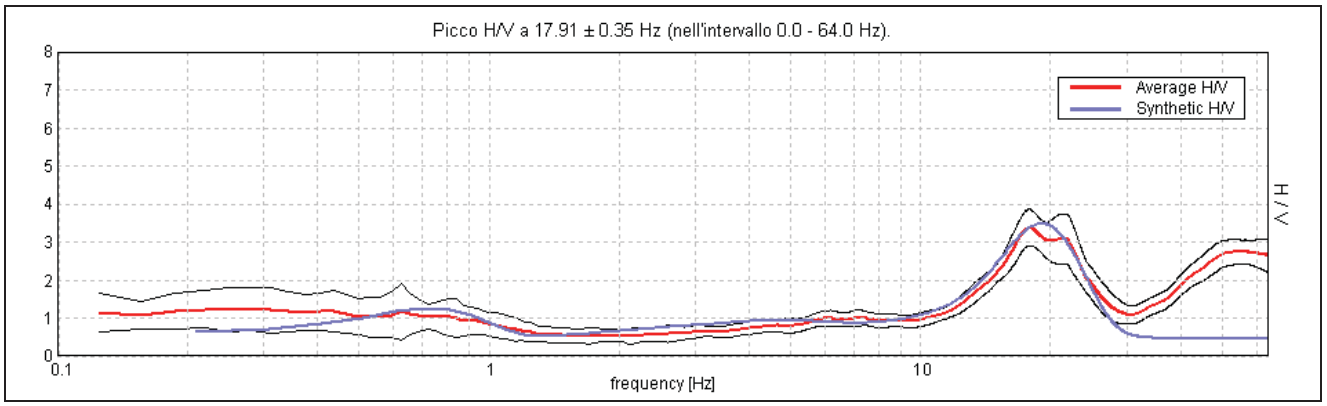
Figura 5 - spettri delle 3 componenti

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2



F

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



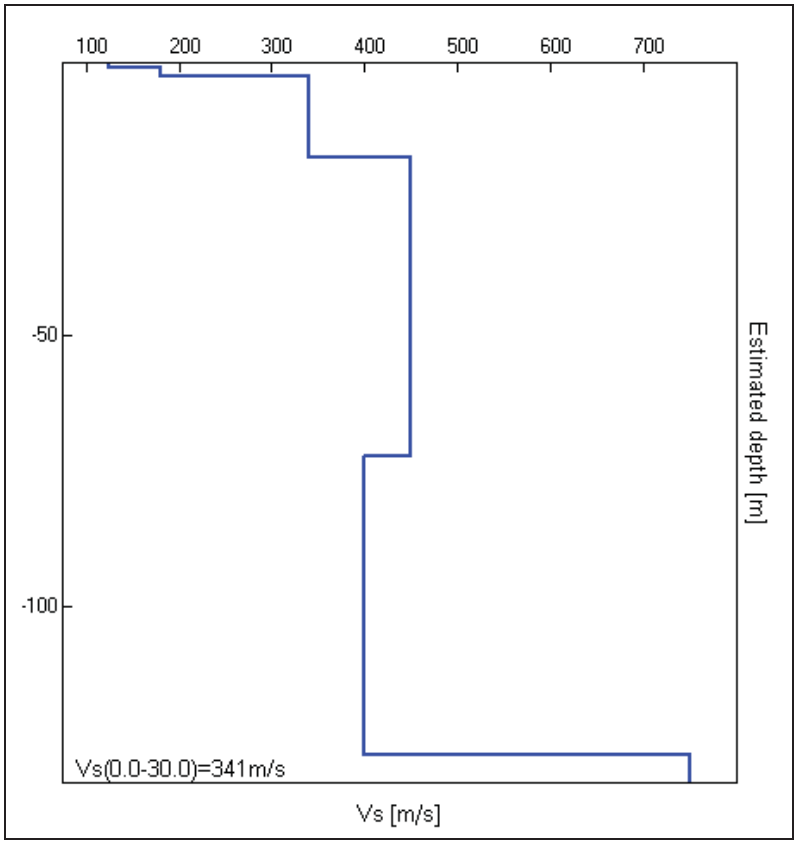
F **MA** **M**

MODELLO DI SOTTOSUOLO OTTENUTO E IL SITO

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova MA M e misura):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.00	1.00	125
2.40	1.40	180
17.40	15.00	340
72.40	55.00	450
127.40	55.00	400
inf.	inf.	750

T M



F M MA M

CONCLUSIONI

L'analisi congiunta MASW-Re.Mi.-HVSR ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti d'impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs) caratteristici di terreni a consistenza nel complesso da media a elevata.

Le curve HVSR ottenute sperimentalmente sono del tutto confrontabili tra loro. Il sito si caratterizza per una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica in alta frequenza con picco a circa 18-20 Hz. L'ampiezza del picco è classificabile come "elevata" ($F_0 > 3$). Per frequenze inferiori non si segnalo altre significative amplificazioni locali.

L'amplificazione sopradescritta dovrà essere tenuta in debita considerazione nella progettazione antisismica della struttura di progetto.

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 14 gennaio 2008.

San Lazzaro di Savena, 24/11/2017



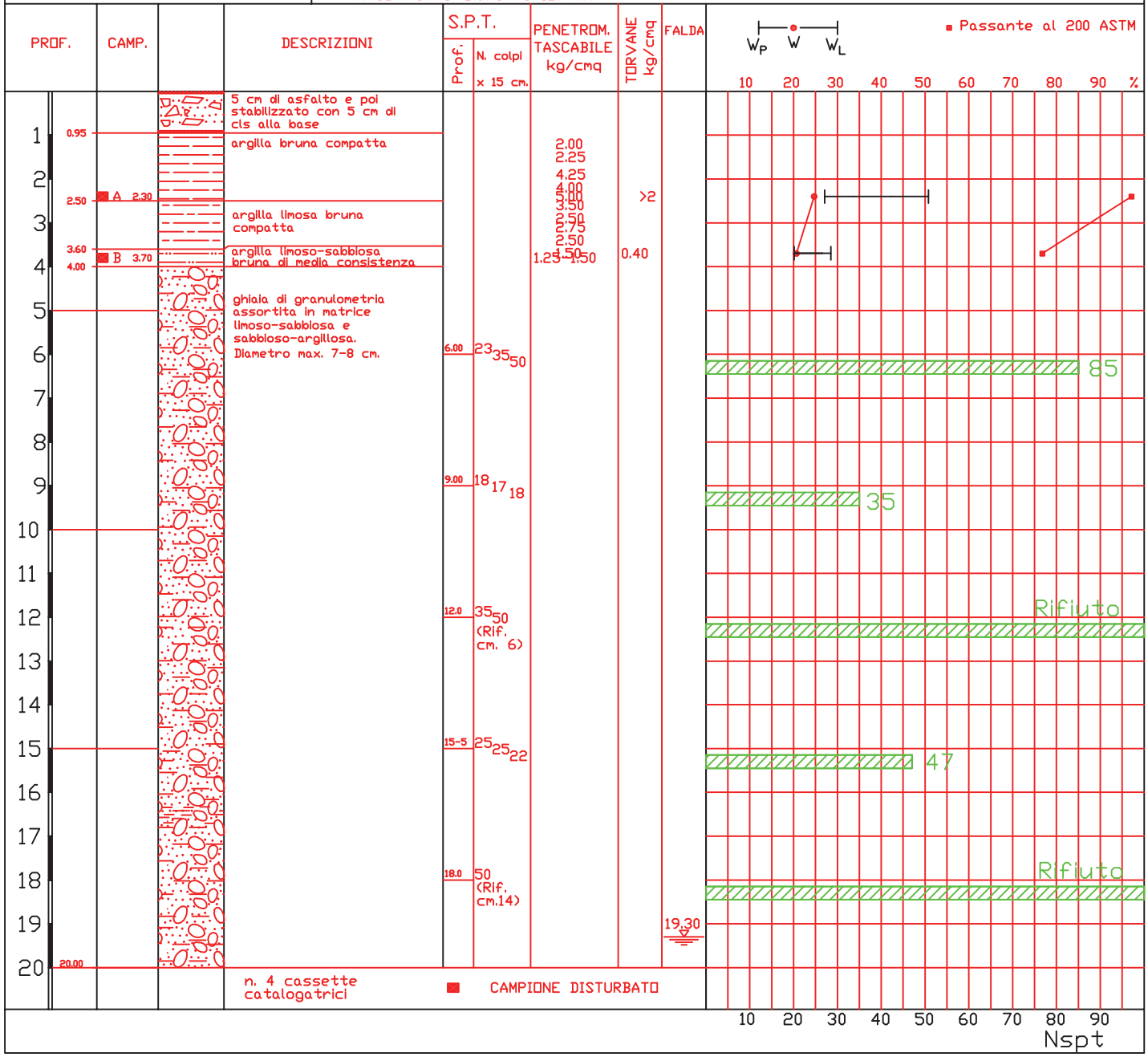
S72

Committente	UNIAGRO S.p.A.
Cantiere	Area ex PEMPA
Localita'	IMOLA - Via Cesena
Data	13/10/10
Quota	p. piazzale

Dr. ANGELO ANGELI
geologo
Cesena, via Padre Genocchi, 222
Tel.0547-27682 * Fax.0547-21128

SOND. N. 1/10

sistema di perforazione: ROTAZIONE diametro 101 mm
rivestimento: Diametro 127 mm



n. 4 cassette catalogatrici

■ CAMPIONE DISTURBATO

S73

Committente	UNIAGRO S.p.A.
Cantiere	Area Ex PEMPA
Localita'	IMOLA - Via Cesena
Data	14/10/10 Quota p.c.

Dr. ANGELO ANGELI
geologo
Cesena, via Padre Genocchi, 222
Tel.0547-27682 * Fax.0547-21128

SOND. N. 2/10

sistema di perforazione: ROTAZIONE diametro 101 mm
rivestimento: Diametro 127 mm

PROF.	CAMP.	DESCRIZIONI	S.P.T. Prof.	S.P.T. N. colpi x 15 cm.	PENETROM. TASCABILE kg/cmq	TORVANE kg/cmq	FALDA
0.80		5 cm di asfalto e poi stabilizzato					
1.50		argilla scura compatta			2.50		
	A 2.30	argilla bruna compatta			2.10 2.00 2.75-4.00 3.50-4.00	1.50	
3.00	B 3.00	argilla limosa bruno-rossa			3.00 2.25 2.00	0.95	
3.40		argilla bruna misata a ghiaia			2.50		
3.80		ghiaia di granulometria assortita con matriche sabbioso-limosa					
			5.90	41 45 48			
7.50		limo argilloso					
7.70		ghiaia di granulometria assortita in matrice sabbioso-limosa e sabbioso-argillosa piu' o meno abbondante Diametro max. 6-7 cm					
			8.80	28 47 52			
			12.0	4 14 19			
			15.0	33 50 (Rif. cm.12)			
			19.0	14 20 29			
							19.50
20.00							

n. 4 cassette catalogatrici

■ CAMPIONE INALTERATO

W_P W W_L ▪ Passante al 200 ASTM

10 20 30 40 50 60 70 80 90 %

93

99

33

Rifiuto

49

10 20 30 40 50 60 70 80 90
Nspt

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

MASW20

PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE IMOLA

STUDIO TRAMITE MASW PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI UN TERRENO VIA CESENA, PROPRIETA' UNAGRO

Stendimento n.1

Committente: Studio di Geologia Tecnica dr. Angelo Angeli

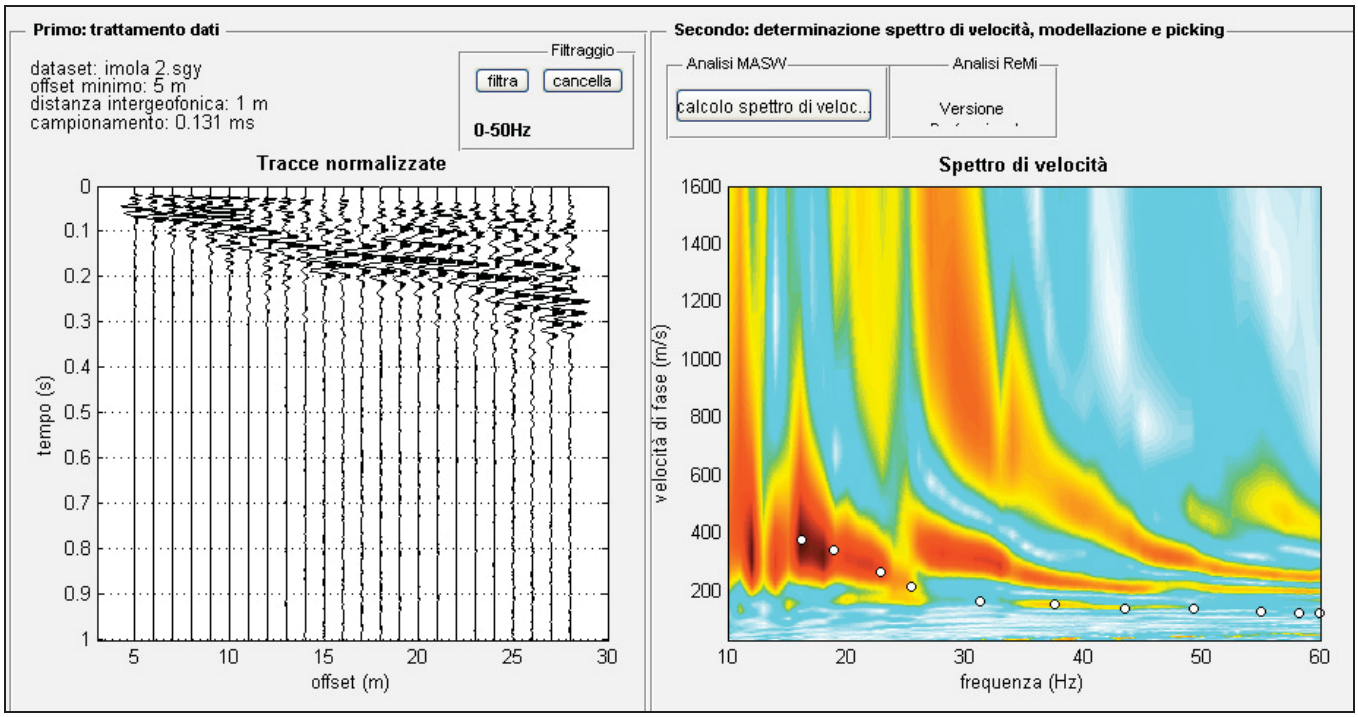
RELAZIONE GEOFISICA

OTTOBRE 2010

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

PREMESSA

L'indagine è avvenuta con lo scopo di avere informazioni, nota la stratigrafia, sulle caratteristiche di propagazione delle onde sismiche Vs nel terreno oggetto di intervento.



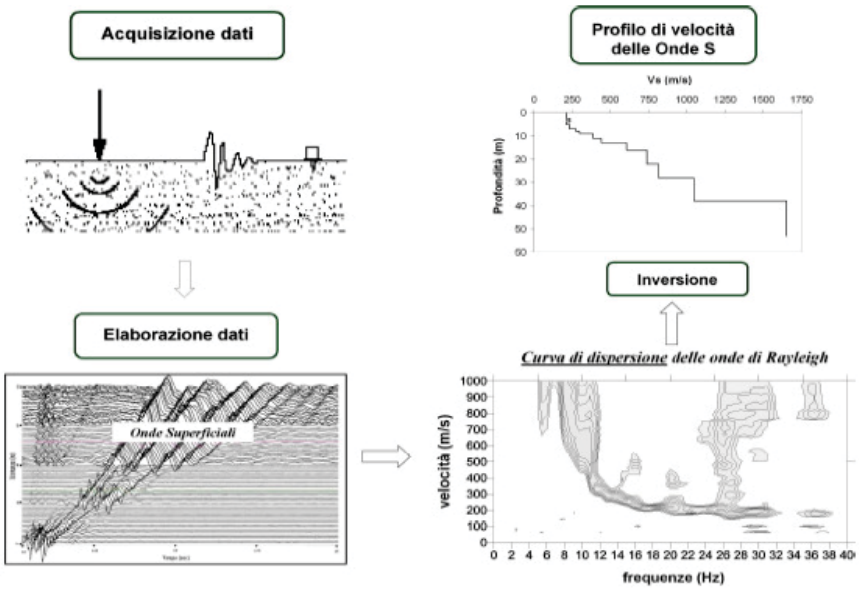
SEGNALE NEL DOMINIO DEI TEMPI E DELLE FREQUENZE

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

ANALISI SVOLTA CON LE ONDE SUPERFICIALI – MASW

CENNI TEORICI

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.
Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.
Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un artificiale energizzazione sismica del suolo e sull' analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al.,1999).



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con al profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi (inversione) è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.
L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità".

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

STRUMENTAZIONE USATA

-Sismografo Ambrogeo Echo 2010 seismic unit
-Numero dei canali 24
-A/D conversione 16 bit
-Geofoni verticali da 4.5 hz

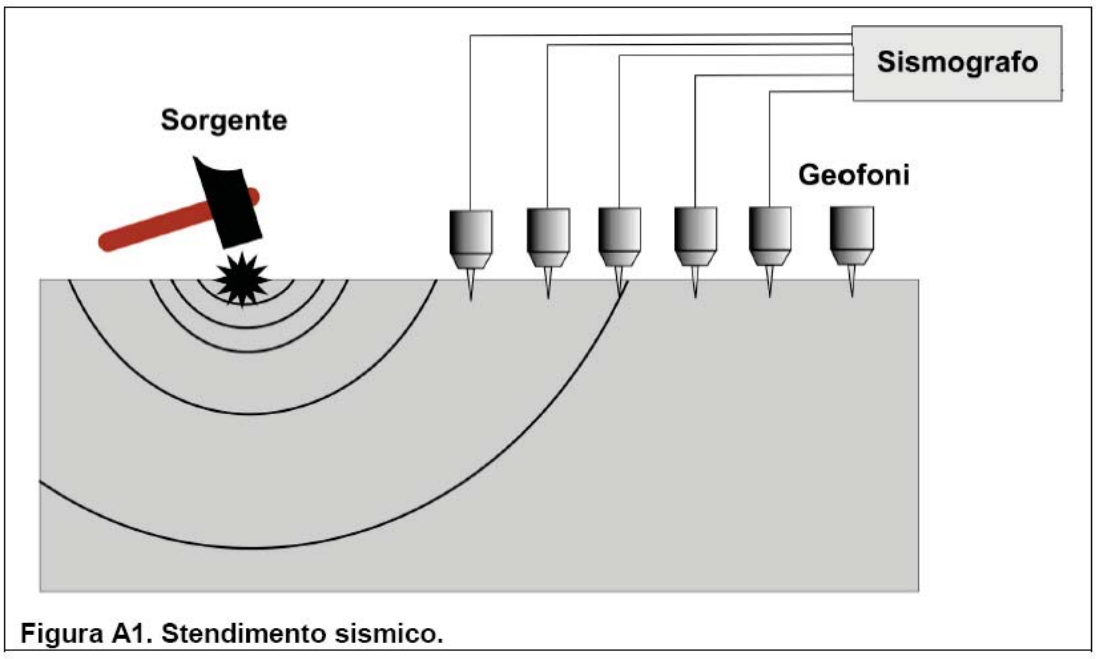


Figura A1. Stendimento sismico.

SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE

-energizzazione per rilievo masw
Massa battente (mazza da 8 kg)

MODALITA' OPERATIVA

Si sono disposti i geofoni sul terreno quindi si è energizzato tramite mazza da 8 kg.
Si sono effettuate registrazioni di 1 sec.
Si sono disposti 12 geofoni da 4,5 hz alla distanza di 2 metri, ottenendo così una traccia lunga 22 metri. Eseguendo varie battute a - 5 metri e -17 ml dal primo geofono. Le due tracce vengono sommate e si ottiene un tracciato a 24 ch.

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

RISULTATI OTTENUTI

MODELLO MEDIO

Vs (m/s:	**112**	**163**	**267**	**552**	**588**
Spessori (m):		**0.9**	**1.8**	**1.9**	**3.0**

curva di dispersione (frequenza - velocità di fase onde di Rayleigh)
modo: 0 (modo fondamentale)

modello migliore

F(Hz)	VR(m/s)
16.2346	369.0629
18.9506	327.4728
22.9012	269.5709
25.4938	217.9179
31.2963	168.3946
37.5926	149.819
43.5185	139.957
49.321	132.5535
55	126.4315
58.2099	123.4635
59.9383	122.0239

CONCLUSIONI

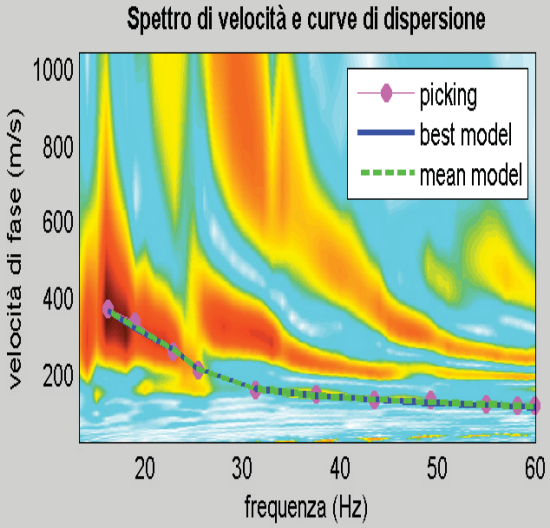
Vs(0- 30) = 424 (± 84) m/sec.
Vs(4-34)=570.5(± 114) m/sec.

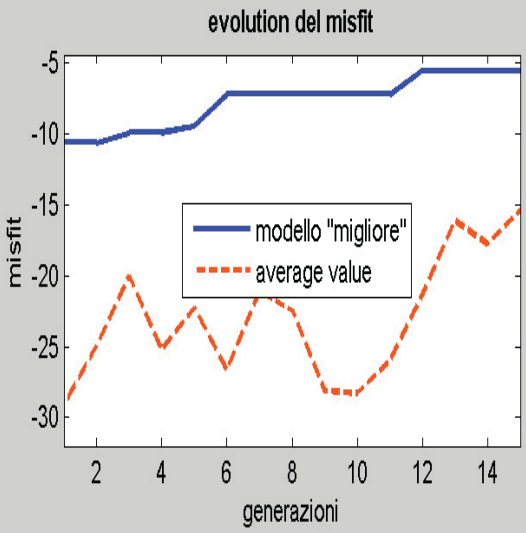
B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30> 250 kPa nei terreni a grana fina).

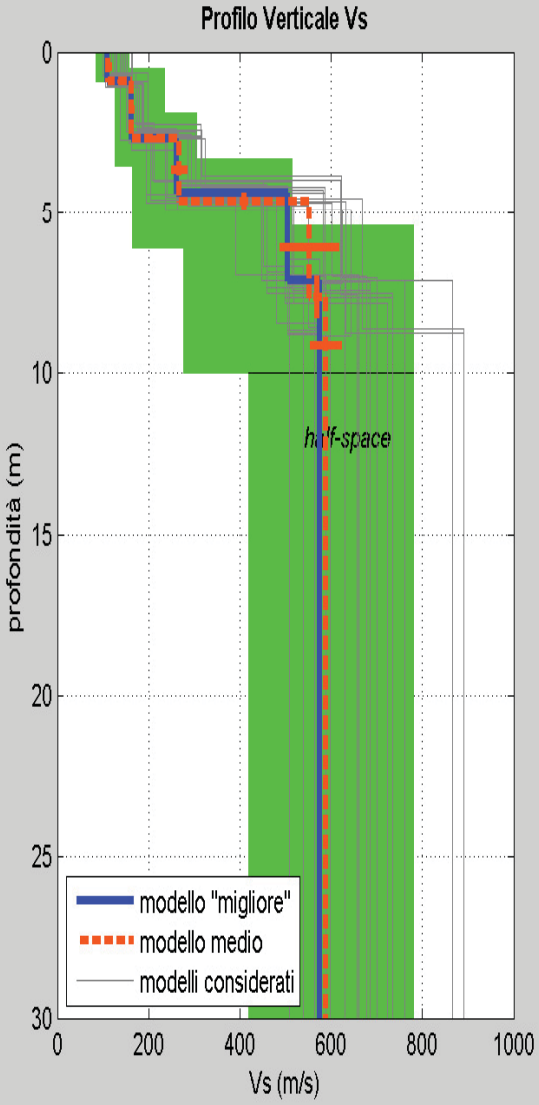
NOVAFELTRIA, 31/10/2010

Soil Investigation s.n.c.
Dott. Marco Rossi, Dott. Stefano Biordi

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it



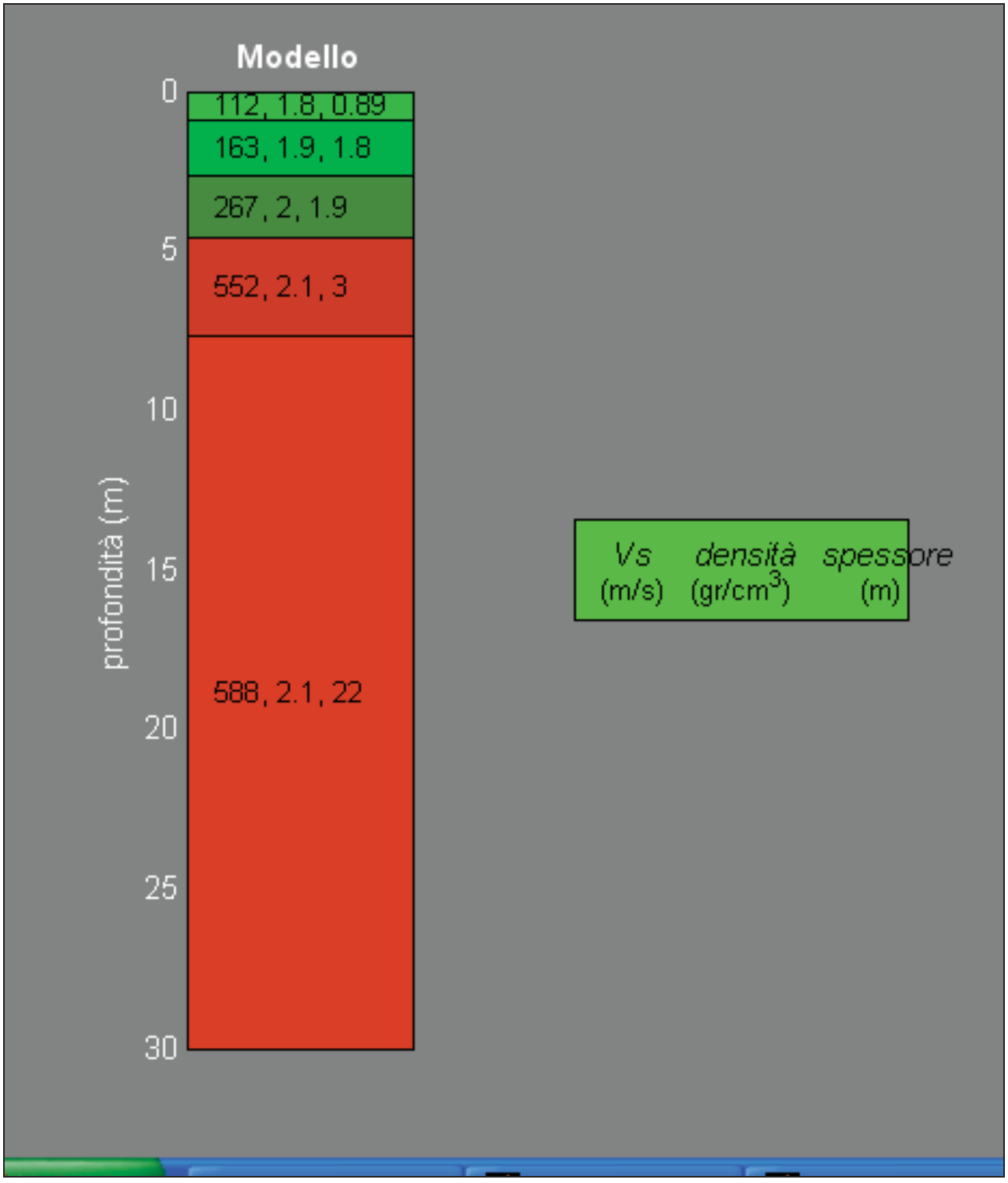




dataset: imola 2.sgy
curve di dispersione: angeli imola 1.cdp
VS30 (modello "migliore"): 424 m/s
VS30 (modello medio): 431 m/s

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

RISULTATI MASW



MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

MASW21

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE IMOLA

STUDIO TRAMITE MASW PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI UN TERRENO IN VIA CESENA PROP. UNAGRO

Stendimento n.2

Committente : Studio di Geologia Tecnica dr. Angelo Angeli

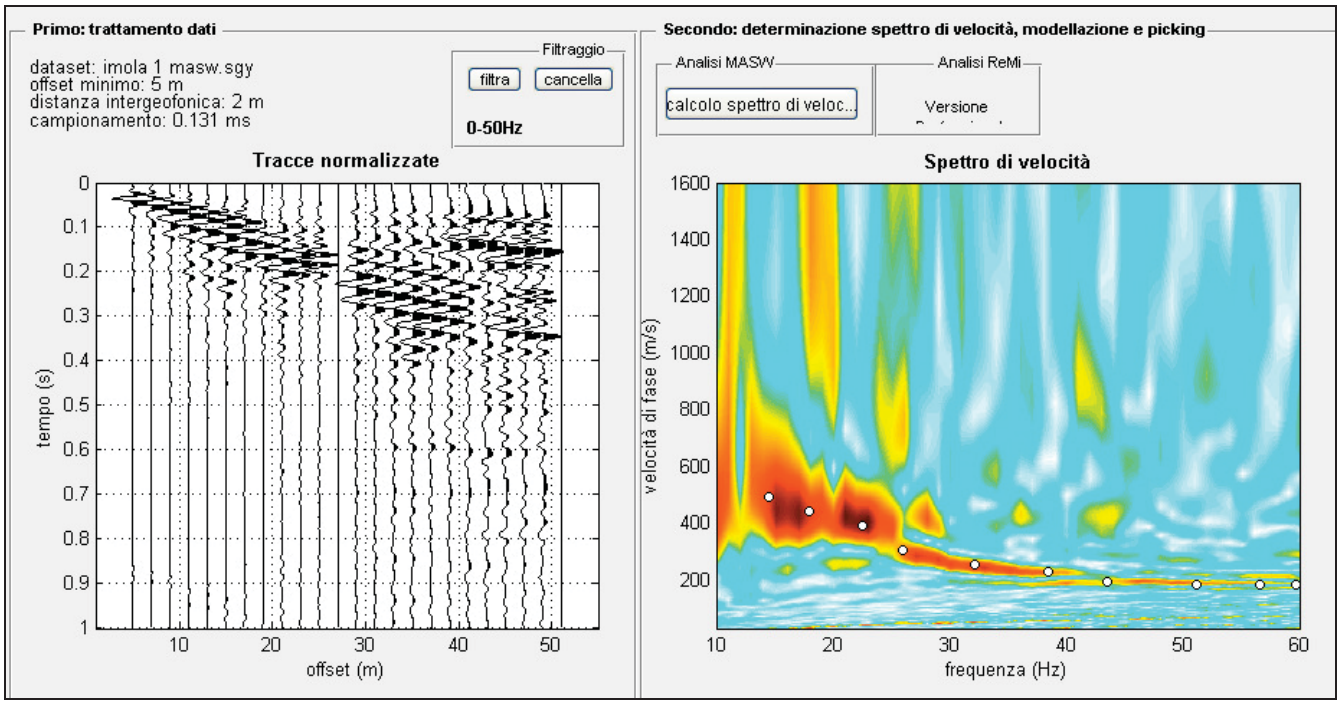
RELAZIONE GEOFISICA

OTTOBRE 2010

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

PREMESSA

L'indagine è avvenuta con lo scopo di avere informazioni, nota la stratigrafia, sulle caratteristiche di propagazione delle onde sismiche Vs nel terreno oggetto di intervento.



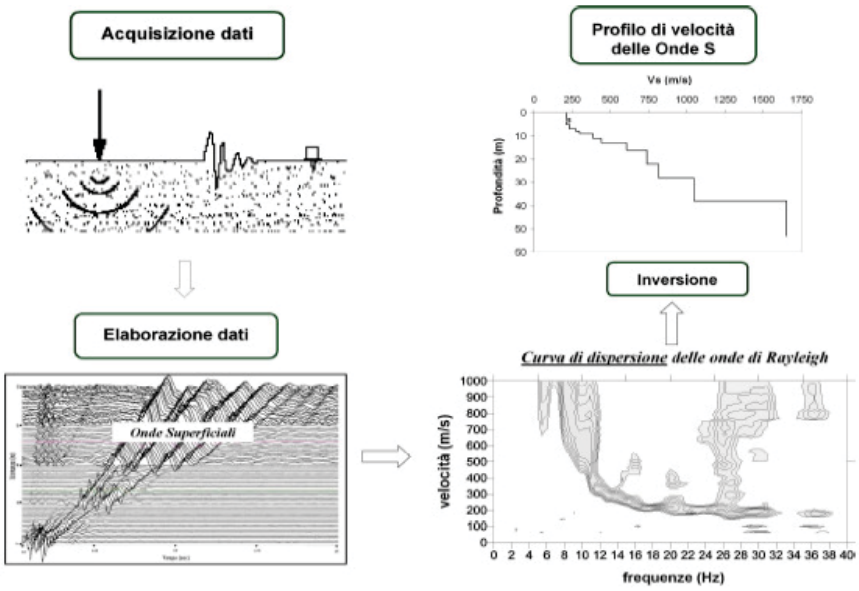
SEGNALE NEL DOMINIO DEI TEMPI E DELLE FREQUENZE

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

ANALISI SVOLTA CON LE ONDE SUPERFICIALI – MASW

CENNI TEORICI

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.
Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.
Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un artificiale energizzazione sismica del suolo e sull' analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al.,1999).



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con al profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi (inversione) è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.
L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità".

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

STRUMENTAZIONE USATA

-Sismografo Ambrogeo Echo 2010 seismic unit
-Numero dei canali 24
-A/D conversione 16 bit
-Geofoni verticali da 4.5 hz

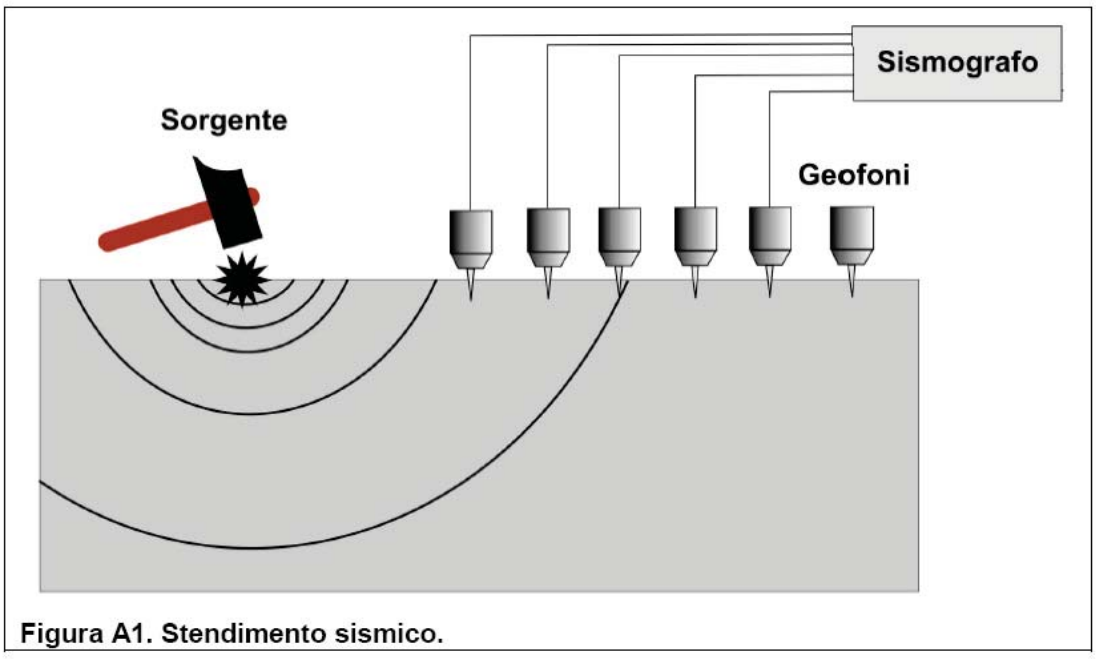


Figura A1. Stendimento sismico.

SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE

-energizzazione per rilievo masw
Massa battente (mazza da 8 kg)

MODALITA' OPERATIVA

Si sono disposti i geofoni sul terreno quindi si è energizzato tramite mazza da 8 kg.
Si sono effettuate registrazioni di 1 sec.
Si sono disposti 12 geofoni da 4,5 hz alla distanza di 4 metri, ottenendo così una traccia lunga 44 metri. Eseguendo varie battute a - 5 metri e -25 m. dal primo geofono. Successivamente in fase di elaborazione, i tracciati vengono sommati e si analizza la traccia su 24 canali.

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

RISULTATI OTTENUTI

MODELLO MEDIO

Vs (m/s:	**160**	**206**	**272**	**561**	**551**	**637**
Spessori (m):		**0.3**	**2.3**	**1.6**	**3.4**	**2.5**

curva di dispersione (frequenza - velocità di fase onde di Rayleigh)
modo: 0 (modo fondamentale)

modello migliore

F(Hz)	VR(m/s)
14.5062	488.0451
17.963	453.7814
22.5309	412.3702
25.9877	311.1419
32.1605	228.4446
38.4568	206.7582
43.5185	199.0562
51.1728	193.0663
56.6049	190.6912
59.6914	189.7094

CONCLUSIONI

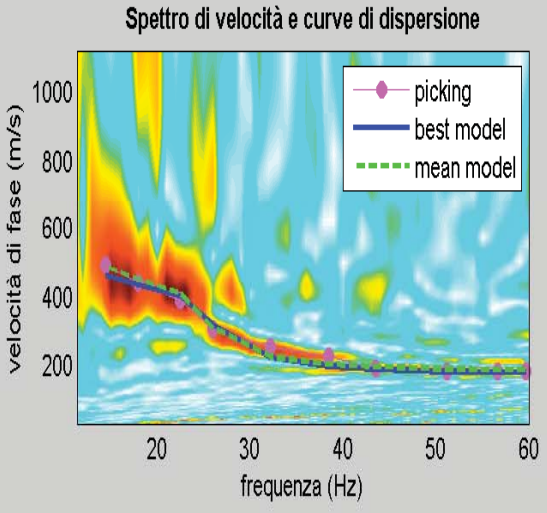
Vs(0- 30) = 491 (± 98) m/sec.
Vs(4-34) = 614(± 121) m/sec.

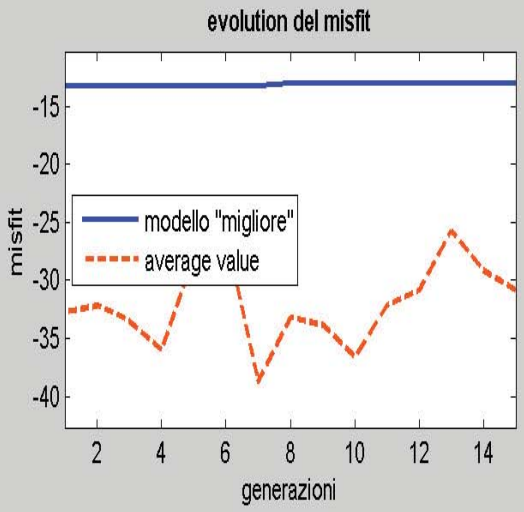
B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30> 250 kPa nei terreni a grana fina).

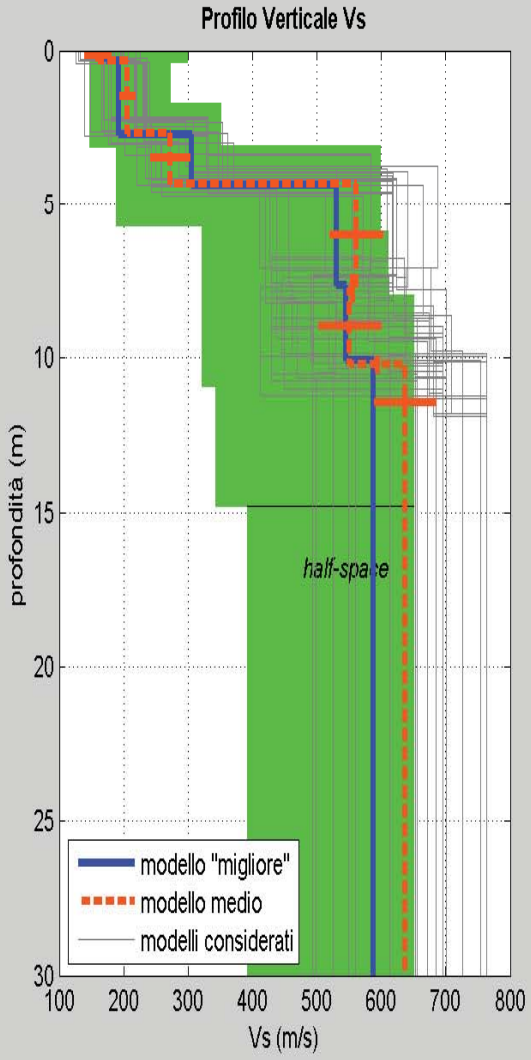
NOVAFELTRIA, 31/10/2010

Soil Investigation s.n.c.
Dott. Marco Rossi, Dott. Stefano Biordi

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it



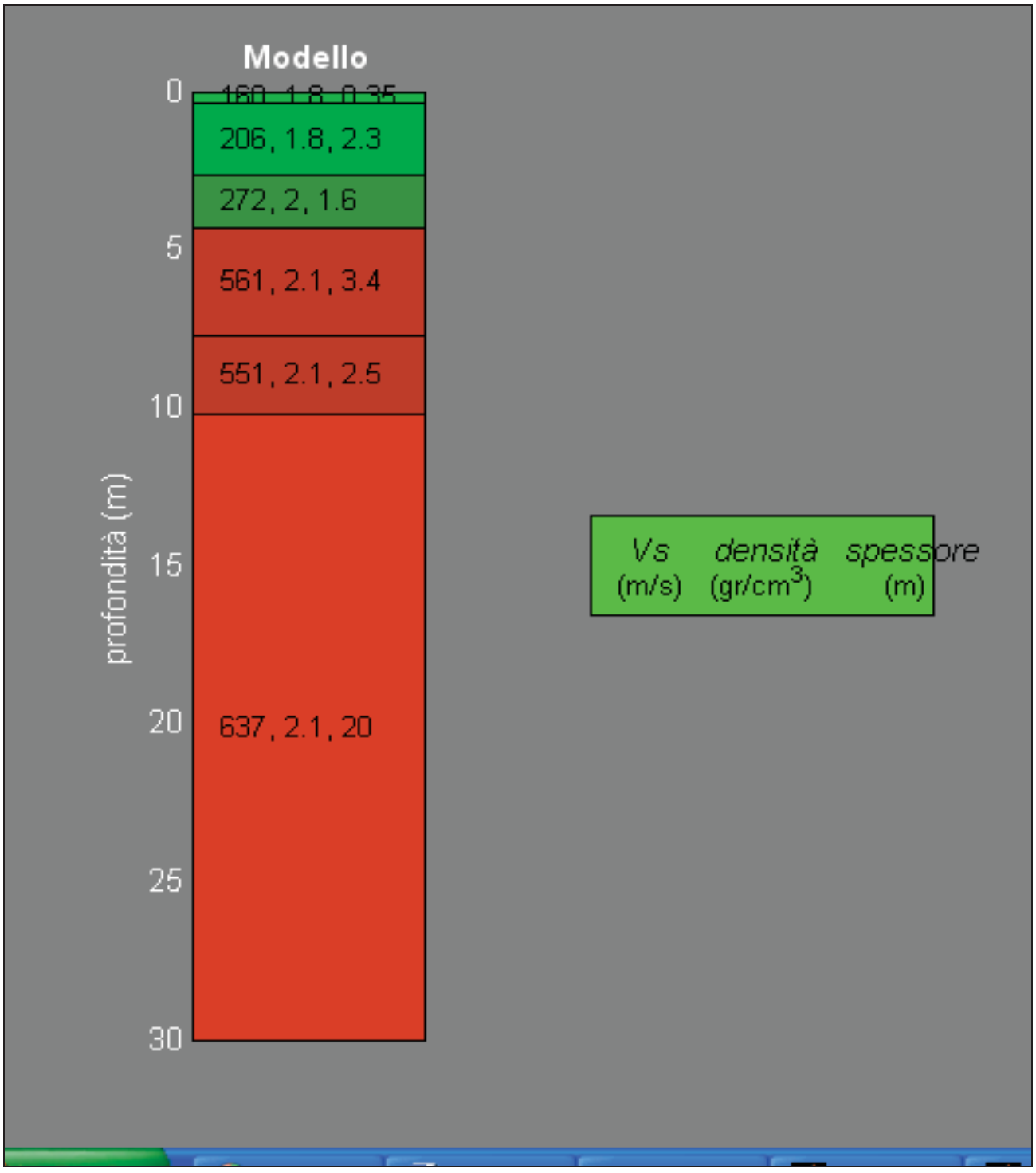




dataset: imola 1 masw.sgy
curve di dispersione: angeli imola 2.cdp
VS30 (modello "migliore"): 467 m/s
VS30 (modello medio): 491 m/s

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Cod. fisc., Part. IVA.e Reg. Imprese Pesaro n° 02 139 670 414
Email: soil2000@libero.it

RISULTATI MASW



MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

HV96

PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE di IMOLA

MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA METODO H/V, STIMA DI VS30 CON MISURE DA STAZIONE SINGOLA GEOFISICA PASSIVA PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI UN TERRENO IN VIA CESENA, PROP. UNAGRO.

Committente: STUDIO di GEOLOGIA dr. ANGELI ANGELO

RELAZIONE GEOFISICA

OTTOBRE 2010

Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA

Il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, é quindi possibile misurarne le frequenze proprie di oscillazione. In ogni punto le frequenze dipendono dalle proprietà meccaniche e dalla morfologia attorno al punto di misura. Per la misura delle frequenze di risonanza solitamente viene applicato al corpo una sollecitazione nota e misurando poi la risposta del corpo in termini di spostamenti o accelerazioni.
In maniera analoga la risposta del suolo può essere studiata utilizzando treni di onde di terremoto o di sorgente artificiale (sismica attiva).
In alternativa si può utilizzare come funzione di eccitazione il rumore sismico di fondo. (sismica passiva).
Il rumore sismico viene generato da fenomeni atmosferici (onde oceaniche o vento) e dall'attività antropica. Viene detto anche "microtremore" perché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nelle adiacenze dell'epicentro. Al rumore di fondo sempre presente si sovrappongono le sorgenti locali antropiche e naturali. I microtremori sono in parte costituite da onde di volume P ed S, in parte da onde di superficiali che hanno velocità prossime a quelle delle onde S.

METODO H/V

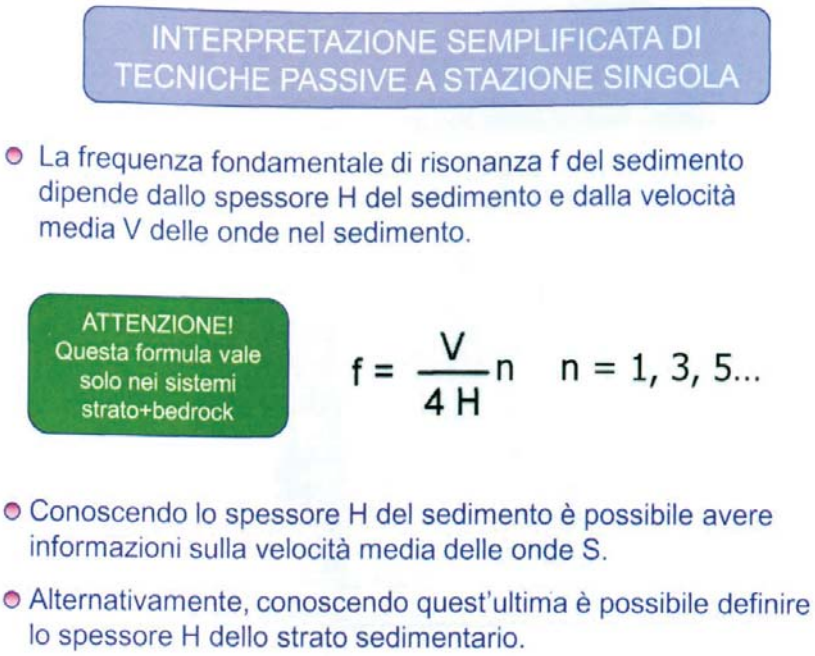
Dopo i primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. La tecnica universalmente riconosciuta, proposta da Nogoshi & Igarashi (1970), prende in esame i rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to vertical Spectra Ratio HVSR o H/V). L'ampiezza del picco del rapporto H/V è legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati non è comunque correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice.
In un mezzo "semplice " coltre alterazione + bedrock (o strato assimilabile a un bedrock ad es. argille su ghiaie)dove i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). I due strati hanno rispettivamente diverse densità ρ_1 e ρ_2 e diverse velocità delle onde sismiche V_1 e V_2 . Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidenti (l) è 4 volte (o i suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. Quindi la frequenza di risonanza (fr) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$\mathbf{f_r = V_{s1}/4H}$$

La curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (quindi anche allo spessore). Non risulta interpretabile applicando semplicemente l'equazione.
E' infatti necessario applicare il processo di inversione che richede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per :

Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

a) contenuto in frequenza
b) la risposta strumentale
c) ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

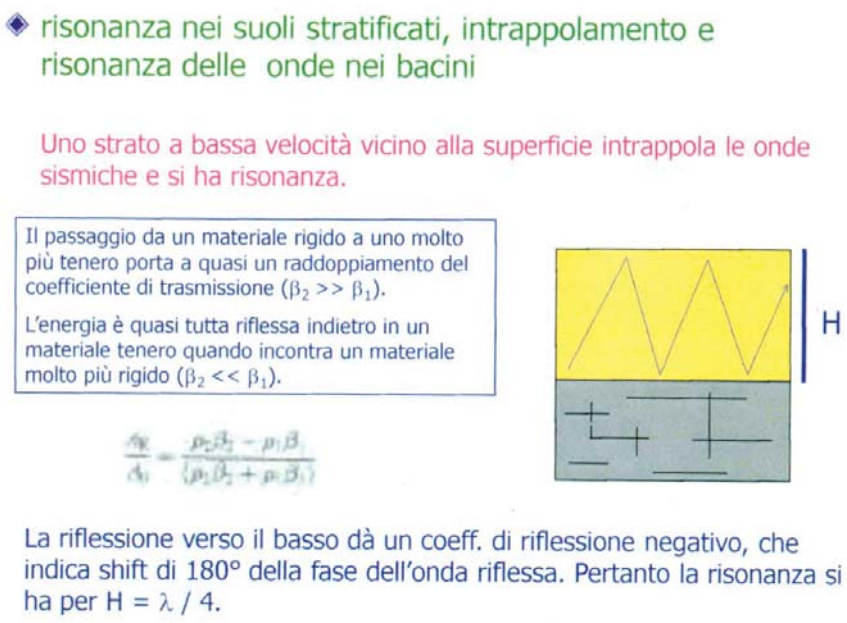


I valori assoluti degli spettri orizzontali (H) e verticali (V) variano con il livello assoluto del rumore ambientale (alte frequenze disturbi "antropici" tipo mezzi in movimento lavorazioni calpestio ecc.). Nella pratica usiamo H/V perché è un buon normalizzatore inoltre è ampiamente riconosciuto nella letteratura scientifica internazionale che H/V misura direttamente le frequenze di risonanza dei terreni (non vengono derivate da altri fattori).

STIMA DI VS30 A PARTIRE DA MISURE A STAZIONE SINGOLA

Identificando i contrasti di impedenza tra strati nel caso semplice di coltre sedimentaria al disopra di bedorock (oppure limi al disopra di ghiaie), si misura un picco della funzione H/V. Importante il bedrock può essere considerato anche delle ghiaie in quanto in grado di creare fenomeni di intrappolamento d'onde.

Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it



In base alla precedente equazione, il segnale, una volta pulito dagli effetti antropici ad alta frequenza (>30Hz)si può risolvere o conoscendo la Vs del materiale oppure conoscendo gli spessori si determina la Vs. Quindi risulta indispensabile avere a disposizione dei vincoli da prove dirette del sottosuolo penetrometrie carotaggi in continuo per poter associare ai picchi rilevati dalle misure di microtremore dei contrasti di impedenza adeguati, cioè modellare il mezzo geologico affinchè rappresenti in maniera attendibile il sottosuolo gli strati con spessori e velocità associabili alla curva misurata delle frequenze di risonanza (frequency)(Hz) con il rapporto spettrale H/V.

MODI DI VIBRARE

Come il sottosuolo eccitato dalle onde che lo attraversano presenta più modi di vibrare anche le strutture e gli edifici in c.a. presenta a loro volta delle frequenze di risonanza proprie dell'edificio.

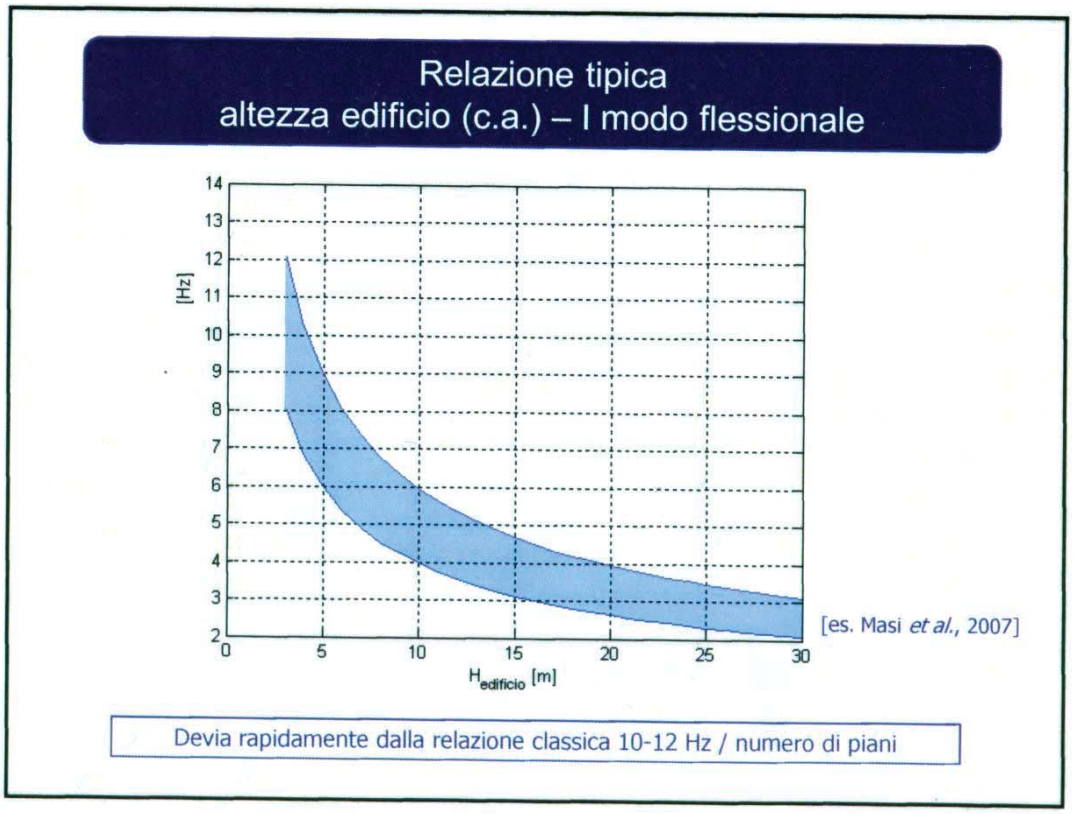
.E' indispensabile evitare i fenomeni di doppia risonanza cioè quei casi in cui la frequenza propria del terreno ha picchi con frequenze di risonanza simili o leggermente superiori a quelle dell'edificio.

Condizione ideale sarebbe che la risonanza dell'edificio sia a frequenze minori di quelle del sottosuolo. Se le risonanze suolo-struttura coincidono la situazione è problematica dal punto di vista della vulnerabilità sismica. Anche se la risonanza del suolo è a frequenze poco inferiori a quelle del sottosuolo la situazione è ugualmente problematica perché :

a) gli edifici con il proprio danneggiamento diminuiscono la loro frequenza propria,
b) il sottosuolo può manifestare modi superiori di vibrare di ampiezza maggiore (e a frequenza maggiore) rispetto a quella visibile con i microtremori.

Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

Quindi è necessario che la frequenza di risonanza del suolo – struttura ricada sempre a Dx del picco di risonanza del terreno od almeno al di fuori del 40% del picco di risonanza del terreno.
Si allega a seguito grafico semplificato che mette in relazione la frequenza di risonanza teorica per edifici in relazione alla loro altezza in metri in modo da poter confrontare in maniera speditiva se sono possibili fenomeni di doppia risonanza (Da "tecniche di sismica passiva e attiva" Silvia Castellaro, 2010).



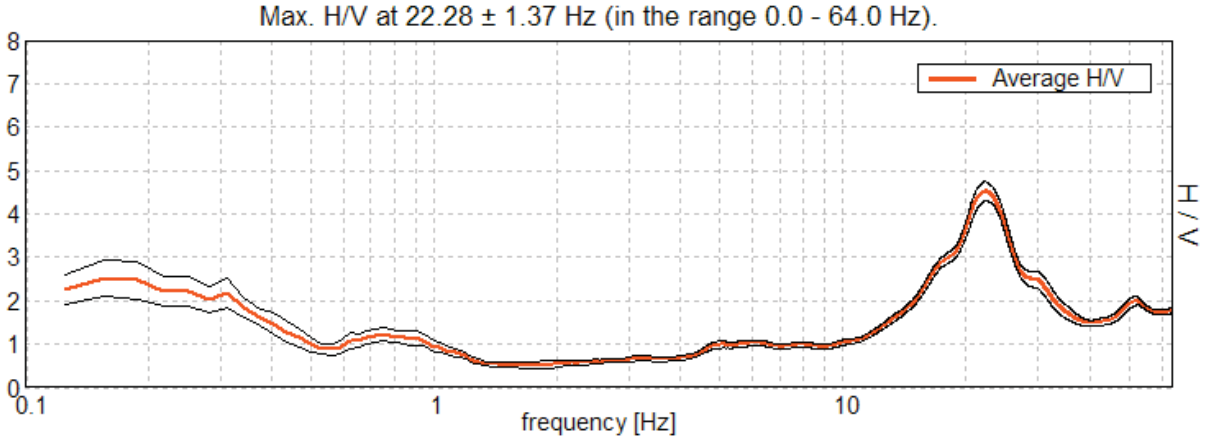
Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

IMOLA VIA Cesena, INGRESSO 2 (MASW1)

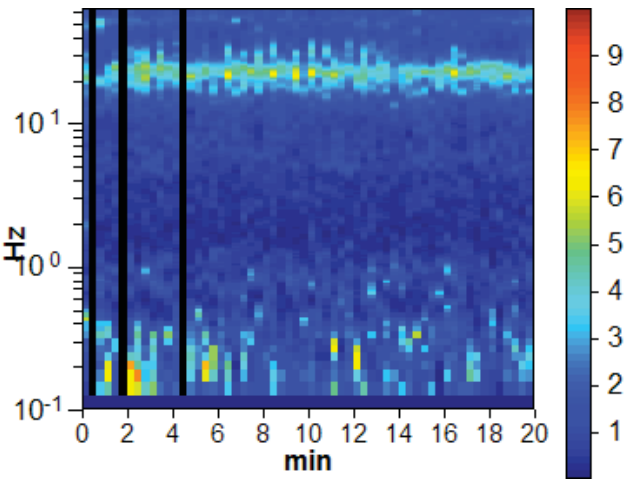
Start recording: 29/10/10 11:51:43 End recording: 29/10/10 12:11:44
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00''. Analyzed 95% trace (manual window selection)
Sampling frequency: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing window: Triangular window
Smoothing: 10%

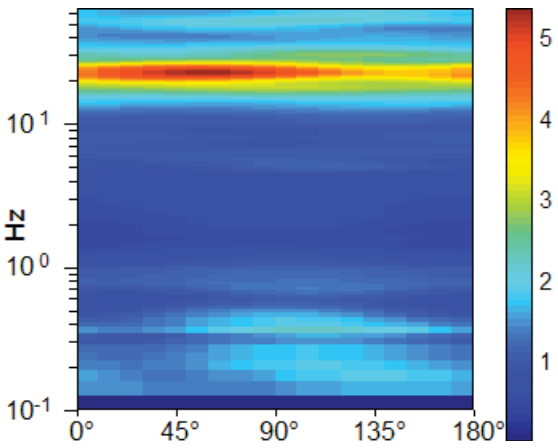
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

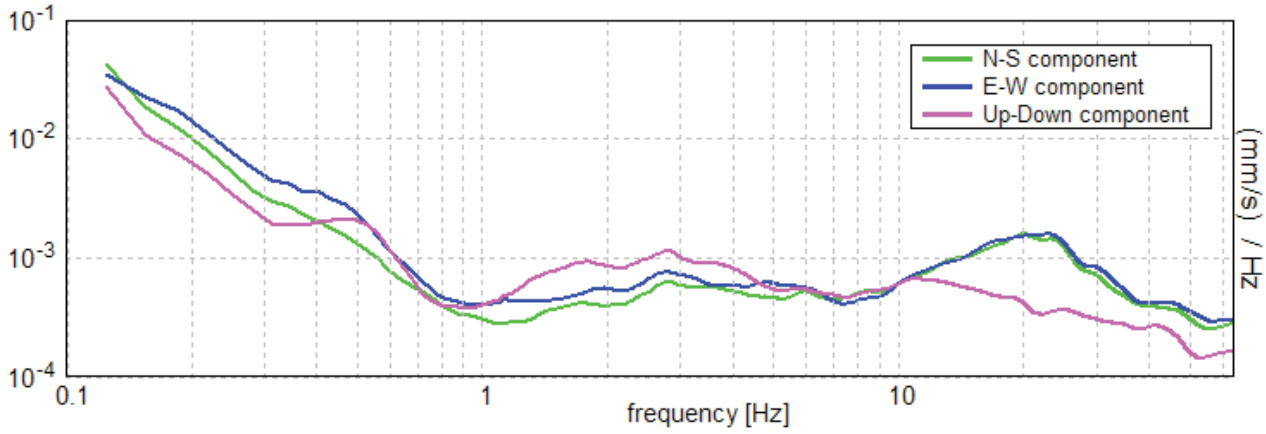


DIRECTIONAL H/V

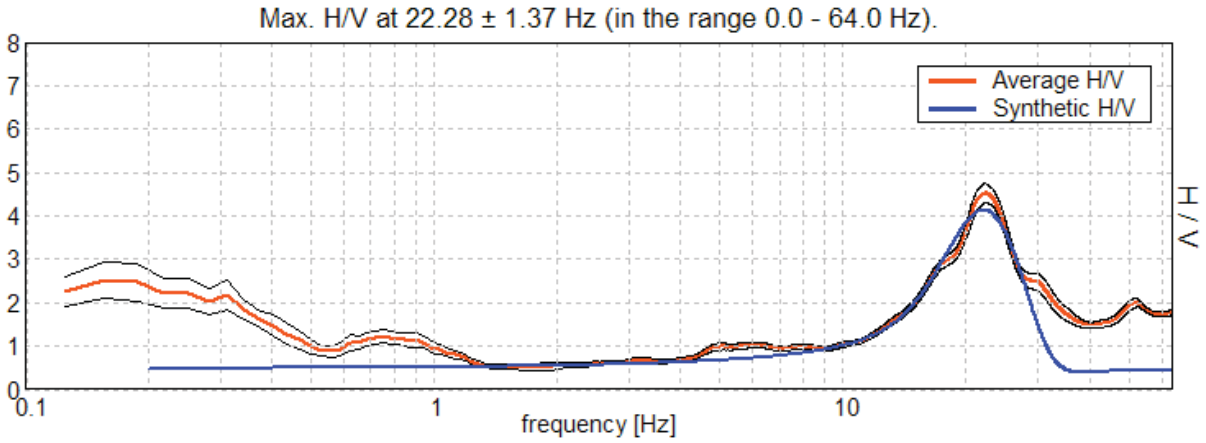


Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

SINGLE COMPONENT SPECTRA



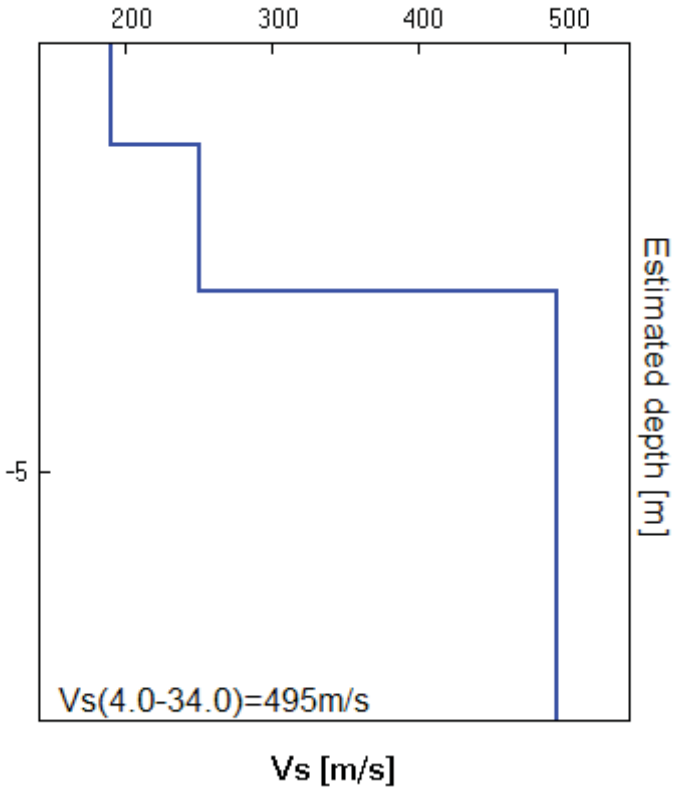
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.20	1.20	190	0.40
2.90	1.70	250	0.40
inf.	inf.	495	0.25

Vs(4.0-34.0)=495m/s



Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

[According to the Sesame, 2005 guidelines. **Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 22.28 ± 1.37 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	22.28 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	25400.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 1070 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.656 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	31.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.52 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.03047| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.67902 < 1.11406	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1102 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Di MARCO ROSSI & C.
Via Sartiano 1, 61015 NOVAFELTRIA (RN)
Email: soil2000@libero.it

Vs 30 risulta di :

Vs30(4-34m) = 495 m/sec **±20%** a quota -4 ml da p.c.

Il suolo verrà classificato come tipo

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30> 250 kPa nei terreni a grana fina).

NOVAFELTRIA, 31/10/2010

SOIL INVESTIGATION s.n.c.
Dott. Marco Rossi, Dott. Stefano Biordi

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC VIA CESENA, COMUNE DI IMOLA **PROVA: CPT-1**

PROF. FALDA (m. da p.c.): 1,00 **Amax/g 0,47** **MAGNITUDO: 6,14**

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE CPT

(Metodo di Robertson & Wride, 1998)

Prof. (m)	Ic (n=1) valore	Ic (n=1) classificazione	Ic (n=0,5) valore	Ic (n=0,5) classificazione	Ic (n=0,75) valore	Eventuali Verifiche di campione in laborat.	Ic utilizzato valore	Fs valore
0,2								
0,4	1,94	Granulare	2,24	NPGranulare	2,08	--	2,24	**N.C.**
0,6	2,54	Granulare	2,84	PLimoso	2,68	C.Cinese	2,7	**N.C.**
0,8	2,52	Granulare	2,79	PLimoso	2,65	C.Cinese	2,6	**N.C.**
1,0	2,47	Granulare	2,71	PLimoso	2,58	C.Cinese	2,6	**N.C.**
1,2	2,64	Argilloso	2,84	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,4	2,66	Argilloso	2,85	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,6	2,54	Granulare	2,71	PLimoso	2,63	C.Cinese	2,6	**N.C.**
1,8	2,52	Granulare	2,68	PLimoso	2,60	C.Cinese	2,6	**N.C.**
2,0	2,53	Granulare	2,68	PLimoso	2,61	C.Cinese	2,6	**N.C.**
2,2	2,46	Granulare	2,60	PLimoso	2,53	C.Cinese	2,5	**N.C.**
2,4	2,46	Granulare	2,59	NPGranulare	2,53	--	2,6	**N.C.**
2,6	2,62	Argilloso	2,75	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,8	2,58	Granulare	2,71	PLimoso	2,64	C.Cinese	2,6	**N.C.**
3,0	2,65	Argilloso	2,77	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
3,2	1,41	Granulare	1,50	NPGranulare	1,46	--	1,5	**N.C.**

N.B. Seed e Idriss descrivendo il "Criterio Cinese" specificano che la liquefazione si ha solo e se tutte le tre seguenti condizioni sono soddisfatte:
1) Il contenuto in argilla (particelle minori di 5 μ) è <15%
2) Il limite liquido LL<35%
3) Il contenuto naturale d'acqua w>0,9 LL

VALUTAZIONE DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - I.P.L. (Iwasaki et al., 1978)

Si definiscono i seguenti livelli del potenziale di rottura rispetto all'IPL (C.G Lai, S. Foti, M. Rota, 2009)
IPL<=5 Basso
5<IPL<=15 Elevato
IPL=>15 Molto elevato

VALORE CALCOLATO I.P.L.	0,00	POTENZIALE DI ROTTTURA	BASSO

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC VIA CESENA, COMUNE DI IMOLA **PROVA: CPT-1**

PROF. FALDA (m. da p.c.) 1,00 **Amax/g 0,30** **MAGNITUDO: 6,1**

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE CPT

(Metodo di Robertson & Wride, 1998)

Prof. (m)	Qc (kg/cmq)	Fs (kg/cmq)	qc1NCS	rd	MSF	CSR	CRR	Fs
0,2								
0,4	32,00	1,07	205,94	0,997	1,94	0,305	N.C.	**N.C.**
0,6	12,00	0,87	236,53	0,995	1,94	0,304	N.C.	**N.C.**
0,8	14,00	0,87	209,13	0,994	1,94	0,304	N.C.	**N.C.**
1,0	15,00	0,67	161,67	0,992	1,94	0,303	N.C.	**N.C.**
1,2	21,00	1,87	N.L.	0,991	1,94	0,330	N.L.	**N.L.**
1,4	21,00	1,87	N.L.	0,989	1,94	0,353	N.L.	**N.L.**
1,6	31,00	2,47	297,34	0,988	1,94	0,371	N.C.	**N.C.**
1,8	39,00	3,27	337,22	0,986	1,94	0,387	N.C.	**N.C.**
2,0	39,00	3,20	323,38	0,985	1,94	0,401	N.C.	**N.C.**
2,2	43,00	2,93	294,07	0,983	1,94	0,413	N.C.	**N.C.**
2,4	49,00	3,53	276,30	0,982	1,94	0,423	N.C.	**N.C.**
2,6	30,00	2,27	N.L.	0,980	1,94	0,433	N.L.	**N.L.**
2,8	32,00	2,20	238,62	0,979	1,94	0,441	N.C.	**N.C.**
3,0	33,00	2,73	N.L.	0,977	1,94	0,448	N.L.	**N.L.**
3,2	298,00	3,33	459,82	0,976	1,94	0,454	N.C.	**N.C.**

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC VIA CESENA, COMUNE DI IMOLA **PROVA: CPT-2**

PROF. FALDA (m. da p.c.): 1,00 **Amax/g 0,47** **MAGNITUDO: 6,14**

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE CPT

(Metodo di Robertson & Wride, 1998)

Prof. (m)	Ic (n=1) valore	Ic (n=1) classificazione	Ic (n=0,5) valore	Ic (n=0,5) classificazione	Ic (n=0,75) valore	Eventuali Verifiche di campione in laborat.	Ic utilizzato valore	Fs valore
0,2								
0,4	1,80	Granulare	2,00	NPGranulare	1,88	--	2,00	**N.C.**
0,6	2,41	Granulare	2,66	PLimoso	2,53	C.Cinese	2,5	**N.C.**
0,8	2,63	Argilloso	2,87	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,0	2,71	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,2	2,63	Argilloso	2,84	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,4	2,62	Argilloso	2,82	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,6	2,78	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,8	2,77	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,0	2,54	Granulare	2,71	PLimoso	2,62	C.Cinese	2,6	**N.C.**
2,2	2,64	Argilloso	2,79	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,4	2,63	Argilloso	2,77	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,6	2,47	Granulare	2,61	PLimoso	2,54	C.Cinese	2,5	**N.C.**
2,8	2,51	Granulare	2,64	PLimoso	2,57	C.Cinese	2,6	**N.C.**
3,0	2,71	Argilloso	2,82	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
3,2	1,96	Granulare	2,05	NPGranulare	2,01	--	2,1	**N.C.**
3,4	1,78	Granulare	1,86	NPGranulare	1,82	--	1,86	**N.C.**
3,6	1,44	Granulare	1,53	NPGranulare	1,48	--	1,53	**N.C.**

N.B. Seed e Idriss descrivendo il "Criterio Cinese" specificano che la liquefazione si ha solo e se tutte le tre seguenti condizioni sono soddisfatte:
1) Il contenuto in argilla (particelle minori di 5 μ) è <15%
2) Il limite liquido LL<35%
3) Il contenuto naturale d'acqua w>0,9 LL

VALUTAZIONE DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - I.P.L. (Iwasaki et al., 1978)

Si definiscono i seguenti livelli del potenziale di rottura rispetto all'IPL (C.G Lai, S. Foti, M. Rota, 2009)
IPL<=5 Basso
5<IPL<=15 Elevato
IPL=>15 Molto elevato

VALORE CALCOLATO I.P.L.	0,00	POTENZIALE DI ROTTTURA	BASSO

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC VIA CESENA, COMUNE DI IMOLA **PROVA: CPT-2**

PROF. FALDA (m. da p.c.) 1,00 **Amax/g 0,30** **MAGNITUDO: 6,1**

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE CPT

(Metodo di Robertson & Wride, 1998)

Prof. (m)	Qc (kg/cmq)	Fs (kg/cmq)	qc1NCS	rd	MSF	CSR	CRR	Fs
0,2								
0,4	91,00	3,13	428,30	0,997	1,94	0,305	N.C.	**N.C.**
0,6	24,00	1,87	355,68	0,995	1,94	0,304	N.C.	**N.C.**
0,8	18,00	1,80	N.L.	0,994	1,94	0,304	N.L.	**N.L.**
1,0	13,00	1,07	N.L.	0,992	1,94	0,303	N.L.	**N.L.**
1,2	16,00	1,13	N.L.	0,991	1,94	0,330	N.L.	**N.L.**
1,4	18,00	1,27	N.L.	0,989	1,94	0,353	N.L.	**N.L.**
1,6	17,00	1,73	N.L.	0,988	1,94	0,371	N.L.	**N.L.**
1,8	19,00	1,93	N.L.	0,986	1,94	0,387	N.L.	**N.L.**
2,0	29,00	2,00	248,35	0,985	1,94	0,401	N.C.	**N.C.**
2,2	31,00	2,80	N.L.	0,983	1,94	0,413	N.L.	**N.L.**
2,4	32,00	2,73	N.L.	0,982	1,94	0,423	N.L.	**N.L.**
2,6	36,00	2,07	230,58	0,980	1,94	0,433	N.C.	**N.C.**
2,8	39,00	2,53	253,69	0,979	1,94	0,441	N.C.	**N.C.**
3,0	40,00	4,47	N.L.	0,977	1,94	0,448	N.L.	**N.L.**
3,2	163,00	5,53	345,97	0,976	1,94	0,454	N.C.	**N.C.**
3,4	222,00	5,33	385,98	0,974	1,94	0,460	N.C.	**N.C.**
3,6	275,00	3,00	405,47	0,972	1,94	0,465	N.C.	**N.C.**

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC VIA CESENA, COMUNE DI IMOLA **PROVA: CPT-3**

PROF. FALDA (m. da p.c.): 1,00 **Amax/g 0,47** **MAGNITUDO: 6,14**

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE CPT

(Metodo di Robertson & Wride, 1998)

Prof. (m)	Ic (n=1) valore	Ic (n=1) classificazione	Ic (n=0,5) valore	Ic (n=0,5) classificazione	Ic (n=0,75) valore	Eventuali Verifiche di campione in laborat.	Ic utilizzato valore	Fs valore
0,2								
0,4	2,41	Granulare	2,68	PLimoso	2,54	C.Cinese	2,54	**N.C.**
0,6	2,50	Granulare	2,78	PLimoso	2,63	C.Cinese	2,6	**N.C.**
0,8	2,57	Granulare	2,83	PLimoso	2,69	C.Cinese	2,7	**N.C.**
1,0	2,68	Argilloso	2,91	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,2	2,79	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,4	2,85	Argilloso	3,05	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,6	2,72	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
1,8	2,67	Argilloso	2,87	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,0	2,68	Argilloso	2,85	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,2	2,59	Granulare	2,76	PLimoso	2,67	C.Cinese	2,7	**N.C.**
2,4	2,52	Granulare	2,67	PLimoso	2,60	C.Cinese	2,6	**N.C.**
2,6	2,61	Argilloso	2,75	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
2,8	2,53	Granulare	2,66	PLimoso	2,59	C.Cinese	2,6	**N.C.**
3,0	2,76	Argilloso	2,90	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
3,2	2,60	Argilloso	2,73	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
3,4	2,86	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	--	--	**N.L.**
3,6	1,03	Granulare	1,13	NPGranulare	1,08	--	1,13	**N.C.**

N.B. Seed e Idriss descrivendo il "Criterio Cinese" specificano che la liquefazione si ha solo e se tutte le tre seguenti condizioni sono soddisfatte:
1) Il contenuto in argilla (particelle minori di 5 μ) è <15%
2) Il limite liquido LL<35%
3) Il contenuto naturale d'acqua w>0,9 LL

VALUTAZIONE DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - I.P.L. (Iwasaki et al., 1978)

Si definiscono i seguenti livelli del potenziale di rottura rispetto all'IPL (C.G Lai, S. Foti, M. Rota, 2009)
IPL<=5 Basso
5<IPL<=15 Elevato
IPL=>15 Molto elevato

VALORE CALCOLATO I.P.L.	0,00	POTENZIALE DI ROTTTURA	BASSO

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC VIA CESENA, COMUNE DI IMOLA **PROVA: CPT-3**

PROF. FALDA (m. da p.c.): 1,00 **Amax/g 0,30** **MAGNITUDO: 6,14**

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE CPT

(Metodo di Robertson & Wride, 1998)

Prof. (m)	Qc (kg/cmq)	Fs (kg/cmq)	qc_{INCS}	rd	MSF	CSR	CRR	Fs
0,2								
0,4	25,00	2,47	511,20	0,997	1,94	0,305	N.C.	**N.C.**
0,6	15,00	1,13	270,87	0,995	1,94	0,304	N.C.	**N.C.**
0,8	14,00	1,00	227,64	0,994	1,94	0,304	N.C.	**N.C.**
1,0	15,00	1,27	N.L.	0,992	1,94	0,303	N.L.	**N.L.**
1,2	12,00	1,07	N.L.	0,991	1,94	0,330	N.L.	**N.L.**
1,4	11,00	1,00	N.L.	0,989	1,94	0,353	N.L.	**N.L.**
1,6	8,00	0,33	N.L.	0,988	1,94	0,371	N.L.	**N.L.**
1,8	12,00	0,60	N.L.	0,986	1,94	0,387	N.L.	**N.L.**
2,0	17,00	1,13	N.L.	0,985	1,94	0,401	N.L.	**N.L.**
2,2	19,00	1,00	169,40	0,983	1,94	0,413	N.C.	**N.C.**
2,4	28,00	1,60	207,79	0,982	1,94	0,423	N.C.	**N.C.**
2,6	26,00	1,73	N.L.	0,980	1,94	0,433	N.L.	**N.L.**
2,8	30,00	1,67	203,21	0,979	1,94	0,441	N.C.	**N.C.**
3,0	17,00	1,13	N.L.	0,977	1,94	0,448	N.L.	**N.L.**
3,2	22,00	1,07	N.L.	0,976	1,94	0,454	N.L.	**N.L.**
3,4	26,00	3,00	N.L.	0,974	1,94	0,460	N.L.	**N.L.**
3,6	366,00	1,60	539,64	0,972	1,94	0,465	N.C.	**N.C.**

GEO-NET s.r.l.
via Grieco, 9/b 40026 Imola (Bo)
Tel. 0542 628479 Fax 0542 643370
info@geo-net.it www.geo-net.it

CANTIERE: POC - VIA CESENA - IMOLA (BO)

PROF. FALDA (m. da p.c.): 1,00 **Amax/g** 0,47 **MAGNITUDO:** 6,14

VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE SULLA BASE DI PROVE S.P.T.

(Metodo di Seed & Idriss, 1982)

Sondaggio	Prova	Prof. Prova (m)	γ (t/mc)	γ sat (t/mc)	σv/σ'v	Nspt	Na	rd	MSF	CSR	CRR	Fs
S1-10	SPT-1	6	1,90	2	1,86	85	107,84	0,95	1,94	0,279	1,20	**4,29**
S1-10	SPT-2	9	1,90	2	1,97	35	36,96	0,93	1,94	0,288	0,41	**1,42**
S1-10	SPT-3	12	1,90	2	2,03	100	90,43	0,85	1,94	0,272	1,00	**3,69**
S1-10	SPT-4	15	1,90	2	2,06	47	37,16	0,77	1,94	0,251	0,41	**1,64**
S1-10	SPT-5	18	1,90	2	2,09	100	70,25	0,69	1,94	0,228	0,78	**3,42**
S2-10	SPT-1	5,9	1,90	2	1,85	93	118,78	0,95	1,94	0,279	1,32	**4,73**
S2-10	SPT-2	8,8	1,90	2	1,96	99	105,72	0,93	1,94	0,288	1,17	**4,08**
S2-10	SPT-3	12	1,90	2	2,03	33	29,84	0,85	1,94	0,272	0,33	**1,22**
S2-10	SPT-4	15	1,90	2	2,06	100	79,07	0,77	1,94	0,251	0,88	**3,50**
S2-10	SPT-5	19	1,90	2	2,09	49	33,19	0,67	1,94	0,220	0,37	**1,68**
-	-	-										
-	-	-										

CENNI TEORICI

$$Fs = \frac{CRR}{CSR}$$

Il coefficiente di sicurezza è valutato come rapporto fra la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) e la domanda di resistenza alla liquefazione (CSR)

$$CSR = \frac{\tau_{AV}}{\sigma'_V} = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_V}{\sigma'_V}\right) \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

dove:

a_{max} : accelerazione orizzontale di piccoprodotta dal terremoto in superficie;
g : accelerazione di gravità;
σ_V : tensione verticale litostatiche totale;
σ'_V : tensione verticale litostatiche efficace;
r_d : coefficiente di riduzione delle tensioni;
MSF : coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

$$CRR = \frac{Na}{90}$$

con

$$Na = N_1 + N_{SPT} \cdot \left(\frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v}\right)$$

dove:

$$N_1 = \begin{cases} 0.0 & \text{se } d_{50} > 0.25 \\ 7.5 & \text{se } d_{50} \le 0.25 \end{cases}$$

N_{SPT} : numero di colpi della prova penetrometrica standard;
d_{50} : diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50% espresso in [mm];
σ'_v : pressione verticale efficace espressa in [kg/cm^2].

COMUNE DI IMOLA
Provincia di Bologna

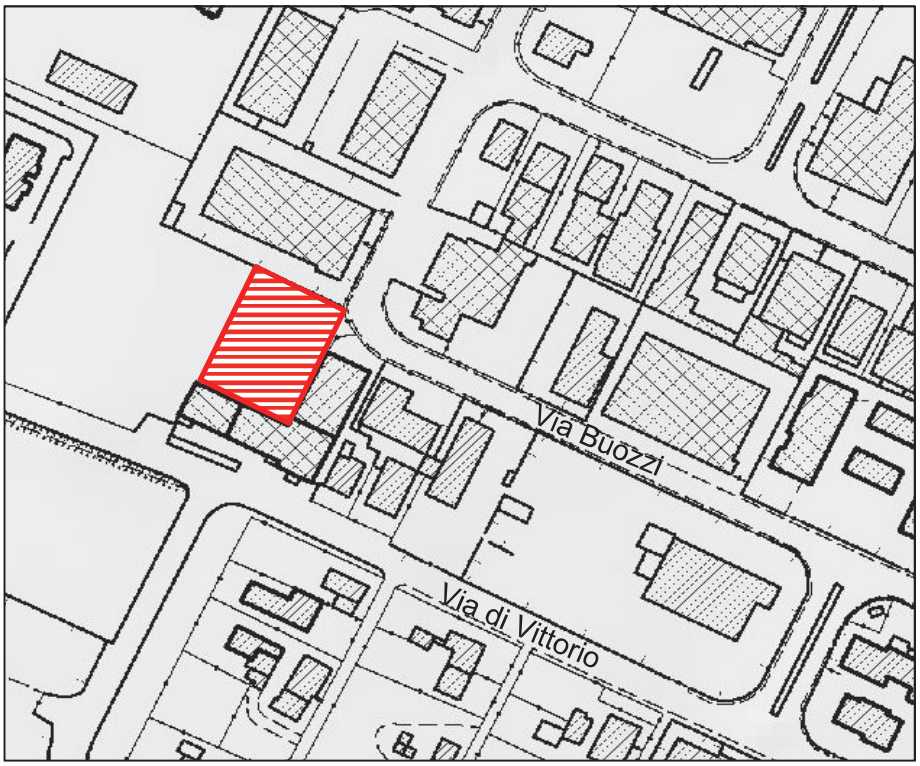
C.E.S.I. Soc. Coop.

Valutazione della vulnerabilità geologica e sismica di un'area sita in località Imola in via Buozzi

DOTT. GEOLOGO BORGHETTI MASSIMO

Via S. Mauro, 2077 47522 Cesena (FC) tel. 0547 / 335501

Iscritto Ordine dei Geologi Emilia Romagna n°305 S ez. A



I DICE

	REMESSA	
	ORMATIVA DI RI ERIME TO	
	SO T ARE TILI ATI	
	RI ERIME TI ALTIMETRICI	
	VI COLI	
	I ADRAME TO TERRITORIALE	
	AS ETTI GEOMOR OLOGICI GE ERALI	
	GEOMOR OLOGIA LOCALE	
	I DAGI I GEOG OSTICHE	
	MODELLA IO E GEOLOGICA DA I DAGI I I SITO	
	MODELLA IO E GEO ISICA . prova MAS . prova HVSR	
	ESITO MODELLA IO E GEO ISICA	
	AS ETTI IDROLOGI ED IDROGRA ICI	
	V L ERABILITA' IDROGEOLOGICA DEL SITO	
	VAL TA IO E DELLA ERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO	
	A ALISI DELLA ERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	
	ORIE TAME TI GEOTEC ICI	
	CO SIDERA IO I I ALI	
	RESCRI IO I	
	ARERE	

A E DICE	rove penetrometric e gra ici e tabulati	

. . REMESSA

La presente relazione è redatta nell'ambito della valutazione della vulnerabilità geologica e sismica di un lotto di terreno per la richiesta di inserimento nel POC Comunale 2017 ÷ 2022.

Lo scopo dell'elaborato è quindi l'individuazione delle caratteristiche geologiche, morfologiche, stratigrafiche e sismiche dei terreni, alle quali si è giunti mediante delle verifiche in sito comprendenti: tre prove penetrometriche di cui due statiche ed una dinamica e quattro geofisiche: una tipo Masw e tre tipo HVSR (microtremori)

Di seguito saranno presi in considerazione i seguenti aspetti:

1) Situazione geologica e stratigrafica
2) Tettonica e geomorfologia
3) Idrogeologia ed idrologia locale
4) Sismica locale

. . ORMATIVA E DOC ME TA IO E TEC ICA DI RI ERIME TO

. . . normativa

- D.M. 14 GENNAIO 2008 Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- CIRCOLARE N° 617 del 02/02/2009 Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- L.R. Emilia Romagna 20 marzo 2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" "Indirizzi per gli studi di microzonazione territoriale ed urbanistica"
- Delibera Giunta Regione E – R N° 2193 del 21 dicem bre 2015 Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia – Romagna per la Pianificazione Territoriale Urbanistica"

. . documentazione tecnica

- Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"
- AGI, marzo 2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, Linee Guida"
- Gruppo di Studio Protezione Civile "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS)"

. SO T ARE TILI ATI

Per l'elaborazione delle prove penetrometriche, la definizione dei parametri geotecnici in forma media e caratteristica sono stati utilizzati, oltre ad alcuni fogli di calcolo interni, i programmi seguenti:

Oggetto	Programma	Ditta
Prove penetrometriche	Static Probing	Geostru
Prove dinamiche	Dinamic Probing	Geostru
Parametri sismici	Geostru PS	Geostru
Prova Masw	EasyMASW	Geostru
Prova HVSR	EasyHVSR	Geostru

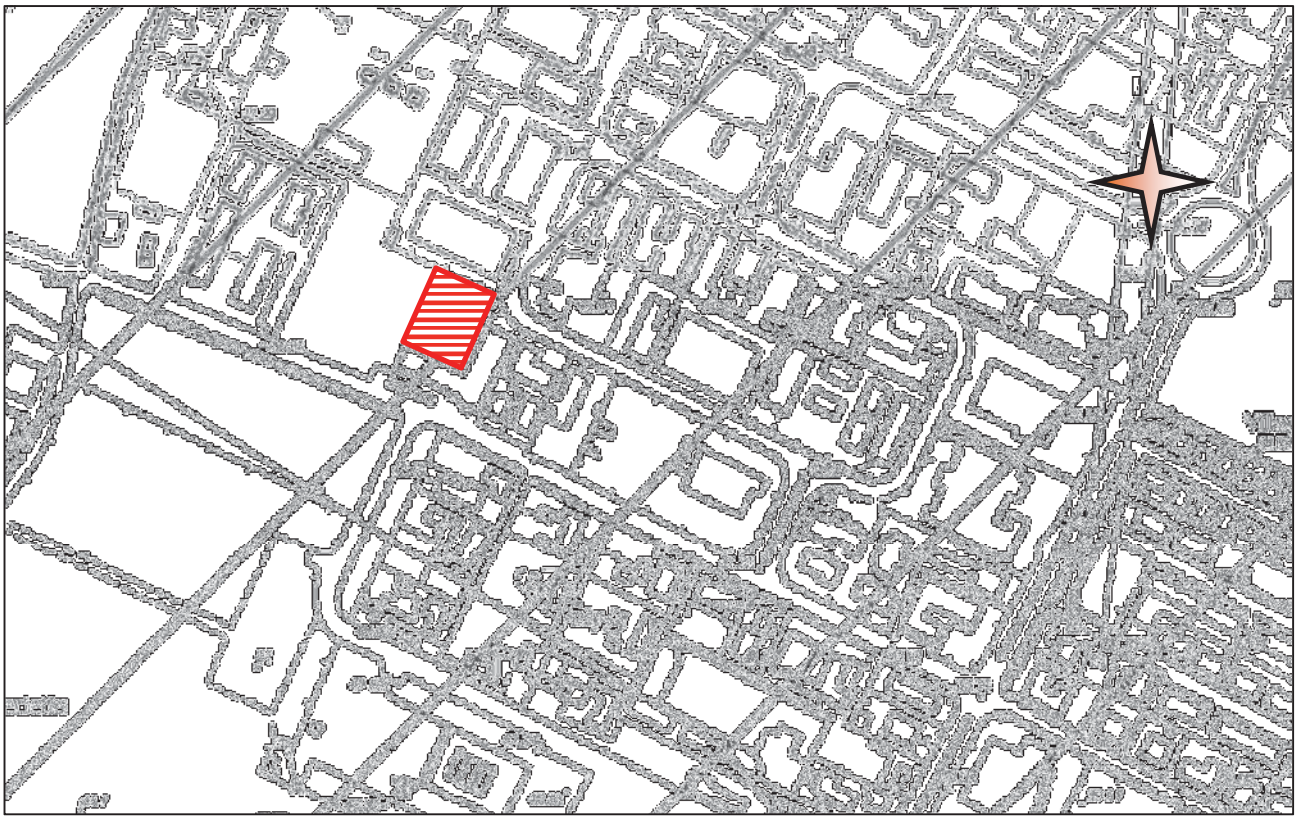
. RI ERIME TI ALTIMETRICI

Come quota base (0,00) di riferimento è stata assunta quella corrispondente al piano di calpestio centro strada via Buozzi, da cui

- CPT1 : 0.00 m
- CPT2 : 0.00 m
- D1 : 0.00 m

.VI COLI

Il lotto in oggetto nella tav. 3 "TUTELE RELATIVE ALLA VULNERABILITA' E SICUREZZA DEL TERRITORIO" ricade all'interno di una porzione di territorio in cui è previsto il controllo degli apporti d'acqua e che è regolamentato dall' Art. 3.1.10. Questi, per interventi che comportano un'impermeabilizzazione del territorio, indica l'obbligo della realizzazione di strutture atte alla laminazione delle acque meteoriche.



ig. Estratto SC tavola oglio T TELE RELATIVE ALLA V L ERABILITA' E SIC RE A DEL TERRITORIO

.I ADRAME TO TERRITORIALE

L'area in oggetto è posta a nord del centro storico di Imola a valle della linea ferroviaria Bologna – Bari in una porzione di territorio alquanto antropizzata, che è stata oggetto di una espansione urbanistica di tipo produttivo e residenziale. Il

contesto generale è caratterizzato da una debole inclinazione verso nord est con il lotto posto a circa 42,0 m sul livello medio del mare. I riferimenti cartografici sono:

- CTR 239010 Imola



Fig. 7.1 Estratto CTR Regione Emilia Romagna

7.1 ASPETTI GEOMORFOLOGICI GENERALI

Il territorio del comune di Imola appartiene al bacino sedimentario padano, costituito da una successione ciclica di depositi marini, deltizi, alluvionali, lagunari e palustri che poggiano su un substrato con una complessa configurazione a pieghe. Queste hanno una disposizione assiale parallela alle principali linee strutturali appenniniche, ovvero NW – SE ed hanno condizionato la successiva disposizione verticale delle coltre sedimentaria, che presenta spessori notevoli. In conseguenza della molteplicità degli ambienti deposizionali i sedimenti presentano una elevata variabilità litologica degli strati, con presenza di limi, argille, sabbie, ghiaie e miscele tra di esse.

Nello stralcio riportato in fig. 7.1 sono evidenziati gli aspetti morfologici e strutturali che caratterizzano il territorio in cui è inserita l'area in oggetto. Si nota l'indicazione delle isobate del pliocene (5000 m parallela alla linea ferroviaria), la presenza di due faglie profonde dirette dedotte ed un sovrascorrimento, con disposizione ortogonale alle faglie, profondo post-tortoniano dedotto.

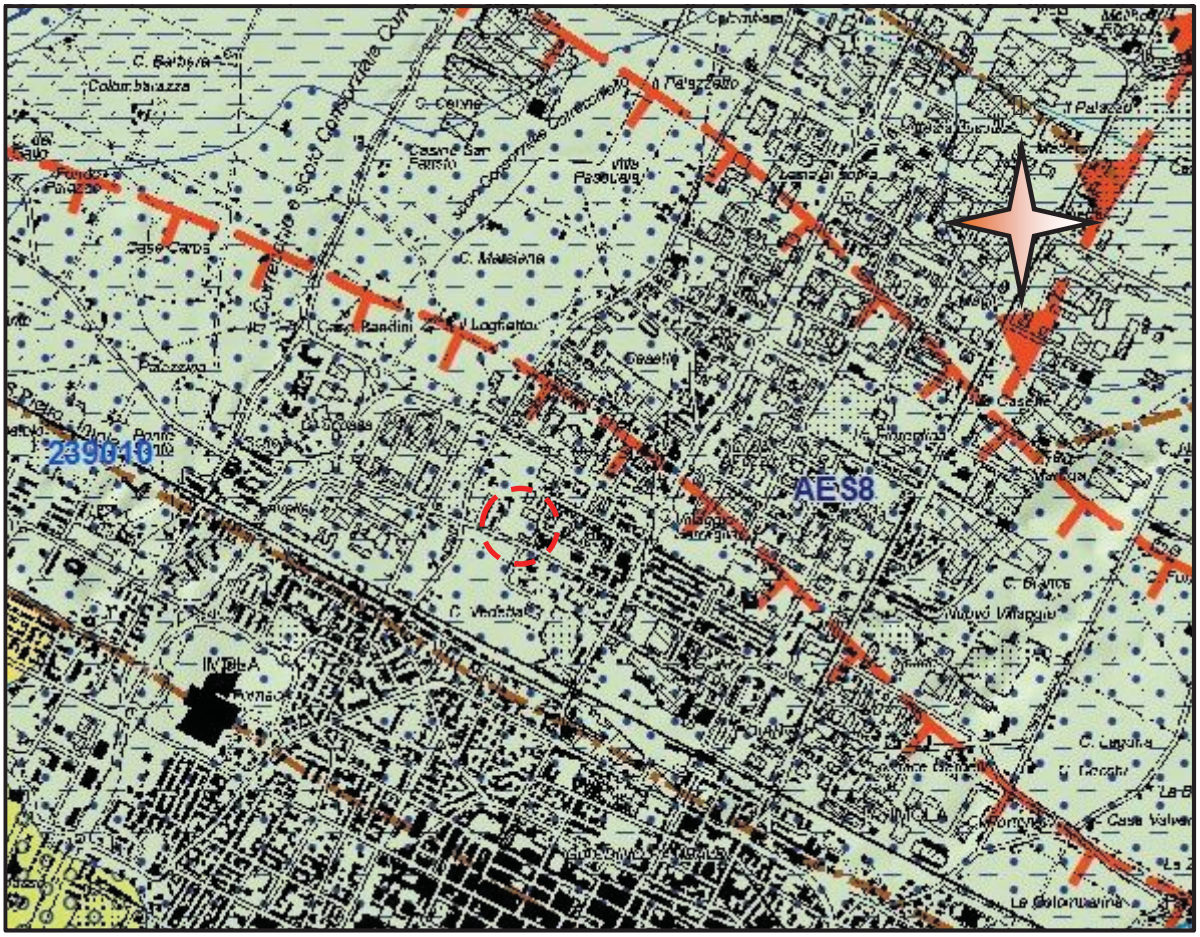


Fig. 3 - Stralcio carta geologica e geomorfologica cartografia da archivio cartografico regione E.R.

GEO MORFOLOGICA LOCALE

Il lotto in oggetto è parte integrante di una porzione di territorio con andamento sub pianeggiante. A livello generale si nota una debole inclinazione verso nord. Gli aspetti morfologici sono stati alterati, se non completamente cancellati, dall'azione antropica a cui è stato assoggettato il territorio.

L'assetto geologico è caratterizzato da un deposito di piana alluvionale appartenente alla successione neogenico – quaternaria del margine appenninico padano: subsistema di Ravenna, che è indicato con la sigla AES8. Questi costituisce l'elemento sommitale dell'Alloformazione Emiliano – Romagnola Superiore (AES) ed è formato da sabbie, argille, limi e ghiaie organizzati in corpi lenticolari, nastriformi, tubolari e cuneiformi di spessore plurimetrico, con una tessitura superficiale assimilabile a limo argilloso sabbioso.

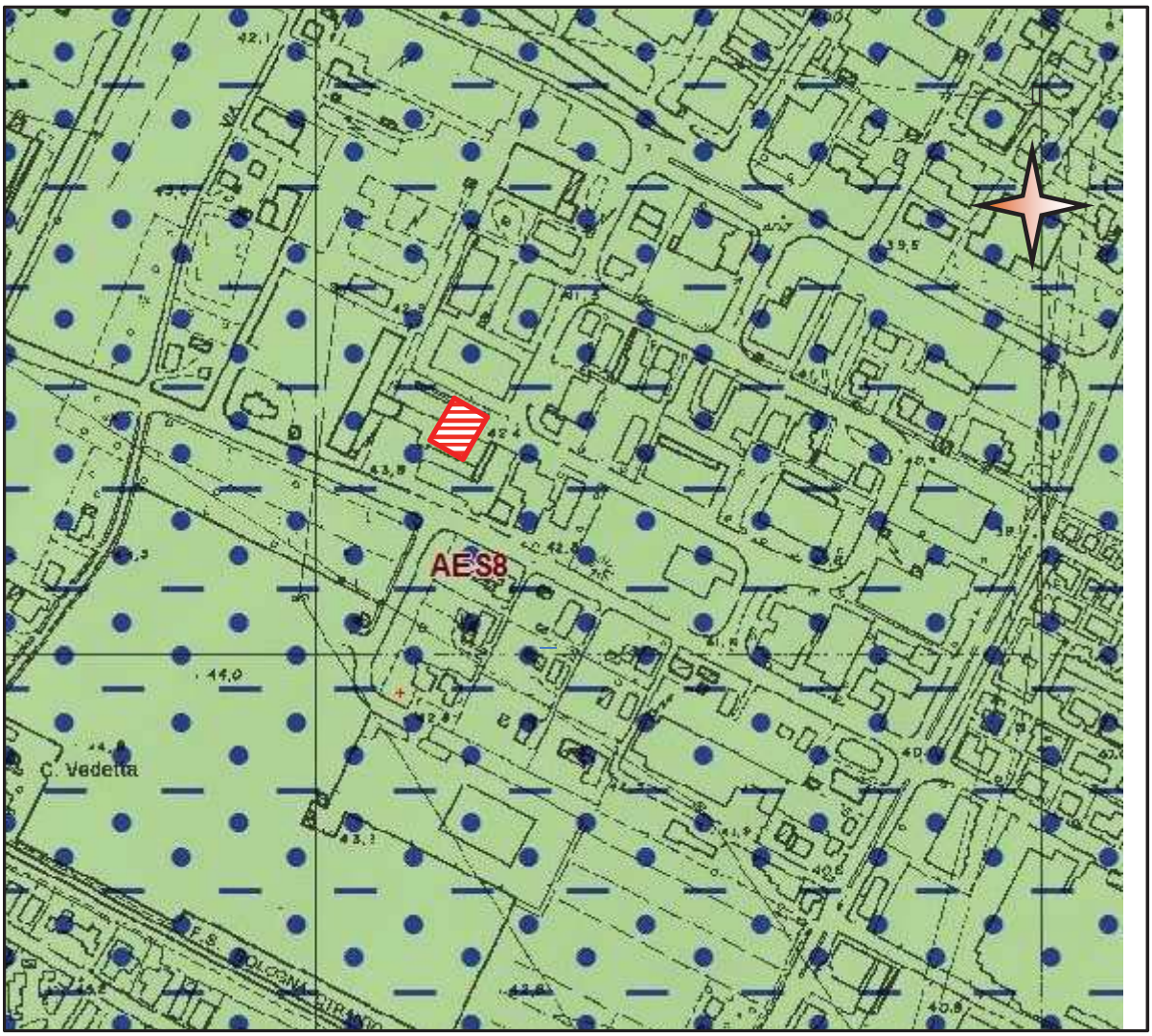


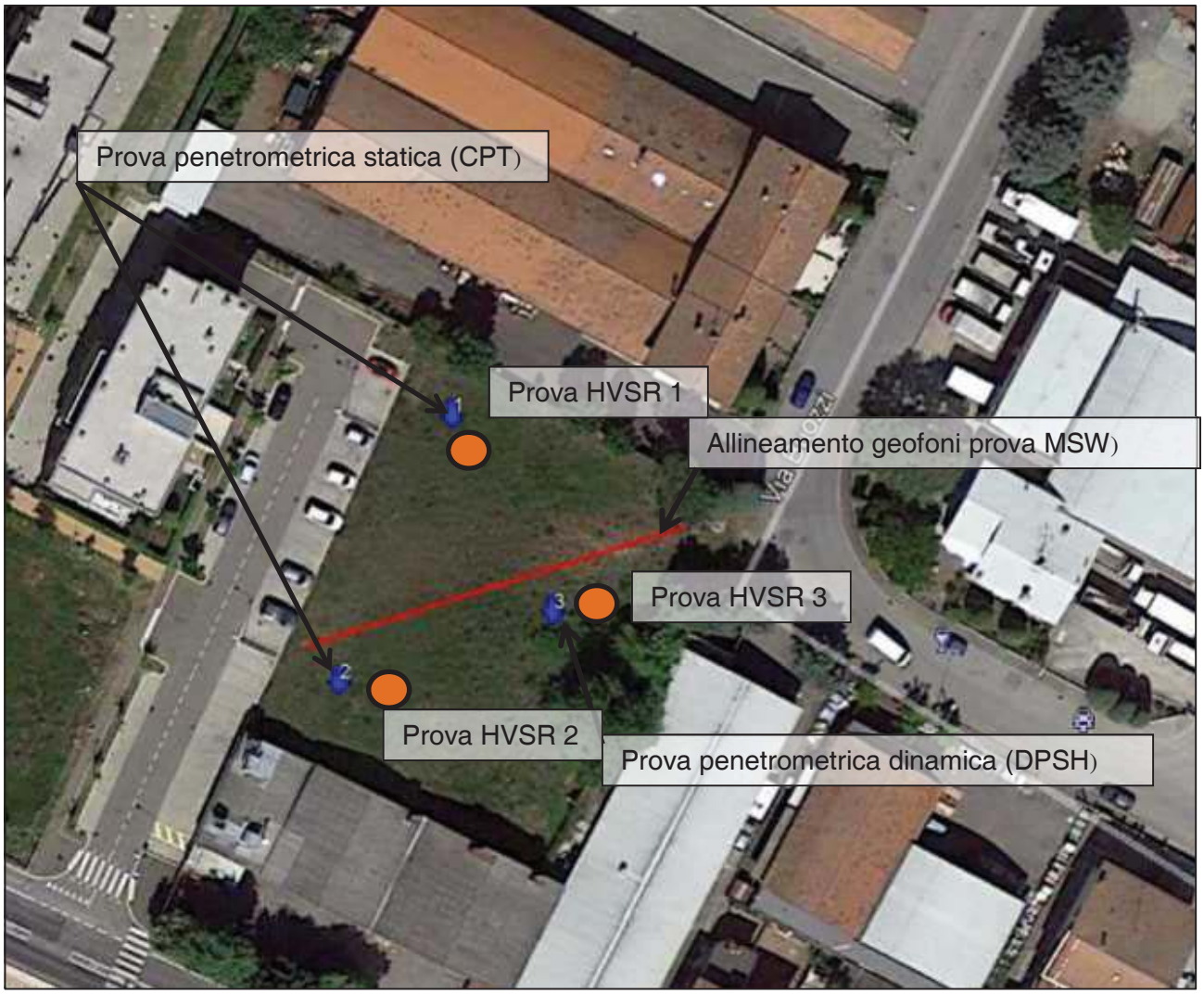
Figura 3.1 Stralcio carta geologica da archivio cartografico regione E.R.

AES8 - Subsintema di Ravenna

Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unita' AES8a. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti. Subsintema contenente una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa.
(Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione 14C).)

3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di verificare la tipologia dei terreni indagati e la successione stratigrafica superficiale si è provveduto all'esecuzione di tre prove penetrometriche (due statiche con punta meccanica ed una dinamica superpesante) e di quattro geofisiche: una tipo MASW e tre tipo HVSR, ubicate come da figura sottostante.



ig. . lanimetria con ubicazione indagini

9.1 Prova penetrometrica con punta meccanica (CPT)

La prova statica consiste nell'infissione nel terreno, prima di una punta meccanica (tipo Begemann) con area di 10 cm^2 ed angolo di apertura di 60° per la determinazione della resistenza alla punta (Rp), poi di un manicotto di frizione (superficie di 150 cm^2) per la misurazione dell'attrito laterale (Rl).

L'infissione è ottenuta forzando la punta nel terreno con avanzamento controllato (2 cm/sec) e misurando la pressione corrispondente. I risultati della prova sono mostrati nei tabulati e nei grafici dell'appendice 1

. rova penetrometrica dinamica superpesante D SH

Lo strumento utilizzato è un penetrometro dinamico superpesante con una massa battente di 63,50 Kg ed un'altezza di caduta di 75 cm.

La prova è articolata nella valutazione del numero di colpi necessari all' infissione di 30 cm di una punta avente un'area di 20 cm^2 ed un angolo di apertura di 90°. Tramite

questo parametro e le caratteristiche dello strumento si determina la resistenza dinamica alla penetrazione (Rpd) definita dalla relazione:

$$Rpd = N \times (M^2 \times H)/10xA \times(M+K) \quad (1)$$

In cui :
M = peso del maglio
H = altezza di caduta del maglio
A = sezione della punta conica
K = peso del sistema battente
N = numero di colpi

La prova dinamica in continuo (SCPT) è correlabile alla standard (SPT) tramite un rapporto di conversione, che tiene conto delle caratteristiche dei due strumenti, in questo contesto si ha:

$$Nspt = N_{SCPT} \text{ X } 1,5$$

9.3 Prova sismica MASW

E' una tecnica di registrazione simultanea di più ricevitori (geofoni) di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva, posta a distanze ben definite e costanti dal primo ricevitore estremo.

La strumentazione utilizzata è composta da 24 geofoni disposti ad intervallo regolare di 2,00 m. con collocazione del punto d'immissione dell'impulso, variabile secondo multipli dello stesso.

9.4 Prova sismica HVSR

La sismica passiva si basa sulla misura dei microtremori che sono sempre presenti sulla superficie terrestre e sono generati da fenomeni naturali (vento, onde marine) e artificiali (attività antropiche).

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è il SISMOGRAFO SLO7 C3", si tratta di un sismografo di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), un ampio intervallo frequenziale (0,1 – 300 Hz) e il sistema GPS integrato.

. CARATTERI A IO E GEOLOGICO STRATIGRA ICA

. modellazione geologico stratigra ica pro onda da bibliogra ia

Al fine di un inquadramento più ampio dell'area in indagine nonché per la definizione della successione stratigrafica profonda si è fatto riferimento al data base del Servizio Cartografico Regionale. In esso sono riportati gli esiti di prove penetrometriche statiche e/o dinamiche, di sondaggi a carotaggio continuo, le stratigrafie redatte in fase di escavazioni dei pozzi per approvvigionamento acqua e quelle inerenti i sondaggi esplorativi per la ricerca di idrocarburi. Tutte queste informazioni sono state utlizzate per la redazione delle sezioni geologiche profonde. Nello specifico la sezione geologica più prossima al sito d'interesse e la 81 "Imola Comacchio".



Fig. 3.1 Stralcio della carta sezioni DB cartografico Regione Emilia Romagna

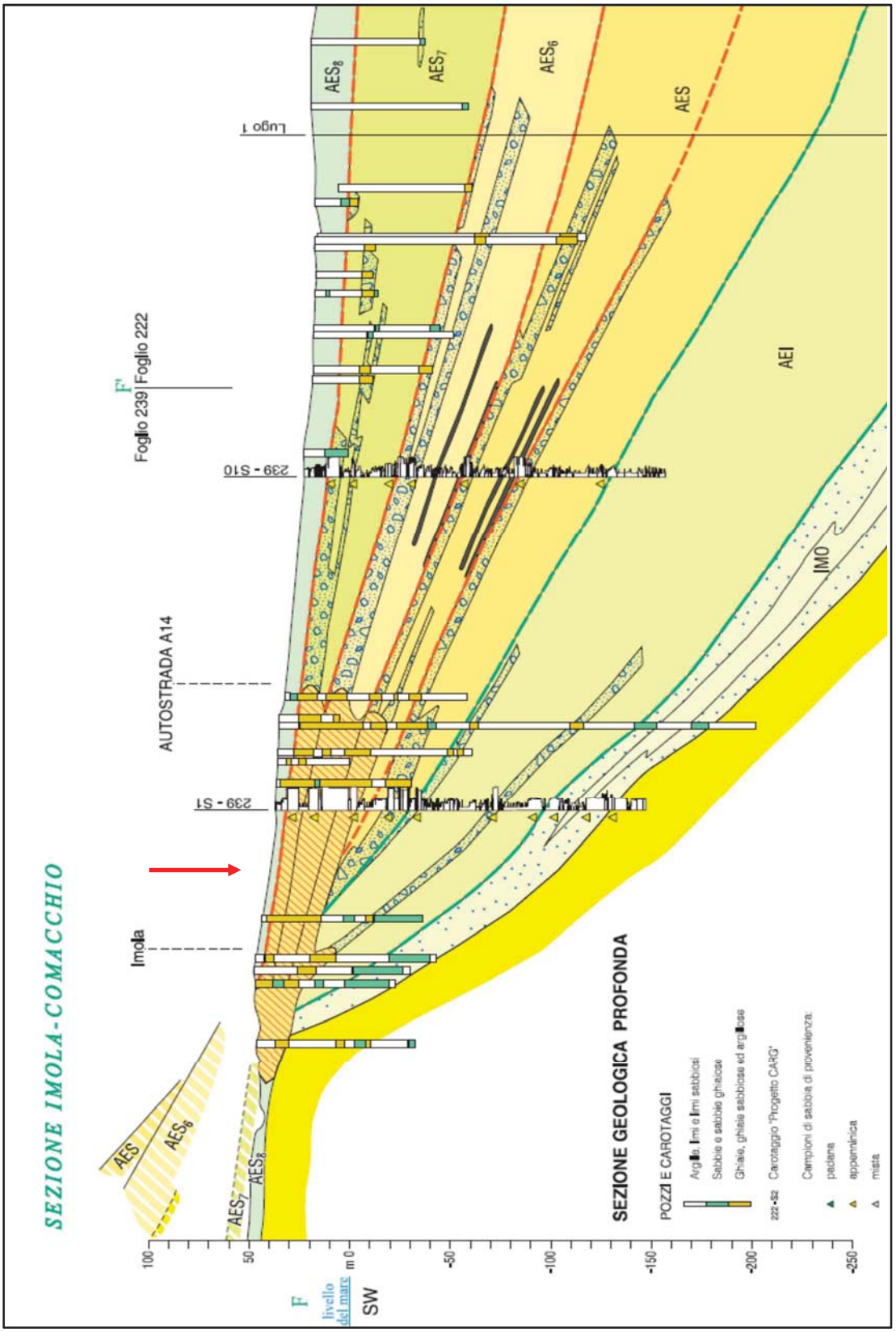


Fig. 3.1 Stralcio della sezione stratigrafica del D.B. cartografico Regione Emilia Romagna

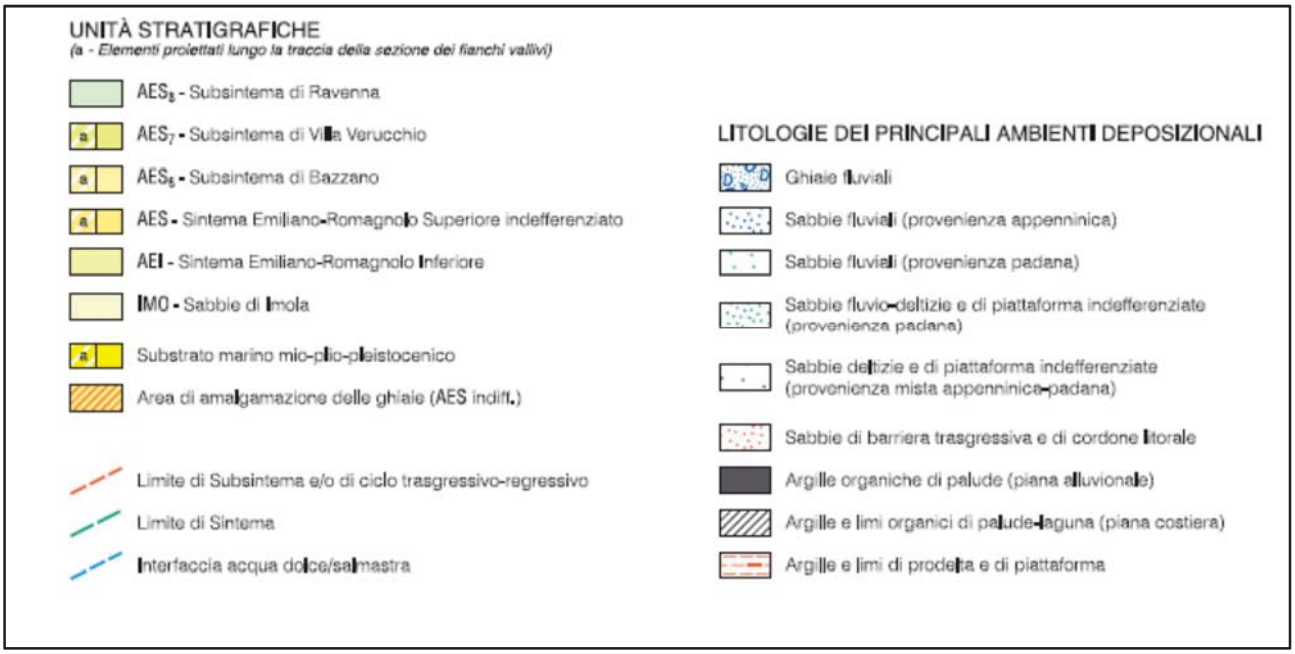


Fig. 10.1 Legenda sezione stratigrafica

In asse al lotto in indagine, la sezione mostra la successione seguente:

- Da piano campagna per uno spessore di 6,0 ÷ 8,0 m deposito alluvionale limoso argilloso e/o limoso sabbioso (AES8)
- Da -6,0 ÷ -8,0 m a -38,0 ÷ 40,0 m amalgama ghiaioso (AES indifferenziato)
- Da -38,0 ÷ 40,0 m a -90,0 ÷ 100,0 m depositi sabbiosi, limosi, argillosi con alternanze di ghiaie (AEI)
- Da -90,0 ÷ 100,0 a – circa – 130 m depositi sabbiosi ed arenitici fini e finissimi (Sabbie di Imola IMO)
- Da -130 m circa inizio substrato marino mio-plio-pleistocenico

10.2 modellazione geologico stratigrafica superficiale da indagini in sito

Dal rapporto tra le resistenze (statica e laterale) misurate durante la fase d'acquisizione dati della prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT), è possibile stimare la struttura litologica dei terreni attraversati tramite il rapporto delle resistenze.

Il grafico sottostante (fig. 10.2) mostra, per la prove CPT, il rapporto tra le resistenze (fs/qc) espresso in percentuale con i limiti di identificazione della composizione litologica come da indicazioni di Schmertmann

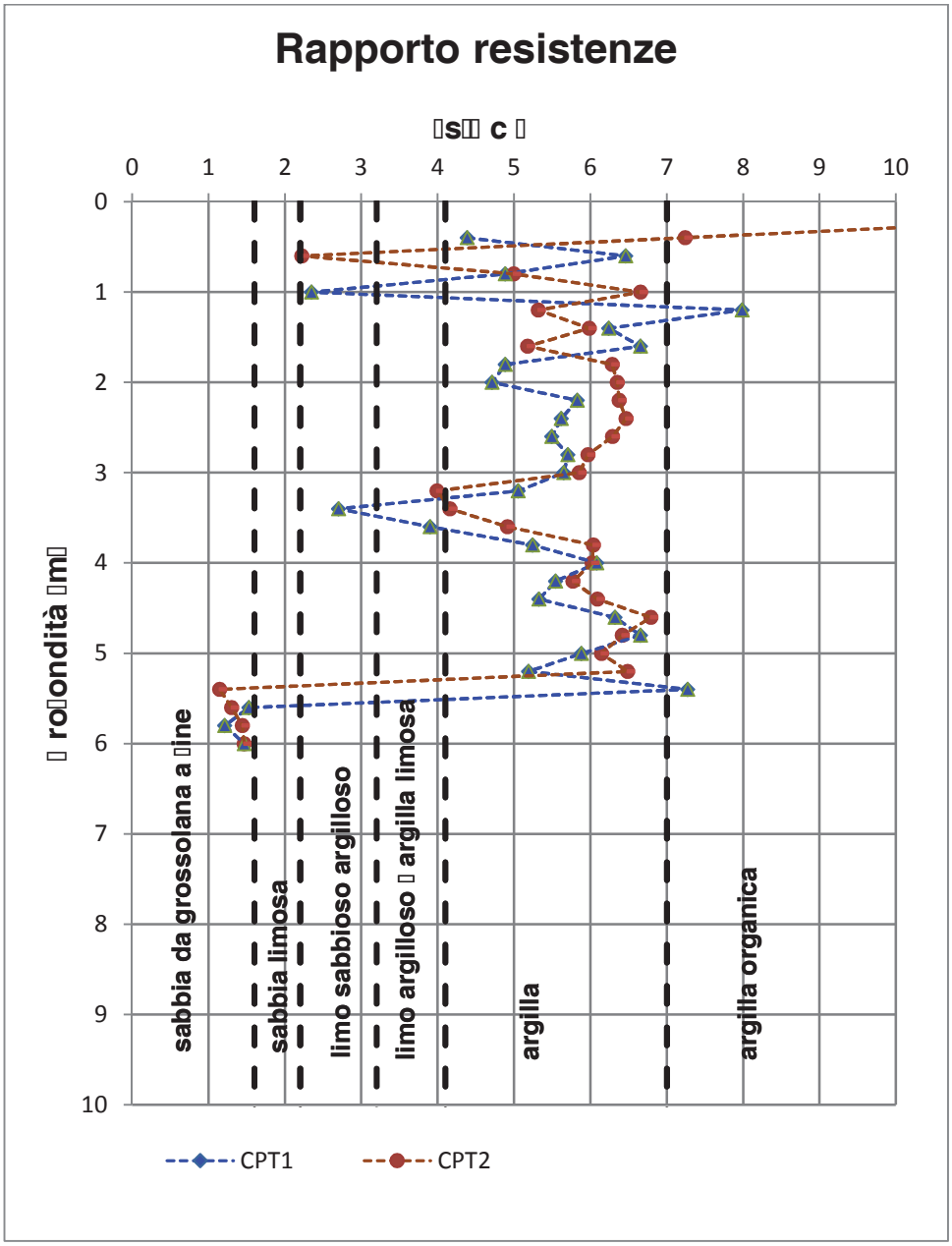


Fig. 10.4

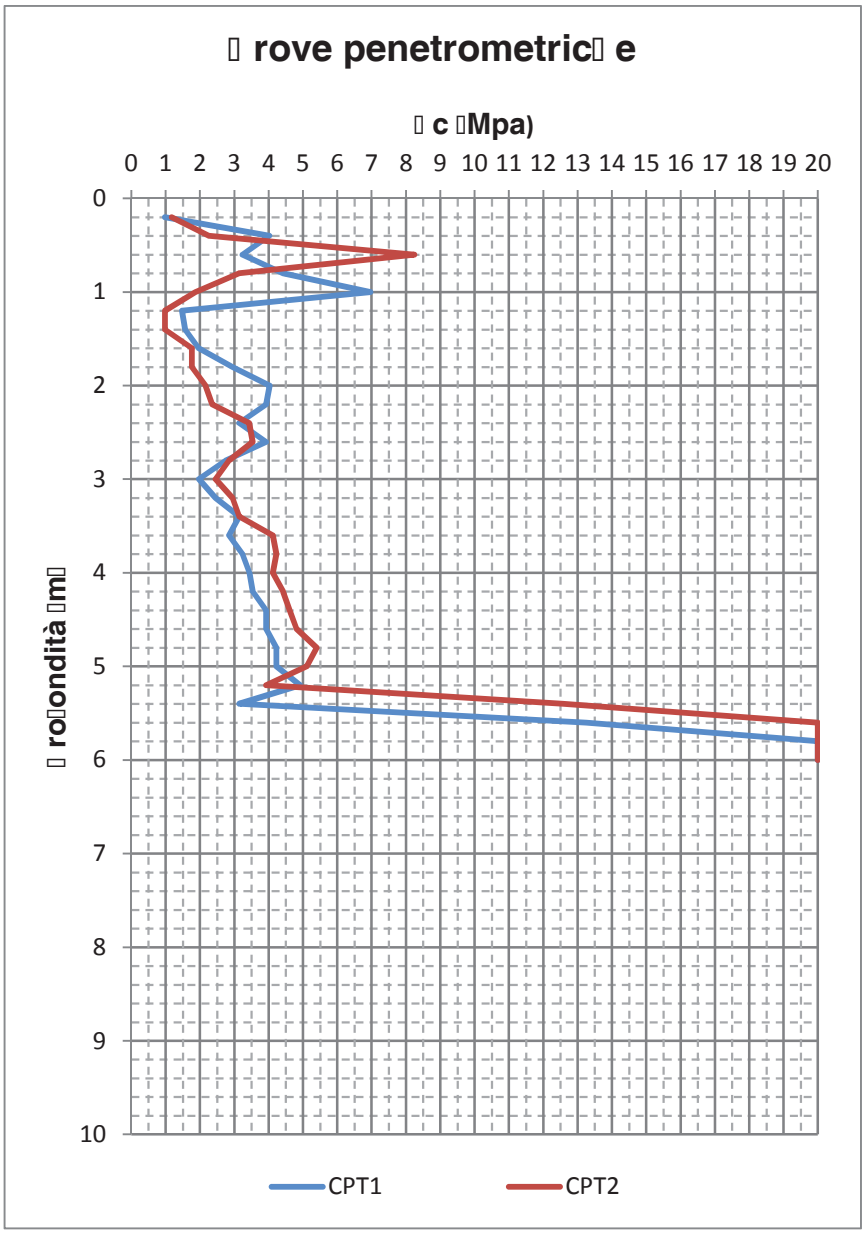
Il grafico della stima litologica (fig. 10.4) mostra la presenza di terreni a composizione argilloso limosa e/o limoso argillosa sino alla profondità di circa 5,40 m passante a terreni a matrice grossolana.

Dal grafico di Fig. 10.5, che illustra l'andamento dei segnali della resistenza statica alla punta (qc), sono possibili le considerazioni seguenti:

- la disposizione è molto simile, da cui ne deriva una buona omogeneità stratigrafica;
- i picchi di resistenza all'interno dello strato superficiale (primo metro) indicano un rimaneggiamento con materiale grossolano di origine antropica;

- i terreni fini (argilla limosa e/o limo argilloso) rinvenuti dalla profondità di 1,00 m sino alla profondità di 5,40 m sono in uno stato di consistenza assimilabile al medio compatto, tendente alla base al compatto,
- dalla profondità di 5,40 m ha inizio un deposito ghiaioso medio grossolano, caratterizzato, al tetto, da una densità medio alta.

.



ig. .

Un illustrazione di quanto sopra enunciato è rappresentata nella sezione sottostante (Fig. 10.6)

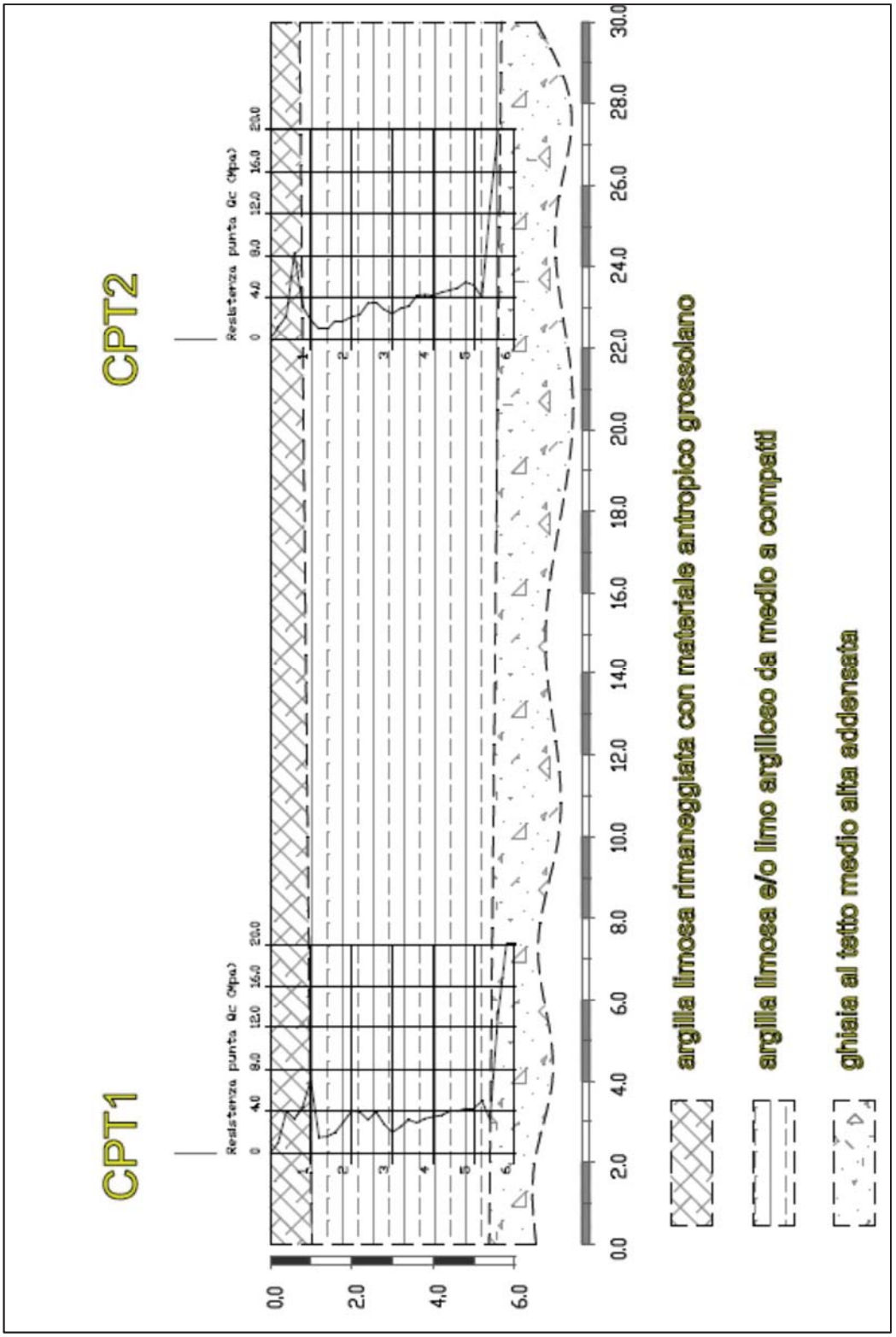


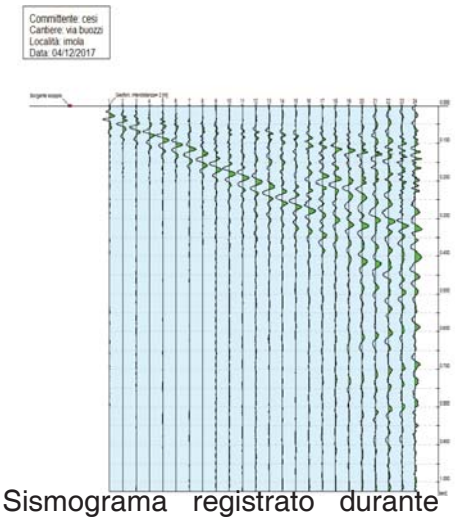
Fig. 3.1 Sezione geologica

MODELLAZIONE GEOFISICA

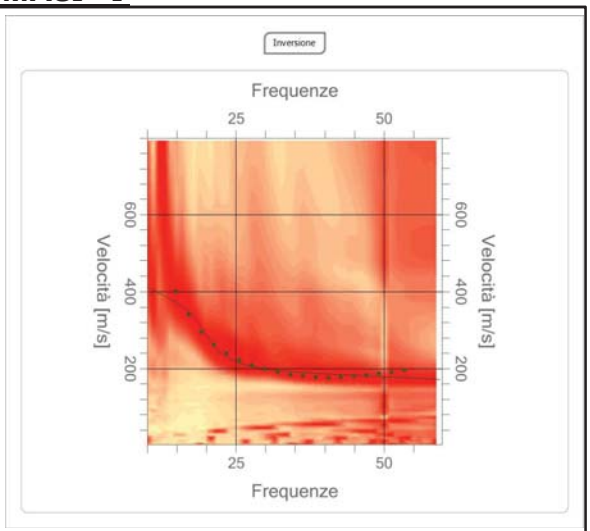
Nel lotto in indagine sono state eseguite due tipi d'indagine geofisica: la prova MASW e la HVSR. Con la prima è stata identificata la velocità di propagazione delle onde di taglio (VS), mentre con la seconda le frequenze di vibrazione dei vali livelli stratigrafici

PROVE MASW

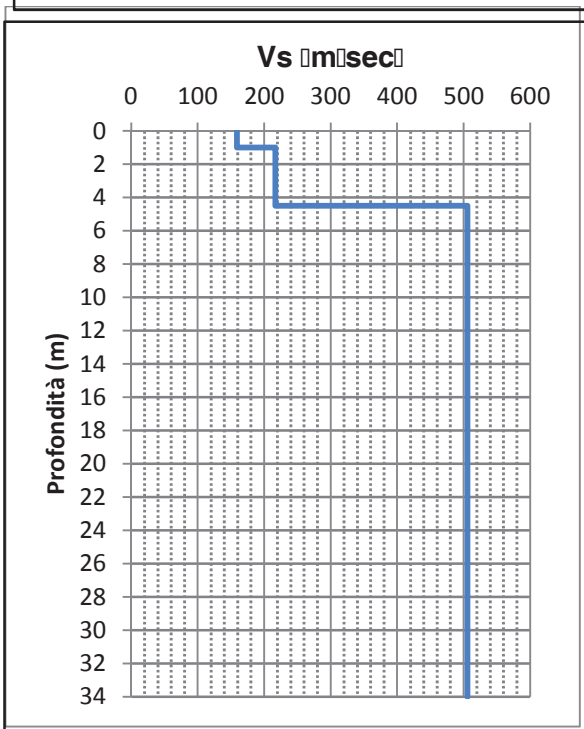
PROVA MASW



Sismogramma registrato durante le acquisizioni . In ascissa il numero di canali, in ordinata il tempo (ms)



Spettro di potenza nel dominio f-v e curva d'inversione



Modello di sottosuolo (1D) descritto in termine di Vs e profondità dei sismostrati

n° strato	Profondità letto (m)	spessore (m)	Vs (m/s)
1	1.0	1.0	159
2	4.5	3.5	217
3	34.0	29.5	506

Percentuale errore 0.229%

Fattore di disadattamento della soluzione 0.046

ROVE HVSR

PROVA HVSR1

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 200.00 Hz
Numero campioni: 240000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Dati analisi:

Numero totale finestre selezionate: 33
Numero finestre incluse nel calcolo: 25
Dimensione temporale finestre: 40 s
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Grafici degli spettri medi nelle tre direzioni

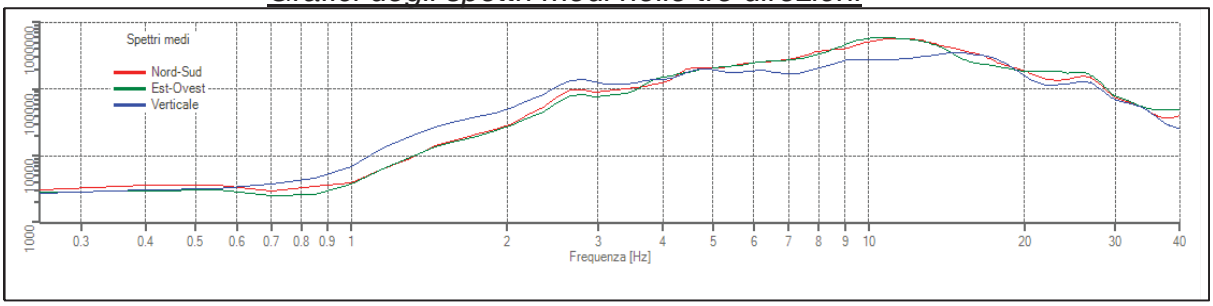
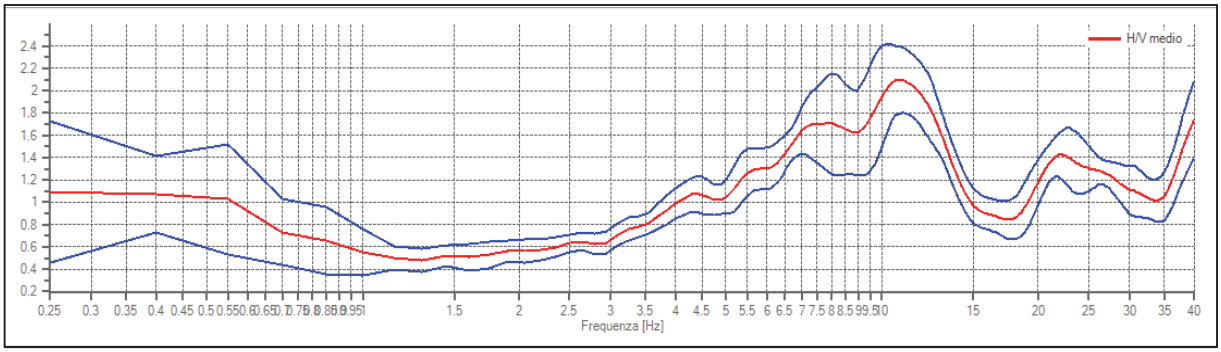


Grafico rapporto spettrale orizzontale su verticale e suo intervallo di fiducia

Max H/V 10.9 ± 0.14Hz (intervallo 0.0 ÷ 40.0 Hz)



Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero essere soddisfatti)	**Esito**
$f_0 > 10/l_w$	OK
$n_g(f_0) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	OK
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti	
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ I $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
Esiste f^+ in $[f_0/4, f_0]$ I $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK
$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

PROVA HVSR2

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 200.00 Hz
Numero campioni: 240000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Dati analisi:

Numero totale finestre selezionate: 33
Numero finestre incluse nel calcolo: 25
Dimensione temporale finestre: 40 s
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Grafici degli spettri nelle tre direzioni

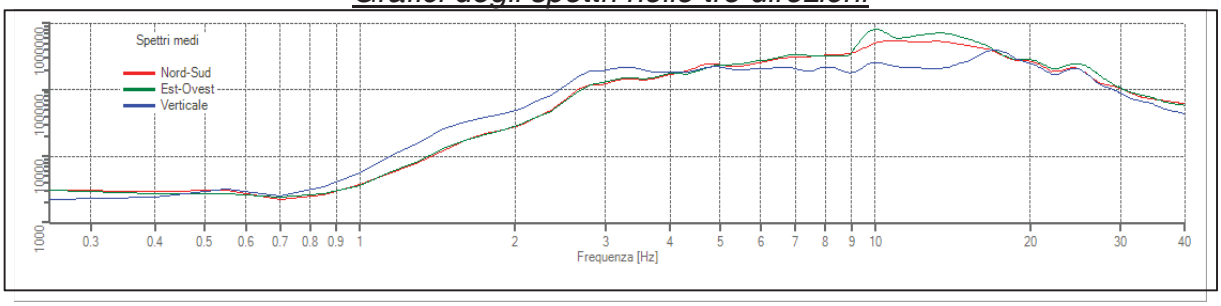
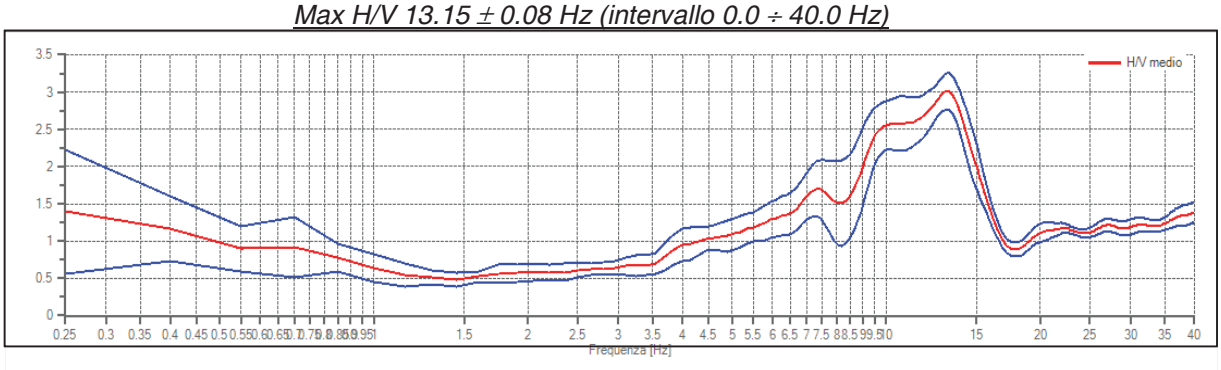


Grafico rapporto spettrale orizzontale su verticale e suo intervallo di fiducia

Max H/V 13.15 ± 0.08 Hz (intervallo 0.0 ÷ 40.0 Hz)



Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero essere soddisfatti)	**Esito**
$f_0 > 10/l_w$	OK
$n_g(f_o) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	OK
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti	
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ I $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
Esiste f^+ in $[f_0/4, f_0]$ I $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK
$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

PROVA HVSR3

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 200.00 Hz
Numero campioni: 240000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Dati analisi:

Numero totale finestre selezionate: 33
Numero finestre incluse nel calcolo: 22
Dimensione temporale finestre: 40 s
Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

Grafici degli spettri nelle tre direzioni

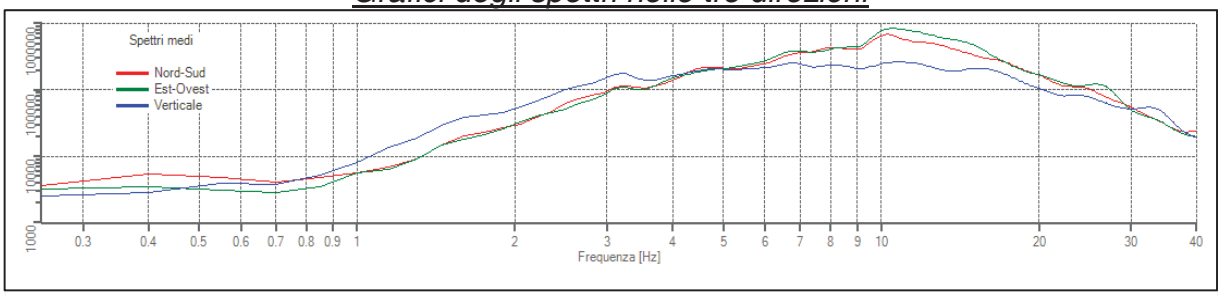
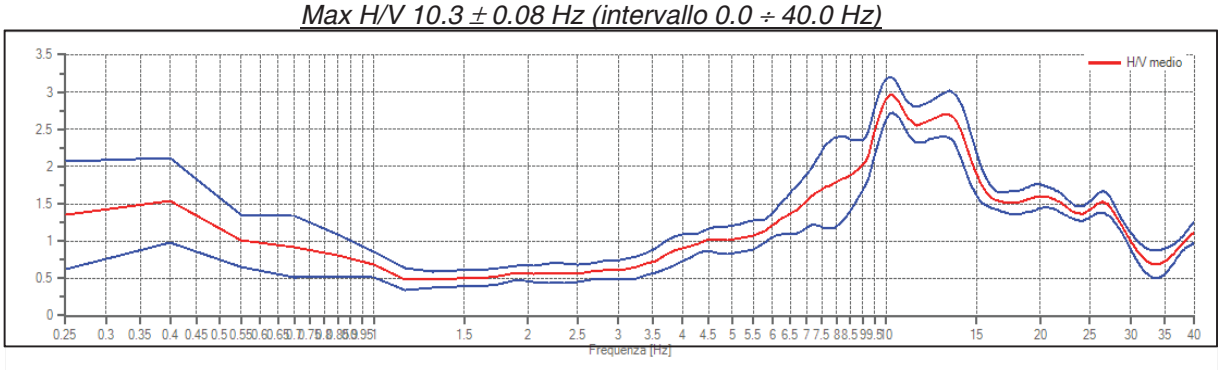


Grafico rapporto spettrale orizzontale su verticale e suo intervallo di fiducia

Max H/V 10.3 ± 0.08 Hz (intervallo 0.0 ÷ 40.0 Hz)



Criteri per una curva H/V affidabile (tutti e 3 dovrebbero essere soddisfatti)	**Esito**
$f_0 > 10/l_w$	OK
$n_g(f_o) > 200$	OK
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	OK
Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti	
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ I $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	OK
Esiste f^+ in $[f_0/4, f_0]$ I $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	OK
$A_0 > 2$	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	OK
$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$	OK

E DE E E CHE

Cate oria di uolo

Il processo d'inversione ha identificato due andamenti dai quali si ricava:.

- Profondità di posa delle fondazioni 0,00 m $Vs_{(30)}$ = 412 m/sec
- Profondità di posa delle fondazioni -1,00 m $Vs_{(30)}$ = 437 m/sec
- Profondità di posa delle fondazioni - 2,00 m $Vs_{(30)}$ = 456 m/sec

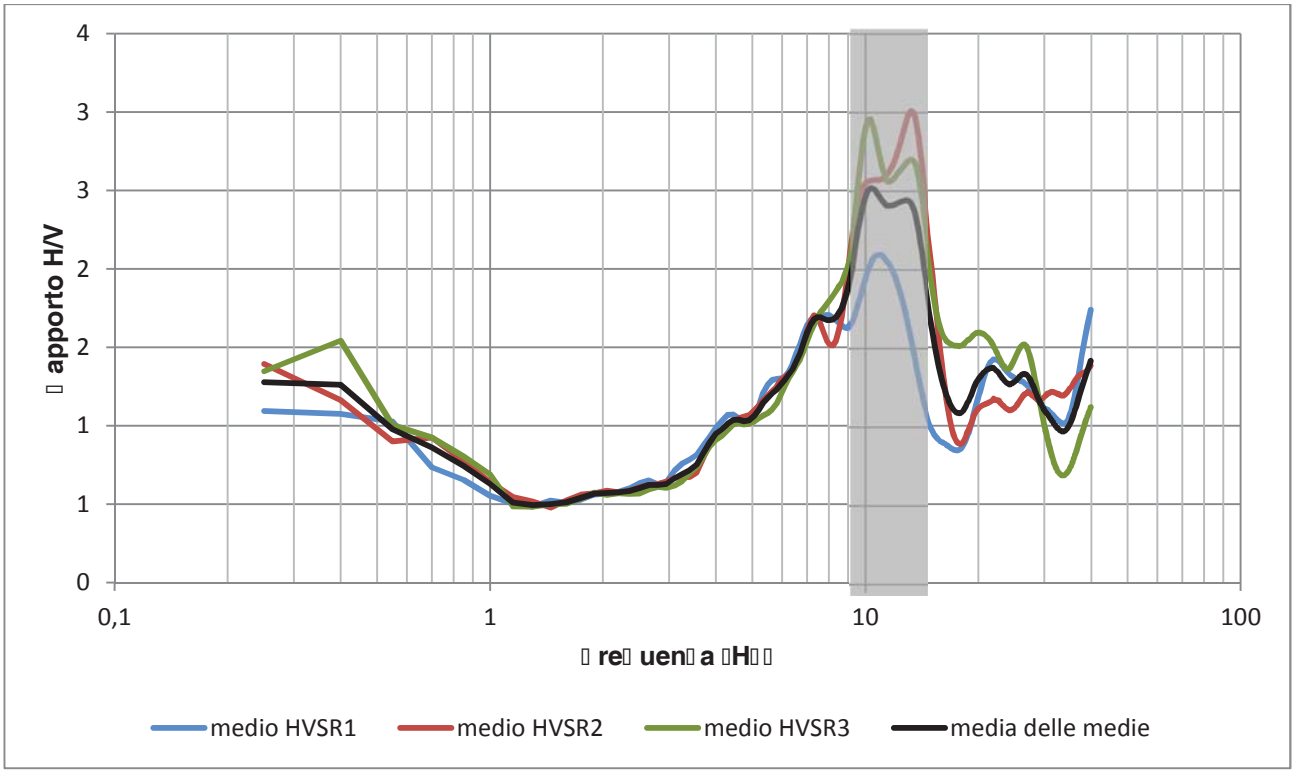
In base alla classificazione proposta nelle NTC 2008 nella Tab. 3.2.II essendo la velocità equivalente compresa nell'intervallo 360 ÷ 800 m/s i terreni del sito in oggetto sono assimilabili alla categoria di suolo di tipo B.

B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

i **estratto tab C**

re uen a di sito

Le prove HVSR evidenziano un massimo rapporto H/V compreso nell'intervallo 10.30 ÷ 13.15 Hz, imputabile allo strato ghiaioso il cui tetto è posto alla profondità di circa 5,60m.



i

E D E C ED D C

La parte superiore del lotto è caratterizzata dalla presenza di terreni a matrice limoso argilloso sabbiosa. Il pelo libero della falda freatica è ubicato ad una quota di 16,00 m da p.c. (informazioni bibliografica)

La struttura idrografica è caratterizzata dalla presenza del torrente Correcchio (linea tratteggiata) posto ad una distanza di circa 1,0 Km ad ovest e dal torrente Santerno ubicato a circa 2.3 Km a sud.



i eticolo idro rafico

V E D E C DE

14.1 - Acque superficiali

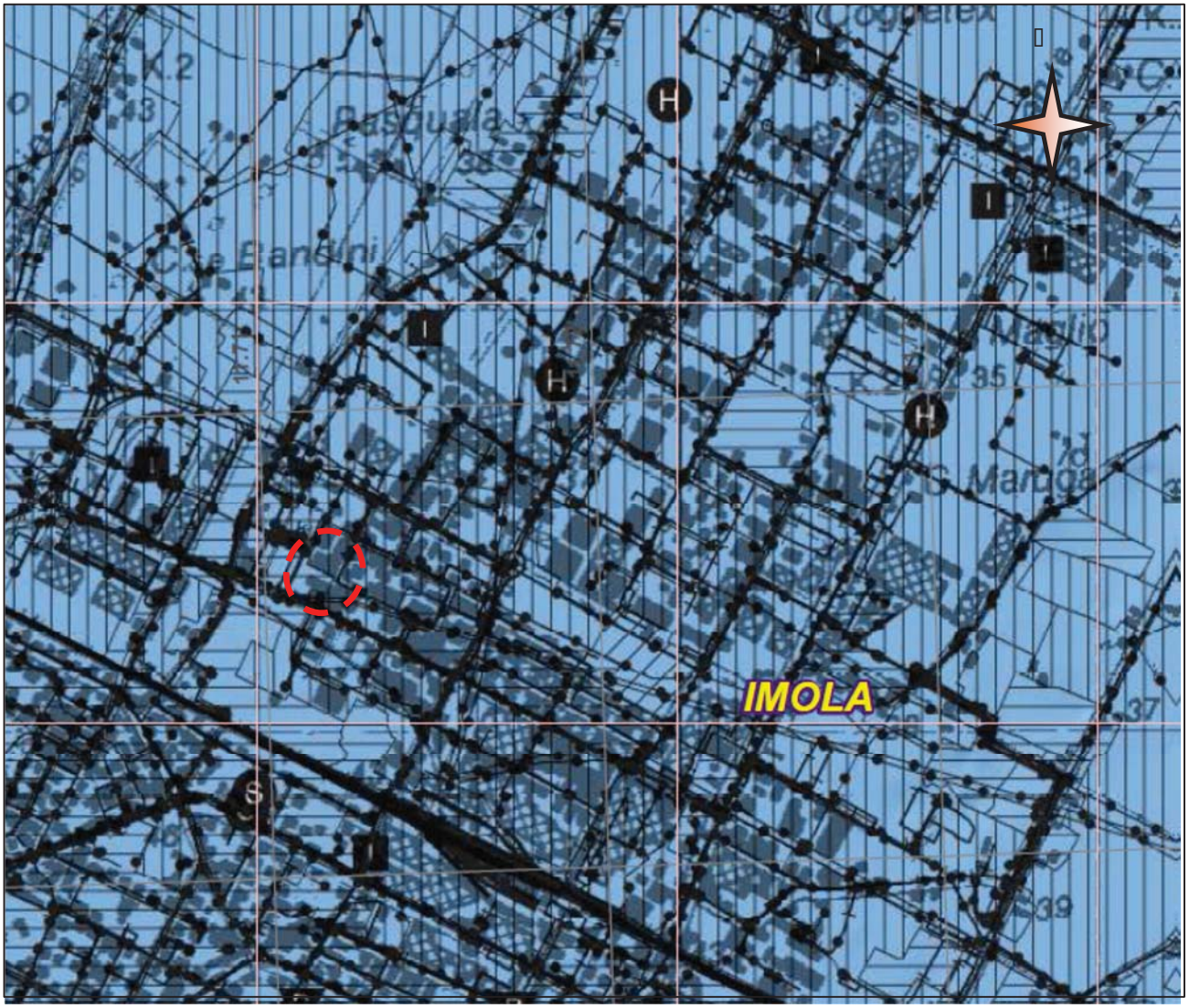
Attualmente il lotto è allo stato naturale. La composizione granulometrica dello strato pedologico garantisce una mediocre filtrazione verticale delle acque di precipitazione. Il suo inserimento all'interno di una zona urbanizzata garantisce lo smaltimento delle acque meteoriche mediante la rete fognaria urbana.

14.2 - Acque sotterranee.

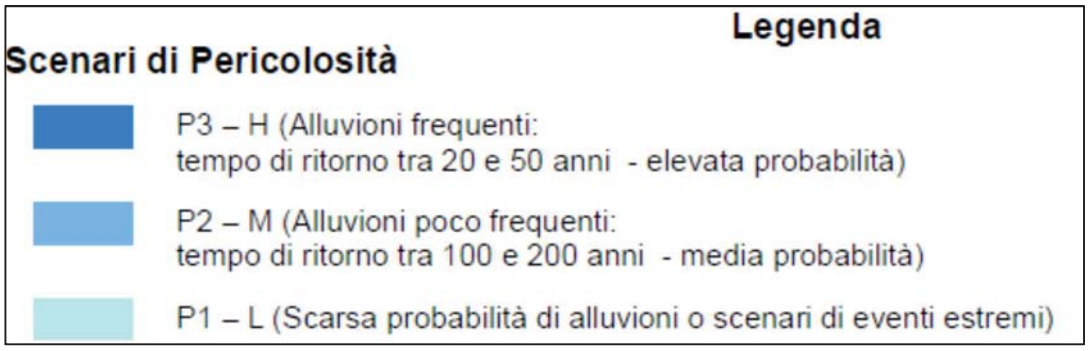
Sino alla profondità indagata non è stata rinvenuta una circolazione idrica stabile. Il livello della falda è attestato alla profondità di circa 16,00 (informazione reperita nell'archivio cartografico regionale)

14.3 – Inondabilità durante eventi alluvionali.

Il lotto in oggetto è compreso in una porzione di territorio a rischio esondazione in uno scenario di pericolosità a media probabilità con previsione di alluvioni poco frequenti.



Estratto piano di gestione del rischio alluvioni cartografico



V E DE E C E DE

Modellazione geomorfologica dell'area

L'assetto è costituito da un lotto pianeggiante, inserito in un contesto con identica disposizione.

Stabilità della coltre superficiale

La conformazione topografica pianeggiante esclude tendenze evolutive verso quadri di dissesto o di instabilità gravitativa.

D E C C E

CED E C C Coefficienti sis ici

I parametri generali del lotto e dell'opera sono:

Latitudine ED 50:	44.367158
Longitudine ED50 :	11.712822
Tipo opera:	edifici il cui uso prevede normali affollamenti
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

In base alle coordinate del sito è possibile determinare i parametri sismici base di riferimento

stato limite	Tr	ag/g	Fo	Tc*
	(anni)	(-)	(-)	(sec)
SLO	30	0.066	2.408	0.260
SLD	50	0.084	2.396	0.268
SLV	475	0.205	2.443	0.299
SLC	975	0.256	2.496	0.313

ab

I terreni del lotto in indagine appartengono al un suolo di categoria "B". Questa distinzione permette di determinare l'equazione per la definizione del coefficiente stratigrafico (Ss) che è:

$$1{,}00 \leq 1{,}40 - 0{,}40 \cdot Fo \cdot ag/g \leq 1{,}20$$

Dove:

Fo = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima

ag = accelerazione orizzontale di base
g = accelerazione di gravità (9,81 m/sec^2)

Stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1.20	1.20	1.20	1.14

ab

L'accelerazione massima attesa in superficie a ciascun limite è definita dalla relazione seguente:

$$Amax = ag \bullet S_T \bullet S_S$$

Il lotto in oggetto insiste su di un territorio con disposizione pianeggiante, da cui la categoria topografica è la T1 alla quale è assimilato un coefficiente topografico (ST) pari a 1,00.

Coefficienti sis ici ori ontali e verticali per fonda ioni e stabilit pendii

stato limite	amax/g	beta	Kh	Kv
	(-)	(-)	(-)	(-)
SLO	0.079	0.18	0.014	0.007
SLD	0.101	0.18	0.018	0.009
SLV	0.246	0.31	0.076	0.038
SLC	0.307	0.31	0.091	0.045

ab

DE C C E E C E C DE E delibera E secondo livello di approfondi ento

Il livello di questa analisi prevede la definizione dei FA (fattori d'amplificazioni) relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico, che sono: l'accelerazione di picco orizzontale (PGA) e l'intensità spettrale (SI) riferita a tre intervalli di periodo proprio To che sono:

SI1: 0,1s≤To≤0,5s
SI2: 0,5s≤To≤1,0s
SI3: 0,5s≤To≤1,5s

Il lotto in esame è inserito in un contesto sub pianeggiante in cui le verifiche geofisiche mettono in evidenza un valore delle Vs_{30} pari a 412 m/sec. Dalle valutazioni di carattere geologico e dagli elaborati della delibera citata emerge che, per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica, la situazione stratigrafica e geofisica più prossima è quella identificata dalla tabella denominata MARGINE di tipo B ossia:

$Vs_{30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0
F.A. SI3	3.3	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0

Nel riquadro i fattori di amplificazione relativa alla situazione in esame.

[illegible]

Il grafico di fig. 10.5, che riporta i segnali della resistenza statica alla punta (qc), delle due prove penetrometriche statiche, mostra una disposizione dei terreni, dal punto di vista della consistenza, discretamente omogenea. L'assetto generale è, quindi, caratterizzato da un primo strato (da p.c. a -6,00m) dotato di resistenza statica in media compresa nell'intervallo 1,0 ÷ 4,0 Mpa ed aventi un comportamento prevalentemente coesivo, passante a ghiaie, con al tetto resistenza statica maggiore di 20 Mpa.

Un assetto di questo tipo presuppone una buona correlabilità anche in termini di qualità geomeccanica

Le penetrometrie eseguite nel lotto consentono una caratterizzazione geotecnica di massima dei terreni investigati, che dovrà essere opportunamente raffinata nelle analisi geotecniche da prevedersi per le successive fasi progettuali dei singoli lotti edificabili, come d'altra parte richiede la normativa. In questa fase è possibile offrire una valutazione del comparto in termini di fattibilità di massima degli interventi previsti, sulla base delle proprietà geolitologiche, idrogeologiche e meccaniche dei sedimenti e degli esiti della analisi sismiche.

Le prove penetrometriche CPT permettono una preliminare valutazione delle pressioni ultime (Qult) del terreno, in grado di fornire un confronto della qualità geotecnica dei sedimenti estrapolabile alla totalità del sito. La relazione speditiva per la stima delle pressioni ultime relative a fondazioni nastriformi, è la seguente:

$$Qult = 0.26 \bullet q_{cm} + \sigma_v'$$

dove:

q_{cm} = resistenza statica media nello strato immediatamente sotto le fondazioni per uno spessore pari a 2.0 • B (Schmertmann)

σ_v' = tensione litostatica effettiva al piano d'appoggio della fondazione.

La stima delle pressioni ultime permette un rapido confronto della qualità geotecnica dei terreni nell'ipotesi di fondazioni superficiali sottoposte a carico verticale centrato; inoltre consente di ottenere esiti confrontabili tra loro evidenziando eventuali differenze delle caratteristiche geotecniche tra le varie prove penetrometriche.

Questa procedura consente, in definitiva, un approccio generale di valutazione geotecnica, basata sugli esiti di portanza ultima, con una distinzione in tre classi geotecniche:

1. *CLASSE I :il sottosuolo è caratterizzato da una mediocre qualità geotecnica, con frequenti e/o potenti intervalli con resistenze alla punta qc < 1,0 Mpa Pressioni ultime in termini di rottura < 0,2 Mpa. Questi terreni presentano limitazioni all'adozione di fondazioni superficiali in relazione alle pressioni d'esercizio e dei cedimenti assoluti e differenziali. Ciò non preclude l'edificazione, ma questa dovrà essere preceduta da indagini geognostiche accurate e da analisi di iterazione terreno struttura dettagliate.*
2. *CLASSE II : terreni contraddistinti da qualità geotecnica media, con una resistenza statica alla punta attesta su valori compresi tra di 1,0 Mpa e 2,2 MPa e con pressioni ultime in termini di rottura comprese tra 0,2 Mpa e 0,5 Mpa. Si tratta di aree edificabili con normali tecniche costruttive per edifici strutturati in modo tale da non eccedere come pressione*

d'esercizio 0,13 Mpa, con intensità maggiori sono possibili limitazioni in relazione ai cedimenti assoluti e differenziali, che dovranno essere valutati attentamente.

3. *CLASSE III : il terreno è caratterizzato da buone qualità geotecniche con, in generale resistenza alla punta maggiori di 2,2 Mpa e con pressioni ultime in termini di rottura maggiori di 0,5 Mpa. L'edificabilità in queste aree è possibile con normali tecniche costruttive anche per edifici con pressioni d'esercizio maggiori di 0,13 Mpa, fermo restando le doverose verifiche analitiche di geotecnica.*

Nel caso in esame si è considerata l'adozione di una fondazione nastriforme (B = 1,00 m) con piano di posa alla profondità di 2.50 m da piano campagna. I risultati di portanza ultima sono presentati nella tavola sottostante, la quale evidenzia che: il lotto è ascrivibile alla media zonizzazione geotecnica proposta e cioè alla "Classe III".



portanza ultima

[illegible]

Nei paragrafi precedenti sono state indicate le indagini geognostiche e geofisiche eseguite ex novo, e sono state messe in evidenza le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche, sismiche del sito in oggetto.

In ultima analisi si riassumono di seguito i risultati dello studio, descritti nei rispettivi capitoli, ai quali si rimanda per un maggior dettaglio.

- **[illegible]:** le indagini geognostiche e geofisiche eseguite in questo contesto confermano l'assetto proposto dalle carte regionali. Al paragrafo 10 è descritta la modellazione geologica locale. In sintesi la situazione stratigrafica locale è caratterizzata dalla presenza di un deposito alluvionale limoso argilloso e/o limoso argilloso passante, alla profondità di circa 6,00 m, a ghiaie addensate.
- **[illegible]:** il deposito è sede di una falda freatica stabile attestata alla profondità di 16,00 m. da p.c. La composizione litologica dello strato superficiale gli conferisce delle proprietà idrologiche discrete, con una permeabilità media ed una capacità di drenaggio discreta.
- **[illegible]:** La propagazione delle onde di taglio è stata valutata con la prova MASW. In base a queste è stata determinata la classe di suolo "B" e sono stati individuati i coefficienti sismici locali secondo le indicazioni delle NTC 2008 "analisi semplificata". In particolare il fattore d'amplificazione (PGA) è risultato inferiore a quello determinato con quanto disposto dalla delibera della regione Emilia Romagna n°2193 del 2 1/12/2015 La frequenza di sito e stata specificata con la prova HVSR, ed è risultata essere pari a 10.3 ± 0.08 Hz ÷ 13.1 ± 0.08 Hz .
- **[illegible]:** In linea generale si tratta di terreni con discrete caratteristiche geomeccaniche, le quali gli conferiscono quegli aspetti da renderli idonei ad essere sede di fondazioni di edifici in genere. La stima di massima della pressione ultima in termini di rottura è compresa nell'intervallo 0,79 ÷ 0,84 Mpa da cui ne deriva che i terreni del lotto in indagine sono ascrivibili nella classe III, ossia ad una situazione in cui è possibile procedere con normali tecniche costruttive nel rispetto di pressioni d'esercizio superiori a 0,13 Mpa.

□□□□□ E□ C□□□□□ □□

- **di carattere idro□eolo□ico :** l'assenza di una falda superficiale esclude l'interferenza tra essa e le future fondazioni del manufatto, anche nel caso in cui sia dotato di piano interrato.
- **sulla sis□icit□ :** I coefficienti d'amplificazione dedotti con l'analisi semplifica (NTC 2008) sono inferiori a quelli indicati dalla delibera 2193 del 21/12/2015. Ne deriva che in sede progettuale si dovrà fare riferimento a quest'ultimi, in caso contrario si dovrà provvedere con una modellazione numerica specifica ossia con risposta simica locale (RSL).
- **□ulla li□uefacibilit□ dei terreni:** la composizione litologica dei terreni, nonchè l'assenza di una falda stabile entri i primi 15,0 m escludono la suscettibilità alla liquefazione.
- **□u□li orienta□enti □eotecnici:**. Lo strato superficiale, è dotato di discrete caratteristiche geotecniche. Non vi sono particolari prescrizioni da menzionare se non, come d'obbligo, quelle derivanti dalla normativa in essere con relative verifiche di carattere geotecnico (NTC 2008).

□□□□□□ E□ E

In conclusione, sulla base delle indagini eseguite e su quanto sopra esposto e possibile affermare, dal punto di vista geologico, morfologico, idrogeologico e geotecnico, che l'area oggetto di studio risulta idonea agli scopi edificatori per cui si esprime parere favorevole fermo restando le prescrizioni sopra citate.

Cesena dicembre 2017

Dott. Geologo Massimo Borghetti
Iscritto Ordine dei Geologi Emilia Romagna n°305 S ez. A

INDICE

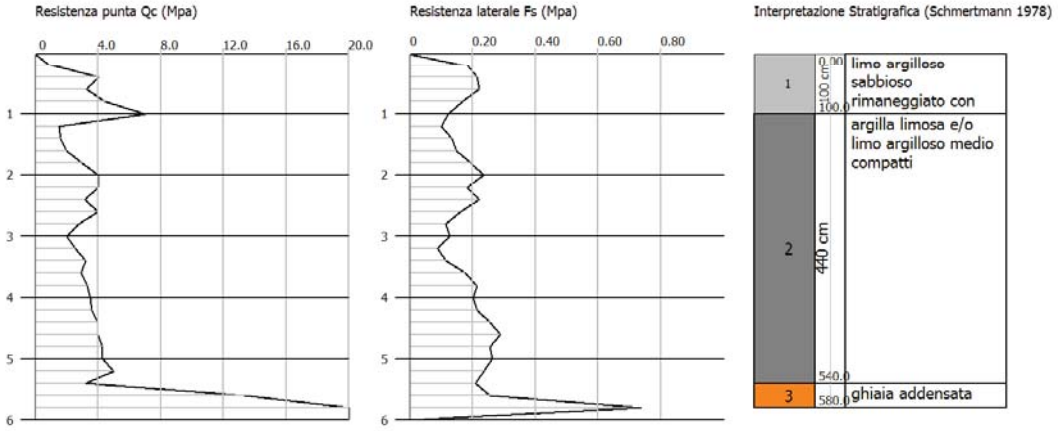
PROVE PENETROMETRICHE CPT E DPSH

GRAFICI E TABULATI

INTERGEO
Servizi geotecnici
RSM

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: C.E.S.I. Soc. Coop
Cantiere: via Buozzi
Località: Imola
Data: 04/12/2017



Scala profondità 1:100 - Qc: 1 cm=3.89 Mpa - Fs: 1 cm=0.19 Mpa -

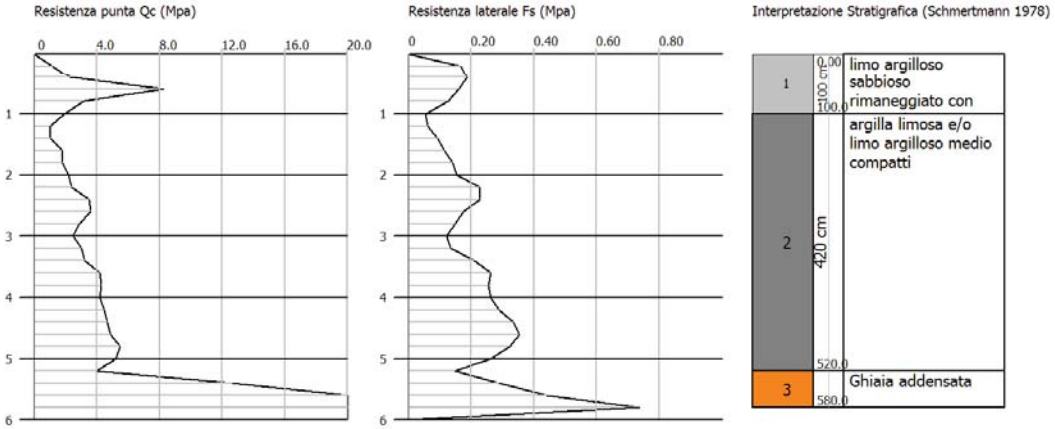
Prova CPT

Profondità (m)	1°Lettura (Mpa)	2°Lettura (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.98	2.5	0.994	0.177	5.616	17.8
0.40	4.02	6.7	4.034	0.209	19.301	5.2
0.60	3.24	6.4	3.25	0.216	15.046	6.6
0.80	4.41	7.6	4.427	0.163	27.16	3.7
1.00	6.96	9.4	6.976	0.118	59.119	1.7
1.20	1.47	3.2	1.498	0.098	15.286	6.5
1.40	1.57	3.0	1.596	0.131	12.183	8.2
1.60	1.96	3.9	1.988	0.144	13.806	7.2
1.80	2.94	5.1	2.969	0.19	15.626	6.4
2.00	4.02	6.9	4.048	0.229	17.677	5.7
2.20	3.92	7.4	3.963	0.177	22.39	4.5
2.40	3.14	5.8	3.179	0.216	14.718	6.8
2.60	3.92	7.2	3.963	0.157	25.242	4.0
2.80	2.75	5.1	2.786	0.111	25.099	4.0
3.00	1.96	3.6	2.002	0.124	16.145	6.2
3.20	2.45	4.3	2.506	0.085	29.482	3.4
3.40	3.14	4.4	3.192	0.111	28.757	3.5
3.60	2.84	4.5	2.898	0.17	17.047	5.9
3.80	3.24	5.8	3.29	0.209	15.742	6.4
4.00	3.43	6.6	3.486	0.196	17.786	5.6
4.20	3.53	6.5	3.598	0.209	17.215	5.8
4.40	3.92	7.1	3.99	0.248	16.089	6.2
4.60	3.92	7.6	3.99	0.281	14.199	7.0
4.80	4.22	8.4	4.285	0.248	17.278	5.8
5.00	4.22	7.9	4.285	0.255	16.804	6.0
5.20	4.90	8.7	4.985	0.229	21.769	4.6
5.40	3.14	6.6	3.219	0.203	15.857	6.3
5.60	13.24	16.3	13.32	0.248	53.71	1.9
5.80	20.50	24.2	20.577	0.719	28.619	3.5
6.00	49.03	59.8	49.114	0.0		0.0

INTERGEO
Servizi geotecnici
RSM

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: C.E.S.I. Soc. Coop
Cantiere: via Buozzi
Località: Imola
Data: 04/12/2017



Scala profondità 1:100 - Qc: 1 cm=3.89 Mpa - Fs: 1 cm=0.19 Mpa -

V r

Profondità (m)	1°Lettura (Mpa)	2°Lettura (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	1.18	3.3	1.19	0.163	7.301	13.7
0.40	2.26	4.7	2.269	0.183	12.399	8.1
0.60	8.24	11.0	8.251	0.157	52.554	1.9
0.80	3.14	5.5	3.152	0.124	25.419	3.9
1.00	1.86	3.7	1.877	0.052	36.096	2.8
1.20	0.98	1.8	1.008	0.059	17.085	5.9
1.40	0.98	1.9	1.008	0.091	11.077	9.0
1.60	1.77	3.1	1.792	0.111	16.144	6.2
1.80	1.77	3.4	1.792	0.137	13.08	7.6
2.00	2.16	4.2	2.185	0.15	14.567	6.9
2.20	2.35	4.6	2.394	0.222	10.784	9.3
2.40	3.43	6.8	3.473	0.222	15.644	6.4
2.60	3.53	6.9	3.571	0.17	21.006	4.8
2.80	2.84	5.4	2.885	0.144	20.035	5.0
3.00	2.45	4.6	2.492	0.118	21.119	4.7
3.20	2.94	4.7	2.996	0.131	22.87	4.4
3.40	3.14	5.1	3.192	0.203	15.724	6.4
3.60	4.12	7.2	4.173	0.255	16.365	6.1
3.80	4.22	8.0	4.271	0.248	17.222	5.8
4.00	4.12	7.8	4.173	0.255	16.365	6.1
4.20	4.41	8.2	4.481	0.281	15.947	6.3
4.40	4.61	8.8	4.677	0.327	14.303	7.0
4.60	4.81	9.7	4.873	0.346	14.084	7.1
4.80	5.39	10.6	5.461	0.314	17.392	5.7
5.00	5.10	9.8	5.167	0.255	20.263	4.9
5.20	3.92	7.7	4.004	0.144	27.806	3.6
5.40	12.55	14.7	12.634	0.281	44.961	2.2
5.60	21.57	25.8	21.656	0.431	50.246	2.0
5.80	29.91	36.4	29.991	0.719	41.712	2.4
6.00	49.03	59.8	49.114	0.0		0.0

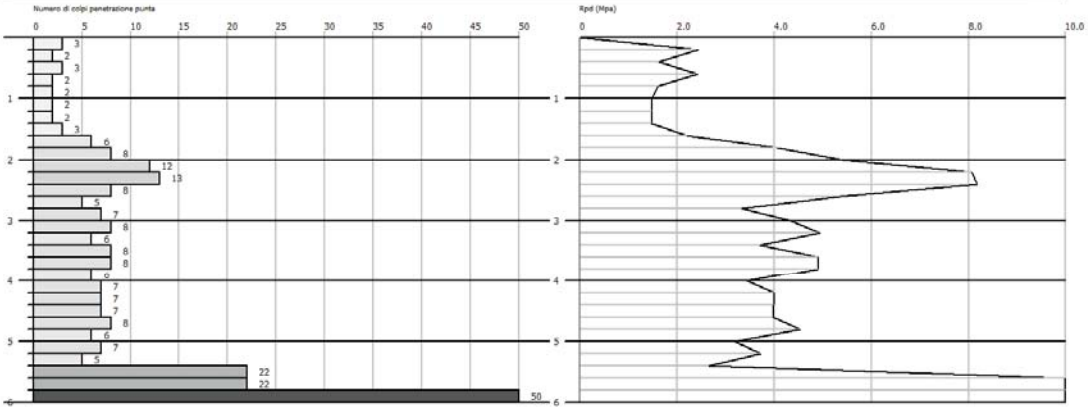
GEOLOGO RODOLFO BARONCIONI
CERVIA (RA)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: C.E.S.I. soc. coop
Cantiere: via Bucci
Località: Imola

Data: 04/12/2017

Scala 1:100



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

V D H

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0.20	3	0.855	2.44	2.86
0.40	2	0.851	1.62	1.91
0.60	3	0.847	2.42	2.86
0.80	2	0.843	1.61	1.91
1.00	2	0.840	1.48	1.76
1.20	2	0.836	1.47	1.76
1.40	2	0.833	1.47	1.76
1.60	3	0.830	2.19	2.64
1.80	6	0.826	4.37	5.29
2.00	8	0.823	5.40	6.56
2.20	12	0.820	8.07	9.84
2.40	13	0.767	8.18	10.66
2.60	8	0.814	5.34	6.56
2.80	5	0.811	3.33	4.10
3.00	7	0.809	4.34	5.37
3.20	8	0.806	4.94	6.13
3.40	6	0.803	3.70	4.60
3.60	8	0.801	4.91	6.13
3.80	8	0.798	4.90	6.13
4.00	6	0.796	3.44	4.32
4.20	7	0.794	4.00	5.04
4.40	7	0.791	3.99	5.04
4.60	7	0.789	3.98	5.04
4.80	8	0.787	4.53	5.76
5.00	6	0.785	3.20	4.07
5.20	7	0.783	3.72	4.75
5.40	5	0.781	2.65	3.39
5.60	22	0.679	10.14	14.92
5.80	22	0.677	10.11	14.92
6.00	50	0.575	18.45	32.07

Approvato con Delibera
di Consiglio Comunale
n. 242 del 31/07/96

"PERIGEO"

INDAGINI GEOLOGICHE

COMUNE DI IMOLA
Commissione Edilizia Comunale
Esaminata nell'adunanza del 16/09/96
parere n. 18 e parere n. 14
del 24/07/96

P. IL SINDACO
L'ASSESSORA ALL'URBANISTICA
(Pedrini Dott. Anna)

INDAGINE GEOLOGICA

ALLEGATO n° 5

COMUNE di IMOLA
06 FEB. 1996
ARRIVO

oggetto	: Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata
Committente	: COOPERATIVA CERAMICA IMOLA
via	: VITTORIO VENETO
Comune	: IMOLA (BO)

Prot. n° 2001

ORDINE DEI GEOLOGI
Dott. Geol.
GUARNIERI
GIAMPAOLO
Nr. 406
REGIONE EMILIA-ROMAGNA

data, 21 LUG. 1994

VIA MASONI, 28 48018 **FAENZA** (RA) TEL. 0546/28252 - FAX 680974

INDAGINE GEOLOGICA

INDICE

PREMESSA....2
INQUADRAMENTO GEOLOGICO....4
IDROLOGIA....6
GEOTECNICA....8
CONCLUSIONI....11
ALLEGATI....13
allegati (scala 1:25000)
ubicazione area
allegati (scala 1:5000)
ubicazione area
litologia-pedologia
idrogeomorfologia
allegati (scala 1:2000)
ubicazione area (stralcio da P.R.G.)
allegati (scala 1:500)
ubicazione prove
carta della edificabilità
allegati vari
sezioni stratigrafiche
stratigrafie sondaggi

PREMESSA

La presente relazione geologica riguarda alcuni terreni compresi tra la via Vittorio Veneto e viale Marconi, attuale sede della Coop. Ceramica, ad Imola (BO). L'indagine del suolo si é resa necessaria poiché, sull'area in oggetto, la Proprietà ha in progetto la realizzazione di un Piano Particolareggiato di iniziativa privata. Tramite l'indagine geologica si é inteso verificare alcune caratteristiche geomeccaniche dei terreni e misurare l'effettiva profondità del primo livello di falda freatica.

Questo elaborato é stato stilato in conformità alla L.R. per l'urbanistica (n. 47-23 art.49), la Legge n.64 (art.13) ed il D.M. LL.PP. 11/03/88. Per completare lo studio é stata operata una caratterizzazione sismica, di tutta l'area in esame, in modo da fornire ai Progettisti il corretto valore del COEFFICIENTE DI FONDAZIONE (Ɛ) da adottare. Il territorio del Comune di Imola é infatti classificato come "zona sismica di II categoria" secondo la Circolare Regionale n.23960/20.1 del 08/09/83, in applicazione al D.M. 23/07/83.

Lo studio é stato portato a termine mediante l'esecuzione di tre sondaggi meccanici, con le quali é stata raggiunta una profondità di interesse geotecnico. Le prove sono state ubicate in modo tale da risultare significative ai fini interpretativi della litologia profonda ed avere un'ottimale copertura dell'area in esame. Non é invece stato possibile provvedere al rilevamento della quota freatica, normalmente effettuata all'interno di pozzi distribuiti intorno all'area in esame, a causa della mancanza di tali manufatti; ciò é da mettere in relazione alla notevole quota cui si trova la prima falda

libera dal p.c. (>15÷20 m.). Per le ragioni cui si é ora accennato si é ritenuto superfluo redarre le carte relative all'andamento della falda freatica.

Ad una prima fase di acquisizione dei dati é seguita l'interpretazione degli stessi; attraverso l'elaborazione dei dati bibliografici e di quelli ottenuti con la presente indagine si é quindi giunti alla redazione di numerosi elaborati, dalla cui interazione é stata ricavata la carta della edificabilità.

In relazione agli scopi del presente studio ed al tipo di materiali presenti nel sottosulo é stata adottata, per i saggi geognostici eseguiti, una griglia a maglie larghe; le problematiche relative alla progettazione dei futuri edifici sarà affrontata in una fase successiva, nel corso della quale si provvederà alla valutazione dei parametri necessari per un corretto dimensionamento delle strutture di fondazione, ed alla interazione di queste con i terreni sottostanti.

Si é così venuta formando l'attuale coltre sedimentaria superficiale. La presenza dei livelli più grossolani, ghiaioso-sabbiosi, é attribuibile ad un ambiente di conoide; qui i materiali grossolani, a causa del brusco cambiamento di pendenza dell'asta fluviale, venivano abbandonati dalla corrente. Questi depositi si raccordano con i terrazzi intermedi di fondovalle. Venendo a mancare l'apporto di materiali lapidei, unitamente all' affiorare del substrato argilloso, sono stati deposti i materiali sabbioso-limosi/argillosi presenti nei primi metri. Le variazioni di granulometria sono legate sia agli innumerevoli spostamenti subiti dai corsi d'acqua nell'arco dei millenni che alla variabilità di energia dell'ambiente di deposizione.

L'inizio di deposizione di tali terreni é da fare risalire al Quaternario Continentale e più precisamente all'OLOCENE; nella Carta Geologica d'Italia questi terreni sono classificati come "*alluvioni della pianura*".

Per la stesura delle carte tematiche riguardanti la *litologia-pedologia* sono stati integrati i dati ricavati con lo studio eseguito con quelli contenuti in numerose indagini, eseguite sul territorio comunale in occasione di precendenti studi di carattere geologico-tecnico.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area indagata é situata al margine nord dell'abitato di Imola (BO), ed a nord confina con la sede ferroviaria (linea Bologna-Ancona). Attualmente tutta l'area risulta edificata, essendo sede della Coop. Ceramica di Imola, per cui non é stato possibile un rilievo diretto delle caratteristiche litologiche dei terreni più superficiali. Da notizie bibliografiche, ed attraverso l'esecuzione di tre sondaggi meccanici, si é potuto determinare l'andamento litologico del sottosuolo che é il seguente :

- dal p.c. a m.-0,5 circa : ove presente, piazzale asfaltato con sottofondo di breccia e ghiaietto fine;
- da m.-0,5 a m.-1,5÷1,7 : limo argilloso di colore marrone/nocciola scuro;
- da m.-1,5÷1,7 a m.-2,5÷3 : ghiaia fine poco addensata, con matrice limoso-sabbiosa, gradata positivamente;
- da m.-2,5÷3 a m.-4 : ghiaia di varia pezzatura, in matrice sabbiosa, con presenza di grossi ciottoli (20 cm.);
- da m.-4 a m.-7 circa : ghiaia di varia pezzatura, in matrice sabbiosa, da poco a mediamente addensata .

Tutti i terreni incontrati nel corso dell'indagine sono di chiara origine alluvionale, derivano cioé da successivi apporti terrigeni ad opera dei principali corsi d'acqua della zona (Fiume Santerno).

IDROLOGIA

L'abitato di Imola sorge in prossimità del Fiume Santerno, che dista circa un chilometro e mezzo in direzione sud-est dall'area in esame. A seguito dei massicci prelievi di materiali lapidei, effettuati negli anni passati, il corso del Fiume Santerno si presenta, a monte dell'abitato, con l'alveo profondamente incassato entro il substrato argilloso; poi, come tutti i principali corsi d'acqua della zona, a valle di Imola é caratterizzato dall'avere l'alveo pensile e direzione di scorrimento N-E.

Altre vie d'acqua, presenti nelle vicinanze della zona, sono il canale dei Molini, in direzione N-E e parzialmente tombato (in prossimità del centro abitato), ed il rio Correcchio, situato ad ovest e comunque distante alcuni chilometri. La zona, come é stato segnalato in precedenza, risulta completamente urbanizzata e pertanto la regimazione delle acque superficiali é interamentre affidata alle rete fognaria cittadina. La falda freatica é situata ad una quota prossima ai venti metri dal piano di campagna; per tale ragione non si é provveduto a redigere quelle carte che ne rappresentano le quote e le direzioni (carta delle isobate e delle isofreatiche). E' infatti intuitivo come modifiche nell'edificazione di tali zone siano influenti sulla circolazione idrica. Per tali motivi é stata redatta solamente la *carta della idrogeomorfologia* (scala 1:5000) dove sono riportati fiumi, fossi, canali ed eventuali bacini presenti.

GEOTECNICA

Inizialmente erano state programmate quattro prove penetrometriche statiche tuttavia, in relazione ai litotipi presenti, l'indagine é stata portata a termine mediante l'esecuzione di n.3 sondaggi meccanici, a distruzione di nucleo, spinti fino a quote di m.-3÷-7 dal p.c. E' stata utilizzata un'apparecchiatura SUNDA-MENHIR 100KN-DPSH, munita di testa di rotazione avente coppia torcente superiore ai 100 kilogrammetri, unitamente ad aste elicoidali con diametro di 83 cm. .

Il *CARICO AMMISSIBILE* del terreno (Qa) é stato calcolato applicando la *formula di*

"Terzaghi-Meyerhoff": $$Qa = \frac{Q\lim}{Fs} = \frac{c^* Nc + g^* h^* Nq + \frac{1}{2} B^* g^* Ng}{Fs}$$

La precedente formula é stata estesa a tutto lo spessore di terreno indagato, utilizzando come parametri geotecnici quelli medi statistici tipici dei materiali incontrati nel corso dell'indagine; i simboli utilizzati corrispondono a :

Qlim	= carico limite	Fs	= fattore di sicurezza (3÷4)
c	= coesione	γ	= peso di volume
h	= profondità	Nc-Nq-Nγ	= fattori di capacità portante.

Per quanto riguarda la caratterizzazione geomeccanica dei terreni indagati, come peraltro é visibile dagli attuali edifici, non esistono particolari controindicazioni all'edificazione.

Poiché, come é già stato fatto osservatre in precedenza, il Comune di Imola (BO) é stato iscritto nell'elenco delle "zone sismiche di II categoria" si é provveduto a valutare il valore del coefficiente di fondazione da adottare che, non essendo emersi particolari fattori penalizzanti, potrà essere pari ad $\varepsilon = 1$.

In relazione alla litologia prevalentemente ghiaiosa, ed alla profondità del livello freatico, si esclude che possano verificarsi fenomeni di liquefazione dei livelli sabbioso-limosi.

CONCLUSIONI

In base ai risultati forniti dalle prove effettuate nel corso dell'indagine, ed ai dati bibliografici disponibili, non sono emersi fattori tali da sconsigliare la realizzazione dell'intervento in progetto.

Il presente studio si é concluso con la redazione della *carta dell'edificabilità* in cui la zonizzazione é stata effettuata in base alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni ed alla maggiore o minore vicinanza della falda freatica al piano di calpestio.

Sulla carta é stata individuata una sola classe di edificabilità:

- CLASSE A : caratterizzata da valori della portanza buoni; i terreni sono edificabili con le normali tecniche costruttive adottabili in terreni pianeggianti

Trattandosi di uno studio atto a verificare la fattibilità, dal punto di vista geologico, dell'intevento in progetto sull'area in esame, non sono state affrontate le tematiche relative alla tipologia ed al dimensionamento delle fondazioni, né all'entità degli scavi ed alle verifiche di stabilità a breve termine (per il periodo necessario alla costruzione dei piani interrati). Queste verifiche, più accurate e puntuali, saranno oggetto di indagini specifiche da eseguirsi, quando saranno stati ottenuti tutti i permessi necessari, e si potrà procedere alla fase progettuale di massima.

Si ricorda infine che per il coefficiente di fondazione, non essendo emersi particolari fattori penalizzanti, si potrà utilizzare un valore pari ad $\varepsilon = 1$.

Faenza, li 21 LUG. 1994

ORDINE DEI GEOLOGI
REGIONE EMILIA-ROMAGNA
Dott. Geol.
GUARNIERI
GIAMPAOLO
Nr. 406

ALLEGATI

allegati (scala 1:25000)
- ubicazione area

allegati (scala 1:5000)
- ubicazione area
- litologia-pedologia
- idrogeomorfologia

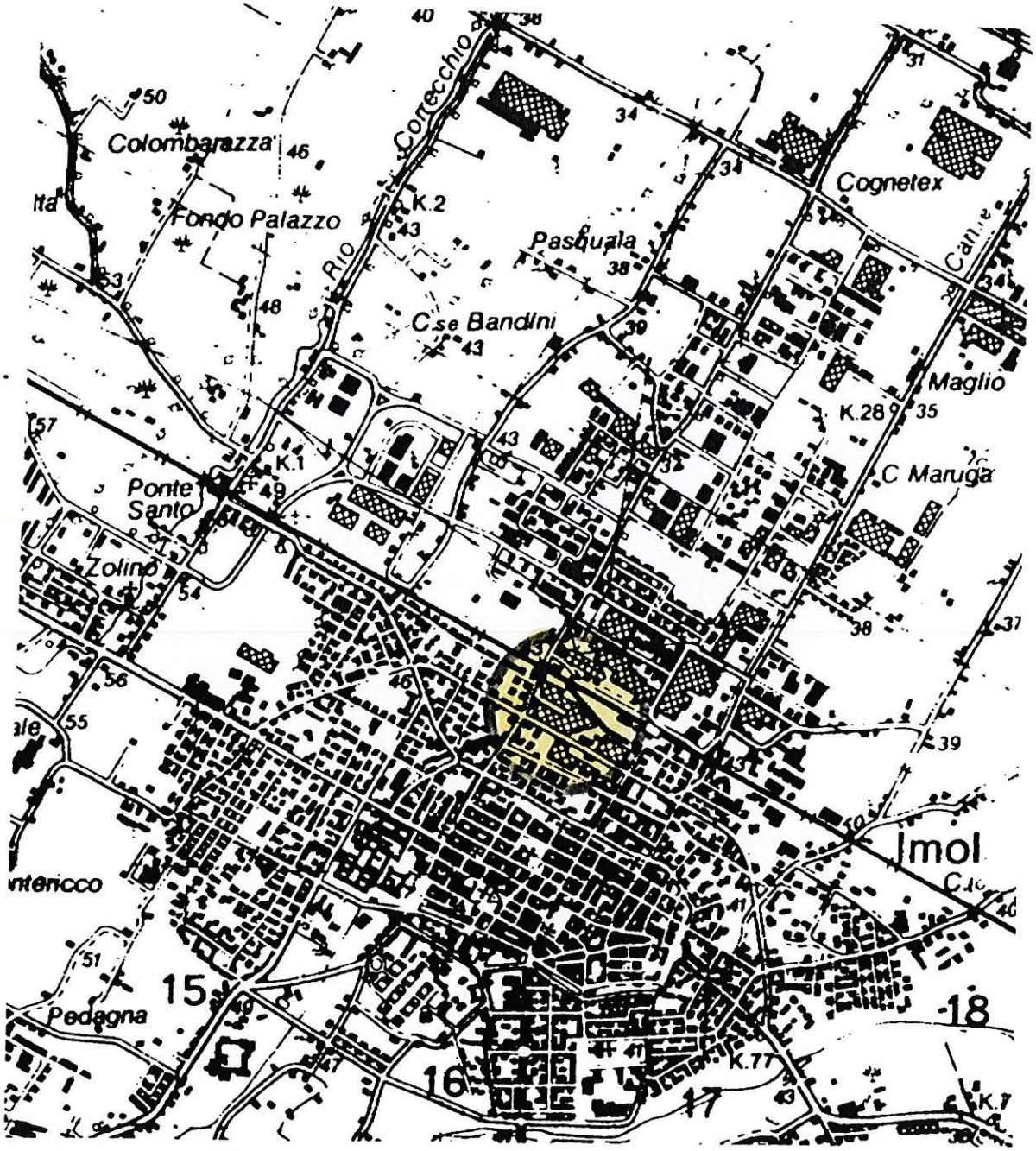
allegati (scala 1:2000)
- ubicazione area (stralcio P.R.G.)

allegati (scala 1:500)
- ubicazione prove
- carta della edificabilità

allegati vari
- stratigrafie sondaggi
- sezioni stratigrafiche

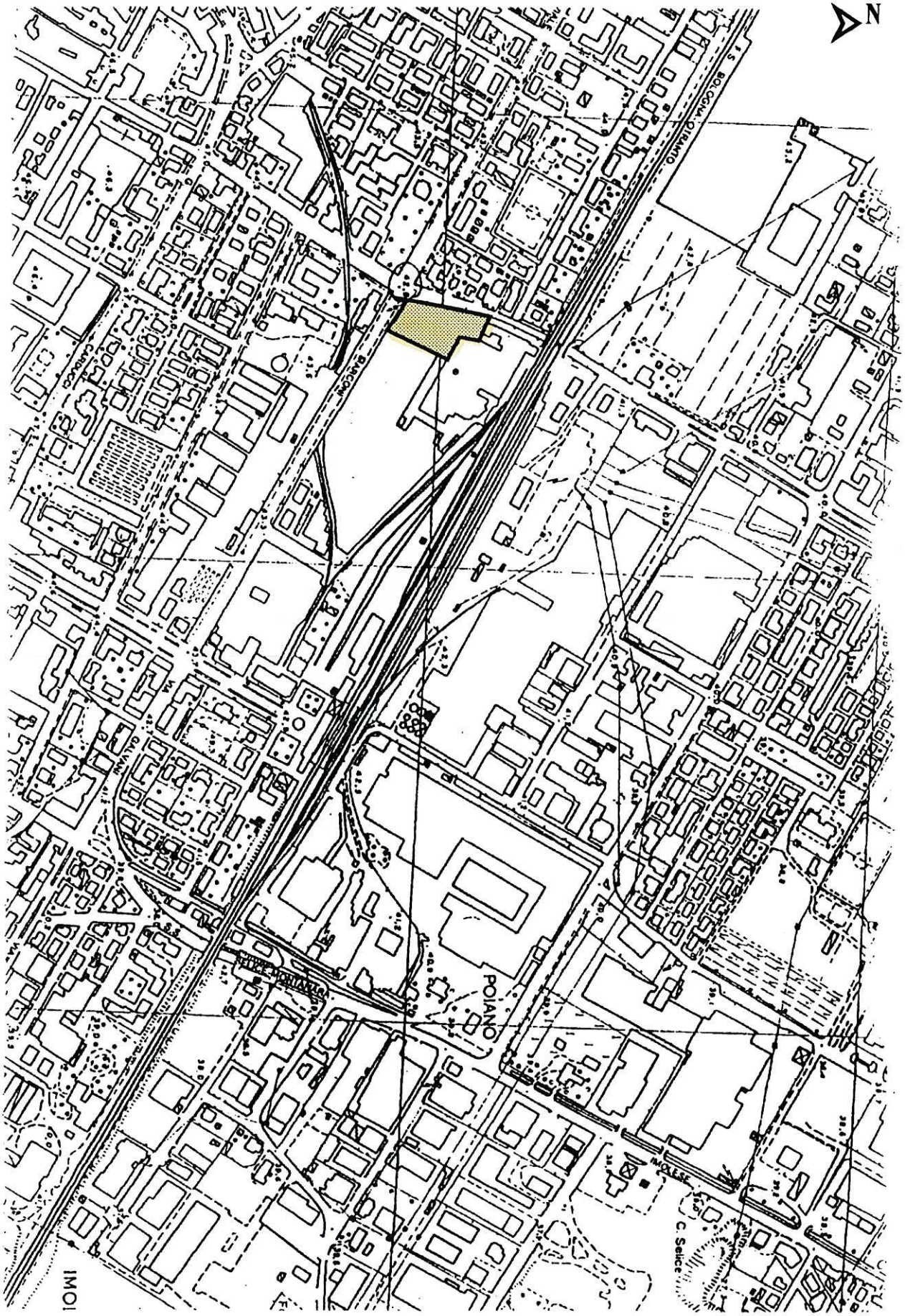
INQUADRAMENTO AREA

Scala 1:25.000



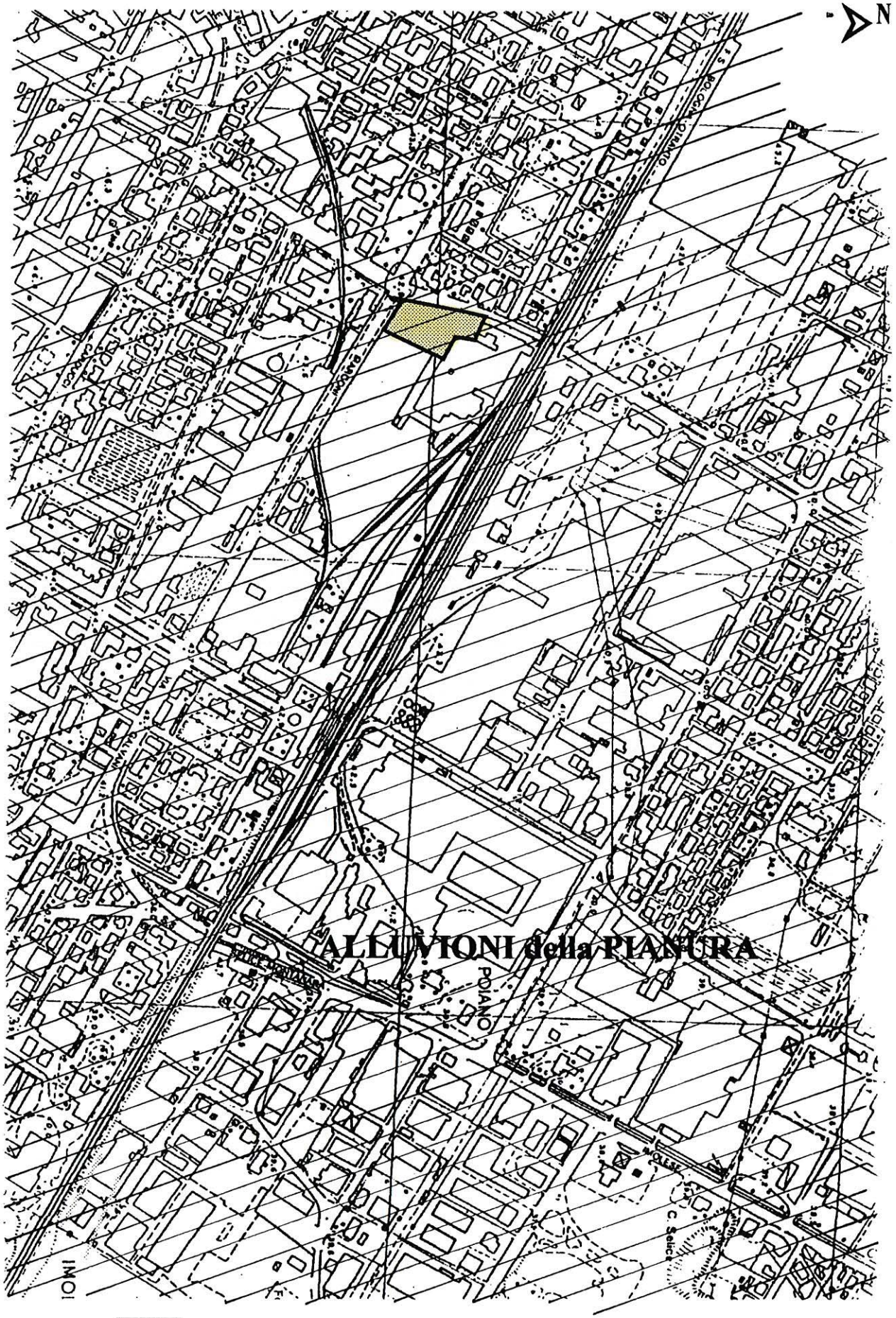
scala 1:5.000

UBICAZIONE AREA



GEOLITOLOGIA

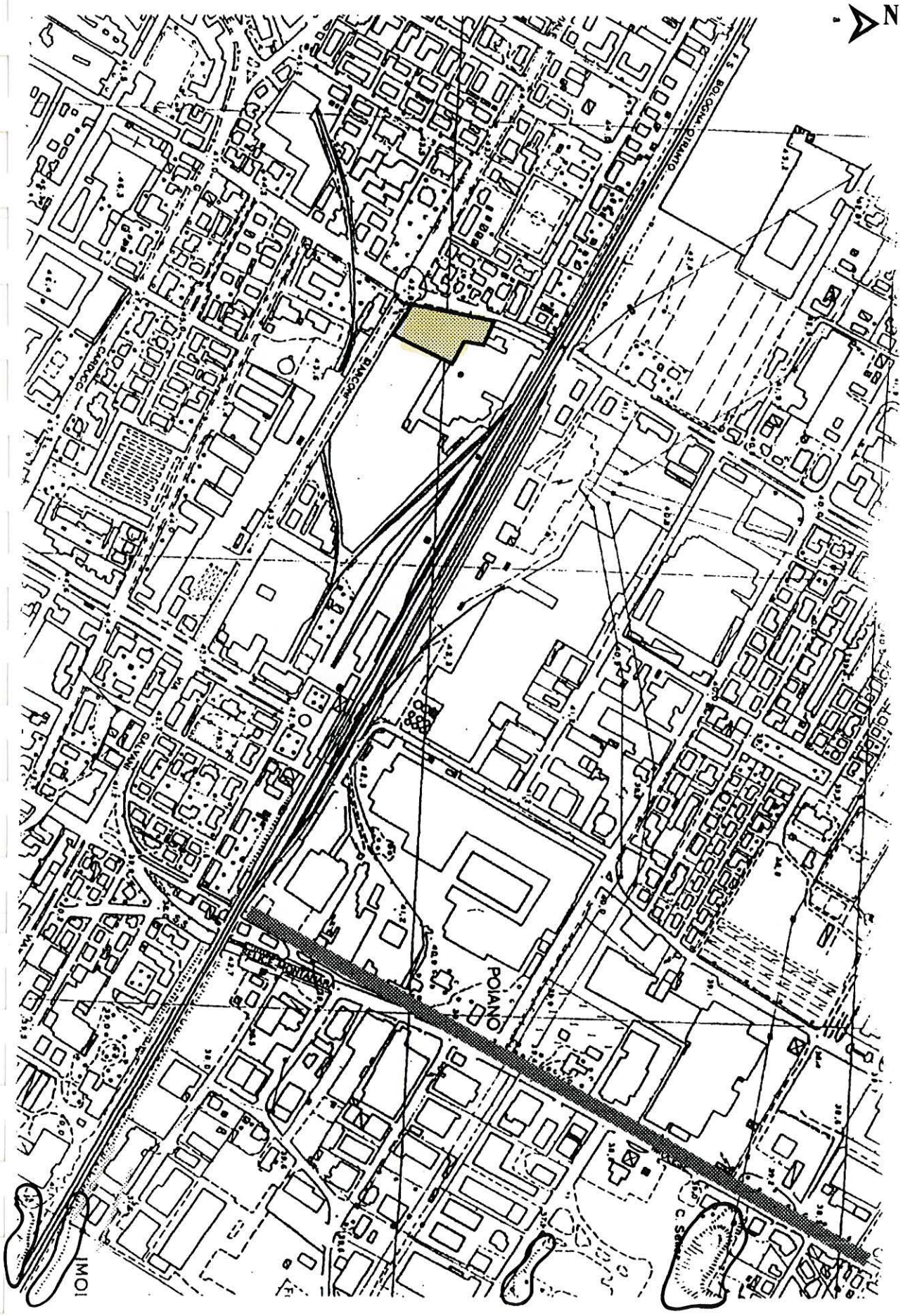
scala 1:5.000



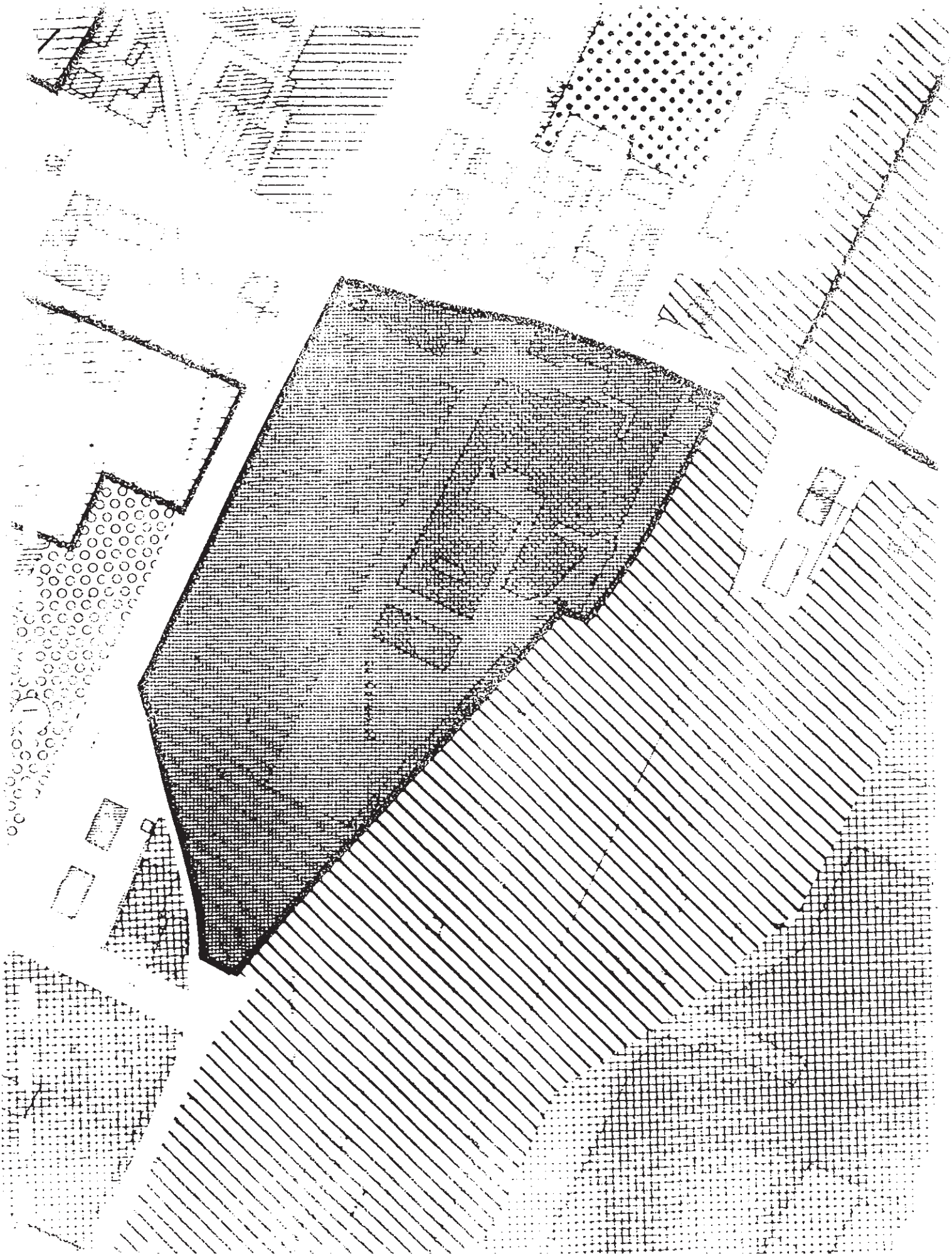
alluvioni della pianura limoso-argillose

scala 1:5.000

IDROGEOMORFOLOGIA



UBICAZIONE AREA (stralcio P.R.G.) scala 1:2000



LEGENDA

ZONE CULTURALI AMBIENTALI

ZONE EDIFICATE A PREVALENTE DESTINAZIONE RESIDENZIALE

B.1 Piani particolareggiati pubblici e privati

B.2 Completamento urbano

B.3 Adeguamento edilizio

B.4 Riqualificazione urbana

B.5 Completamento delle frazioni

B.6 Adeguamento dell'nucleo abitati

B.7 Residenziale di completamento

B.8 Residenziale a parco privato

NUOVI INSEDIAMENTI A PREVALENTE DESTINAZIONE RESIDENZIALE

C.1 Residenziale di espansione

ZONE A PREVALENTE DESTINAZIONE PRODUTTIVA

D.1 Completamento industriale e artigianale

D.2 Espansione industriale e artigianale

Recupero

Commerciale all'ingrosso e al minuto

Direzionale commerciale e di servizio di completamento

Direzionale commerciale e di servizio

Attività estrattive

ZONE DESTINATE ALL'AGRICOLTURA

Agricole

Agricole di rispetto ambientale

Agricole di rispetto degli abitati

ZONE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE DI LIVELLO URBANO/COMPRENSORIALE

Attrezzature di interesse generale

Parchi pubblici naturali

Parchi pubblici attrezzati

Attrezzature sportive

Attrezzature

Attrezzature

ZONE PER ATTREZZATURE PUBBLICHE DI LIVELLO DI QUARTIERE

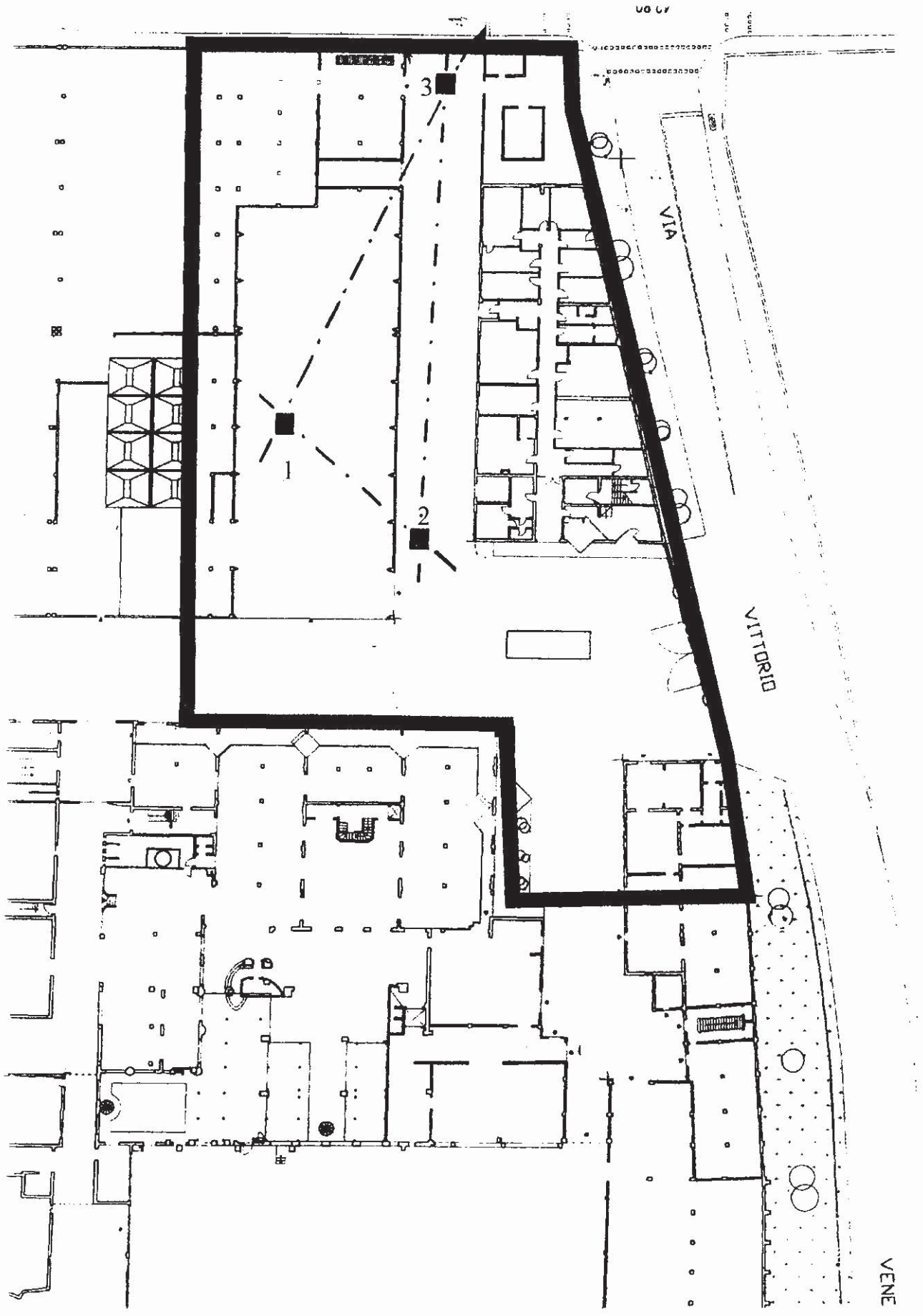
Attrezzature di interesse generale

I

S

UBICAZIONE PROVE

scala 1:500

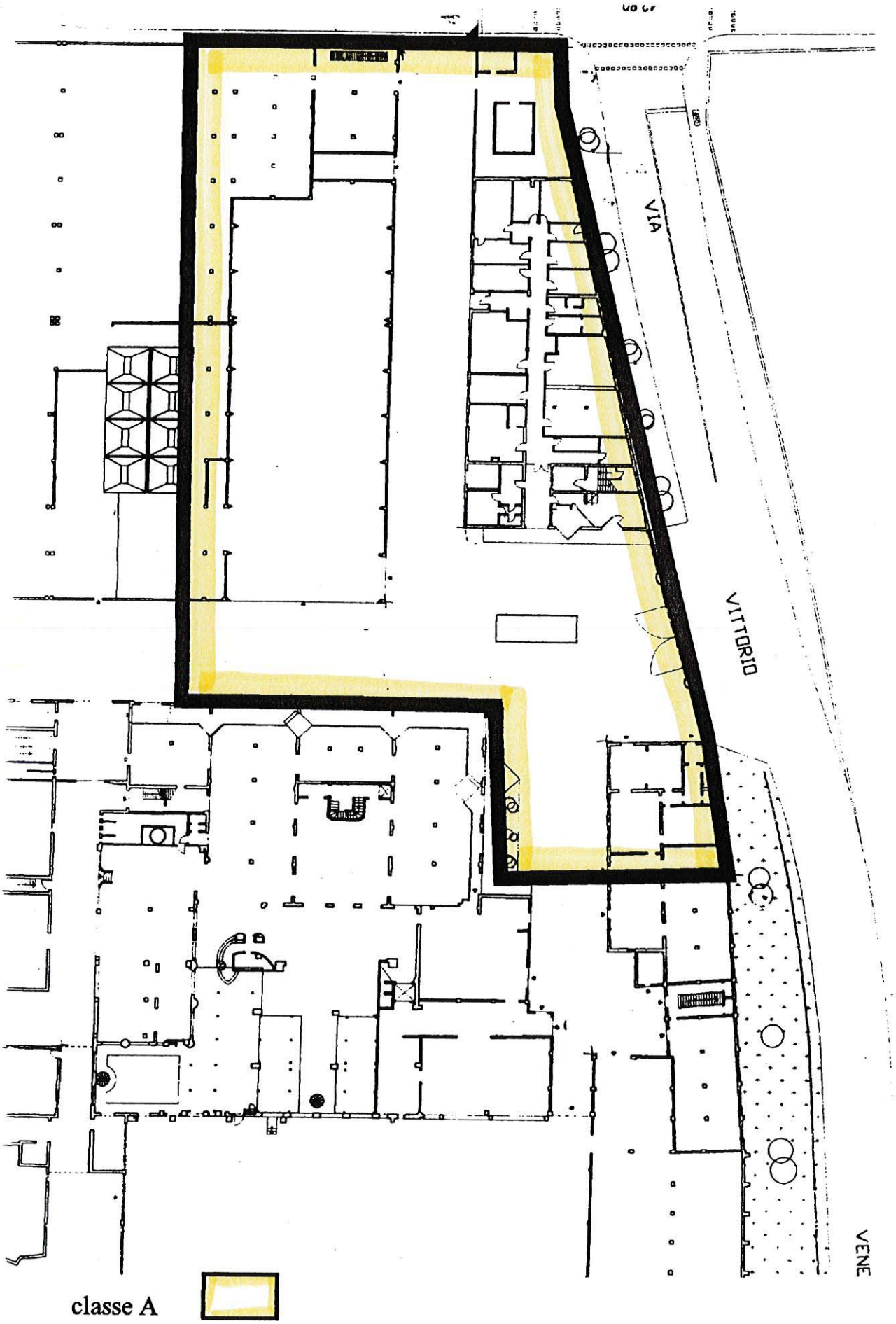


sondaggi ■

sezioni — · — · —

CARTA dell' EDIFICABILITA'

scala 1:500



classe A

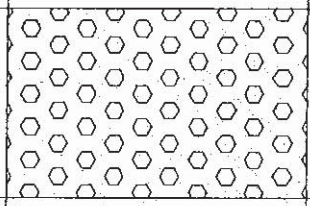
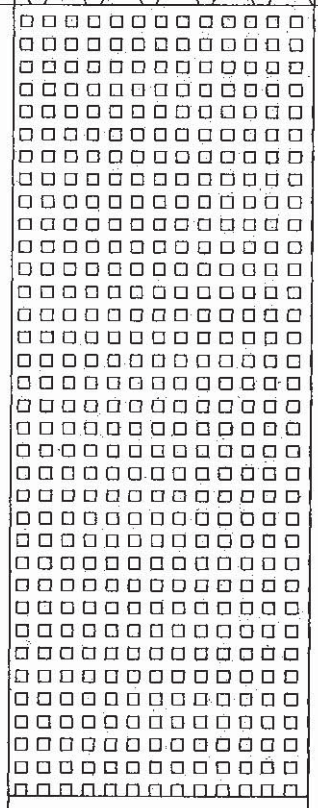
PERIGEO — Indagini geologiche — Faenza
via Masoni 28 — tel.0546/28252 — fax.0546/680974

STRATIGRAFIA SONDAGGIO

sondaggio n. 1 **località** IMOLA

data: 7/7/94 **cantiere** Stab.Coop.Ceramica Imola

avanzamento con aste elicoidali

QUOTA	SPESSORE	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SH	H2O
	1.25		ghiaia di varia pezzatura da fine (1 cm) a media (10 cm max) in matrice sabbiosa con presenza di ciottoli di grosse dimensioni (20 cm)		
1.25			ghiaia di varia pezzatura da fine (1 cm) a media (10 cm max) da poco a mediamente addensata in matrice sabbiosa		
7,00	fine				

PERIGEO — Indagini geologiche — Faenza
via Masoni 28 — tel.0546/28252 — fax.0546/680974

STRATIGRAFIA SONDAGGIO

sondaggio n. 2 località IMOLA

data: 7/7/94 cantiere Stab.Coop.Ceramica Imola

avanzamento con aste elicoidali

QUOTA	SPESSORE	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SH	H2O
0,25	0,25		asfalto(5 cm)+sottofondo con breccia		
0,50	0,25		ghiaia fine (1–2 cm)		
1,75	1,25		limo argilloso di color nocciola scuro		
3,00	fine		ghiaia fine poco addensata con matrice limoso–sabbiosa con aumento graduale della pezzatura (max 3 cm.)		

PERIGEO — Indagini geologiche — Faenza
via Masoni 28 — tel.0546/28252 — fax.0546/680974

STRATIGRAFIA SONDAGGIO

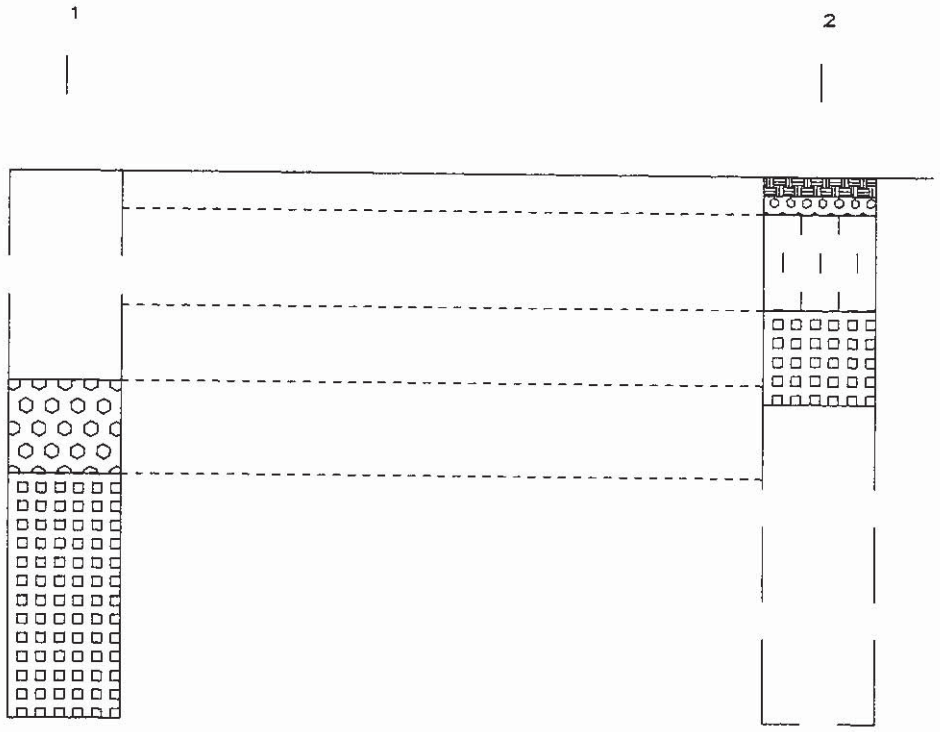
sondaggio n. 3 località IMOLA

data: 7/7/94 cantiere Stab.Coop.Ceramica Imola

avanzamento con aste elicoidali

QUOTA	SPESSORE	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SH	H2O
0,25	0,25		asfalto(5 cm)+sottofondo con breccia		
0,50	0,25		ghiaia fine (1–2 cm)		
1,45	0,95		limo argilloso di color nocciola scuro		
2,50	fine		ghiaia fine poco addensata con matrice limoso–sabbiosa con aumento graduale della pezzatura (max 3 cm.)		

SEZIONE 1–2



asfalto

ghiaia

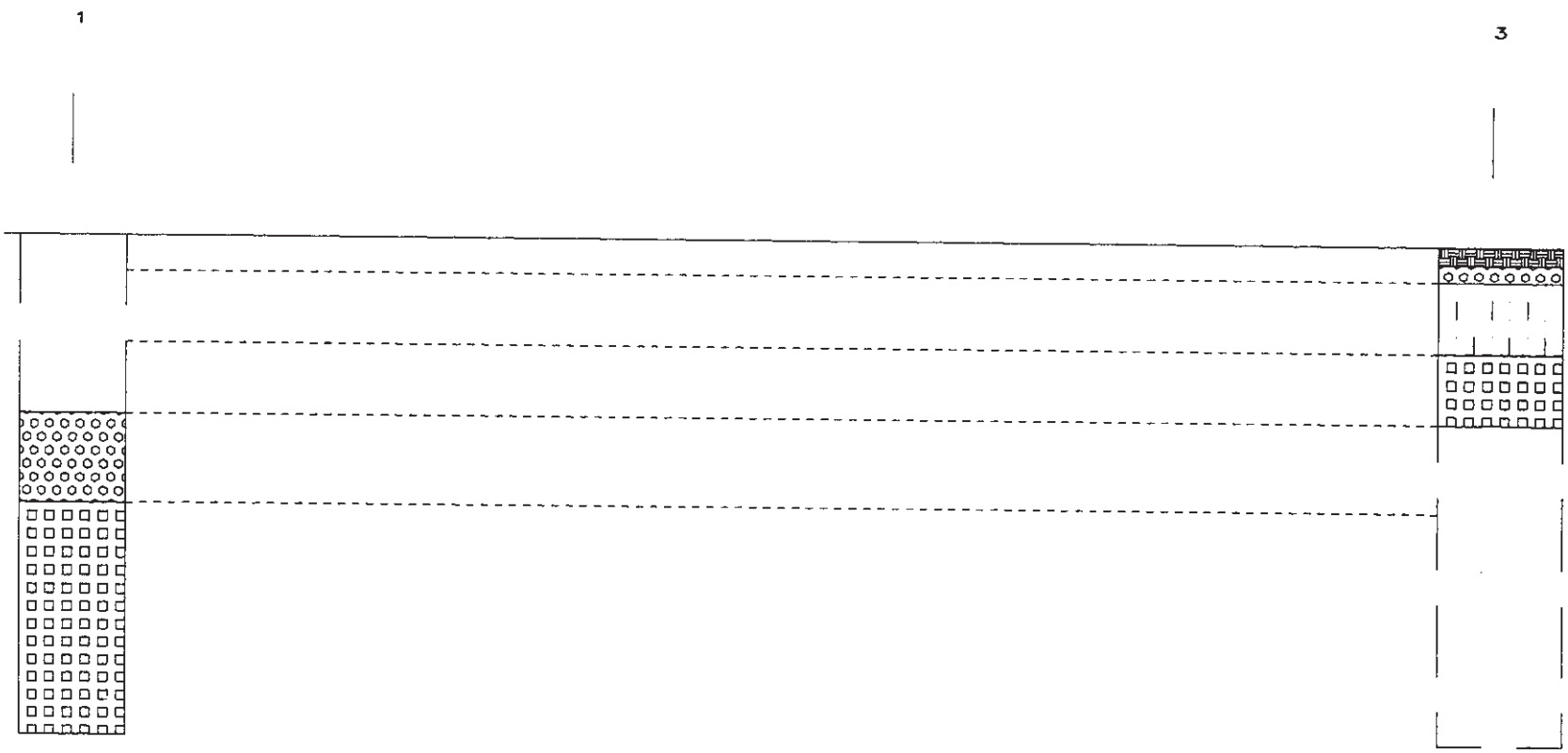
limo argilloso

ghiaia

scala lunghezze 1:200

scala altezze 1:100

SEZIONE 1–3



asfalto

ghiaia

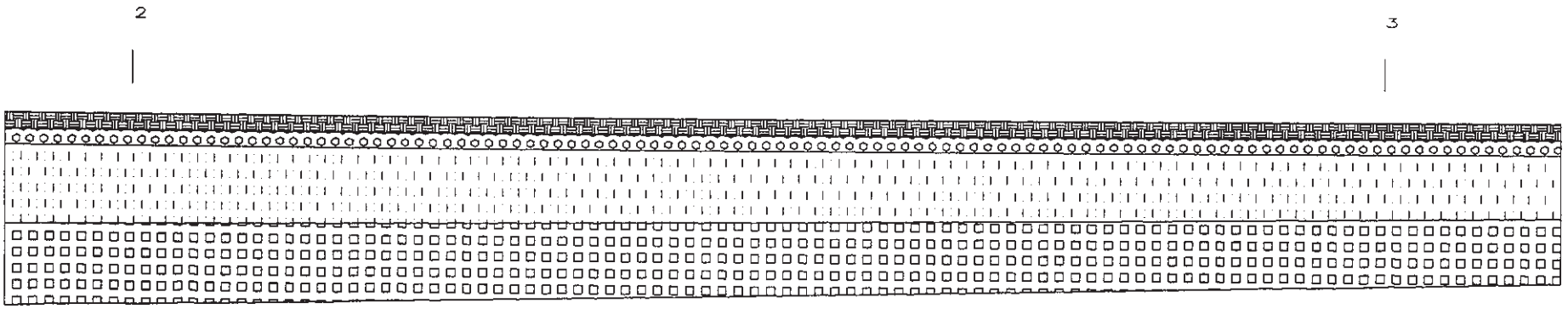
limo argilloso

ghiaia

scala lunghezze 1:200

scala altezze 1:100

SEZIONE 2–3



asfalto

ghiaia

limo argilloso

ghiaia

scala lunghezze 1:200

scala altezze 1:100

COMUNE DI IMOLA

PROVINCIA DI BOLOGNA

Proposta di Accordo di Programma finalizzato all'ampliamento dell'ospedale di Imola - Area dell'immobile denominato "Silvio Alvisi" sito in via D'Agostino 2/A





RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Committente
AZIENDA USL IMOLA

Gruppo di lavoro AIRIS

Francesca RAMETTA
Salvatore GIORDANO
Valeriano FRANCHI

AIRIS
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE

www.airis.it

Giugno 2014

COMUNE DI IMOLA

PROVINCIA DI BOLOGNA

PROPOSTA DI ACCORDO DI PROGRAMMA FINALIZZATO ALL'AMPLIAMENTO DELL'OSPEDALE DI IMOLA - AREA DELL'IMMOBILE DENOMINATO "SILVIO ALVISI" SITO IN VIA D'AGOSTINO 2/A

Committente	*Timbro e Firma del committente*
AZIENDA USL IMOLA U.O. PARTIMONIO E TECNOLGIE IMPIANTISTICHE P.le Giovanni dalle Bande Nere, 11 40026 Imola	
Società e professionisti incaricati	*Timbro e Firma del tecnico*
AIRIS INGEGNERIA PER L'AMBIENTE Via del Porto, 1 - 40122 Bologna Tel 051/266075 - Fax 266401 e-mail: info@airis.it Gruppo di lavoro: Dott.ssa Francesca RAMETTA Dott. Geol. Valeriano FRANCHI Dott. Salvatore GIORDANO	

Relazione geologica e sismica	N. Elaborato Unico
	Scala: Varie

C								
B								
A	30/06/2014	Emissione	VF		VF		FR	
Revisione	Data	Descrizione	Sigla	Firma	Sigla	Firma	Sigla	Firma
			Redazione		Controllo-emissione		autorizzazione	

Nome file VARI	Codice commessa 14027SAPC	Data Giugno 2014

Dott. Geol. Valeriano Franchi
V.le Caduti in Guerra, 1 – 41121 Modena
Tel: 059-226540
e-mail: valerianofranchi@tin.it

Modena, 10/06/2014

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

INDICE CONTENUTI

Premessa 2
1. Inquadramento geografico-fisico 3
  1.1. Descrizione di massima del progetto 5
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico 5
3. Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico 10
4. Indagine sismica 13
5. Definizione dei fattori di amplificazione sismica 15
6. Effetti di sito 16
  6.1. Amplificazione topografica 16
  6.2. Potenzialità liquefazione e cedimenti post-sismici 16
7. Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni 18

ALLEGATI

PREMESSA

Nella presente relazione vengono trattati gli aspetti geologici e sismici inerenti l'area su cui, tramite Accordo di Programma, si prevede di realizzare edifici residenziali in luogo dell'immobile denominato "Silvio Alvisi" sito in via D'Agostino 2/A a Imola. L'area è ubicata in corrispondenza del settore sud-occidentale del centro del Capoluogo, lungo il lato orientale di Viale D'Agostino, all'angolo con Viale Aurelio Saffi. La sua estensione complessiva è pari a circa 1,5 ha.
Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, DM 11.03.1988, con riferimento specifico agli aspetti sismici come da DM 14.01.2008.
Per l'adempimento delle specifiche normative, è stato effettuato un sopralluogo sull'area in data 10/04/2014 al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.
Per la caratterizzazione litostratigrafia e geotecnica dei terreni di sottofondazione, sempre in data 10/04/2014, sono state effettuate 3 prove penetrometriche statiche, spinte fino alla profondità massima di 3,6 m dall'attuale piano di campagna.
Per la classificazione sismica del terreno di sottofondazione sono stati utilizzati i dati ricavati da uno stendimento sismico eseguito, sempre in data 10/04/2014, nell'area verde più prossima, ovvero in corrispondenza dell'angolo sud-orientale dell'attuale edificio esistente. Lo stendimento, composto da 24 geofoni, con spaziatura tra essi di 2,0 metri per una lunghezza complessiva della linea sismica di 46 metri, ha fornito i dati necessari per individuare, tramite la metodologia d'analisi MASW, la frequenza, l'ampiezza, la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente.

La relazione si articola nel seguente modo:

- Inquadramento geografico - fisico
- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche e modello geologico-geotecnico
- Indagine sismica
- Definizione dell'azione sismica di base
- Effetti di sito
- Sintesi dell'analisi dei dati raccolti e conclusioni

ALLEGATI

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-FISICO

L'area esaminata, sulla quale verrà realizzato l'ampliamento del capannone artigianale, è ubicata nella periferia meridionale della città di Formigine (MO), tra via Quattrocchi e via Aldo Moro.
Dal punto di vista topografico si trova in corrispondenza di un'ampia area pianeggiante, di alta pianura, sub-orizzontale, con una debolissima pendenza verso NE, e con quote che, in corrispondenza dell'area, sono prossime a 50 m s.l.m.
Il sistema idrografico è rappresentato dal vicino Canale dei Molini, che scorre con direzione SSO-NNE circa 80 m ad est dell'area di studio. Il corso d'acqua principale è il Fiume Santerno, che scorre circa 1 km a SE, formando un'ampia ansa che porta la direzione del suo corso a deviare verso E dalla sua direzione di monte (SO-NE), lasciando sulla sinistra idrografica l'intero centro di Imola.
Il clima è caratterizzato, nel periodo 1991-2008, da precipitazioni totali annue, in media, di 731 mm e temperature medie annue di 14,3°C[1], pari, rispettivamente, ad una variazione di -48 mm e +0,9°C rispetto al periodo 1961-1990.
Nella cartografia regionale, l'area è compresa nella Tavola alla scala 1:25.000 nr. 239NO denominata "Imola" (Figura 1), nella Sezione alla scala 1:10.000 nr. 239010 denominata "Imola" e nell'Elemento alla scala 1:5.000 nr. 239013 denominato "Imola Ovest" (Figura 2).

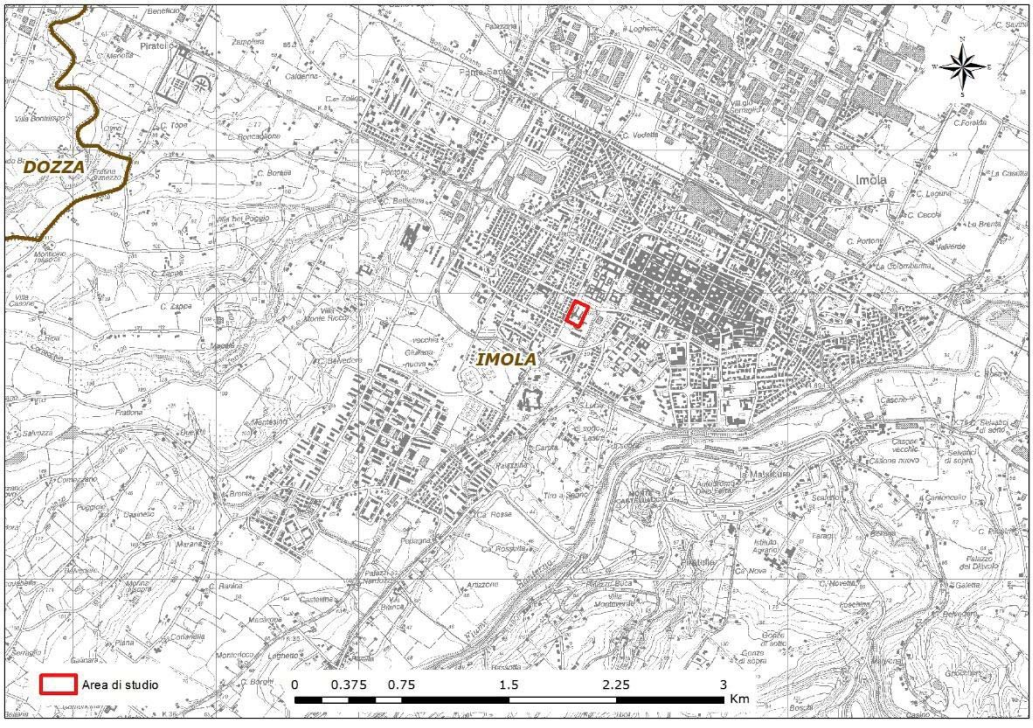


Figura 1 - Inquadramento geografico su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:25.000 – Tavola nr. 239NO denominata "Imola".

[1] Atlante Idroclimatico dell'Emilia-Romagna - http://www.arpa.emr.it/sim/?clima

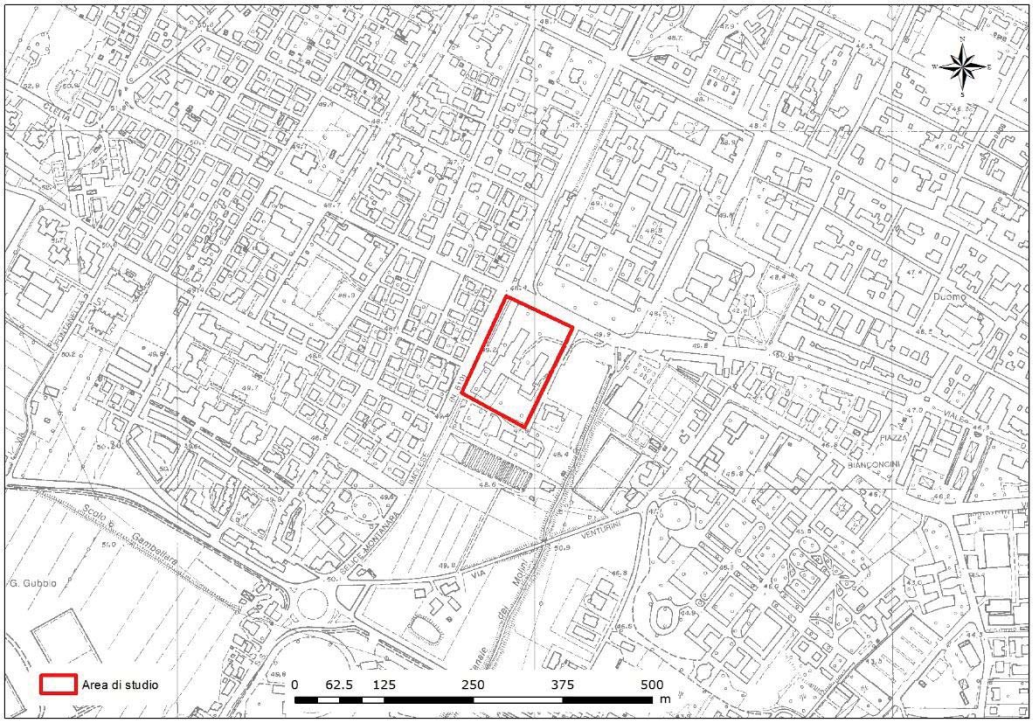


Figura 2 - Ubicazione dell'area d'indagine su C.T.R. con dettaglio topografico a scala 1:5.000 – Elemento nr. 239013 denominato "Imola Ovest".



Figura 3 - Ubicazione dell'area d'indagine su ortofoto satellitare (fonte: Ortofoto multifunzione AGEA 2012 - RGB).

1.1. Descrizione di massima del progetto

Il progetto prevede la costruzione di edifici a destinazione prevalentemente residenziale nell'area attualmente occupata dall'immobile denominato "Silvio Alvisi" sito in via D'Agostino 2/A a Imola, indicata con il poligono rosso in Figura 3. Dall'osservazione degli edifici esistenti, in un intorno significativo dell'area in esame, non si rilevano situazioni di instabilità strutturale, rendendo possibile ipotizzare la presenza di un substrato naturale favorevole all'edificazione per la tipologia edilizia in oggetto.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda la litologia superficiale, la Sezione 239010 "Imola" della Carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo a scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna (Figura 4) mostra come l'area in esame si trovi in una zona caratterizzata dalla presenza, in superficie, di ghiaie nel settore centro-meridionale e da sabbie limose di piana alluvionale nel restante settore centro-settentrionale; entrambe le litologie appartenenti al Subsintema di Ravenna (AES8).

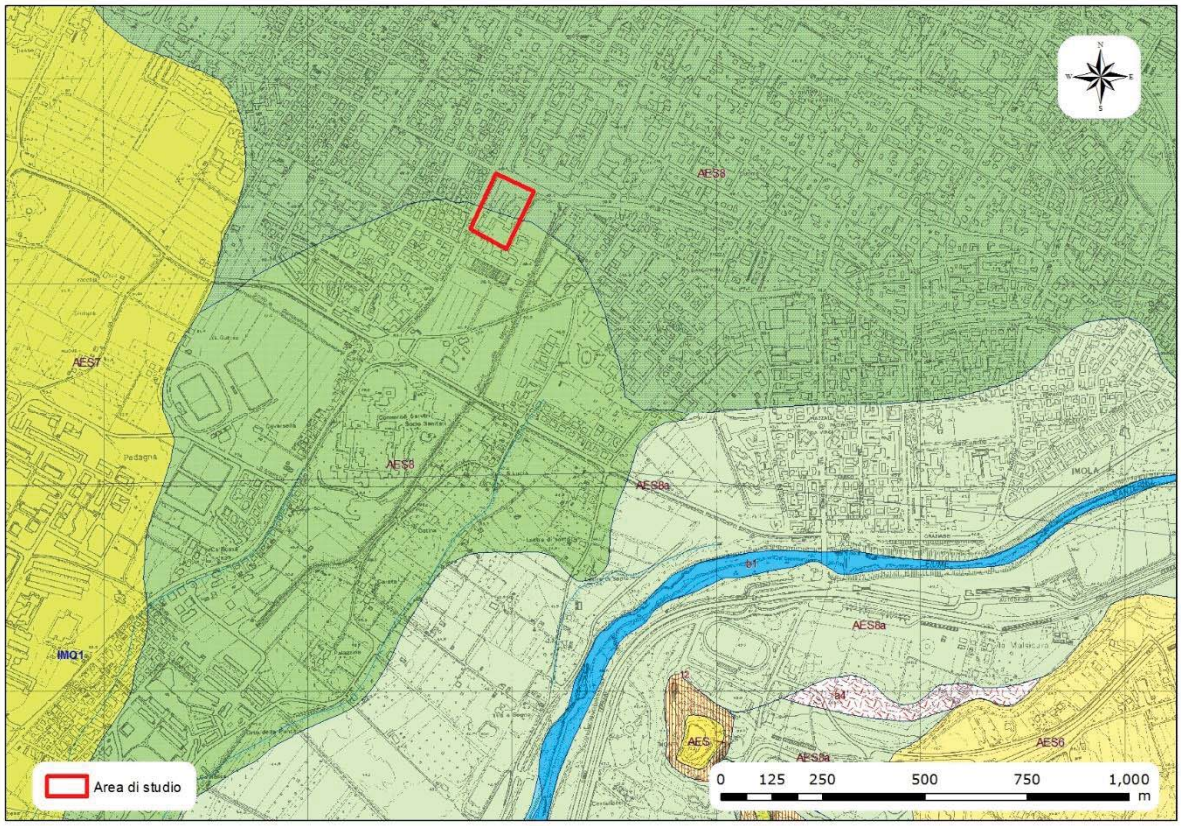


Figura 4 – Stralcio della Sezione 239010 "Imola" della Carta geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo a scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (Rilevamento geologico originale eseguito alla scala 1:10.000, negli anni 1982\1996. Aggiornamento delle unità geologiche al 2005 e parziale aggiornamento delle coperture al 2011).

Sostanziale accordo con il quadro delle litologie superficiali della cartografia regionale si può trovare anche nella Tavola 1 Foglio b "Carta litotecnica" del QC del PSC Circondario imolese (Figura 5) in cui, per l'area in esame, rimane appunto confermata la presenza di ghiaie nel settore centro-meridionale e di sabbie limose in quello centro-settentrionale, una leggera modifica è evidente nella definizione del limite tra ghiaie e sabbie limose, nel QC maggiormente dettagliato.

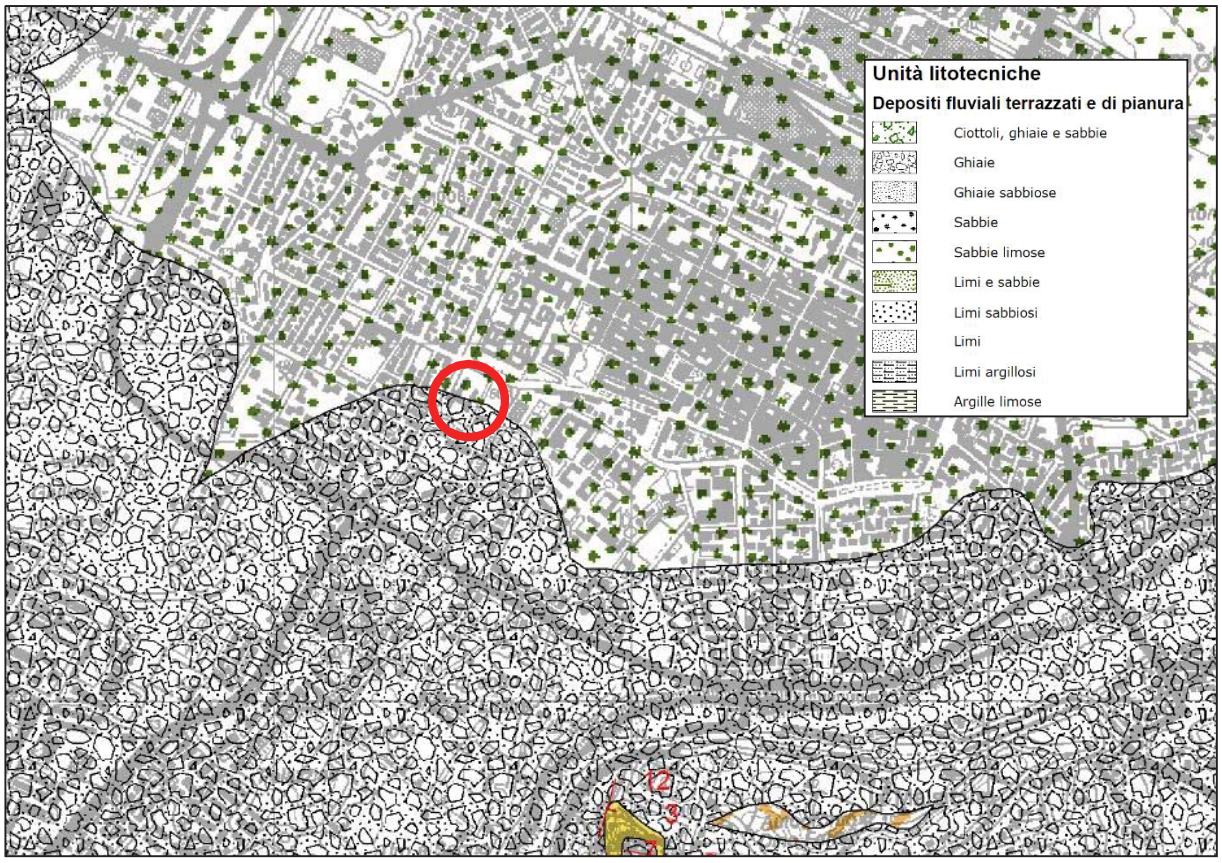


Figura 5 – Stralcio della Tavola 1 Foglio b "Carta litotecnica" del QC del PSC Circondario imolese. Il cerchio rosso individua l'area di studio.

Per quanto riguarda la stratigrafia oltre il primo metro più superficiale, questa può essere ricavata, con buona approssimazione, dalla stratigrafia della sezione nr. 081, reperibile dal database geognostico della Regione Emilia-Romagna (Figura 7), la cui traccia dista dall'area d'indagine circa 50 m.
Dalla figura appare evidente la presenza di uno spessore di ghiaie di circa 20/25 m, con contatto basale in disconformità sul Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), con argille e limi prevalenti, e sulle Sabbie di Imola (IMO), prevalentemente incoerenti. Il substrato marino pliocenico è presente ad una profondità di circa 80/90 m mentre la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore è a circa -50 m.

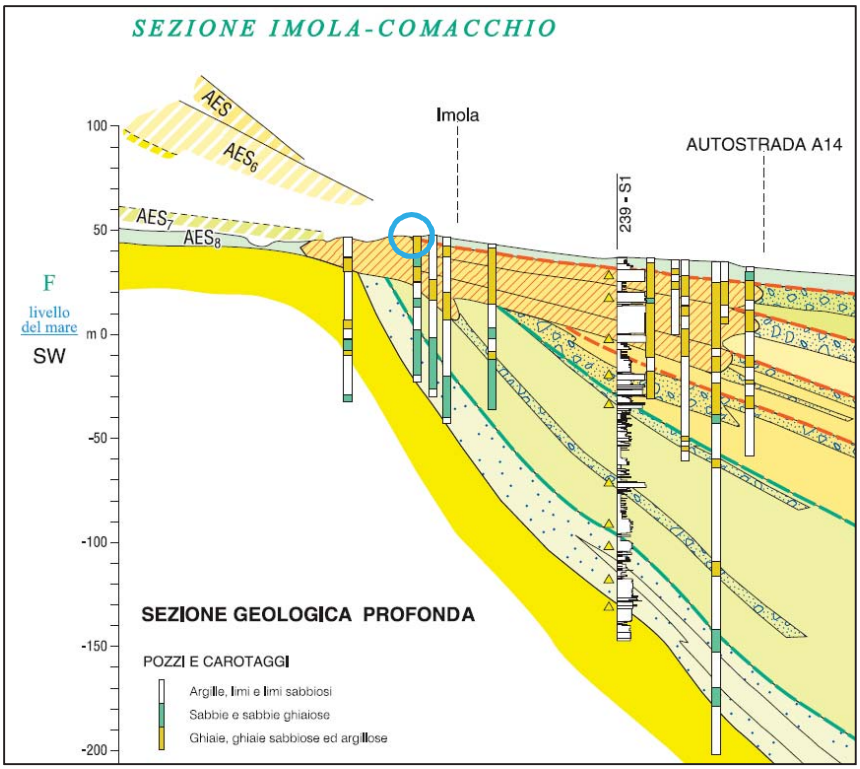


Figura 6 – Stralcio della sezione stratigrafica nr. 081 del database regionale. Il cerchio azzurro individua approssimativamente l'ubicazione dell'area di studio.

L'esame della stratigrafia di un vicino sondaggio (Figura 7), reperibile presso l'Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984) (ISPRA), indica la presenza in superficie di argilla sabbiosa, subito seguita, da -4 m a -8,5 m, da ghiaia grossolana e sabbia.



Scheda indagine

Codice: 170384
Regione: EMILIA ROMAGNA
Provincia: BOLOGNA
Comune: IMOLA
Tipologia: PERFORAZIONE
Uso: INDAGINE GEOGNOSTICA
Profondità (m): 70.00
Quota pc slm (m): 46
Anno realizzazione: 1989
Numero diametri: 2
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): ND
Portata esercizio (l/s): ND
Numero falde: 2
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 1
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): SI
Numero strati: 10
Longitudine ED50 (dd): 11.713889
Latitudine ED50 (dd): 44.351944
Longitudine WGS84 (dd): 11.712929
Latitudine WGS84 (dd): 44.350988

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Figura 7 – Ubicazione del sondaggio geognostico (pin rosso) più prossimo all'area d'indagine, contenuto nell'Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (ISPRA), di cui si dispone di stratigrafia. Il cerchio giallo individua l'area di studio.

La stratigrafia prosegue poi fino alla profondità raggiunta dal sondaggio di 70 m, come illustrato in Figura 8.

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0	4	4.0		ARGILLA SABBIOSA GIALLASTRA
2	4	8.5	4.5		GHIAIA GROSSOLANA E SABBIA
3	8.5	14	5.5		ARGILLA GIALLA E SABBIA ARGILLOSA
4	14	22	8.0		GHIAIA GHIAIETTO E SABBIA
5	22	30	8.0		ARGILLA GRIGIA COMPATTA
6	30	34	4.0		SABBIA GRIGIA
7	34	45	11.0		ARGILLA GRIGIA COMPATTA
8	45	64	19.0		SABBIA FINE CON CONCHIGLIE
9	64	67	3.0		ALTERNANZA SABBIA ARG.
10	67	70	3.0		ARG. GRIGIA COMPATTA

Figura 8 – Stratigrafia completa del sondaggio 170384 contenuto nell'Archivio nazionale delle indagini del sottosuolo (ISPRA) ed ubicato in Figura 7.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in studio si sviluppa in un contesto caratterizzato dalla presenza di forme superficiali legate alla paleo-dinamica fluviale del Fiume Santerno (Figura 9).
In particolare, l'area è ubicata al passaggio tra i depositi di pianura, a nord, caratterizzati da sabbie, limi e argille, ed i depositi alluvionali terrazzati, a sud.

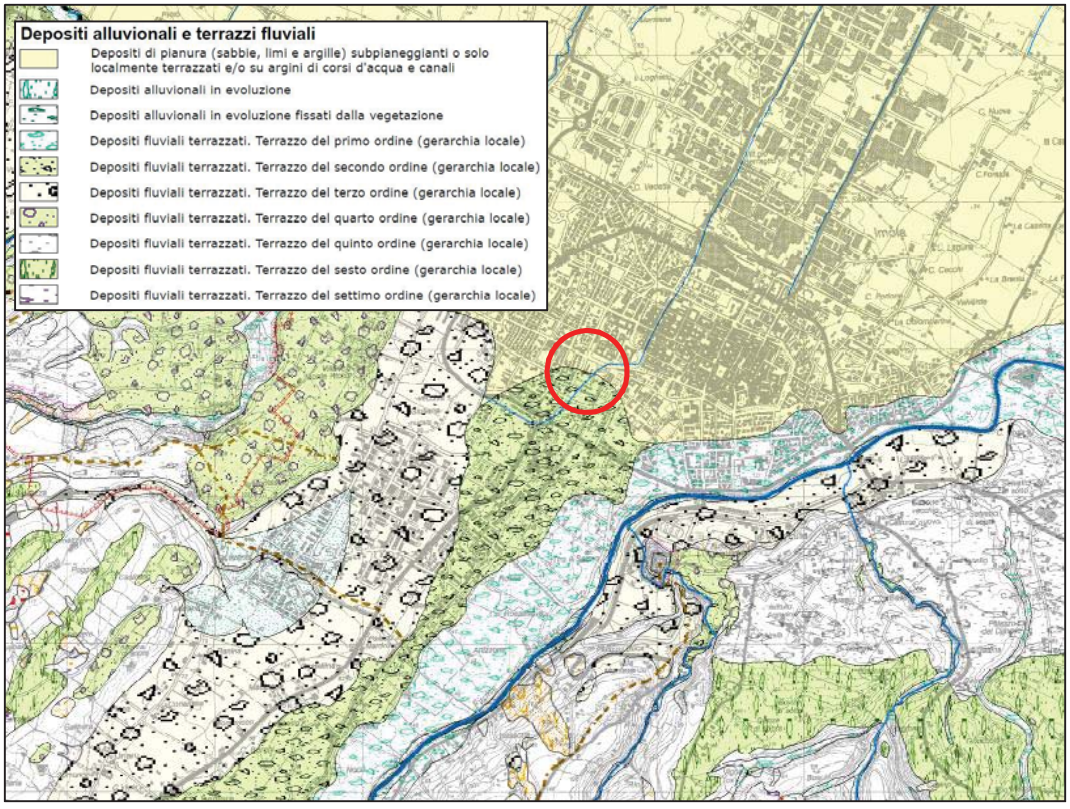


Figura 9 – Stralcio della Tavola 2 Foglio b "Carta geomorfologica" del QC del PSC Circondario imolese. Il cerchio rosso individua l'area di studio.

In particolare, il terrazzo fluviale di pertinenza è del II ordine, ovvero precedente, in ordine temporale relativo, al terrazzo fluviale direttamente adiacente all'alveo attuale del Fiume Santerno. Come si può notare, tutti i deposi terrazzati mostrano una direzione allungata in senso SO-NE, ovvero probabilmente lungo le direttrici delle principali discontinuità tettoniche anti-appenniniche, sulle quali si sono impostati i corsi d'acqua principali. L'ampia forma a ventaglio che ha apice proprio in corrispondenza del Capoluogo corrisponde alla conoide del Fiume Santerno.

In merito all'idrografia, il sistema idrografico è rappresentato dal vicino Canale dei Molini, che scorre con direzione SSO-NNE circa 80 m ad est dell'area di studio. Il corso d'acqua principale è il Fiume Santerno, che scorre circa 1 km a SE, formando un'ampia ansa che porta la direzione del suo corso a deviare verso E dalla sua direzione di monte (SO-NE), lasciando sulla sinistra idrografica l'intero centro di Imola. Non è noto a chi scrive, ma tale deviazione potrebbe essere derivata dal sovra accumulo detritico operato dal fiume stesso (ipoteticamente durante l'Ultimo Massimo Glaciale), che ha quindi creato uno sbarramento al suo stesso corso.
Per quanto riguarda le acque sotterranee, l'elaborazione della piezometria della falda superficiale, ricavabile da Fava et al., 2005[2], evidenzia la presenza di una direzione di flusso verso nord-est, piuttosto uniforme su tutto il conoide, effetto di un'alimentazione fortemente condizionata dagli afflussi sub-superficiali provenienti dal pedecollina (Figura 10).

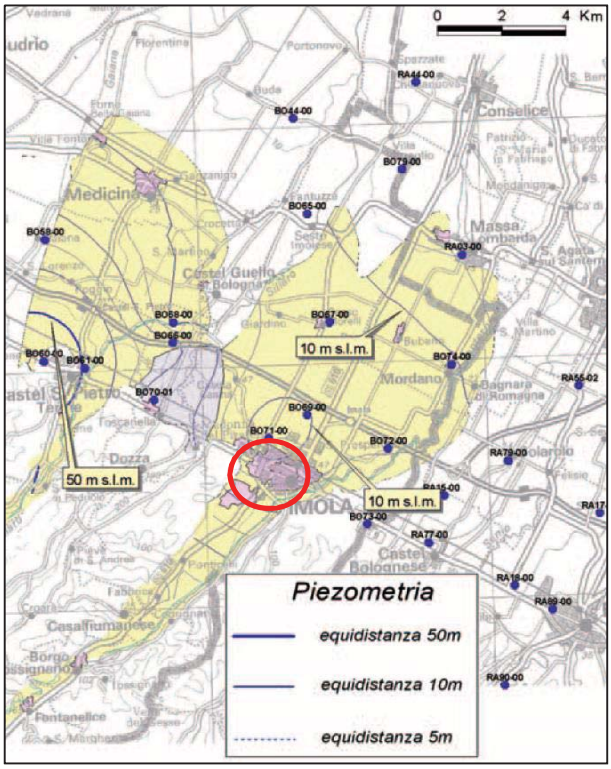


Figura 10 – Carta della piezometria - media anno 2003 (Fonte: Fava et al., 2005). Il cerchio rosso identifica l'area di studio.

[2] Fava A, Farina M. & Marcaccio M. (2005) – Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia-Romagna. Report 2003. Regione Emilia-Romagna, ARPA.

Il livello piezometrico attendibile per l'area in esame è intorno ai 40 m s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza di circa 10 m.

In occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche in corrispondenza dell'area di studio, la falda non è stata intercettata lungo tutti i 3,6 m indagati dal piano campagna.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

In data 10/04/2014 è stata eseguita un'indagine geognostica nell'area in oggetto al fine di analizzare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto. L'indagine è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove penetrometriche statiche (CPT). L'ubicazione delle prove eseguite è mostrata nella planimetria riportata in Figura 11, mentre i relativi diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna, sono riportati in Allegato 1. Le prove, che hanno raggiunto una profondità dal piano di campagna variabile da un minimo di -2,8 ad un massimo di 3,6 m, sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico Pagani 100kN, con le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7 mm
Angolo di apertura punta	60°
Area punta	10 cmq
Superficie manicotto	150 cmq
Passo letture (cm)	20 cm
Costante di trasformazione Ct	10



Figura 11 – Ubicazione dei sondaggi penetrometrici e dello stendimento MASW.

Dal punto di vista litostratigrafico, oltre il primo livello superficiale di suolo, le prove (Tabella 1, Tabella 2, Tabella 3) hanno evidenziato la presenza di un suolo piuttosto omogeneo su tutta l'estensione d'indagine, costituito da uno spessore di argille inorganiche molto compatte, seguito, a partire dalla profondità media di circa 3 m, da uno strato di spessore non definito di ghiaie. Si può notare come lungo il lato orientale (prove CPT2 e CPT3) il tetto delle ghiaie sia relativamente più superficiale e, in corrispondenza dell'intervallo di profondità 0,8-2 m, nella CPT3, sia presente una percentuale di sedimenti incoerenti, a differenza delle altre due prove.

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,20											
2	1,60	C	1,0	774,7	41,6	178,9	>9	2,0	2,1	--	--	--
3	2,60	C	2,0	1470,6	79,2	265,1	>9	2,1	2,2	--	--	--
4	3,60	I	--	--	595,4	1083,8	<0.5	1,8	2,1	100,0	36,8	793,8

Tabella 1 – Modello geotecnico in corrispondenza della CPT1.

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,32											
2	1,60	C	0,9	655,4	46,5	161,5	>9	2,0	2,0	--	--	--
3	2,40	C	1,8	1341,5	72,2	250,5	>9	2,1	2,2	--	--	--
4	3,00	I	--	--	690,2	1186,2	<0.5	1,9	2,2	100,0	38,6	920,2

Tabella 2 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT2.

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
1	0,20											
2	0,80	C	0,6	462,9	47,3	130,4	>9	1,9	2,0	--	--	--
3	2,00	CI	1,8	1356,0	72,8	251,8	1,0	2,1	2,2	57,5	29,8	72,8
4	2,80	I	--	--	383,1	827,9	<0.5	1,8	2,1	100,0	36,1	510,8

Tabella 3 - Modello geotecnico in corrispondenza della CPT3.

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm²)

Dal punto di vista geotecnico, le prove effettuate hanno evidenziato la presenza di livelli a comportamento meccanico plastico caratterizzati da valori di coesione non drenata quasi sempre piuttosto alti: da 98 kPa a 196 kPa. Una differenza evidente si ha in corrispondenza dell'intervallo di profondità 0,2-0,8 m nella CPT3, in cui il valore medio di coesione non drenata registra il valore minimo assoluto, pari a 59 kPa.
Considerando la resistenza alla punta media (Figura 12), le 3 CPT mostrano un andamento tendenzialmente uniforme con la profondità, soprattutto per quanto riguarda le CPT1 e CPT2, con valori di Rp in media da discreti a buoni, già a partire dalla profondità di 0,4 m. Diverso è l'andamento degli Rp per la CPT3, con

valori relativamente più bassi, rispetto alle altre prove, nei primi 0,8 m e relativamente superiori da 0,8 a 2 m.

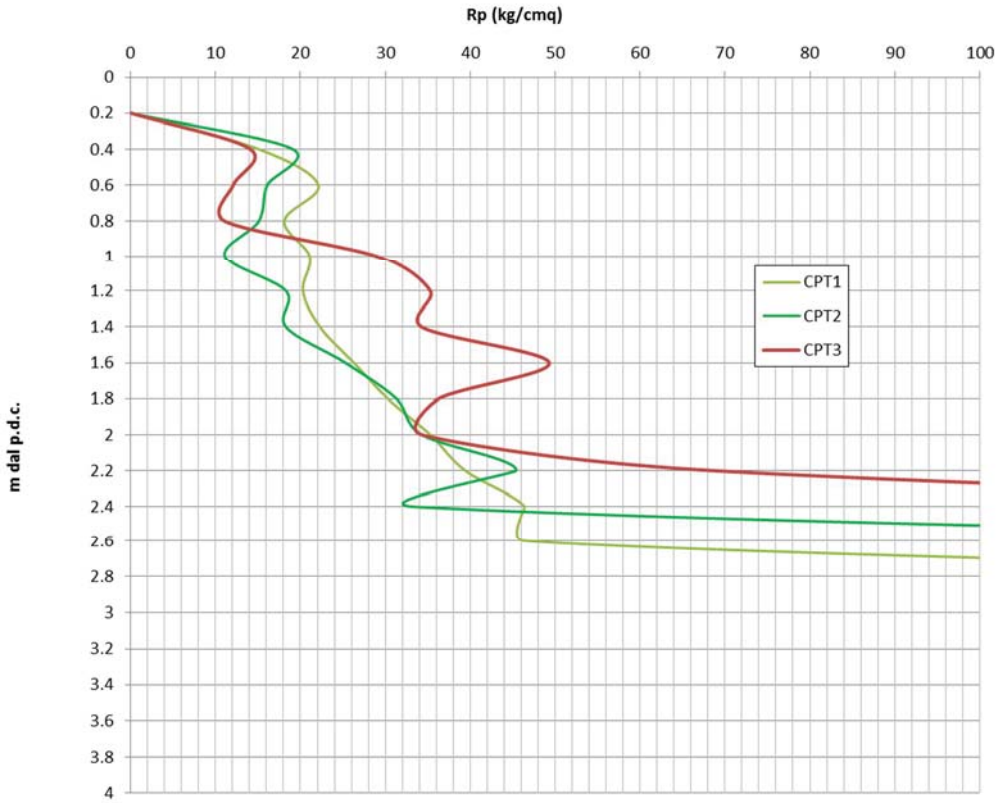
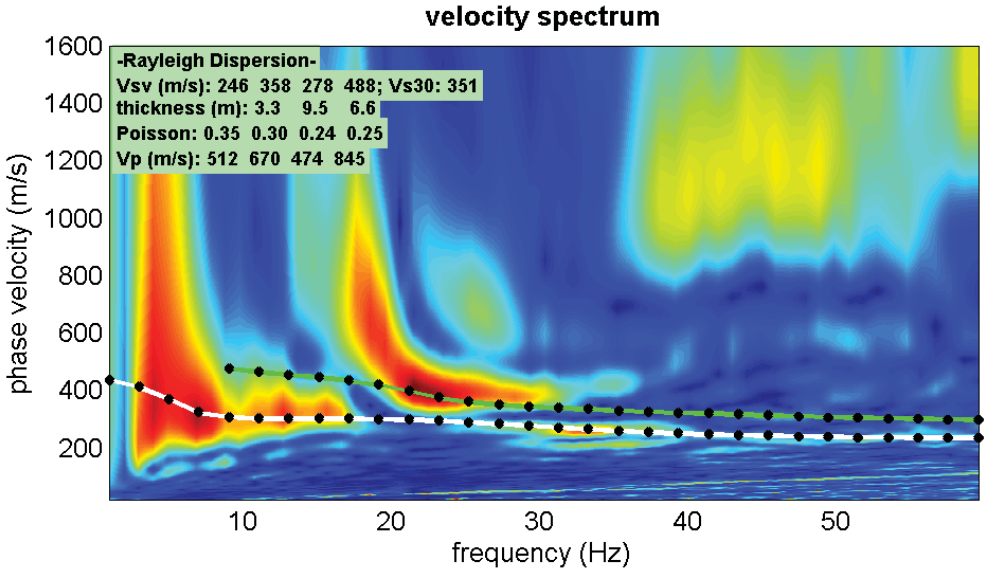


Figura 12 – Diagramma dei valori di Rp con la profondità.

4. INDAGINE SISMICA

Per la classificazione sismica dei terreni è stato eseguito, sempre in data 10/04/2014, uno stendimento sismico composto da 24 geofoni; mediante la metodologia d'analisi attiva MASW del segnale registrato dai geofoni, è stato possibile individuare la frequenza, l'ampiezza, la lunghezza d'onda e la velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente.
L'indagine sismica è stata eseguita su terreno "naturale", nell'area verde più prossima, ovvero in corrispondenza dell'angolo sud-orientale dell'attuale edificio esistente (Figura 11). Essa ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, permettendo di calcolare un valore di V_{s30} pari a **351** m/sec, che inserisce il terreno di fondazione all'interno della classe **C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < N_{SPT30} < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < c_{u30} < 250 kPa nei terreni a grana fina)*.



-diagramma della curva di dispersione-

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
3.3	3.3	246
12.8	9.5	358
19.4	6.6	278
30.0	10.6	488

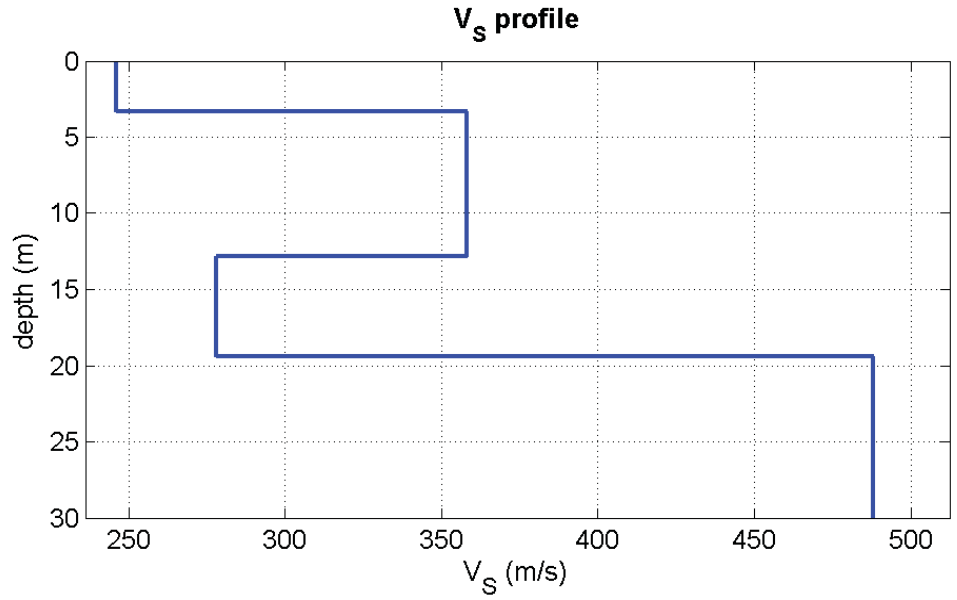
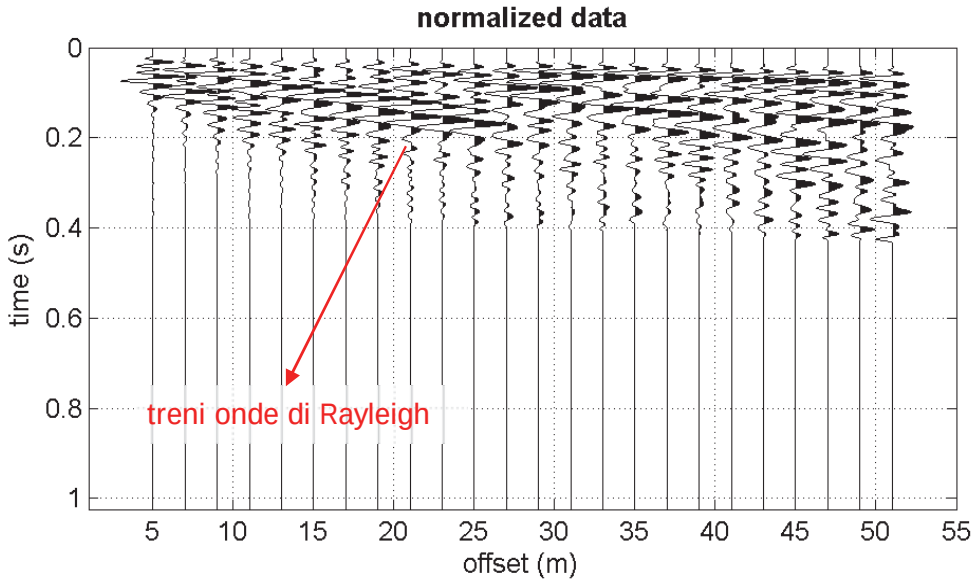


Diagramma velocità Vs/profondità



sismogramma

5. DEFINIZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

L'amplificazione del segnale sismico è legata essenzialmente alla natura ed alla consistenza delle litologie presenti, ma anche alla natura ed alla struttura del substrato a comportamento rigido.
Tale caratterizzazione del territorio è passata necessariamente attraverso l'acquisizione di dati geognostici prima illustrati, ed eseguiti anche in altre occasioni, per la definizione dei profili sismici.
In conformità a quanto previsto nell'Allegato n. 2 dell'Atto di indirizzi della RER, per calcolare i Fattori di Amplificazione (F.A.), oltre alla determinazione della Vs,30, si è definita la situazione sismostratigrafica in cui si colloca l'area in esame, per l'utilizzo delle tabelle di riferimento.
Infatti per utilizzare le tabelle contenute nell'Atto di indirizzi della RER occorre definire anche la profondità del bedrock sismico (H), inteso come lo strato in cui la velocità delle onde di taglio Vs sia maggiore di circa 800 m/sec.
Siccome la verticale eseguita non ha individuato, per la profondità indagata, il bedrock sismico, ci si è avvalsi della possibilità data dalla normativa stessa, per cui qualora le prove disponibili non abbiano raggiunto il bedrock, il profilo di Vs possa essere estrapolato in profondità fino a valori di Vs = 800 m/s, mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale.
Nell'allegato 2 dell'Atto d'indirizzi della RER, per la determinazione del fattore di Amplificazione (FA) si individuano due diverse situazioni litostratigrafiche, denominate Pianura 1 e Pianura 2, differenziate in ragione della profondità del substrato profondo, correlabile al bedrock sismico.
Nello specifico i dati consentono di riferirsi all'ambito di Pianura 1, ovvero al caso di profilo stratigrafico costituito da "presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (< 100 m da p.c.)".
L'utilizzo della tabella consente di individuare i valori del fattore di amplificazione FA, espresso sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia in termini di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0), per prefissati intervalli di periodo, corrispondente a $0.1s < T_0 < 0.5s$ e a $0.5s < T_0 < 1s$, ovvero:

F.A. PGA = 1,6
F.A. IS $0,1<T_0<0,5$ = 1,8
F.A. IS $0,5<T_0<1$ =2,1

Questo risultato è identico a quello riportato nelle 3 tavole relative agli approfondimenti tematici della sismica del PSC (adottato) del Circondario Imolese (Tavole 6 Foglio 3, 7 Foglio 3 e 8 Foglio 3). Dall'esame di tali tavole, infatti, per l'area di studio viene assegnata la seguente terna di fattori di amplificazione:

F.A. PGA = 1,6
F.A. IS $0,1<T_0<0,5$ = 1,8
F.A. IS $0,5<T_0<1$ =2,1

Negli studi di approfondimento sismico del PSC, in un intorno dell'area di studio sono state calcolate Vs_{30} variabili tra 358 e 418 m/s.

In ogni caso, a seconda dell'importanza che i vari edifici in progetto in quest'area assumeranno a livello di classe d'uso (NTC2008), in fase attuativa occorrerà valutare l'opportunità di un'analisi di risposta sismica locale, con metodi analitici, per la determinazione del fattore di amplificazione litostratigrafico e per la quantificazione degli eventuali effetti di sito: liquefazione e cedimenti.

6. EFFETTI DI SITO

Oltre all'amplificazione del segnale sismico indotta dalla particolare stratigrafia locale, ulteriore amplificazione potrebbe esservi in relazione alle condizioni topografiche locali. Infine, la presenza di strati incoerenti immersi in falda nei primi 20 m di profondità potrebbe dare origine a fenomeni di liquefazione in caso di sisma e, sempre in caso di sisma, eventuali strati coesivi a bassa resistenza geomeccanica potrebbero indurre cedimenti post-sismici nei terreni di fondazione.

6.1. Amplificazione topografica

Considerando le condizioni topografiche e morfologiche dell'area di studio (pianura, superficie topografica sub-orizzontale), il coefficiente di amplificazione topografica $\mathbf{S_T}$ può essere assunto pari ad 1. Pertanto, le condizioni topografiche locali non indurranno alcuna amplificazione del segnale sismico di input.

6.2. Potenzialità liquefazione e cedimenti post-sismici

La normativa sismica prevede di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nei primi 20 m di profondità del sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma. Le prove eseguite non hanno evidenziato la presenza di alcun livello sabbioso significativo al di sopra del tetto delle ghiaie e non è stata individuata la presenza di alcuna falda acquifera. Inoltre, la Tavola 2 relativa agli approfondimenti di PSC in materia sismica identifica, per il sito in esame, un'area dove i "criteri per potenziale liquefazione non sono tutti verificati" e dove i sondaggi geognostici d'archivio utilizzati per le analisi di liquefazione hanno dato tutti esito negativo.

Per quanto riguarda i potenziali cedimenti post-sismici dei livelli coesivi, la Tavola 3 relativa agli approfondimenti di PSC in materia sismica identifica, per il sito in esame, un' "area con ininfluente presenza di depositi coesivi molto soffici" e, dalle analisi effettuate sui sondaggi geognostici d'archivio prossimi al sito, non si attendono cedimenti post-sismici per assenza di sedimenti con $C_u < 70$ KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.
E' comunque opportuno, in fase esecutiva, verificare, nel settore prossimo alla verticale penetrometrica CPT3, la distribuzione areale del livello soffice compreso tra 0,2-0,8 m, in cui il valore medio di coesione non drenata ha registrato il valore minimo assoluto, pari a 59 kPa.

Detto ciò, si ribadisce comunque l'obbligatorietà di procedere con una progettazione antisismica, che faccia riferimento come zona, alla zona 2 per il comune di Imola, e come norme tecniche al DM 4 febbraio 2008.

7. SINTESI DELL'ANALISI DEI DATI RACCOLTI E CONCLUSIONI

Dall'analisi integrata dei dati scientifici disponibili in bibliografia, delle osservazioni di campagna effettuate durante il sopralluogo e dei dati acquisiti ed elaborati grazie ai sondaggi geognostici eseguiti, è stato possibile caratterizzare il terreno in esame dai punti di vista litostratigrafico, geotecnico e sismico e dare un giudizio sulla fattibilità del Accordo di Programma in oggetto.
Giudizio che è risultato essere positivo e che ha permesso di dichiarare la **fattibilità del progetto di trasformazione dell'area dell'immobile denominato "Silvio Alvisi" sito in via D'Agostino 2/A** a Imola.

Dallo studio eseguito emerge come l'area si collochi in una zona a debole inclinazione topografica, che permette uno sviluppo edilizio senza particolari problemi, con presenza, nei primi 3-4 m dal piano campagna, di terreni principalmente a comportamento meccanico plastico (argille inorganiche molto compatte), seguiti da uno spessore non definito di ghiaie.

Dal punto di vista geotecnico, le prove effettuate hanno evidenziato la presenza di livelli a comportamento meccanico plastico caratterizzati da valori di coesione non drenata quasi sempre piuttosto alti: da 98 kPa a 196 kPa. Una differenza evidente si ha in corrispondenza dell'intervallo di profondità 0,2-0,8 m nella CPT3, in cui il valore medio di coesione non drenata registra il valore minimo assoluto, pari a 59 kPa.
Considerando la resistenza alla punta media, le 3 CPT mostrano un andamento tendenzialmente uniforme con la profondità, soprattutto per quanto riguarda le CPT1 e CPT2, con valori di Rp in media da discreti a buoni, già a partire dalla profondità di 0,4 m. Diverso è l'andamento degli Rp per la CPT3, con valori relativamente più bassi, rispetto alle altre prove, nei primi 0,8 m e relativamente superiori da 0,8 a 2 m.

In occasione dell'esecuzione delle prove penetrometriche statiche in corrispondenza dell'area di studio, la falda non è stata intercettata lungo tutti i 3,6 m indagati dal piano campagna.

Per la caratterizzazione sismica del terreno sono stati utilizzati i dati ricavati da uno stendimento sismico realizzato in data 10/04/2014 in prossimità dell'area d'indagine, che ha restituito un valore di Vs_{30} pari a **351** m/s, permettendo di assegnare al terreno in esame la categoria di suolo **C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < N_{SPT30} < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < c_{u30} < 250 kPa nei terreni a grana fina)*".
L'analisi dei dati sismo-stratigrafici ha permesso la definizione ai sensi della DAL RER 112/2007 dei valori del fattore di amplificazione FA, espresso sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia in termini di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0), per prefissati intervalli di periodo, corrispondente a 0.1s < T_0 < 0.5s e a 0.5s < T_0 < 1s, ovvero:

F.A. PGA = 1,6
F.A. IS 0,1<T_0<0,5 = 1,8
F.A. IS 0,5<T_0<1 =2,1

L'amplificazione topografica del segnale sismico è risultata nulla, mentre il potenziale di liquefazione, considerata la configurazione litostratigrafica locale e l'assenza di una falda acquifera superficiale, è ipotizzabile come molto basso.
Le buone caratteristiche geotecniche dei terreni coesivi superficiali inducono a ritenere molto bassa anche l'eventualità di cedimenti post-sismici in tali terreni, benché attenzione debba essere posta nel settore meridionale dell'area indagata, in cui vi possono essere livelli coesivi con bassi valori di coesione non drenata.

In considerazione di tutto ciò è possibile dedurre che, per quanto riguarda la trasformazione dell'area in studio, non sussistono particolari problemi e questo sia dal punto di vista geotecnico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, stabilendo pertanto la fattibilità geologica del progetto di Accordo di Programma.

Il presente studio non potrà comunque supportare la progettazione esecutiva per la quale dovrà essere necessariamente eseguita una integrazione d'indagine e di valutazione degli interventi.

Modena, 10/06/2014

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Valeriano Franchi

Allegato 1

Indagini geognostiche
eseguite per questo studio

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Committente: Dott. Valeriano Franchi Cantiere: Via Saffi Località: Imola - Bologna	

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ... Nr.1

Committente: Dott. Valeriano Franchi
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 10/04/2014
Profondità prova: 3,60 mt
Località: Imola - Bologna

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	1,0	0,0	
0,40	15,00	30,0	15,1	1,5	10,1	9,9
0,60	22,00	44,0	22,1	1,2	18,4	5,4
0,80	18,00	36,0	18,1	1,7	10,6	9,4
1,00	21,00	46,0	21,1	1,5	14,1	7,1
1,20	20,00	43,0	20,3	1,5	13,5	7,4
1,40	22,00	44,0	22,3	1,9	11,7	8,5
1,60	26,00	5,0	26,3	1,9	13,8	7,2
1,80	30,00	58,0	30,3	2,9	10,4	9,6
2,00	35,00	79,0	35,3	2,7	13,1	7,6
2,20	39,00	80,0	39,4	2,3	17,1	5,8
2,40	46,00	81,0	46,4	2,2	21,1	4,7
2,60	46,00	79,0	46,4	2,2	21,1	4,7
2,80	174,00	207,0	174,4	2,6	67,1	1,5
3,00	287,00	326,0	287,4	10,5	27,4	3,7
3,20	409,00	566,0	409,6	10,1	40,6	2,5
3,40	487,00	638,0	487,6	7,0	69,7	1,4
3,60	625,00	730,0	625,6	7,0	89,4	1,1

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,0	1,0	0,0		Stima non eseguibile
1,60	20,8	1,6	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,60	39,6	2,5	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
3,60	396,9	7,4	2,2	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
Prof: Profondità strato (m)
Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu: Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm²)
Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR: Grado di sovraconsolidazione
Puv: Peso unità di volume (t/m³)
PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr: Densità relativa (%)
Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)
Vs: Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20												
2	1,60	C	1,0	774,7	41,6	178,9	>9	2,0	2,1	--	--	--	243,39
3	2,60	C	2,0	1470,6	79,2	265,1	>9	2,1	2,2	--	--	--	276,66
4	3,60	I	--	--	595,4	1083,8	<0.5	1,8	2,1	100,0	36,8	793,8	569,7 9

PROVA ... Nr.2

Committente: Dott. Valeriano Franchi
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 10/04/2014
Profondità prova: 3,00 mt
Località: Imola - Bologna

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	1,3	0,0	
0,40	19,00	38,0	19,1	0,4	47,8	2,1
0,60	16,00	22,0	16,1	10,7	10,7	9,3
0,80	15,00	37,0	15,1	0,7	21,6	4,6
1,00	11,00	22,0	11,1	1,0	11,1	9,0
1,20	18,00	33,0	18,3	1,3	14,1	7,1
1,40	18,00	38,0	18,3	1,6	11,4	8,7
1,60	25,00	49,0	25,3	2,1	12,0	8,3
1,80	31,00	62,0	31,3	2,9	10,8	9,3
2,00	34,00	77,0	34,3	3,1	11,1	9,0
2,20	45,00	91,0	45,4	2,0	22,7	4,4
2,40	33,00	63,0	33,4	7,8	4,3	23,4
2,60	194,00	311,0	194,4	8,4	23,1	4,3
2,80	476,00	602,0	476,4	6,1	78,1	1,3
3,00	709,00	800,0	709,4	6,0	118,2	0,8

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,32	0,0	1,3	0,0		Stima non eseguibile
1,60	17,6	1,2	1,9	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,40	36,1	4,0	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
3,00	460,1	6,8	2,1	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
Prof: Profondità strato (m)
Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu: Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm²)
Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR: Grado di sovraconsolidazione
Puv: Peso unità di volume (t/m³)
PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr: Densità relativa (%)
Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)
Vs: Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,32												
2	1,60	C	0,9	655,4	46,5	161,5	>9	2,0	2,0	--	--	--	235,43
3	2,40	C	1,8	1341,5	72,2	250,5	>9	2,1	2,2	--	--	--	271,61
4	3,00	I	--	--	690,2	1186,2	<0.5	1,9	2,2	100,0	38,6	920,2	589,9 2

PROVA ... Nr.3

Committente: Dott. Valeriano Franchi
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 10/04/2014
Profondità prova: 2,80 mt
Località: Imola - Bologna

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	1,1	0,0	
0,40	14,00	30,0	14,1	1,1	12,8	7,8
0,60	12,00	29,0	12,1	0,8	15,1	6,6
0,80	11,00	23,0	11,1	1,3	8,5	11,7
1,00	29,00	49,0	29,1	1,3	22,4	4,5
1,20	35,00	54,0	35,3	1,1	32,1	3,1
1,40	34,00	51,0	34,3	3,1	11,1	9,0
1,60	49,00	96,0	49,3	1,4	35,2	2,8
1,80	36,00	57,0	36,3	1,4	25,9	3,9
2,00	34,00	55,0	34,3	2,7	12,7	7,9
2,20	68,00	108,0	68,4	2,3	29,7	3,4
2,40	182,00	216,0	182,4	4,9	37,2	2,7
2,60	340,00	414,0	340,4	6,7	50,8	2,0
2,80	430,00	530,0	430,4	6,5	66,2	1,5

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,0	1,1	0,0		Stima non eseguibile
0,80	12,4	1,1	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
2,00	36,4	1,8	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
2,80	255,4	5,1	2,1	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr: Numero progressivo strato
Prof: Profondità strato (m)
Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu: Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm²)
Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR: Grado di sovraconsolidazione
Puv: Peso unità di volume (t/m³)
PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr: Densità relativa (%)
Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)
Vs: Velocità onde di taglio (m/s)

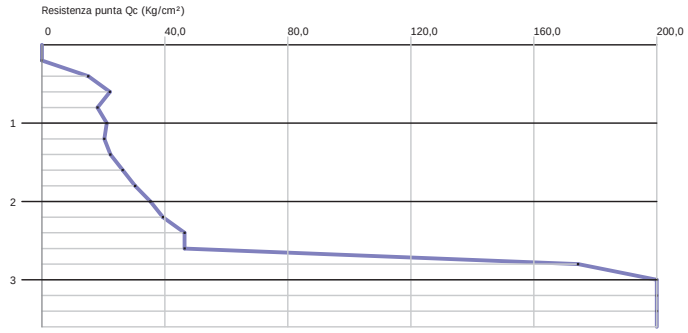
Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0,20												
2	0,80	C	0,6	462,9	47,3	130,4	>9	1,9	2,0	--	--	--	219,58
3	2,00	CI	1,8	1356,0	72,8	251,8	1,0	2,1	2,2	57,5	29,8	72,8	325,00
4	2,80	I	--	--	383,1	827,9	<0.5	1,8	2,1	100,0	36,1	510,8	513,71

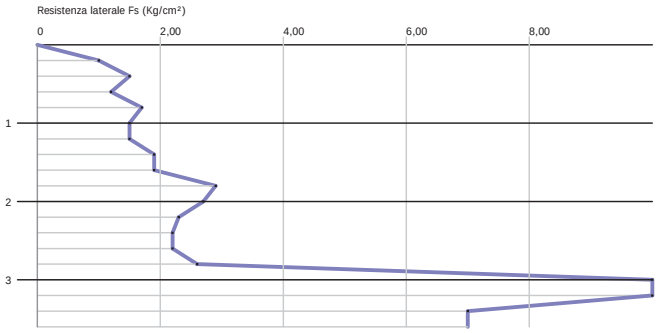
Dott.Geol. Gianluca Vaccari
Strada Cavedole 12/c - Portile
41126 Modena

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Valeriano Franchi
Cantiere: Via Saffi
Località: Imola - Bologna

Data: 10/04/2014



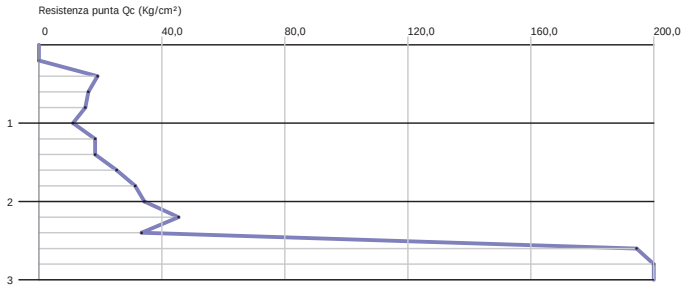


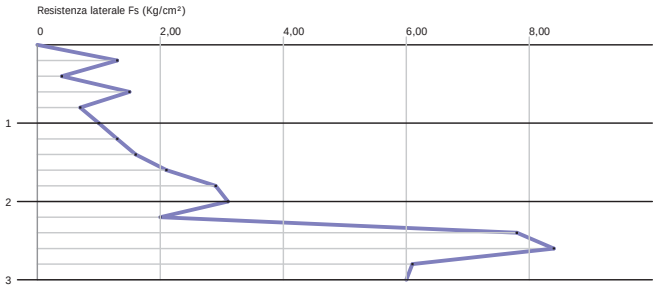
Dott.Geol. Gianluca Vaccari
Strada Cavedole 12/c - Portile
41126 Modena

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Valeriano Franchi
Cantiere: Via Saffi
Località: Imola - Bologna

Data: 10/04/2014



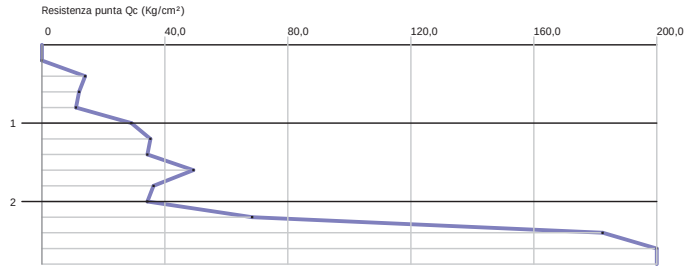


Dott.Geol. Gianluca Vaccari
Strada Cavedole 12/c - Portile
41126 Modena

Probe CPT - Cone Penetration Nr.3
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Valeriano Franchi
Cantiere: Via Saffi
Località: Imola - Bologna

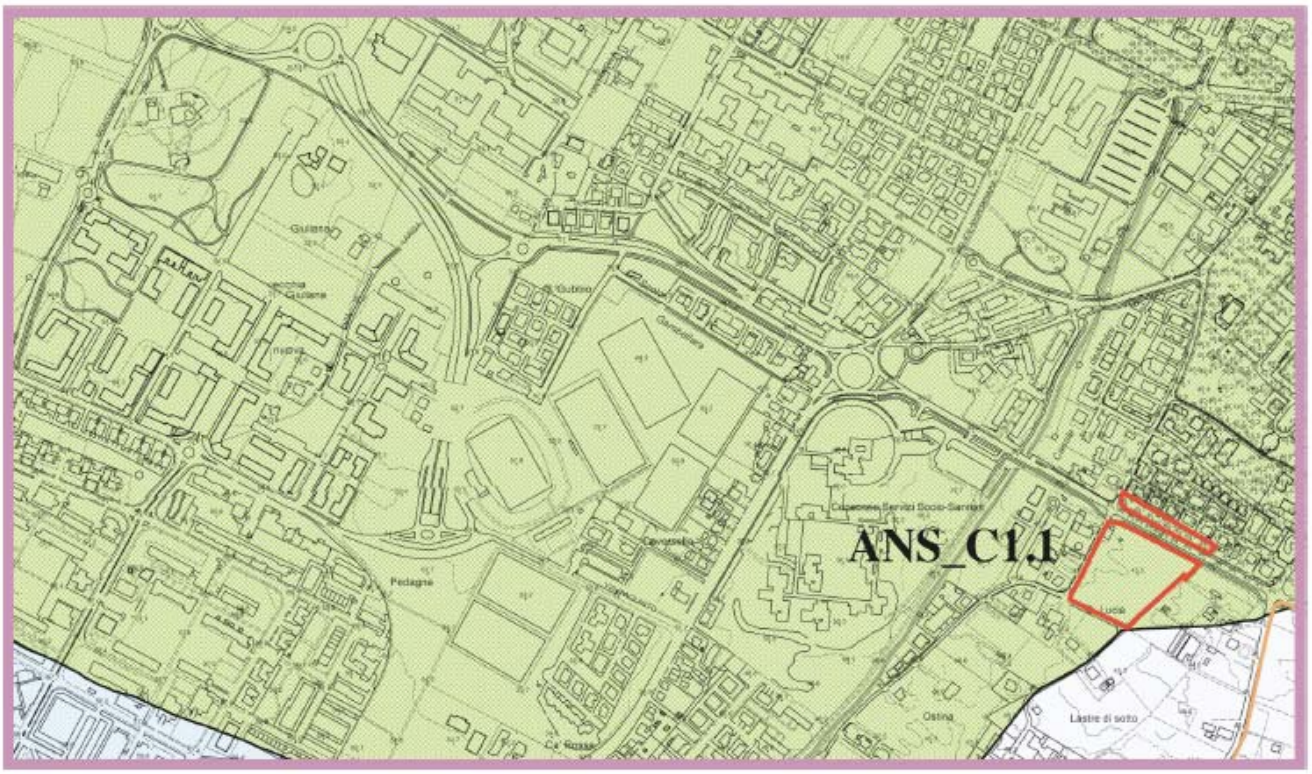
Data: 10/04/2014





Indagini Geologiche e Ambientali

Relazione sull'indagine geologica e sismica relativa all'ambito ANS_C 1.1 Pirandello (già AMBITO N3B) sito a sud della via Pirandello, Comune di Imola



Committente:

Samiro Costruzioni S.r.l.

Viale Guglielmo Marconi 12/A

40026, Imola, (BO)

Imola 29 Novembre '17

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
Ordine Geologi Emilia-Romagna
GEOLOGO SEZ.A
N. 544 ALBO

Dott. Maurizio Castellari Via P. Mascagni 3 - 40026 Imola (BO) Tel 334 2075125 - 0542 682776
mail: castellari.geo@gmail.com P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

Sommario

1 Premessa 2
2 Geologia e geomorfologia 3
3 Stratigrafia 6
3.1 Settore appenninico 6
3.1.1 Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico 6
3.1.2 Argille azzurre (faa) (cfr ril in 254 e 238) 6
4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali 10
4.1 Supersintema emiliano-romagnolo 10
4.2 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI) 10
4.3 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES) 16
4.3.1 Subsintema di Ravenna (AES8) 19
5 Prove pregresse 21
5.1 Indagini riportate dal Servizio geologico, sismico e dei suoli 22
5.2 Campagna d'indagini 2008 23
5.3 Campagna d'indagini inizio 2017 26
6 Area di studio e indagini effettuate 27
7 Verifica a liquefazione 30
8 Sismicità dell'area 31
8.1 Stendimento MASW/Re.Mi. 33
8.2 Registrazione HVSR 34
8.3 Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017) 35
9 Microzonazione sismica 37
10 Conclusioni 46

1 Premessa

Per l'aggiornamento del POC 2017-2022 di Imola è stata eseguita un'indagine geologica e sismica per determinare le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni di un lotto in via Pirandello in Comune di Imola, come da planimetria allegata.

Sulla base di quanto previsto dalla scheda geologica d'ambito e da quanto indicato nella comunicazione del Servizio Pianificazione edilizia Privata ed Ambiente del 14 novembre 2017 le analisi effettuate sono le seguenti:

- verifica di compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti geologici ed idrogeologici.
- Nelle aree dove non sono previsti fenomeni di liquefazione e/o amplificazione si potrà provvedere ad un'analisi semplificata di 2° livello di approfondimento, più precisamente occorrerà determinare sinteticamente quanto segue:

  1) la profondità del "bedrock sismico" locale e per un perimetro esterno comprendente le aree già insediate.

  2) la velocità delle onde di taglio Vs almeno per i primi 31 metri dal p.c., misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;

  3) i coefficienti di amplificazione sismica delle aree suscettibili di effetti locali, in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) e di intensità di Housner (SI/SIo).

Allo scopo di definire un modello geotecnico del sito in oggetto, in primo luogo sono stati presi in esame ed elaborati i dati derivanti da bibliografia e da campagne geognostiche precedenti eseguite nell'intorno dell'area ed è stato quindi acquisito l'andamento litostratigrafico generale del sito.

L'indagine eseguita nel novembre '17 è stata eseguita direttamente sull'area mediante una prova sismica MASW e due prove tromografiche HVSR.

Si sono pertanto individuati i tipi litologici ed alcune proprietà dei terreni medesimi, che verranno descritti di seguito.

In allegato sono indicati i punti di esecuzione delle prove.



Fig. 1: Ubicazione del lotto

2 Geologia e geomorfologia

L'area in oggetto s'inserisce in una vasta area al limite meridionale del centro storico di Imola, nell'ambito del territorio alluvionale lungo il corso del fiume Santerno, in corrispondenza della fine del suo tratto collinare e dell'inizio del tratto di pianura. Da un punto di vista geologico vi è da considerare che il substrato della fascia collinare imolese è costituito da due principali formazioni: le Argille Grigio Azzurre e le Sabbie Gialle.

Le Argille Azzurre sono depositi di origine marina accumulatisi all'interno di un esteso e profondo bacino a partire dal Pliocene (circa 5 Ma di anni fa), per arrivare fino al Pleistocene inferiore (circa 1 Ma fa). Successivamente, in seguito all'abbassamento del livello marino, connesso con l'emersione della porzione esterna dell'Appennino, la lenta deposizione delle argille è stata sostituita della deposizione di litotipi più grossolani, come sabbie e ciottoli ghiaiosi di ambiente litorale. In questo contesto si ha l'inizio di un'antica linea di costa del mare Adriatico di cui è

costituita principalmente la formazione delle Sabbie Gialle, che ne sono la testimonianza, prima del suo ritiro verso l'attuale posizione.

La suddetta formazione sabbiosa, i cui affioramenti più prossimi all'Osservanza si hanno nella zona del Monte Castellaccio, sovrasta quella argillosa più antica. In una fase successiva, prima comunque della deposizione dei sedimenti alluvionali del Santerno, al di sopra delle Sabbie Gialle si è verificata la messa in posto di un'unità costituita da una prevalente componente pelitica informalmente chiamata Gonze1. Essa, non contemplata attualmente dalla cartografia geologica ufficiale, e che è stata rilevata in affioramento solo in casi molto sporadici e piuttosto isolati (ad esempio presso il ponte sul Santerno vicino all'Autodromo), è attribuibile comunque ad un contesto continentale.

Infine, a partire dal Pleistocene medio si è verificata la messa in posto di litotipi alluvionali legati principalmente all'azione deposizionale del Santerno, organizzati in strutture tabulari e sub-orizzontali, Questi corpi alluvionali, una volta reincisi dall'erosione fluviale, costituiscono veri e propri terrazzi alluvionali disposti su vari livelli, cioè ubicati a diverse quote. Alcuni terrazzi, particolarmente antichi, si possono trovare anche a quote elevate di parecchie decine di metri rispetto all'attuale alveo, come si osserva in particolare nella porzione collinare; mentre, man mano che ci si avvicina alla pianura prevalgono terrazzi più recenti e poco elevati. Si verifica in sostanza che all'altezza del Centro Storico di Imola risulta sempre più difficoltosa una distinzione netta tra i vari terrazzamenti fluviali, ulteriormente complicata dal fatto che essi sono anche stati "livellati" da successivi rialluvonamenti del Santerno che "si riportava ciclicamente alla stessa quota, così da simulare una sola forma terrazzata, capace di generare false interpretazioni a livello di stratigrafia di dettaglio"

Da un punto di vista litologico i terrazzi sono caratterizzati da una certa variabilità granulometrica, *"da grossolana (ghiaie e sabbie) a fine (limi ed argille) differenziatesi secondo l'alternanza dei periodi climatici (freddi e caldi o piovosi e asciutti) e della velocità di sollevamento della catena appenninica"*[2], Per completare il quadro geologico generale è infine da tener conto che, allo sbocco nella pianura, il Santerno, depositando il proprio carico di sedimenti in funzione della propria energia, ha costituito un ampio conoide di deiezione, dalla tipica forma a ventaglio e dovuto alla progressiva perdita di energia da parte del corso d'acqua stesso, entro il quale si interdigitano peraltro i terrazzi presenti alle quote più basse. Nell'estremo settore NE del territorio comunale imolese, esternamente alla frangia del conoide, sono presenti depositi di piana alluvionale la cui

[1] ◦ VAI G.B., *Introduzione alla geologia dell'Appennino nord-orientale sulle orme di Scartabelli in "La collezione Scarabeili. I Geologia,* Gratis Edizioni, 1995

[2] Marabini, Introduzione alla geologia dell'imolese in Archeologia del territorio nell'Imolese, 1994.

natura granulometrica risulta essere formata, perlopiù, da depositi fini e molto fini (sabbie limose, limi, argille limose e torbe).

Da un punto di vista geomorfologico, le suddette Formazioni e unità alluvionali hanno una risposta assai differenziata. Ad esempio la formazione pliocenica delle Argille Grigio- Azzurre risulta essenzialmente distinguibile per la presenza sui versanti di tipiche forme franose e calanchive, che generano un particolare assetto nel territorio; mentre la formazione delle Sabbie Gialle determina rilievi meno regolari e scarpate molto più ripide in virtù della propria natura litologica, maggiormente competente e coesiva. Al contrario, le aree occupate dai terrazzi e dai conoidi sono perlopiù caratterizzate da superfici sub-orizzontali o leggermente degradanti verso le quote inferiori della bassa pianura alluvionale, risultando pertanto esenti da fenomeni erosivi imputabili all'attività geodinamica gravitativa.

Entrando in un maggior dettaglio si può concludere che l'area di sedime della future palazzine di via Santa Lucia si estende al di sopra di terreni di origine esclusivamente continentale, riferibili ai depositi alluvionali terrazzati del fiume Santerno che ricoprono un substrato profondo costituito superiormente dalla formazione delle Sabbie Gialle. L'area si sviluppa su una superficie praticamente orizzontale, e pertanto risulta esente dalla presenza di movimenti geodinamici gravitativi.

Le indagini geognostiche realizzate per il Piano Particolareggiato dell'Osservanza hanno permesso, in particolare, di distinguere sull'area in superficie tre unità litostratigrafiche principali corrispondenti ad altrettanti ordini di terrazzo, relativi al fiume Santerno. Sulla base delle osservazioni condotte in merito all'evoluzione dei suoli superficiali e alla natura del materiale alluvionale ghiaioso, si è anche proceduto ad un'ipotesi di attribuzione cronologica delle tre unità, potenzialmente utile anche in termini geotecnici. In pratica, l'origine dell'unità più recente "A III ordine" può essere ricondotta attorno al periodo tardo-medievale; l'unità intermedia "B II ordine" risale probabilmente ad un periodo compreso tra l'epoca romana ed il primo medioevo; infine, l'unità più antica "C I ordine" è sicuramente di formazione precedente al periodo romano.

Queste tre unità, benché formatesi in tempi differenti, risultano generalmente affiancate e solo parzialmente sovrapposte, in quanto la progressiva migrazione verso Est dell'alveo del fiume Santerno, unitamente ai ciclici abbassamenti del livello di base dell'erosione e fenomeni di rialluvionamento, ha consentito solo una parziale erosione dei "materassi alluvionali" per opera del corso d'acqua.

L'idrologia superficiale è regimata da fossi agrari e cunette a lato strada che drenano le acque al fiume Santerno e per quanto riguarda gli acquiferi sotterranei nel corso dell'esecuzione delle prove non si è riscontrata la presenza di una falda superficiale.

3 Stratigrafia

Come descritto nell'inquadramento geologico, il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano. La maggior parte del foglio è costituita dai depositi alluvionali della Pianura Padana che costituiscono il Supersintema Emiliano-Romagnolo; solo nella porzione sud-occidentale, costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo, sono presenti esposizioni in cui è possibile studiare, direttamente in affioramento, le unità geologiche marine che costituiscono il foglio.

Nel settore collinare affiorano soprattutto formazioni marine, costiere, lagunari e transizionali le cui età sono comprese tra il Tortoniano inferiore ed il Pleistocene medio. Nelle valli appenniniche e nel settore del margine catena- pianura tali depositi vengono ricoperti dai depositi alluvionali (Supersintema Emiliano-Romagnolo) che costituiscono la parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Nella descrizione delle unità litostratigrafiche si procederà seguendo l'ordine deposizionale, dai termini più antichi ai più recenti.

Come già accennato, per i diversi criteri di riconoscimento, descrizione e cartografia, i terreni continentali e quelli marini saranno descritti separatamente nei due sottocapitoli "settore appenninico" e "settore di pianura"

Per quanto riguarda il settore appenninico si prenderanno inconsiderazione solo le unità della parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quanto sono quelle che interagiscono con i depositi alluvionali della pianure e con le aree di alimentazioni dei pozzi oggetto di quest'indagine.

3.1 Settore appenninico

3.1.1 Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Questa successione comprende tutti i depositi successivi alla crisi di salinità del Messiniano, costituiti, in questo foglio, dalle Marne di Cella del Pliocene inferiore, dalle Argille azzurre del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, dalle Sabbie di Imola del Pleistocene medio e dai depositi alluvionali del Pleistocene medio-Olocene (Superisintema Emiliano-Romagnolo).

3.1.2 Argille azzurre (faa) (cfr ril in 254 e 238)

Rappresentano i due terzi degli affioramenti del territorio collinare, che caratterizzano con estese forme calanchive.

Questi terreni sono rappresentati da argille e argille marnose grigie e grigio – azzurre in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o per nulla visibili per bioturbazione e/o scarsa classazione granulometrica, con rari strati arenacei sottili risedimentati e lamine siltose

Sono stati distinti diversi membri e litozone, descritti di seguito: membro dello Spungone (**fAA3**), la litozona tripolacea (**fAAtr**) la litozona arenacea (**fAAa**) e le peliti di Terra del Sole (**fAAts**)

Nella parte alta sono presenti due lenti di ghiaia spesse alcuni metri ed estese al massimo 150 metri, non distinte in carta, affioranti in località Ca' Creta, nel T Samoggia

Sono sempre presenti i microfossili, mentre i macrofossili tendono a concentrarsi in panchine o appaiono sparsi un po' ovunque.

L'ambiente di sedimentazione è quindi di scarpata continentale con locali passaggi a piattaforma continentale esterna

La potenza totale della formazione affiorante è di circa 1 200 metri

Il limite inferiore è graduale ed eteropico con CEA, oppure netto e discordante o paraconcordante su FCO e VGS

Il limite superiore è netto con SVG e discordante con IMO o con i depositi alluvionali

La microfauna a foraminiferi planctonici e bentonici è generalmente abbondante e diversificata É possibile osservare la presenza dei principali bioeventi plio-pleistocenici riportati in fig 1 Ciò consente di riconoscere la successione di tutte le biozone a foraminiferi planctonici dalla zona *a Globorotalia margaritae* del Pliocene Inferiore alla zona a *Neogloboquadrina pachyderma* sin del Pleistocene inferiore In assenza del marker zonale, l'attribuzione dei sedimenti basali della formazione alla zona a *Sphaeroidinellopsis* spp non è sicura

Le microfaune bentoniche, pur con locali notevoli variazioni entro l'unità, presentano una relativa abbondanza di *Cibicidoides kullenbergi*, *Cibicidoides spp , Brizalina spp , Bulimina spp , Globobulimina spp , Gyroidinoides altiformis, Gyroidinoides soldanii, Gyroidinoides spp , Miliolidae, Planulina arimi- nensis, Sphaeroidina bulloides e Uvigerina spp e sono indicative di un ambiente di scarpata continentale La locale presenza, in particolare nella parte alta della formazione, di elevate frequenze di Cassidulina laevigata carinata, Bulimina marginata e Textularia spp sono ritenute indicative di oscillazioni verso batimetrie più superficiali (piattaforma continentale esterna).*

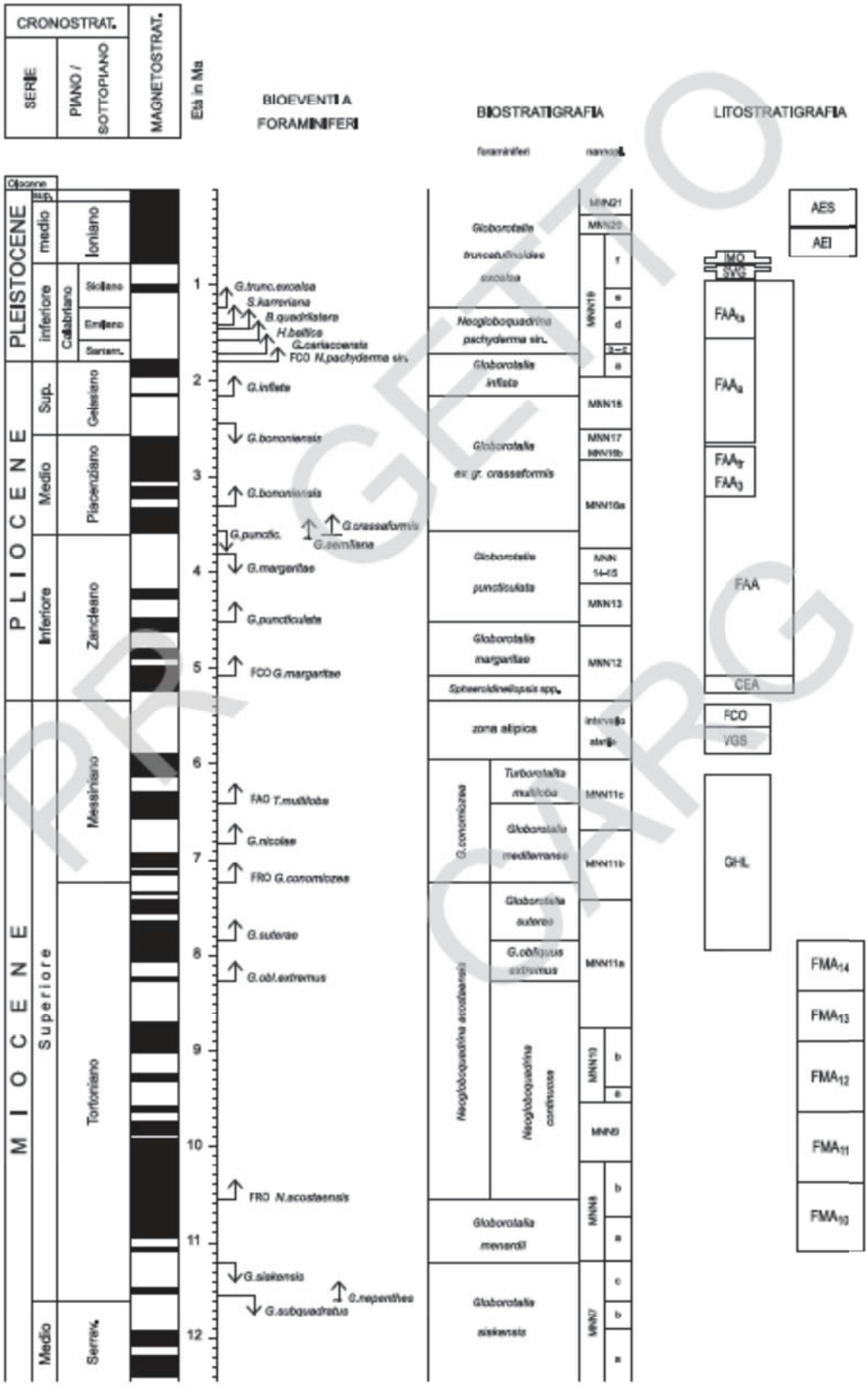


Fig. 2 *Schema stratigrafico del Foglio 239.*

PROGETTO CARG

3.1.2.1 Sabbie di Imola (imo) (cfr sabbie gialle di Imola, auctt)

L'unità è presente su un ampio settore del margine appenninico a partire dalla destra del fiume Santerno, fino alla sinistra del fiume Montone, essa rappresenta la più recente tra le unità marine dell'Appennino Settentrionale.

Questa unità è stata recentemente oggetto di un dettagliato studio di terreno corredato da numerose analisi biostratigrafiche e petrografiche (Amorosi *et alii*, 1998a) In questo lavoro all'interno delle Sabbie di Imola sono stati riconosciuti due cicli deposizionali: il ciclo inferiore è costituito da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia; il ciclo superiore è formato da una porzione inferiore prevalentemente argillosa di piana alluvionale, alla quale si sovrappongono in trasgressione delle sabbie di spiaggia simili a quelle sottostanti, ma generalmente meno ghiaiose. Il limite tra i cicli è una superficie di discontinuità marcata dal contatto brusco tra le sabbie di spiaggia sottostanti e peliti di piana alluvionale
In Amorosi *et alii* (1998a), a tale suddivisione in cicli deposizionali viene fatta corrispondere una suddivisione in membri e il quadro litostratigrafico proposto è il seguente: IMO1 (membro di Monte Castellaccio), corrispondente alle sabbie e ghiaie del ciclo basale; IMO2 (membro di Fossoveggia), corrispondente alle argille delle parte bassa del secondo ciclo; IMO3 (membro di Castel San Pietro) corrispondente alle sabbie di tetto del secondo ciclo
Nel foglio 239 le Sabbie di Imola sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale o laguna costiera
Il limite basale sulle argille plio-pleistoceniche è un contatto netto con discordanza angolare, che individua una superficie di discontinuità di carattere regionale. Anche il limite superiore è marcato da una discontinuità regionale che sovrappone i depositi quaternari continentali alle Sabbie di Imola
Età: parte inferiore del Pleistocene medio, Ioniano (Amorosi *et alii*, 1998a)

3.1.2.2 Membro di Monte Castellaccio (IMO1)

É costituito da sabbie ed arenarie poco cementate fini finissime e subordinata- mente medie e grossolane di colore giallo in strati amalgamati. Presenti livelli ghiaiosi in strati da sottili a spessi che si rilevano prevalentemente nel settore in destra del torrente Marzeno e sono costituiti da ghiaie poco cementate, prevalentemente fini, frequentemente silicee. Tali livelli ghiaiosi sono generalmente presenti verso la porzione alta di questa unità. Presenti a tratti intercalazioni pelitiche costituite da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui

L'analisi micropaleontologica ha evidenziato associazioni a foraminiferi e ostracodi rimaneggiate da unità antiche o trasportate da ambienti marini più profondi; sono inoltre localmente segnalate ostracofaune ipoaline alla base del membro (Amorosi *et alii,* 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e delta conoide, lo spessore massimo di poche decine di metri.
Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA

4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali

4.1 Supersintema emiliano-romagnolo

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersintema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano il Supersintema Emiliano- Romagnolo appoggia in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola. Il limite superiore coincide col piano topografico
In numerosi fogli della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000, (fogli 199, 219, 240-241, 256, 2005; fogli 180, 220, 221, 238, 255, in stampa) il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura
Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale, ubicata nel settore settentrionale del Foglio (Fig. 4).
L'età del Supersintema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 700 000 anni B P - Attuale)

4.2 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersintema Emiliano-Romagnolo Considerata la profondità media- mente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna – vedi figg 4 e 5) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura del Foglio 239, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies.

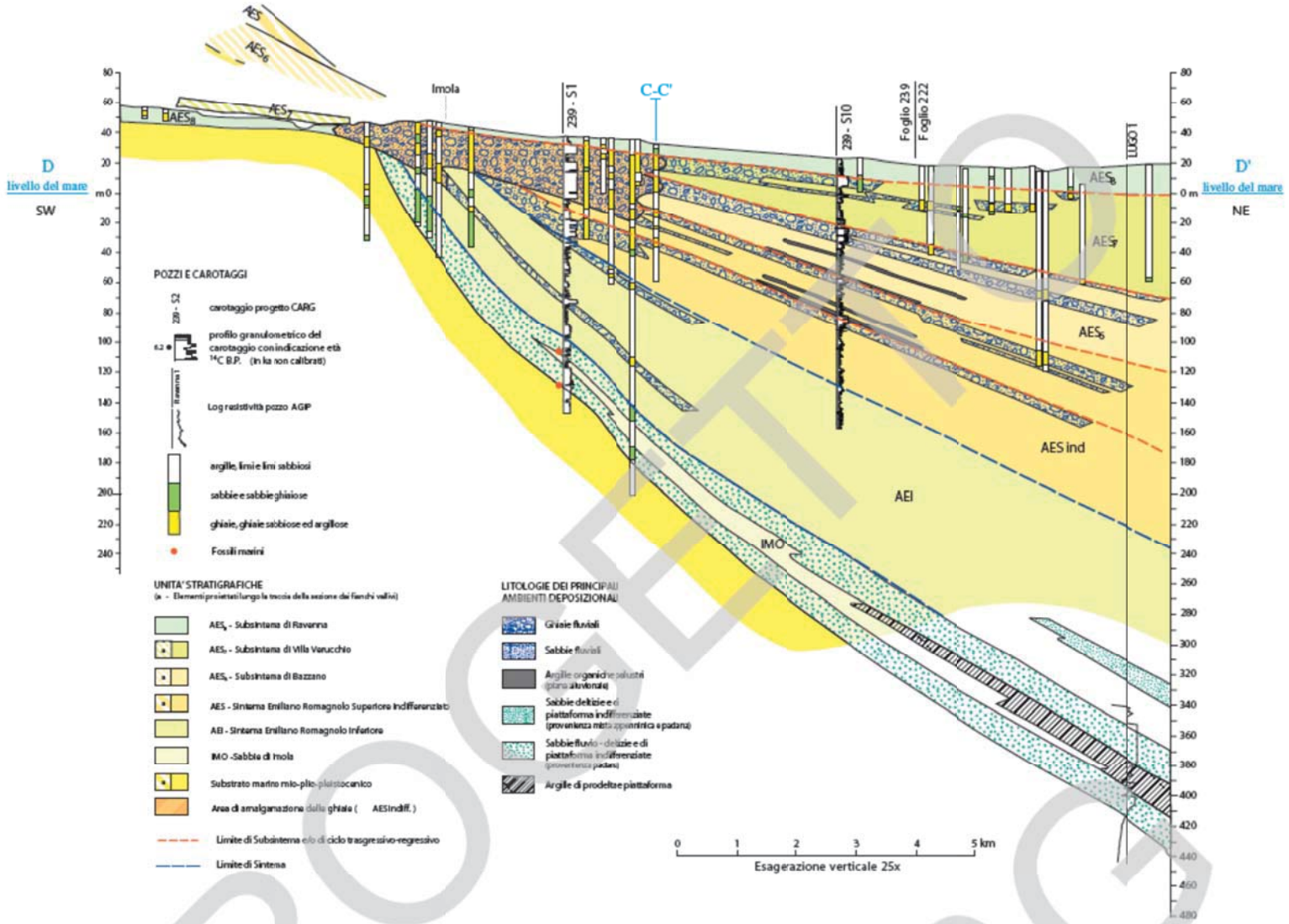


Fig. 3 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Santerno.*

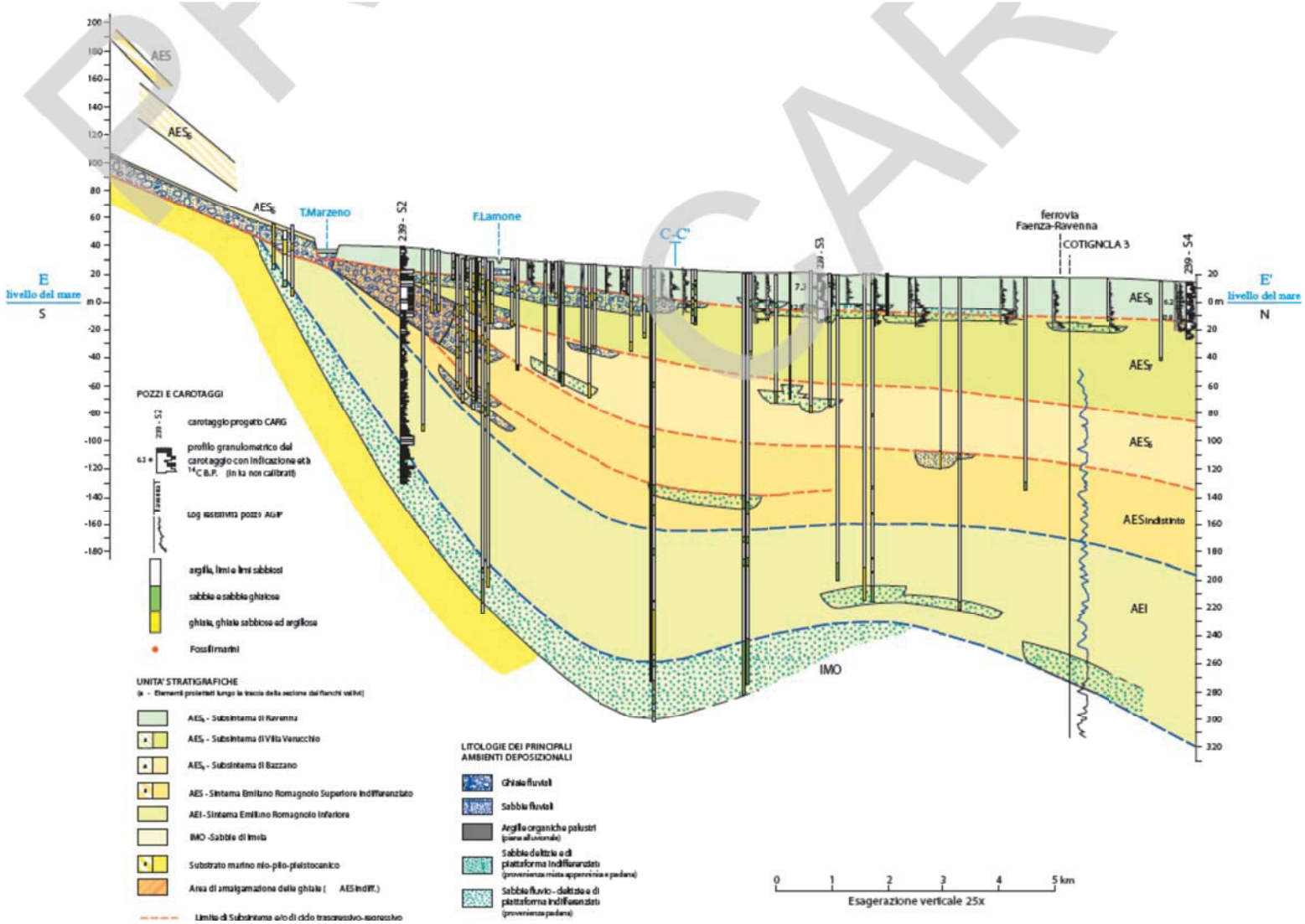


Fig. 4: Stratigrafia del Supersintema Emiliano Romagnolo

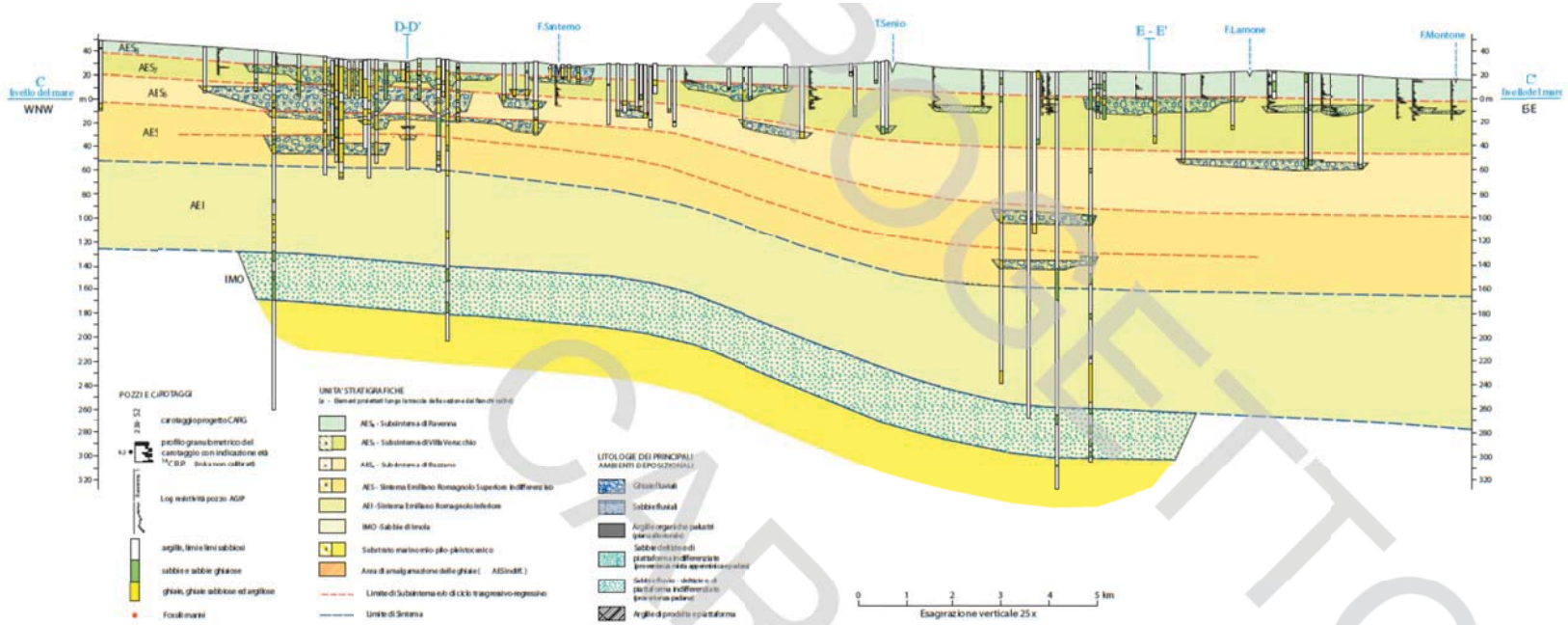


Fig. 13 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico.*

PROGETTO CARG

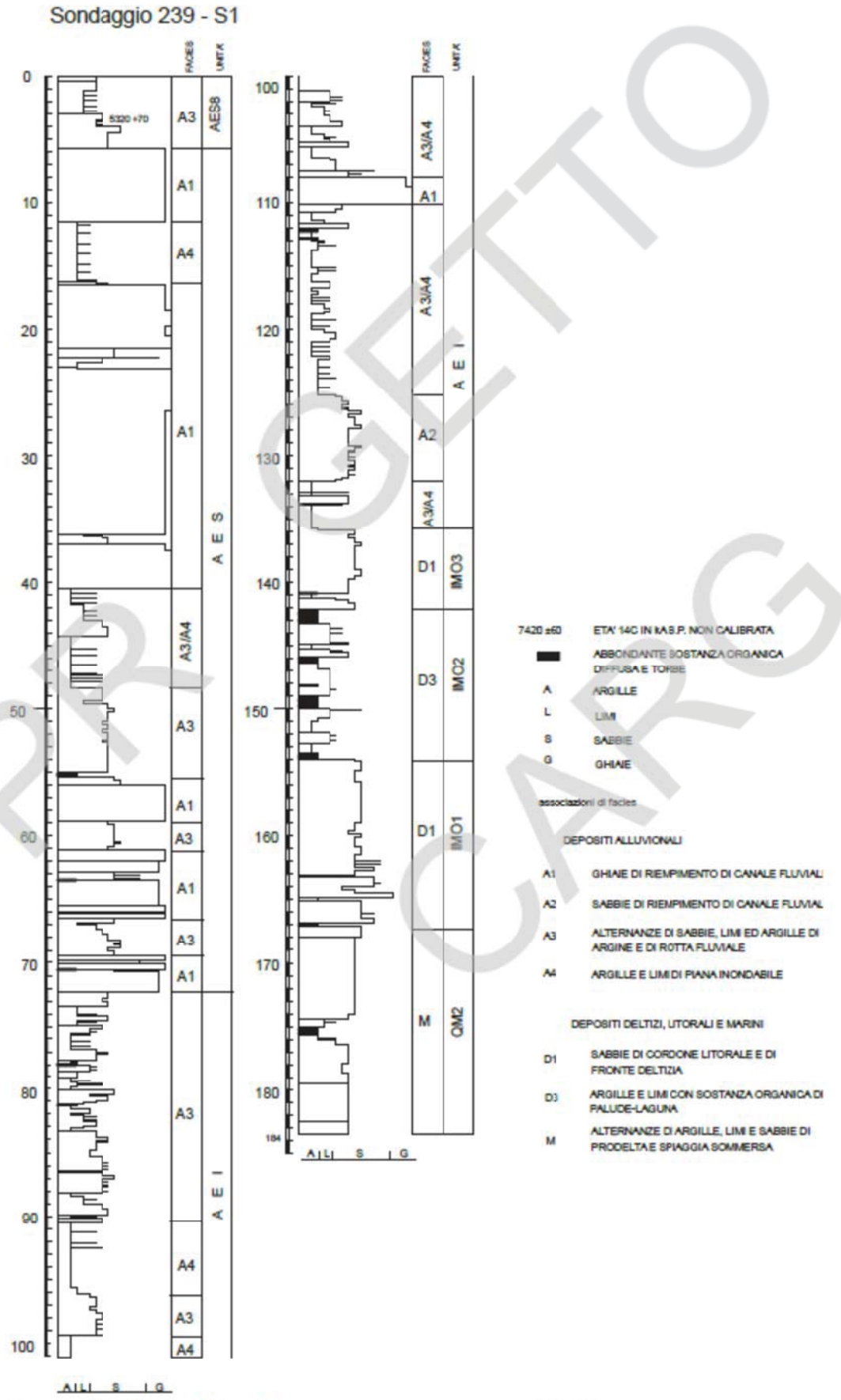


Fig. 6 *Stratigrafia e facies del sondaggio a carotaggio continuo 239-S1.*

PROGETTO CARG

In corrispondenza del sondaggio 239-S1 (fig. 6), che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a – 140 m dal piano campagna (fig. 3), in accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. Caratteristica di questa unità è la frequente presenza di sequenze granulometriche negative alla scala dei 2-5 metri, associata allo scarso sviluppo di paleosuoli. Orizzonti di argille organiche e concentrazioni di legni sono frequenti a vari livelli stratigrafici. Sequenze positive di canale fluviale, a base erosiva e relativamente elevato contenuto in ghiaia, sono riconoscibili in corrispondenza delle principali aste fluviali sulla base della Banca Dati Geologici della Regione Emilia- Romagna L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale. Informazioni del tutto analoghe si traggono anche dall'osservazione del sondaggio 239 S2, l'altro che attraversa per intero l'unità in questione.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico (figg 3 e 4) Nel sondaggio 239 - S1, dove è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna (figg 3 e 6), AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri É da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Tutti i caratteri sopra descritti sono indicativi di questa unità nel settore più prossimo alla catena appenninica, tuttavia l'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in fig. 4 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri Come si vede dalla sezione tali livelli sabbiosi non proseguono verso il margine appenninico dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, ma al contrario paiono proseguire verso nord. Viste le caratteristiche geometriche, la natura di queste sabbie è probabilmente padana, in analogia con quanto osservato nei fogli più settentrionali e con quanto indicato in Riserve Idriche della Regione Emilia- Romagna (si veda in particolare la carta riportante lo spessore cumulativo dei depositi permeabili del gruppo acquifero B, cui l'unità AEI corrisponde, regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) Tali sabbie rappresenterebbero quindi degli apparati deltizi padani che giungevano sino a questo settore della pianura emiliano-romagnola all'epoca di AEI e trovavano il loro massimo sviluppo nella zona più subsidente posta a nord della anticlinale indicata in fig. 4.

L'età attribuita ad AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka

4.3 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio Faenza Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale (figg 4 e 5) Nel settore occidentale del Foglio (poco a nord di Imola), dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri (figg 3 e 5)

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI (figg. 3 e 4). Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emiliano- romagnolo (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Fogli 240-241, 256, 2005; 220, 238, 255, in stampa; vedi anche Amorosi et alii, 1996 e Sarti et alii, 1997)

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per diversa giacitura e differente grado di evoluzione pedogenetica

Dei diversi subsintemi che compongono AES, cinque (AES4, AES5, AES6, AES7 e AES8) sono chiaramente identificabili nell'area del Foglio Faenza. AES4, AES5, AES6 e AES7 affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES8 affiora in tutta l'area di pianura

Nei settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue (interfluvii) la distinzione di AES in subsintemi non è facilmente eseguibile Qui infatti non sono più ben riconoscibili le scarpate di erosione fluviale che nelle aste vallive maggiori separano i diversi subsintemi Per questo motivo, nei settori di interfluvio si è provveduto a una generica attribuzione dei depositi ad AES In queste aree l'unità è caratterizzata da limi sabbiosi o sabbie limose, con rari livelli più grossolani. Al loro interno questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di paleosuoli con fronte di alterazione spesso fino ad alcuni metri. Anche la superficie topografica presenta depositi intensamente pedogenizzati Qui i suoli (Alfisuoli) sono generalmente policiclici e di spessore fino a cinque-sei

metri. Questi depositi presentano una caratteristica geometria cuneiforme, con spessori che vanno da pochi metri nei settori montani ad alcune decine di metri verso il limite con l'antistante pianura Dal punto di vista stratigrafico, essi generalmente costituiscono l'equivalente laterale indistinto di AES4 e AES5

Nel sottosuolo di pianura del Foglio Faenza, l'interpretazione di profili sismici ha messo in luce il limite localmente discordante tra AES e la sottostante AEI (regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) (fig 3) Il limite superiore di AES corrisponde alla superficie topografica. Tra i pochi i sondaggi di qualità che attraversano interamente AES si segnalano i tre sondaggi 239 S1, 239 S2 e 239 S10 Dalla correlazione di questi è possibile ricostruire nel dettaglio caratteri di facies (fig 6) e stratigrafia (fig 3) del sintema

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE In particolare, in aree prossimali (sottosuolo di Imola e di Faenza) le ghiaie si presentano frequentemente amalgamate in corpi di circa 20 metri (sondaggio 239 – S1 in fig 3) o 30 metri (sondaggio 239 – S2 in fig 4) di spessore.

All'interno dei singoli cicli deposizionali i corpi grossolani passano verso l'alto da geometrie prevalentemente nastriformi, individuabili nella porzione pelitica dei cicli, a geometrie prevalentemente tabulari e tabulari-allungate, caratteristiche delle porzioni prevalentemente grossolane (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi *et alii*, 2003) Il caratteristico *pattern* radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi *et alii*, 1997)

Il lavoro condotto a scala dell'intera pianura emiliano-romagnola nell'ambito della realizzazione del presente progetto di cartografia geologica permette di inserire i cicli sopra descritti in una ciclicità di ordine gerarchico superiore, evidenziata da spessori pluridecametrici composti da depositi fini alla base e grossolani al tetto Questa ciclicità è ben osservabile in figg 3 e 4, dove è ben visibile il carattere di *marker* stratigrafico del tetto dei corpi ghiaiosi a elevata continuità laterale.

Analogamente a quanto operato nei fogli limitrofi, la base dei cicli sedimentari qui definiti come subsintemi è posta convenzionalmente in prossimità del tetto di questi corpi grossolani di canale fluviale. Questa scelta ha un significato essenzialmente operativo, in quanto permette una immediata correlazione con i cicli trasgressivo-regressivi cartografati nel sottosuolo della piana costiera romagnola (vedi anche l'approfondita discussione degli aspetti concettuali in Amorosi & Colalongo, 2005) In quest'ottica, le porzioni argilloso-limose basali dei cicli individuati nel sottosuolo del Foglio 239 vengono correlate con i depositi marino marginali trasgressivi (TST) e di

stazionamento alto (HST) che costituiscono le porzioni basali dei cicli riconosciuti nel sottosuolo della piana costiera, mentre i corpi ghiaiosi di canale fluviale corrisponderebbero ai depositi di caduta del livello marino (FST) e successivi sedimenti di stazionamento basso (LST).

L'architettura dei cicli deposizionali è chiaramente documentata lungo gli assi dei fiumi principali, laddove i contrasti litologici sono più marcati. In aree molto prossimali, dove i corpi ghiaiosi appartenenti a cicli deposizionali distinti sono frequentemente amalgamati, i diversi subsintemi sono virtualmente indistinguibili (figg 3 e 4) All'estremo opposto, in settori scarsamente interessati dall'attività fluviale, dove i depositi grossolani sono scarsi o assenti (aree interfluviali, di interconoide e nei settori più settentrionali), l'assenza di forti contrasti litologici determina problemi concreti nella definizione dei limiti di ciclo.

La correlazione tra i subsintemi distinti in affioramento e i cicli deposizionali identificati in sottosuolo è problematica a causa della scarsa preservazione dei depositi alluvionali al margine appenninico, dell'assenza di superfici guida fisicamente tracciabili e di notevoli difficoltà nella datazione di depositi continentali oltre il limite di risoluzione del ^{14}C (Amorosi *et alii*, 1996).

Per quanto riguarda i subsintemi sommitali (AES8 e AES7), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al ^{14}C, forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte I subsintemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998).

L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

4.3.1 Subsintema di Ravenna (AES8)

É l'elemento sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende la maggior parte dei depositi quaternari affioranti nel Foglio Faenza.
Al tetto di AES8 è stata inoltre distinta e cartografata un'unità di rango inferiore denominata Unità di Modena (AES8a).
Nei settori intravallivi e allo sbocco delle valli appenniniche il Subsintema di Ravenna è costituito da depositi di terrazzo alluvionale I singoli ordini di terrazzo sono separati da scarpate di pochi metri. I depositi di terrazzo sono generalmente costituiti da circa due metri di ghiaie, sovrastati da una copertura limoso-sabbiosa il cui profilo di alterazione pedogenetica può raggiungere circa un metro di spessore.
In posizione più distale rispetto allo sbocco delle valli appenniniche, AES8 affiora estesamente e la sua parte sommitale è costituita da depositi sabbioso-limosi di canale, argine e rotta fluviale, organizzati in corpi sedimentari di spessore plurimetrico a geometria prevalentemente nastriforme Questi fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente argillosi e subordinatamente limosi e sabbiosi di piana inondabile (bacino interfluviale). I corpi ghiaiosi sono rari.
Il tetto di AES8, che coincide col piano topografico, presenta suoli a diverso grado di evoluzione, con orizzonte superiore da calcareo (Entisuoli, tipici dell'unità di Modena) a non calcareo (Inceptisuoli).
In prossimità del margine del bacino e nei settori di pianura in cui AES8a non è presente, al tetto di AES8 si rinvengono suoli maggiormente evoluti, non calcarei o scarsamente calcarei, sviluppatisi in un intervallo di tempo superiore a 1500 anni Questi Inceptisuoli presentano un orizzonte superficiale decarbonatato di colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, di spessore variabile tra 0,5 e 1,5 m, al di sotto del quale è presente un orizzonte ad accumulo di carbonato di calcio sotto forma di concrezioni o concentrazioni soffici Questi suoli sono associati a ritrovamenti di reperti archeologici di età variabile dal Neolitico, al Bronzo e Ferro, fino al Romano.
Nel sottosuolo, analogamente a quanto riscontrato nell'area tipo (Amorosi et alii, 1999; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 223 - Ravenna (2002), la base di AES8 è caratterizzata da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di alcune migliaia di anni (la base dell'unità è datata a circa 13 ka BP) A differenza dell'area tipo, però, dove il limite basale di AES8 è marcato da un netto contrasto di facies tra depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di AES7) e sovrastanti depositi di ambiente paralico e marino-marginale riconducibili all'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica, al margine del Bacino Padano la base di AES8 è localizzata all'interno di depositi alluvionali ed è per questo meno facilmente riconoscibile di quanto non avvenga per i settori di piana costiera Tuttavia, la comune presenza nella parte inferiore di AES8 di un orizzonte lateralmente esteso di argille organiche e torbe di ambiente palustre, di colore grigio scuro-nerastro, conferma il legame genetico di questi depositi

con la fase trasgressiva olocenica. Ciò anche sulla scorta di quanto documentato nei fogli limitrofi, in cui è fisicamente riconoscibile la transizione laterale di facies tra i depositi marino marginali e le argille organiche alla base AES8

L'orizzonte di argille organiche palustri raggiunge il suo massimo spessore nei settori più distali della pianura (circa 5 metri), mentre tende a chiudersi a cuneo verso il margine appenninico, dove tuttavia è ancora a tratti riconoscibile come un orizzonte di circa 50 centimetri presente nel primo sottosuolo anche qui costituito da limi argillosi nerastri. Orizzonti del tutto analoghi sono presenti anche nelle porzioni intravallive al di sopra delle sequenze di terrazzo fluviale, dove hanno dato età variabili tra circa 10 e 11 ka (si veda la tabella 3 relativa ai dati 14C, affioramento 239090A501, ubicato in destra idrografica del torrente Senio, nei pressi di Riolo Terme)

In pianura, al di sopra dell'orizzonte palustre sono presenti depositi alluvionali I corpi ghiaiosi in questo caso si estendono su una superficie nettamente inferiore rispetto a quella relativa alle ghiaie al tetto di AES7, come documentato dalla cartografia riportata nel foglio allegato alla carta geologica. Al di sopra delle ghiaie, fino alla superficie topografica, sono presenti depositi prevalentemente limoso-sabbiosi di argine e rotta fluviale. Questi, nelle aree più prossime alla catena, sono frequentemente caratterizzati al loro interno da una successione spessa circa 4 metri, costituita da quattro sottili sequenze a gradazione positiva, ciascuna interessata al tetto da un Inceptisuolo variamente arricchito in sostanza organica, al cui interno si ritrovano reperti Neolitici ed Eneolitici sia rimaneggiati che in posto.

Lo spessore massimo del Subsintema di Ravenna nel sottosuolo del Foglio Faenza è di circa 20 m

Nei casi in cui la parte sommitale di AES7 non sia contraddistinta da depositi grossolani di canale fluviale, il limite basale di AES8 è definito, analogamente a quanto recentemente documentato per l'area ravennate (Amorosi & Marchi, 1999), da un orizzonte sovraconsolidato che, oltre che per un limitato incremento di resistenza alla punta, si caratterizza in prove penetrometriche con il piezocono per il brusco incremento di resistenza laterale e per la diminuzione della pressione interstiziale dovuta al passaggio verso il basso da argille molli grigio scure, ricche in legni e frustoli carboniosi, ad sedimenti fini più compatti grigio-nocciola ricchi in concrezioni carbonatiche. Allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, dove la base di AES8 è caratterizzata da depositi ghiaiosi amalgamati con quelli di AES7, il limite tra i due subsintemi è virtualmente indistinguibile.

Età: Pleistocene superiore-Olocene (13 ka-Attuale), su base radiometrica.

5 Prove pregresse

L' area tra via S. Lucia e via Pirandello è stata ampiamente indagata tramite varie campagne di indagini geognostiche. Di seguito si mostrano l'ubicazione e i risultati delle stesse.

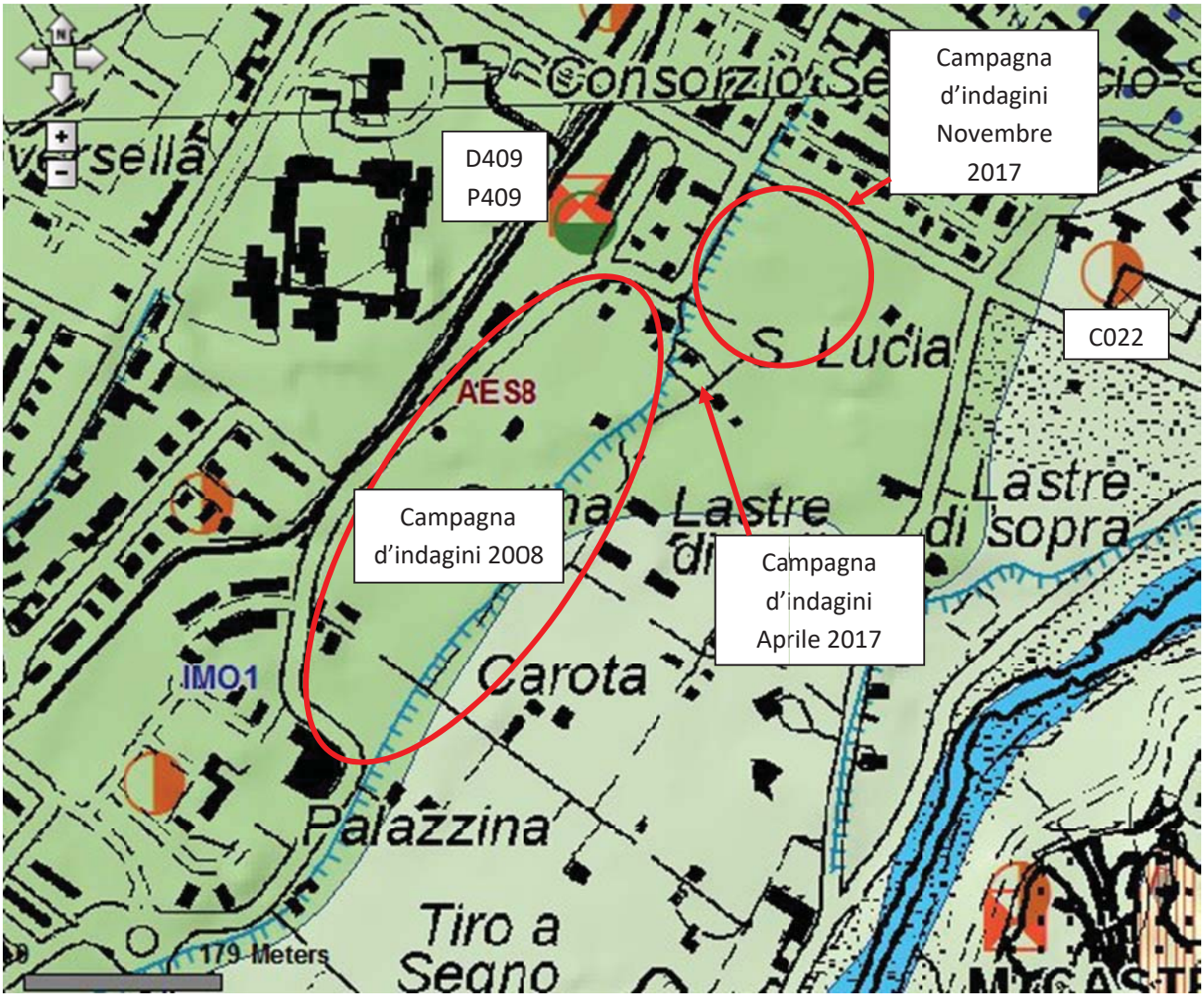


Fig. 7: Ubicazione delle prove pregresse

5.1 Indagini riportate dal Servizio geologico, sismico e dei suoli

Il sito del servizio geologico, sismico e dei suoli riporta indagini effettuate in tutta la regione; nel caso in oggetto le prove penetrometriche C022 e D409 e il sondaggio P409 sono le più vicine all'area di studio, distando al massimo 200 metri.

Le prove mostrano un livello sottile (0,4 m) di terreno vegetale, seguito da uno strato di sabbia limosa con intercalazioni argilloso limose di spessore circa 3 m, seguito da uno strato di ghiaia e sabbia di spessore almeno 2 metri.

Data di realizzazione 10/09/1991

P409

UBICAZIONE Via S. Lucia

D409

Coordinate

Profondità della falda Non rilevata (-13,00 da pozzo)

Professionista ANDREATTA G.

INDAGINI

SONDAGGIO **Esecutore** ANDREATTA G.

Nr. 1 **Profondità (mt)** -5 +

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA **Esecutore** ANDREATTA G.

9 **Profondità (mt)** -6 + -8

DATI LITOLOGICI

Zona **Da (mt)** 0 + **A (mt)** -0,4 +

limo sabbioso rimaneggiato (terreno vegetale)

Zona **Da (mt)** -0,4 + **A (mt)** -3,2 +

sabbia limosa con intercalazioni argilloso-limose

Zona **Da (mt)** -3,2 + **A (mt)** -5,2 +

Ghiaia mista a sabbia

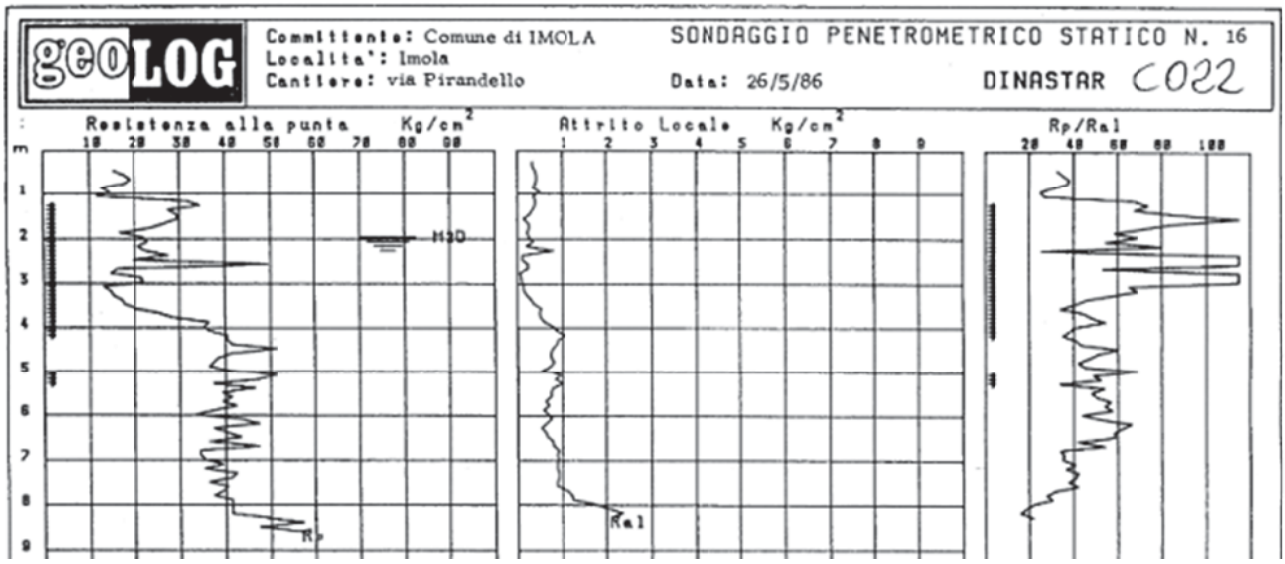
PARAMETRI MECCANICI

Zona **Da (mt)** 0 + **A (mt)** -0,4 + -1 **Res.** RD -0,2 + -0,4 daN/cmq

Coefficiente di sicurezza 15

Zona **Da (mt)** -0,4 + -1 **A (mt)** -3 + -5,5 **Res.** RD -0,7 + -0,2 daN/cmq

Zona **Da (mt)** -3 + -5,5 **A (mt)** -6 + -8 **Res.** RD + = 15 daN/cmq



Figg. 8: Prove fornite dalla regione Emilia Romagna

5.2 Campagna d'indagini 2008

Per il Piano Particolareggiato dell'area di via S. Lucia nel luglio 2008 sono stati effettuati 4 sondaggi a carotaggio continuo e tre CPT. Tali prove hanno permesso la ricostruzione del modello del sottosuolo tramite una sezione geologica longitudinale di seguito mostrata.

L'area è caratterizzata per i primi 5/6 metri superficiali da litotipi prevalentemente granulari, quali sabbie, sabbie limose e ghiaie sabbiose. Nella zona nord (la più prossima all'area oggetto della presente relazione) troviamo un primo strato di sabbie di spessore medio di circa 2 metri, che tende ad approfondirsi verso sud, zona dove troviamo le sabbie al di sotto di limi sabbiosi.

Sotto le sabbie sono stato trovato uno strato di ghiaie, di spessore compreso tra 1 e 2 metri, seguito da uno strato di sabbia limosa e Argille Azzurre Pleistoceniche.

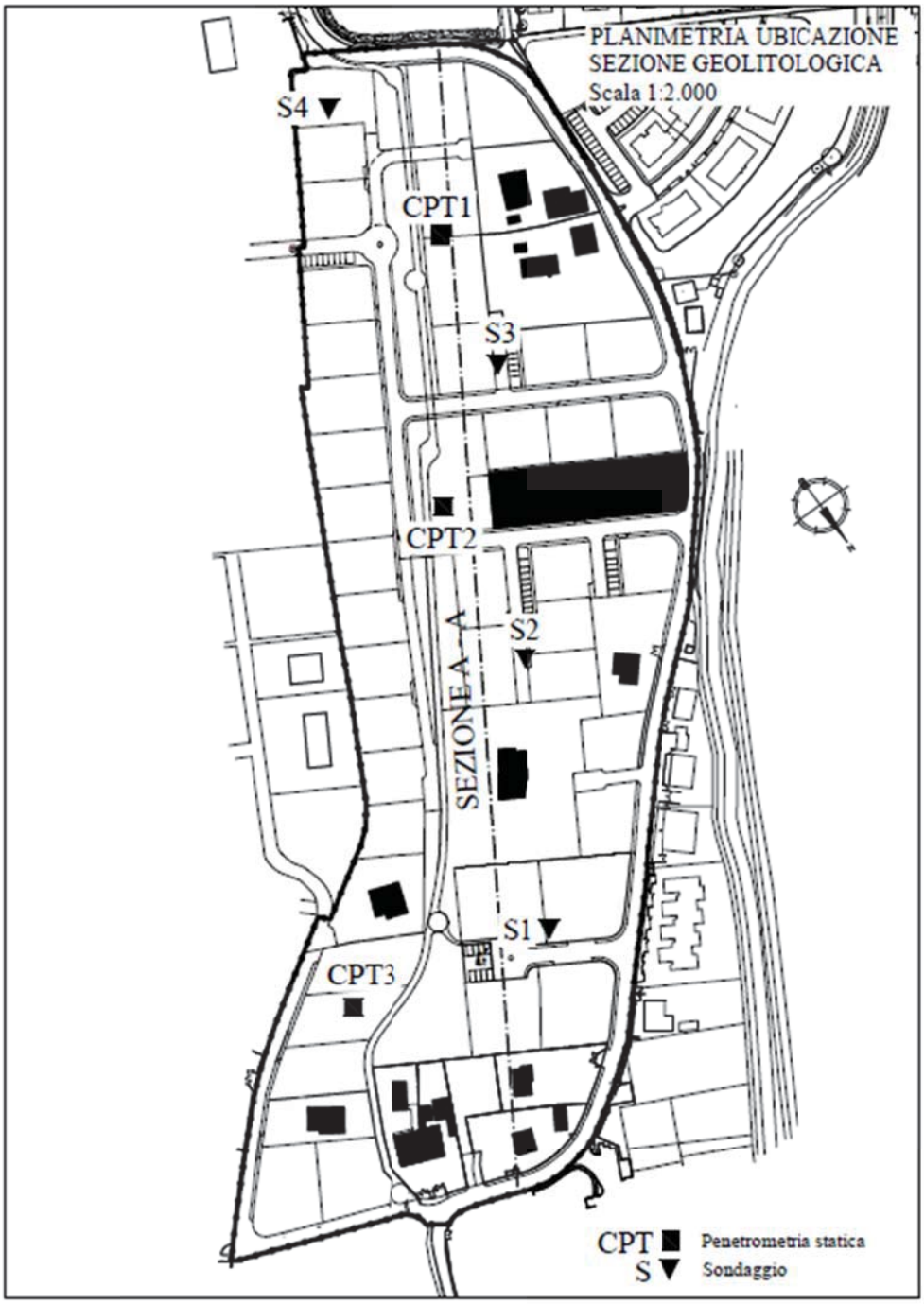


Fig. 9: Ubicazione del lotto

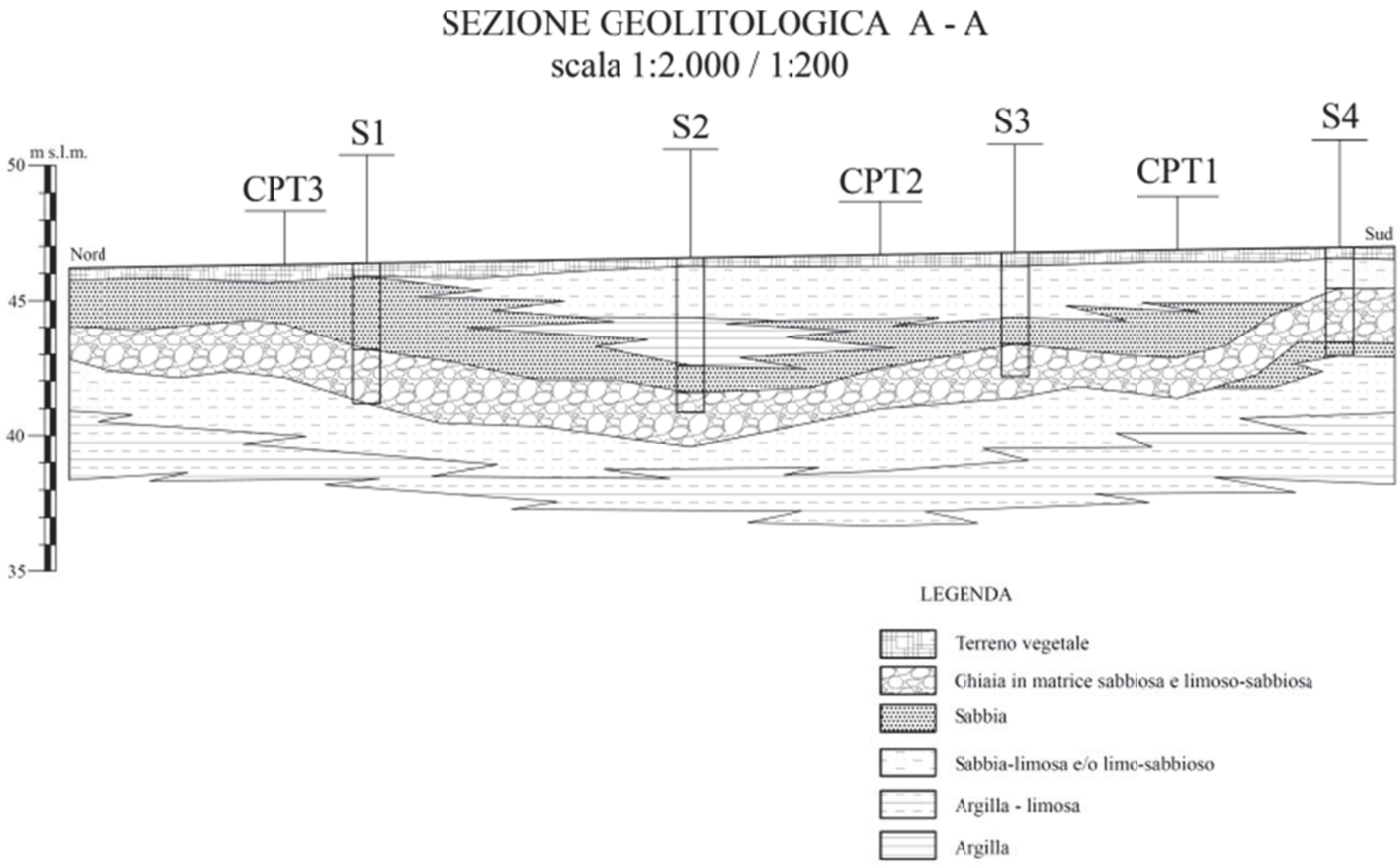


Fig. 10: Sezione geologica

5.3 Campagna d'indagini inizio 2017

In seguito, nei primi mesi del 2017, a sud dell'area in oggetto, è stata eseguita una prova penetrometrica statica fino all'arresto all'infissione, atta a porre in evidenza alcune caratteristiche meccaniche dei terreni e la presenza e profondità della falda freatica sul lotto in cui dovranno essere edificate nuove palazzine.

Nella zona indagata sono individuabili dall'alto verso il basso i seguenti orizzonti stratigrafici:

- Uno strato di limi argilloso sabbiosi fino circa 4 m dal piano campagna,
- Uno strato di sabbie e ghiaie spesso almeno 2 m da 4m a 6 m dal piano campagna proveniente dai depositi grossolani del fiume Santerno ubicato ad est dell'area.



Fig. 11: • Ubicazione tromino - • Prove CPT

6 Area di studio e indagini effettuate

L'area di studio è situata nel comune di Imola in prossimità del fiume Santerno all'interno del Sintema AES8 del descritto in precedenza costituito da un rilevante spessore di terreni ghiaioso sabbiosi cui sottostanno le Sabbie Gialle di Imola (IMO).
L'area in oggetto è situata tra via Pirandello e via S. Lucia.

Diversi studi effettuati sull'area, fra cui anche le analisi geologiche a corredo del Piano Infraregionale delle Attività Estrattive testimoniano che nell'area al di sotto delle alluvioni del fiume Santerno sono presenti le Sabbie di Imola e che queste si estendono in profondità almeno fino a 70 m dal piano campagna.

I terreni in posto non sono visibili direttamente, se n'è quindi ricavata la natura e le caratteristiche, in particolare la velocità sismica, mediante le prove MASW e HVSR. È stata acquisita una prova MASW, tramite uno stendi mento di lunghezza 69 metri, lungo il lato nord dell'area in oggetto, e sono state acquisite due prove HVSR: una a metà dello stendi mento sismico e l'altra al centro dell'area.
Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'interpolazione dei dati ricavati da bibliografia, dalle prove pregresse effettuate nei dintorni dell'area e dalle analisi sismiche effettuate a novembre 2017.

Nella zona indagata sono individuabili dall'alto verso il basso i seguenti orizzonti stratigrafici:

- Uno strato di limi sabbioso argillosi fino circa 3,5/4,0 m dal piano campagna,
- Uno strato di sabbie e ghiaie spesso almeno da 4 m a 6 m dal piano campagna proveniente dai depositi grossolani del fiume Santerno ubicato ad est dell'area.
- Sabbie di Imola (IMO)

Si precisa però che gli spessori possono non essere omogenei all'interno dell'area, a causa della genesi alluvionale dei terreni indagati.

Morfologicamente la zona interessata dall'intervento si presenta orizzontale. L'idrologia superficiale è regimata da una rete di fossi lato strada e agrari che drenano le acque superficiali al fiume Santerno.

Si riporta di seguito la Carta geologica dell'area elaborata dal Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia Romagna; in rosso è indicata la prova MASW e in giallo le prove HVSR.

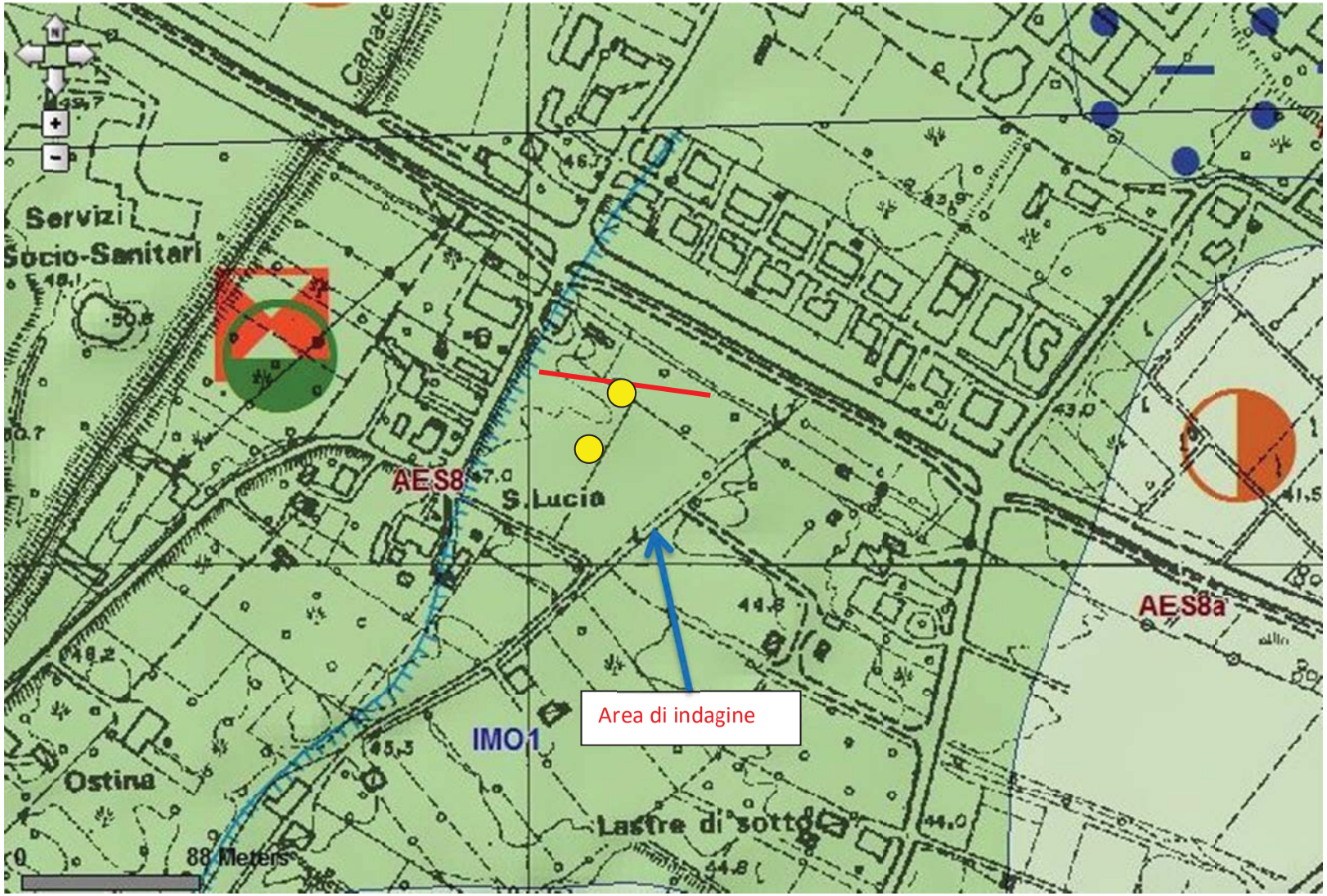


Fig. 12: Ubicazione delle Prove MASW e HVSR







Imm. 1 e 2: ubicazione MASW e HVSR

7 Verifica a liquefazione

La composizione litologica unita al facile drenaggio delle acque attraverso lo strato ghiaioso sottostante, permette di escludere la liquefazione dei terreni medesimi in presenza di evento sismico. In questo caso anche l'incremento dei cedimenti risulterà ininfluente sulla stabilità del manufatto. Questo cedimento sarà assorbito dalla struttura durante il tempo di costruzione e non si presenteranno problemi costruttivi.

Le lenti "liquefacibili" presentano spessori modesti dell'ordine massimo di 50 - 100 cm e sono limitate sia al tetto che al letto da orizzonti compatti che ne impedirebbero la deformazione; inoltre la velocità delle onde Vs individuate nel corso dell'indagine geofisica effettuata per la microzonazione sismica dell'area evidenziano velocità superiori a circa m/s 210, ossia terreni non liquefacibili.

È da notare che, storicamente, non sono noti fenomeni di liquefazione dei terreni nell'alta pianura imolese.

Di seguito si riportano i grafici elaborati dalla prova CPT di inizio 2017 sul lotto vicino, relativi alla possibilità di liquefazione che ne escludono la possibilità.

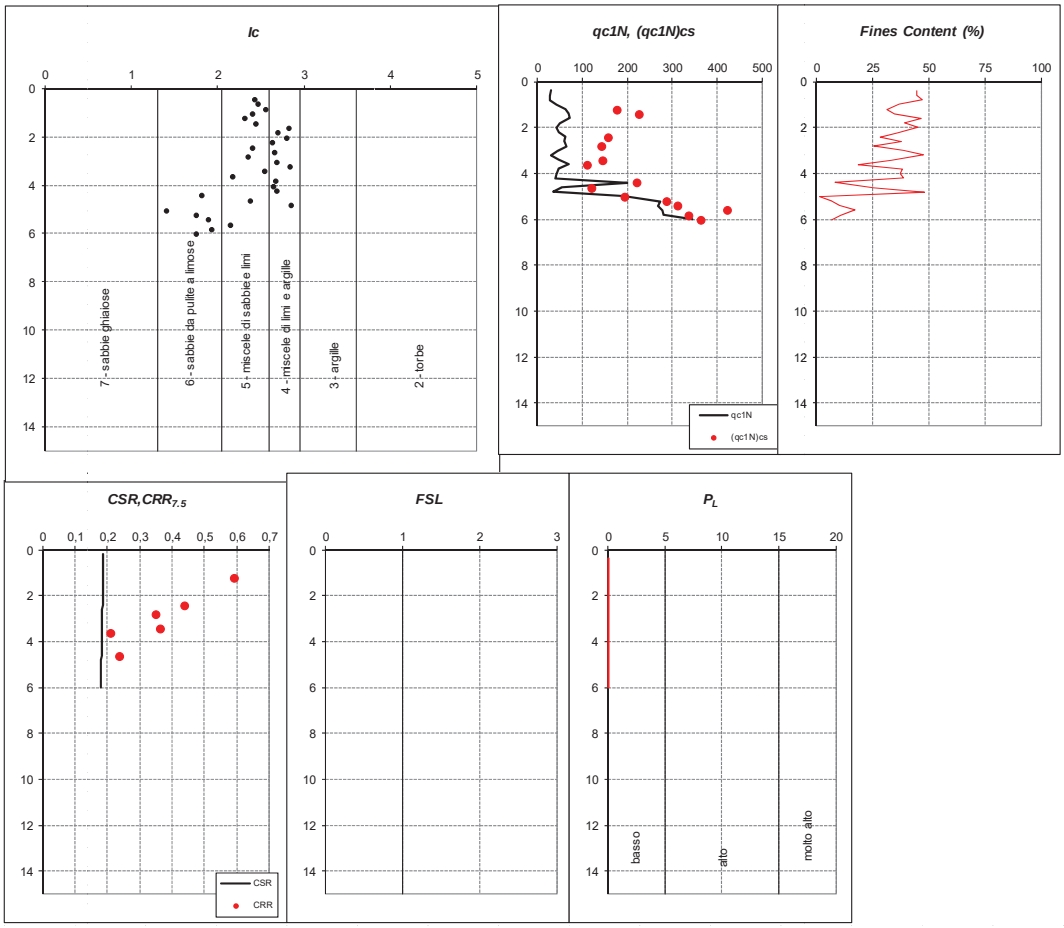


Fig. 13: Verifica a liquefazione

8 Sismicità dell'area

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Imola, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

In riferimento a tale bozza il Comune di Imola ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Faenza è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni"
3.2 AZIONE SISMICA
3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE
Categorie di sottosuolo
Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

*Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** ed **S2** di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.*

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove hi e Vi indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10\text{-}6$) dello strato iesimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.
Il sito verrà classificato sulla base del valore di Vs30, se disponibile, altrimenti sulla base del valore di NSPT.

Nelle nostre verifiche geotecniche consideriamo la classificazione ora vigente che definisce l'area di studio appartenente alla classe di sismicità 2, pertanto il grado di sismicità è pari a S = 9.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).**

8.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità Vs, compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a

32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 25 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

8.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale "TrominoR" in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto perio- do. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l'analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Iga- rashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L'elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo

$$fr = Vs/4*H \quad con \quad H = spessore\ dello\ strato$$

In questo modo, le misure tromografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un'indagine non invasiva e l'acquisizione avviene tramite l'utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d'indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita vie- ne elaborata tramite l'utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario "smoothing" (lisciamento) del segnale, poi la rappresenta- zione grafica dell'amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tromografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell'acquisizione di 20 minuti. L'elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito

pari al 10%. Per le prove espletate, la registrazioni hanno necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 17% e al 12% delle tracce acquisite.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

8.3 Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017)

Le registrazioni HVSR hanno evidenziato alti spettrali alle frequenze di 6,5-7,5 Hz, indotti dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribu- zione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata una

Vs30 a partire dal suolo pari circa a 311,1 m/s.

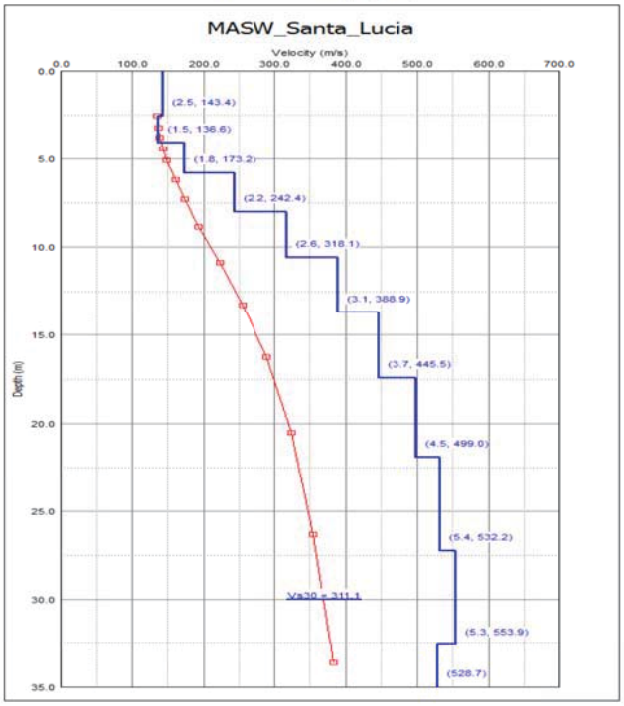
A corredo dello studio geologico e sismico per la proposta di POC è necessario fornire la caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2017. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della DAL 112/2007.

Il contesto geologico e i nuovi dati ricavati dalle indagini geofisiche consentono di includere l'area di studio nel macro contesto denominato <<*Margine appenninico di tipo A: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, caratterizzato da spessore di terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico*>>, caratterizzato da uno spessore di depositi fini ≈5 metri e Vs5 ≈150 m/s.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 2,3;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 2,2;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 1,8.

ordinata il tempo (ms).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_S (m/s)
1	2.5	2.5	143.4
2	4.0	1.5	136.6
3	5.8	1.8	173.2
4	8.0	2.2	242.4
5	10.6	2.6	318.1
6	13.7	3.1	388.9
7	17.4	3.7	445.5
8	21.9	4.5	499.0
9	27.3	5.4	532.2
10	32.6	5.3	553.9
11	∞	∞	528.7

V_{S30} = 311.1 ± 10% [m/s]

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

9 Microzonazione sismica

Di seguito vengono riportati gli stralci delle tavole di Microzonazione Sismica del Piano Strutturale Comunale di Imola relativi all'area in oggetto.

Tav. 2 - Carta di analisi - Potenziale liquefazione nelle aree di pianura



Legenda

Confini comunali

Limite pianura collina (PTCP)

Isolinee di ugual soggiacenza della falda freatica superficiale - il numero indica la profondità da piano campagna (da dati ARPA)

Area con soggiacenza della falda freatica >3.5 m (da dati ARPA)

Pianura analisi liquefazione

Criteri per potenziale liquefazione non tutti verificati

Potenziale liquefazione - necessario approfondimento di III livello

Analisi liquefazione banca dati Regione Emilia-Romagna

Negativo

Positivo

Analisi liquefazione banca dati Circondario Imolese

Negativo

Positivo

Tav. 3 - Carta di analisi - Potenziali cedimenti post-sismici nelle aree di pianura



Legenda

Confini comunali

Limite pianura collina (PTCP)

Pianura analisi cedimenti

Area con ininfluente presenza di depositi coesivi molto soffici

Area con depositi coesivi molto soffici (Cu<70 KPa)

Analisi cedimenti banca dati Regione Emilia-Romagna

Cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con Cu<70KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Potenziali cedimenti post-sismici per presenza di spessori comulati compresi tra 3 e 10 m di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Analisi cedimenti banca dati Circondario Imolese

Cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con Cu<70KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Potenziali cedimenti post-sismici per presenza di spessori cumulati compresi tra 3 e 10 m di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Tav. 4 - Carta di analisi - Modelli geologici nelle aree di pianura



Legenda

Confini comunali

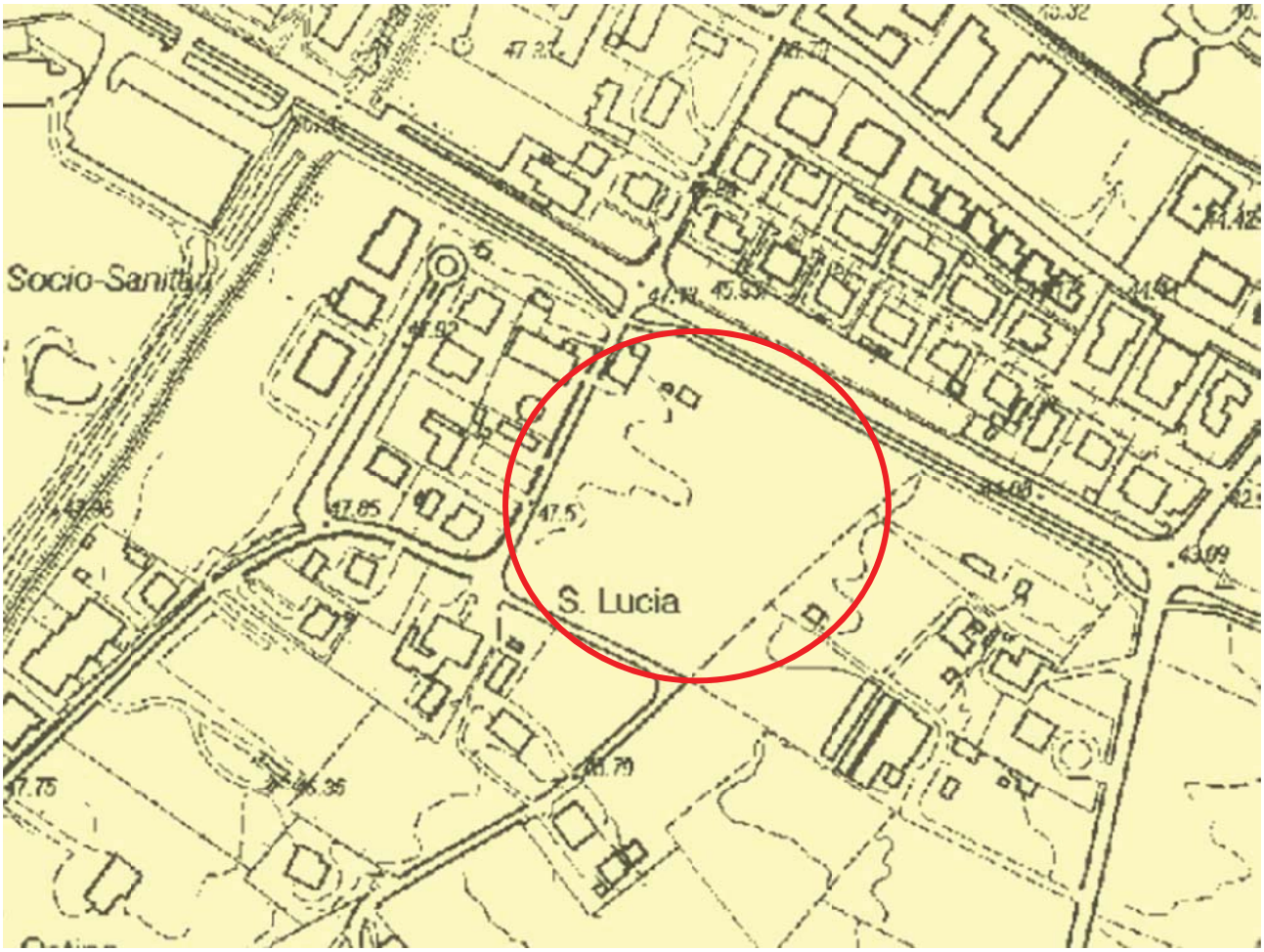
Limite pianura collina (PTCP)

Modelli geologici di pianura

Cava o discarica	Zona 6	Zona 12
Zona 1	Zona 7	Zona 13
Zona 2	Zona 8	Zona 14
Zona 3	Zona 9	Zona 15
Zona 4	Zona 10	
Zona 5	Zona 11	

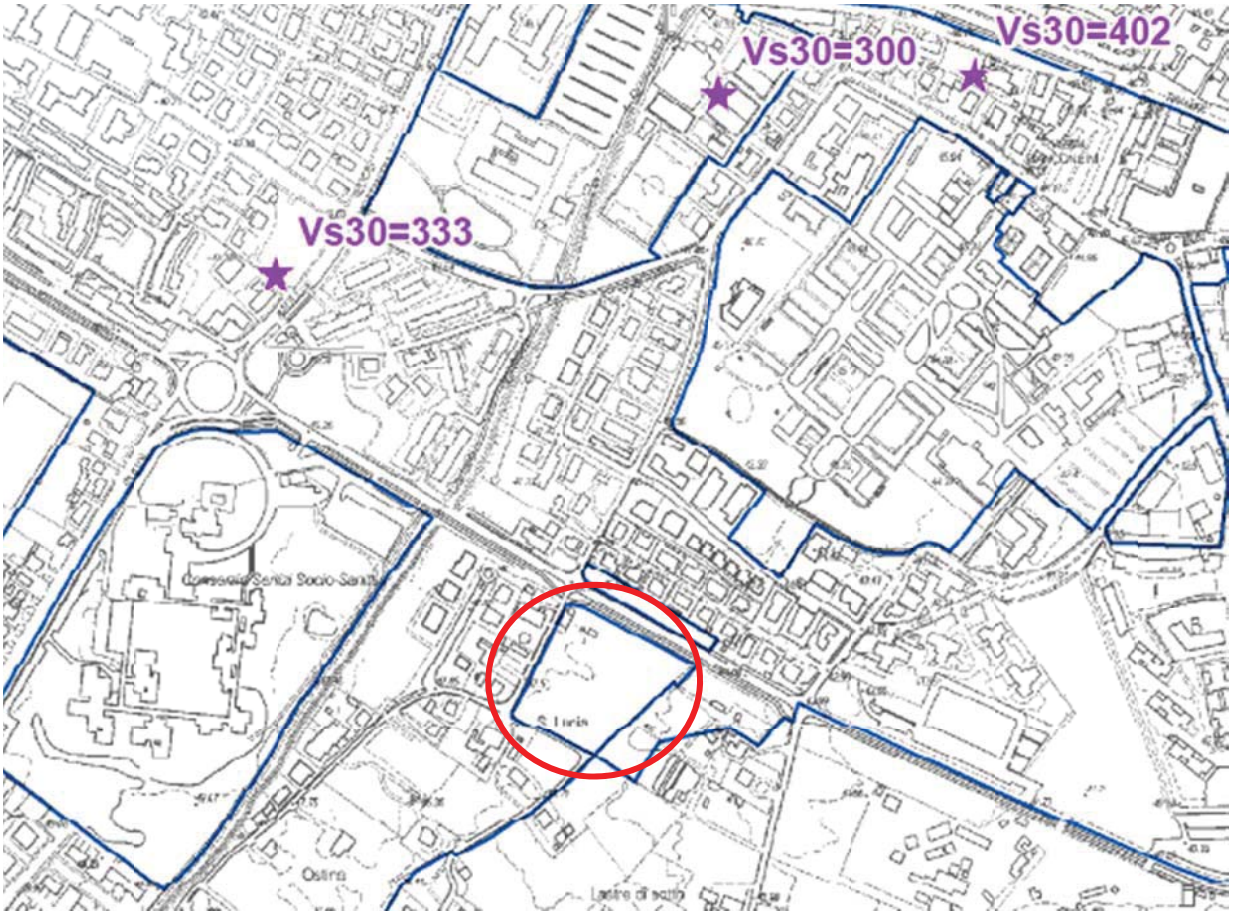
Zona 15		
	Descrizione litologico-tessiturale	Note
Unità 1	Depositi superficiali di spessore complessivo pari a circa 5-7 m, dati da terreni prevalentemente limosi (1-2 m di spessore) e ghiaie in matrice limoso sabbiosa.	Settori terminale dei terrazzi del Santerno di collegamento al conoide apicale
Unità 2	Substrato marino (Argille Azzurre e/o Sabbie Gialle di Imola)	

Tav. 5 Foglio 3 - Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali - analisi di I livello



A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
Studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico.
Microzonazione sismica di secondo livello

Tav. 6 Foglio 3 - Carta delle velocità



Legenda

Confini comunali

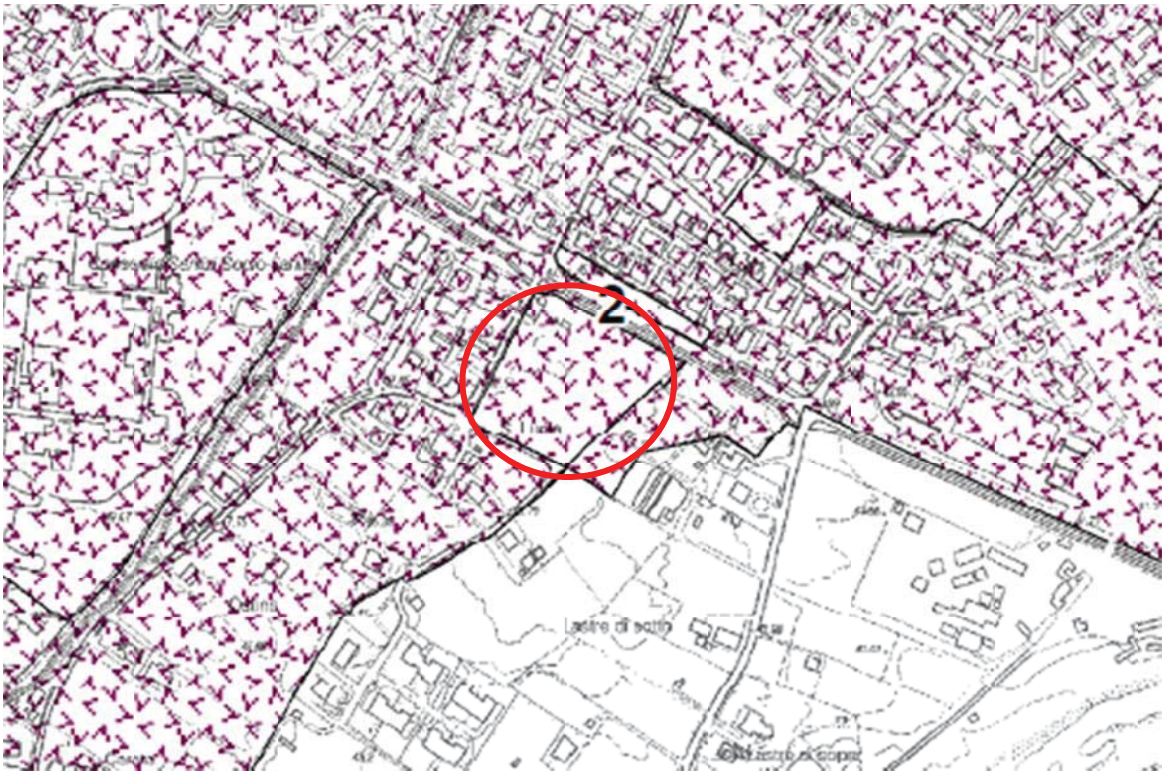
Ambiti del territorio urbanizzato e urbanizzabile

Velocità

Vs30 [Vs30 = 315 (m/s)]

Vsh [Vs16 (m) = 457 (m/s)]

Tav. 7 Foglio 3 - Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione PGA - Analisi di II livello



Legenda

Confini comunali

Fattore di amplificazione topografica

1,1

1,15

1,3

Fattore di amplificazione PGA

1,3

1,4

1,5

1,6

1,7

1,8

1,9

2,0

2,1

Tav. 8 Foglio 3 - Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi) (Analisi di II livello)



Legenda

Confini comunali

Fattore di amplificazione topografica

1,1

1,15

1,3

Fattore di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi)

1,3

1,5

1,6

1,7

1,8

1,9

2,0

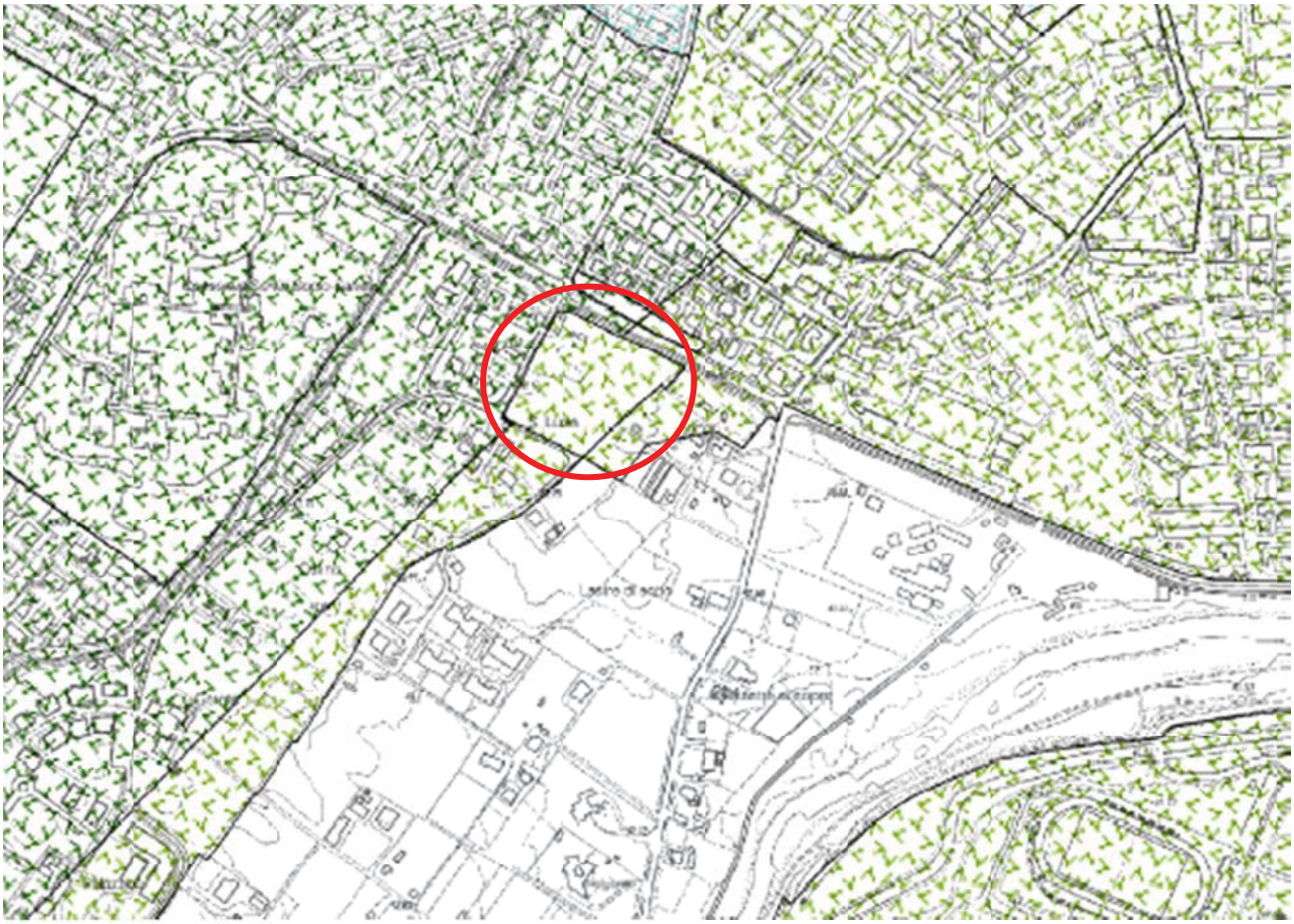
2,1

2,2

2,3

2,4

Tav. 9 Foglio 3 - Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione SI (0.5-1.0) (Analisi di II livello)



Legenda

Confini comunali

Fattore di amplificazione topografica

1,1

1,15

1,3

Fattore di amplificazione SI (0.5-1.0 secondi)

1,0

1,1

1,2

1,3

1,4

1,5

1,6

1,7

1,8

1,9

2,0

2,1

2,3

2,4

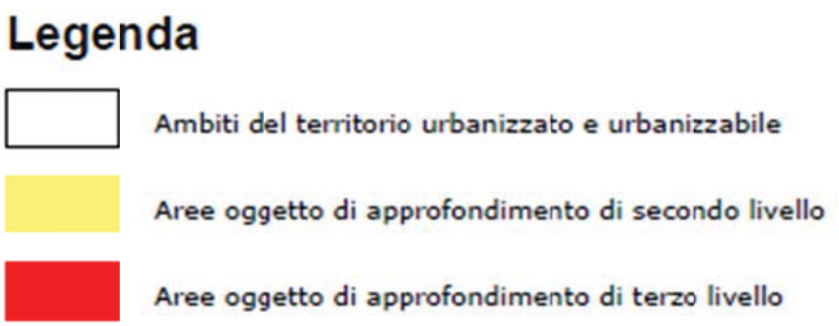
2,5

2,6

2,8

Tav. 10 Foglio 3 - Carta di sintesi





Come si può dedurre dalle tavole di Microzonazione Sismica del Comune di Imola, l'area oggetto di studio non presenta criticità particolari, in quanto l'analisi della liquefazione sia della Banca dati della Regione Emilia Romagna, sia delle prove effettuate nei dintorni hanno dato esito negativo; inoltre non sono attesi cedimenti post sismici.

Di seguito si specificano i fattori di amplificazione indicati dalle tavole di Microzonazione:

- PGA: 2
- SI (0,1 – 0,5): 2,3
- SI (0,5 – 1,0): 2,4

10 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- I terreni sono omogenei nell'area infatti, nella zona indagata è presente terreno in posto costituito da 3,5/4,0 metri di limi sabbiosi seguiti da ghiaie sabbiose cui sottostanno sabbie appartenenti alle Sabbie Gialle di Imola Pleistoceniche;
- Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito (MASW riportata in allegato 4) si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)**
- Le caratteristiche di consistenza dei terreni, l'assenza di falda idrica ed i calcoli effettuati assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- Non è prevedibile un fenomeno di risonanza tra struttura e terreno in quanto hanno periodi propri al livello delle fondazioni di 1 m nettamente diversi (2 Hz della struttura contro i 40 del terreno);
- Il fattori di amplificazione derivanti dalla microzonazione sismica regionale come da D.G.R. 2193/2015 riportati sono da interpretare come un supporto alla pianificazione individuando aree in cui il fenomeno dell'amplificazione sismica si può verificare.
- Nel caso del territorio di Imola questo può prevalentemente accadere per cause stratigrafiche in cui uno strato di alluvioni recenti poggia su di uno strato di roccia in posto con velocità Vs 30 molto diversa.
- Dalle indagini effettuate nell'area che sarà oggetto di costruzione, non si sono evidenziate condizioni che possano provocare effetti di amplificazione del fenomeno sismico e, pertanto, è possibile calcolare le strutture applicando quando indicato dalle N.T.C. 2008

Imola 29 Novembre 2017

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA DOTT. MAURIZIO CASTELLARI Ordine Geologi Emilia-Romagna GEOLOGO SEZ.A N. 544 ALBO

Il geologo

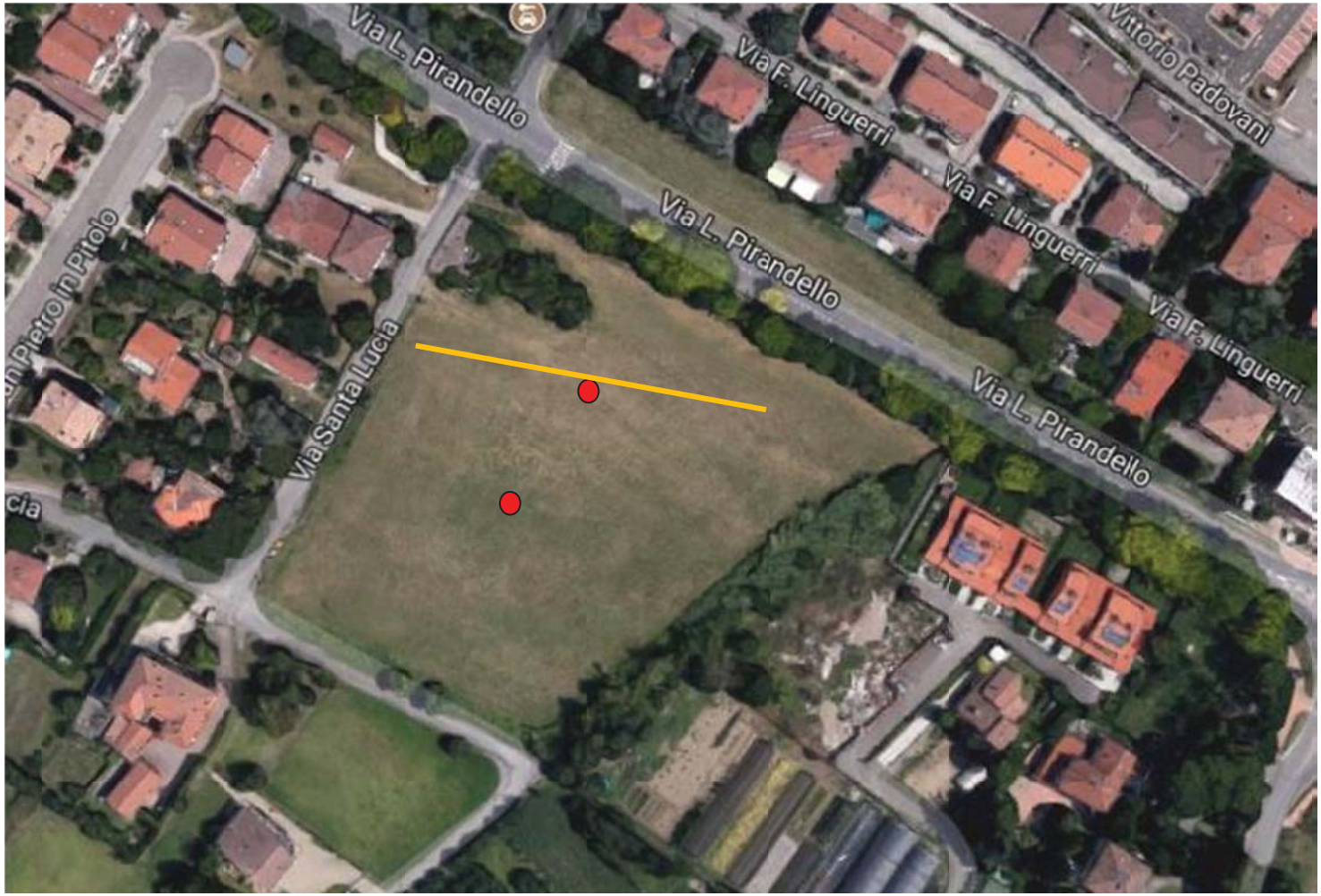
Dott. Maurizio Castellari

Allegato 1
Ubicazione intervento



Allegato 2

Ubicazione prove



• Ubicazione tromino - -- Ubicazione MASW

Allegato 3

Indagine Sismica

Studio Samuel Sangiorgi
Geologia Applicata
Via Valsellustra 32
40060 Dozza - BOLOGNA

Comune: COMUNE DI IMOLA (BO)

Oggetto: ***Indagine geofisica di superficie mediante tecnica combinata MASW/Re.Mi. e registrazioni HVSR in via Santa Lucia, Comune di Imola (BO)***

RELAZIONE GEOFISICA (DGR 2193/2015)

Stesura: Novembre 2017

Elaborazione: Dott. Geol. Antonio Milioto



Committente: Dott. Geol. Maurizio Castellari

tel/fax 0542 640279 mail info@studiosamuelsangiorgi.eu
www.studiosamuelsangiorgi.eu

1. Premessa

Lo Studio scrivente è stato incaricato dal dott. geol. Maurizio Castellari di eseguire un'indagine finalizzata alla stima delle velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni di un'area da inserire all'interno del POC del Comune di Imola (BO). L'area di studio è localizzata in via Santa Lucia in Comune di Imola (Figura 1).

Le Vs sono state valutate sulla base di uno stendimento sismico attivo/passivo tipo MASW/Re.Mi. e di due prove sismiche speditive di acquisizione passiva del rumore sismico ambientale, effettuate con strumento tromografico portatile ad alta risoluzione.

Si fornisce infine la stima delle velocità equivalenti di legge (VsH; Vs_{30}) ai sensi della DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna.



Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio Topografia RER 1:10.000 e foto <<Google Earth>>)

2. Modalità d'indagine

2.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità Vs, compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a 32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 25 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 2 - Stendimento sismico MASW/Re.Mi.

2.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale “TrominoR” in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto periodo. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l’analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L’elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo

$$fr = Vs/4*H \quad con \quad H = spessore\ dello\ strato$$

In questo modo, le misure tromografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un’indagine non invasiva e l’acquisizione avviene tramite l’utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d’indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita viene elaborata tramite l’utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario “smoothing” (lisciamento) del segnale, poi la rappresentazione grafica dell’amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tromografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell’acquisizione di 20 minuti. L’elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per le prove espletate, la registrazioni hanno necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 17% e al 12% delle tracce acquisite.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 3 – Registrazioni HVSR

3. Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017)

Le registrazioni HVSR hanno evidenziato alti spettrali alle frequenze di 6,5-7,5 Hz, indotti dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata una Vs30 a partire dal suolo pari circa a 311,1 m/s.

A corredo dello studio geologico e sismico per la proposta di POC è necessario fornire la caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2017. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della DAL 112/2007.

Il contesto geologico e i nuovi dati ricavati dalle indagini geofisiche consentono di includere l'area di studio nel macro contesto denominato <<*Margine appenninico di tipo A: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, caratterizzato da spessore di terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico*>>, caratterizzato da uno spessore di depositi fini ≈5 metri e Vs5 ≈150 m/s.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 2,3;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 2,2;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 1,8.

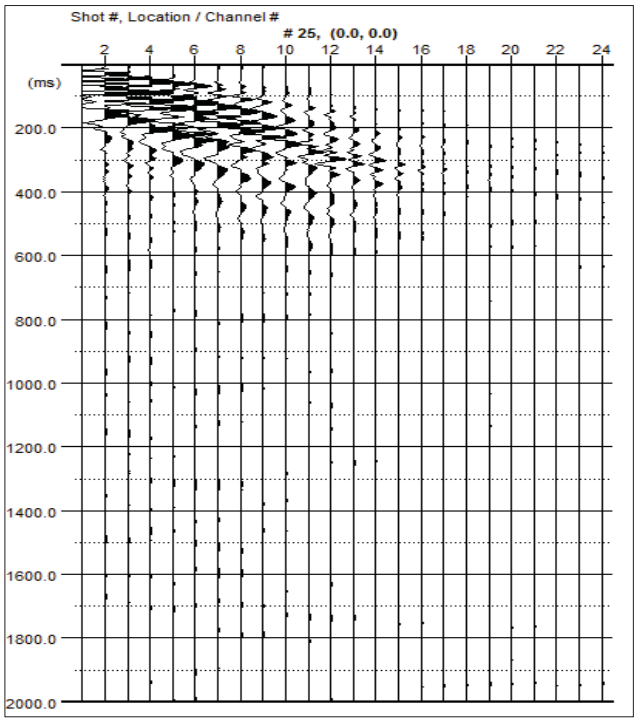
Elaborazione: dott. geol. Antonio Milioto

PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA ATTIVA MASW/PASSIVA MASW/Re.Mi.

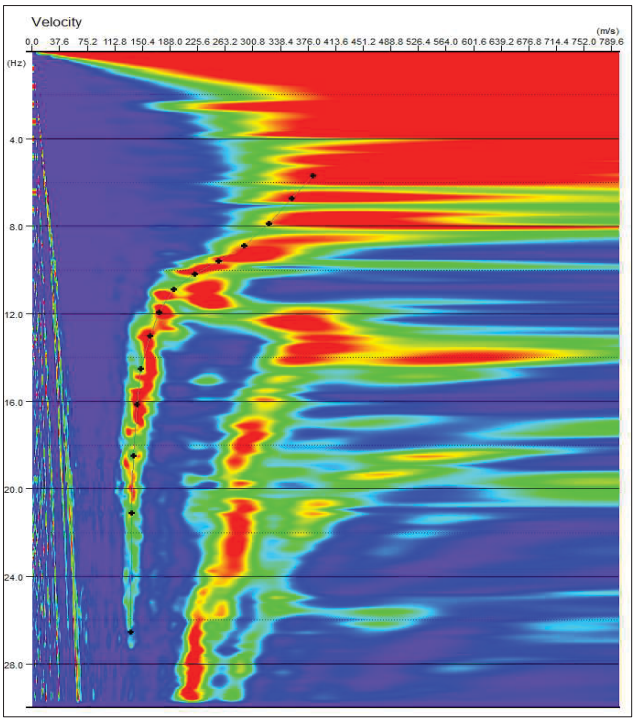
Via Santa Lucia – Comune di Imola (BO)

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
25	3,0	69,0	0,5/2,0	2,0/32,0

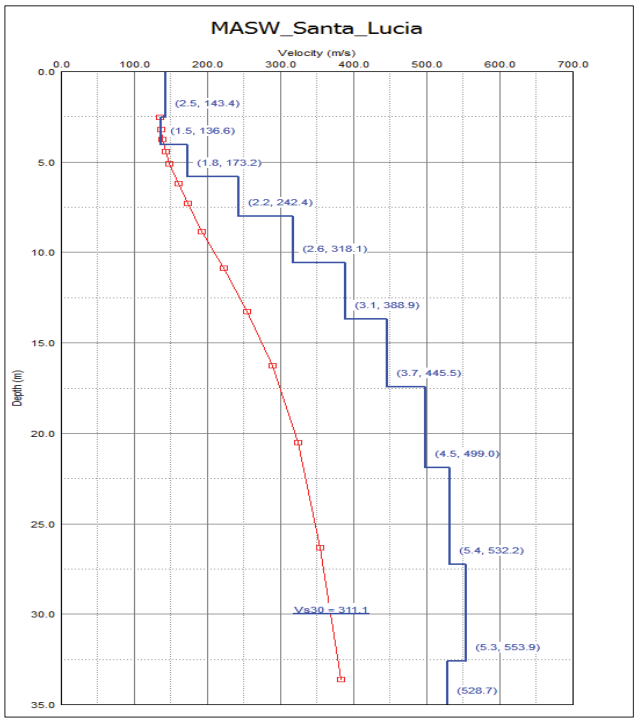
Δx: interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt: passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio *f-v* e Picking della curva sperimentali delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_S (m/s)
1	2.5	2.5	143.4
2	4.0	1.5	136.6
3	5.8	1.8	173.2
4	8.0	2.2	242.4
5	10.6	2.6	318.1
6	13.7	3.1	388.9
7	17.4	3.7	445.5
8	21.9	4.5	499.0
9	27.3	5.4	532.2
10	32.6	5.3	553.9
11	∞	∞	528.7

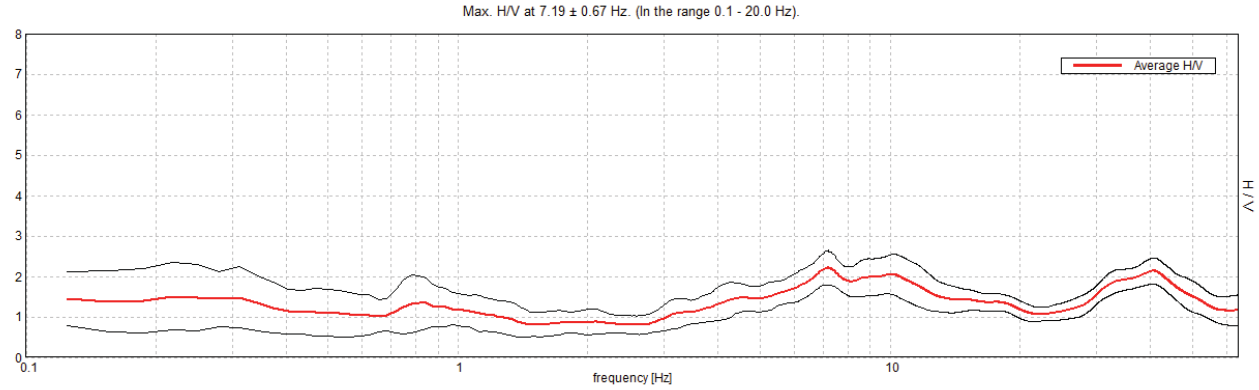
V_{S30} = 311.1 ± 10% [m/s]

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

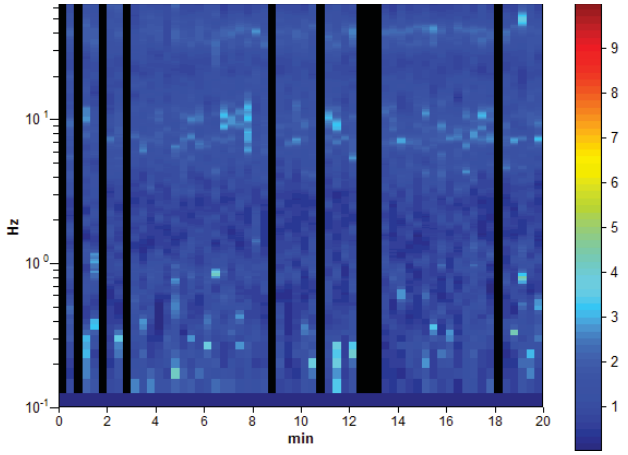
IMOLA - VIA SANTA LUCIA, TR1

Instrument: TRZ-0108/01-10
Start recording: 27/11/17 15:52:58 End recording: 27/11/17 16:12:59
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h20'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

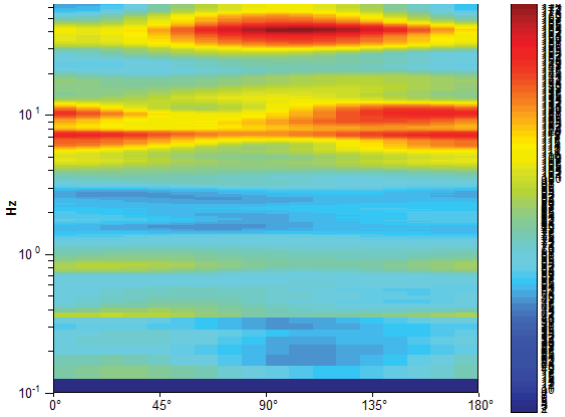
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



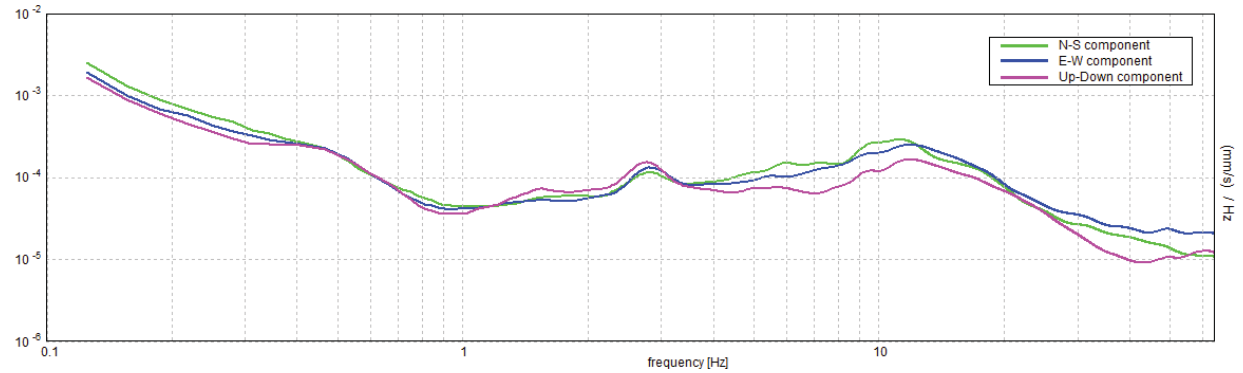
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 7.19 ± 0.67 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	7.19 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7187.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 346 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.21 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.04569| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.32837 < 0.35938	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.21 < 1.58	OK	

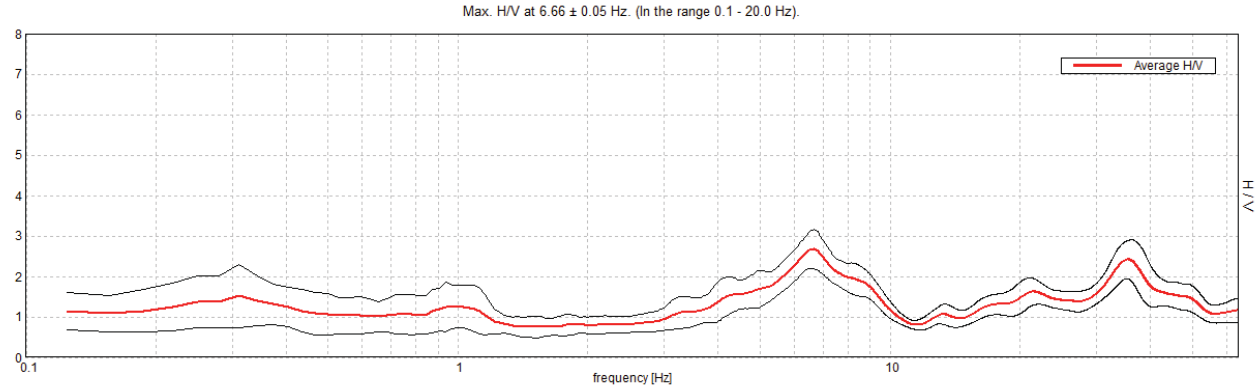
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

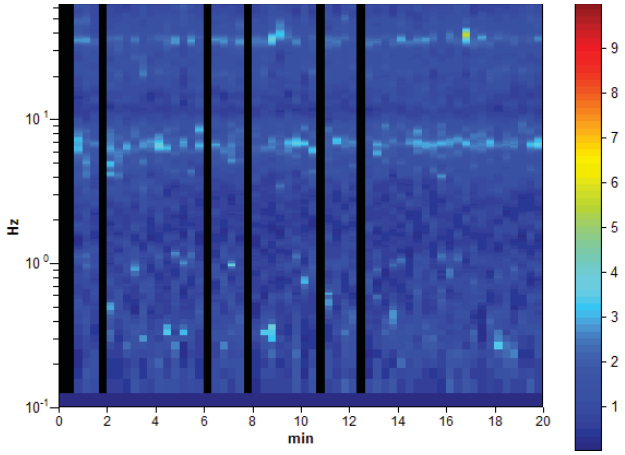
IMOLA - VIA SANTA LUCIA, TR2

Instrument: TRZ-0108/01-10
Start recording: 27/11/17 16:16:23 End recording: 27/11/17 16:36:24
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

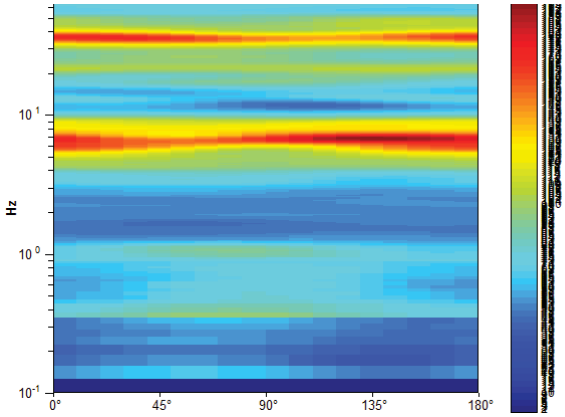
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



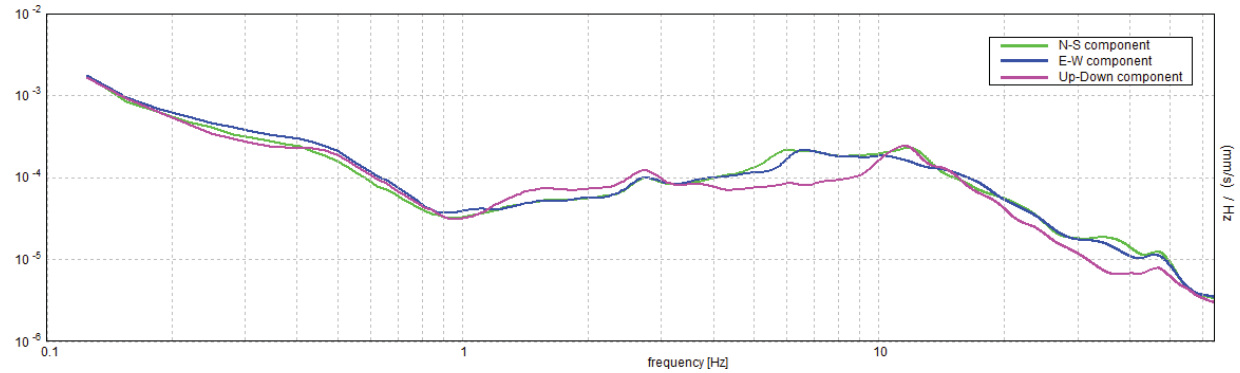
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 6.66 ± 0.05 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	6.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7055.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 320 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.938 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.67 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00394| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.02625 < 0.33281	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.238 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

ALLEGATO 4

RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

ED INDAGINE SISMICA

ANS_C2.5 CARLINA-MONTANARA

- **COOPERATIVA EDIFICATRICE AURORA SECONDA SOC COOP**
- **PIETRA DI BRENTO SRL**
- **SOGEI SRL**

COMUNE DI IMOLA
Provincia di Bologna

Committente:CESI SOC.COOP.

RELAZIONE DI INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA TRAMITE PROVA MASW E HVSR IN LOCALITA' PEDAGNA FINALIZZATA ALLA MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI E INDAGINE SISMICA

DOTT. GEOLOGO BORGHETTI MASSIMO
Via Tiberti 21 47023 Cesena FC tel 0547 / 29376

Cesena OTTOBRE 2012

INDAGINI ESEGUITE

Per ogni area in oggetto l'indagine è stata condotta in due siti ubicati come da planimetrie satellitari allegate.
Per ogni sito indagato si è eseguita una penetrometria statica utile per l'interpretazione geomeccanica dei terreni.
I sondaggi penetrometrici,sono stati sospesi a profondità variabile e a rifiuto.
La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (v = 2 cm/s + -0.5 cm/s).
La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta.
Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.
La punta conica (tipo telescopio) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito
laterale (punta/manicotto tipo"Begemann").
Le dimensione della punta/manicotto sono standardizzate.
Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.
Nei diagrammi e nelle tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):
- **Rp** (Kg/cmq) = resistenza alla punta (conica);
- **Rl** (Kg/cmq) = resistenza laterale (manicotto).

La resistenza alla punta Rp e la resistenza laterale Rl sono rilevate a intervalli regolari di 20 cm.

ELABORAZIONE DEI DATI.

Nelle prove CPT oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto Rp/RL fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di Rp e del rapporto FR = (RL/Rp) % (esperienze di Schmertmann) - 1978.
Con riferimento alle prove penetrometriche statiche CPT, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata Cu, angolo di attrito interno efficace Ø', densità relativa Dr, verifica alla liquefazione); inoltre sempre con correlazioni empiriche si possono determinare: modulo edometrico Mo, moduli di deformazione non drenato Eu e Drenato E', peso di volume Y, ecc.).
Le elaborazioni sopra citate (effettuate mediante un programma di calcolo automatico) fanno riferimento a esperienze e ricerche condotte in vari Paesi da diversi Autori.

MODELLAZIONE GEOLOGICA e GEOTECNICA

Sulla base dell'andamento della resistenza statica alla punta Rp, sono state individuate alcune unità litologiche a comportamento e caratteristiche geotecniche uniformi visualizzate nei diagrammi **Grafico prova-intervalli stratigrafici allegati.**

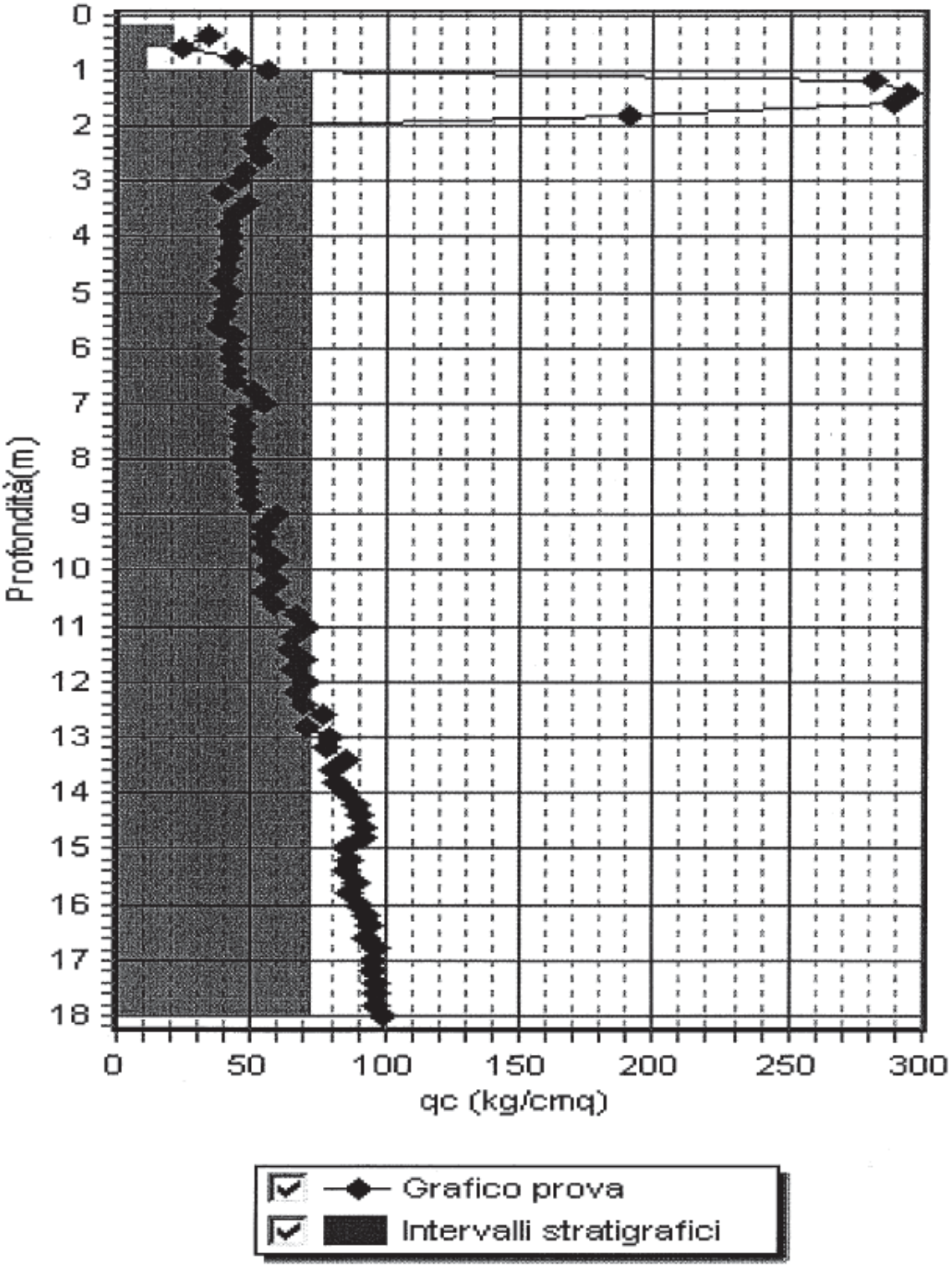
Per ogni intervallo individuato vengono poi visualizzati i valori dei parametri **geotecnici caratteristici** valutati nella seguente maniera :

Valore caratteristico della media(opere che coinvolgono un elevato volume di terreno secondo la Circolare 02.02.2009) , il programma assegna allo strato il valore caratteristico della media dei valori dei singoli livelli minori;
La caratterizzazione geotecnica è stata comunque eseguita ogni 20 cm di perforazione passo di lettura dello strumento di cui si allegano i tabulati.

□ ISTA SATELLITARE LOC. □ EDAGNA



PEDAGNA SITO 1



PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 1 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs(kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico
0,6	21,7	2,53	Argilla inorganica molto consistente	1
1	11,08	1,3	Argilla sabbiosa o limosa	1
18	73,49	3,82	Argilla sabbiosa o limosa	1

qc = resistenza alla punta fs = attrito laterale specifico

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo - 2 = intermedio

Lunghezza della prova (m):	*18*	*Profondità di partenza (m):*	*0,2*
Profondità della falda (m):	*10*	*Passo di lettura (cm):*	*20*
Area della punta (cmq):	*10*	*Area del manicotto (cmq):*	*150*
Costante strumentale:	*10*	*Tipo di penetrometro: a punta meccanica*	
Fattore a (piezocono):	*0,5*	*Fattore b (piezocono):*	*0,00726*

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 1 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
0,6	22	Argilla inorganica molto consistente	1,62E-23	0		2,06			1,283	37	4,11	185		0,06
1	11	Argilla sabbiosa o limosa	3,17E-23	0,05		1,87			0,547	39	0,47	121		0,16
18	73	Argilla sabbiosa o limosa	9,61E-12	0,06		2,29			3,6	124	10,8	385		2,14

Profondità della falda (m): 10

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 1 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
0,4	34	Argilla inorganica molto consistente	1,29E-15	-0,02		2,15			1,986	58	10,9	241		0,04
0,6	24	Argilla inorganica molto consistente	1,4E-21	0,01		2,07			1,397	41	2,4	195		0,11
0,8	43	Argilla sabbiosa o limosa	5,09E-10	0,01		2,17			2,164	73	2,84	279		0,15
1	56	Argilla inorganica molto consistente	3,98E-15	0,01		2,26			3,264	95	3,57	328		0,19
1,2	282	Sabbia addensata	0,000145		42	2,16	85	705				880	80	0,24
1,4	294	Sabbia e limo	1,37E-6		43	2,16	85	735				902	81	0,28
1,6	289	Sabbia addensata	3,23E-5		42	2,16	85	723				893	81	0,32
1,8	191	Sabbia e limo	4,62E-9		41	2,16	85	478				693	78	0,37
2	54	Argilla inorganica molto consistente	2,11E-15	0,03		2,26			3,134	92	1,97	320		0,41
2,2	51	Argilla sabbiosa o limosa	7,79E-13	0,03		2,21			2,553	87	1,49	309		0,46
2,4	51	Sabbia mediamente addensata	2,56E-5		35	2,01	66	128				309	60	0,5
2,6	53	Argilla sabbiosa o limosa	4,83E-11	0,04		2,22			2,65	90	1,59	317		0,54

Profondità della falda (m): 10

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO

VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
2,8	47	Argilla sabbiosa o limosa	2,36E-10	0,04		2,19			2,344	80	1,42	294		0,58
3	45	Argilla sabbiosa o limosa	4,62E-12	0,04		2,18			2,241	77	1,43	287		0,63
3,2	38	Argilla sabbiosa o limosa	2,32E-10	0,05		2,14			1,885	65	1,27	258		0,67
3,4	48	Argilla sabbiosa o limosa	1,11E-11	0,05		2,19			2,388	82	1,93	298		0,71
3,6	44	Argilla inorganica molto consistente	2,21E-13	0,05		2,21			2,529	75	2,45	283		0,76
3,8	41	Argilla sabbiosa o limosa	1,55E-9	0,05		2,16			2,03	70	2,35	271		0,8
4	42	Sabbia e limo	2,85E-8		34	1,89	46	105				275	48	0,84
4,2	42	Sabbia e limo	5,46E-8		34	1,88	45	105				275	47	0,88
4,4	41	Argilla sabbiosa o limosa	1,55E-9	0,06		2,16			2,024	70	2,68	271		0,92
4,6	41	Argilla sabbiosa o limosa	4,36E-10	0,06		2,16			2,022	70	6,03	271		0,96
4,8	38	Argilla sabbiosa o limosa	1,3E-11	0,06		2,14			1,868	65	12,2	258		1,01
5	42	Argilla sabbiosa o limosa	9,65E-11	0,06		2,16			2,068	71	13,1	275		1,05
5,2	40	Argilla sabbiosa o limosa	1,82E-11	0,06		2,15			1,965	68	11,7	267		1,09
5,4	40	Argilla inorganica molto consistente	1,21E-12	0,06		2,18			2,273	68	13,4	267		1,14
5,6	37	Argilla inorganica molto consistente	3,34E-12	0,06		2,17			2,095	63	11,5	254		1,18
5,8	44	Argilla inorganica molto consistente	1,55E-12	0,06		2,21			2,502	75	13,8	283		1,22
6	42	Argilla inorganica molto consistente	3,06E-14	0,06		2,19			2,382	71	12,4	275		1,27
6,2	42	Argilla inorganica molto consistente	9,22E-13	0,06		2,19			2,38	71	11,9	275		1,31
6,4	43	Argilla inorganica molto consistente	5,9E-14	0,06		2,2			2,436	73	11,7	279		1,36
6,6	44	Argilla inorganica molto consistente	2,99E-14	0,06		2,2			2,491	75	11,6	283		1,4
6,8	51	Argilla inorganica molto consistente	1,39E-13	0,06		2,24			2,898	87	13,5	309		1,44
7	55	Argilla sabbiosa o limosa	2,68E-12	0,06		2,22			2,703	94	11,9	324		1,49
7,2	46	Argilla inorganica molto consistente	3,52E-13	0,06		2,21			2,601	78	10,9	290		1,53
7,4	47	Argilla inorganica molto consistente	4,86E-14	0,06		2,22			2,657	80	10,8	294		1,58

Profondità della falda (m): 10

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO

VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
7,6	46	Argilla inorganica molto consistente	2,65E-14	0,06		2,21			2,595	78	10,1	290		1,62
7,8	47	Argilla inorganica molto consistente	2,74E-14	0,06		2,22			2,651	80	10,1	294		1,67
8	46	Argilla inorganica molto consistente	2,65E-14	0,06		2,21			2,59	78	9,5	290		1,71
8,2	49	Argilla inorganica molto consistente	7,26E-15	0,06		2,23			2,763	83	9,98	302		1,75
8,4	49	Argilla inorganica molto consistente	2,44E-14	0,06		2,23			2,761	83	9,66	302		1,8
8,6	49	Argilla inorganica molto consistente	1,4E-14	0,06		2,23			2,758	83	9,36	302		1,84
8,8	50	Argilla inorganica molto consistente	2,57E-13	0,06		2,23			2,814	85	9,31	306		1,89
9	59	Argilla sabbiosa o limosa	1,92E-12	0,06		2,24			2,882	100	9,32	338		1,93
9,2	54	Argilla sabbiosa o limosa	6,09E-13	0,07		2,22			2,628	92	8,07	320		1,98
9,4	54	Argilla inorganica molto consistente	2,1E-13	0,06		2,25			3,04	92	9,41	320		2,02
9,6	55	Argilla sabbiosa o limosa	9,59E-13	0,07		2,22			2,674	94	7,8	324		2,07
9,8	59	Argilla sabbiosa o limosa	6,76E-13	0,07		2,24			2,873	100	8,31	338		2,11
10	56	Argilla inorganica molto consistente	1,76E-13	0,07		2,26			3,149	95	9,08	328		2,16
10,2	59	Argilla inorganica molto consistente	1,48E-13	0,06		2,27			3,322	100	9,51	338		2,19
10,4	54	Argilla inorganica molto consistente	3,89E-15	0,07		2,25			3,028	92	8,35	320		2,22
10,6	58	Argilla inorganica molto consistente	1,17E-14	0,07		2,26			3,261	99	9,03	335		2,24
10,8	67	Argilla sabbiosa o limosa	2,42E-13	0,07		2,26			3,269	114	8,94	366		2,27
11	71	Argilla sabbiosa o limosa	5,34E-14	0,06		2,28			3,47	121	9,49	379		2,29
11,2	66	Argilla sabbiosa o limosa	6,45E-13	0,07		2,26			3,216	112	8,52	362		2,32
11,4	65	Argilla sabbiosa o limosa	7,1E-13	0,07		2,26			3,165	111	8,24	359		2,34
11,6	69	Argilla sabbiosa o limosa	5,21E-13	0,07		2,27			3,365	117	8,77	372		2,37
11,8	66	Argilla sabbiosa o limosa	1,07E-13	0,07		2,26			3,213	112	8,17	362		2,39
12	71	Argilla sabbiosa o limosa	3,77E-12	0,07		2,28			3,464	121	8,86	379		2,42
12,2	67	Argilla sabbiosa o limosa	2,42E-13	0,07		2,26			3,26	114	8,1	366		2,44

Profondità della falda (m): 10

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO

VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
12,4	70	Argilla sabbiosa o limosa	5,33E-14	0,07		2,27			3,411	119	8,47	375		2,47
12,6	77	Argilla sabbiosa o limosa	5,13E-12	0,06		2,3			3,763	131	9,45	398		2,5
12,8	71	Argilla sabbiosa o limosa	3,77E-12	0,07		2,28			3,459	121	8,4	379		2,52
13	79	Argilla sabbiosa o limosa	2,86E-13	0,06		2,3			3,861	134	9,51	404		2,55
13,2	78	Argilla sabbiosa o limosa	6,73E-13	0,06		2,3			3,81	133	9,24	401		2,57
13,4	86	Argilla sabbiosa o limosa	1,99E-11	0,06		2,32			4,212	146	10,3	426		2,6
13,6	81	Argilla sabbiosa o limosa	3,68E-13	0,06		2,31			3,958	138	9,45	410		2,63
13,8	82	Argilla sabbiosa o limosa	7,54E-13	0,06		2,31			4,008	139	9,48	414		2,65
14	85	Argilla sabbiosa o limosa	9,18E-14	0,06		2,32			4,158	145	9,8	423		2,68
14,2	89	Argilla sabbiosa o limosa	3,82E-12	0,06		2,33			4,358	151	10,2	435		2,71
14,4	91	Argilla sabbiosa o limosa	4,5E-12	0,06		2,33			4,458	155	10,4	441		2,73
14,6	92	Argilla sabbiosa o limosa	8,2E-12	0,06		2,34			4,507	156	10,4	444		2,76
14,8	92	Argilla sabbiosa o limosa	5,8E-12	0,06		2,34			4,506	156	10,3	444		2,79
15	85	Argilla sabbiosa o limosa	6,51E-14	0,07		2,32			4,151	145	9,21	423		2,81
15,2	87	Argilla sabbiosa o limosa	3,78E-13	0,06		2,32			4,251	148	9,37	429		2,84
15,4	85	Argilla sabbiosa o limosa	9,18E-14	0,07		2,32			4,148	145	8,99	423		2,86
15,6	89	Argilla sabbiosa o limosa	2,34E-13	0,06		2,33			4,349	151	9,42	435		2,89
15,8	87	Argilla sabbiosa o limosa	3,78E-13	0,07		2,32			4,247	148	9,04	429		2,92
16	91	Argilla sabbiosa o limosa	8,36E-13	0,06		2,33			4,447	155	9,47	441		2,94
16,2	93	Argilla sabbiosa o limosa	5,22E-13	0,06		2,34			4,547	158	9,63	447		2,97
16,4	94	Argilla sabbiosa o limosa	4,82E-13	0,06		2,34			4,596	160	9,65	450		3
16,6	93	Argilla sabbiosa o limosa	1,85E-13	0,06		2,34			4,544	158	9,41	447		3,02
16,8	97	Argilla sabbiosa o limosa	3,87E-14	0,06		2,35			4,745	165	9,82	458		3,05
17	96	Argilla sabbiosa o limosa	2,84E-14	0,06		2,35			4,693	163	9,58	455		3,08

Profondità della falda (m): 10

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO

VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
17,2	96	Argilla sabbiosa o limosa	2,26E-13	0,06		2,35			4,692	163	9,48	455		3,11
17,4	97	Argilla sabbiosa o limosa	1,48E-13	0,06		2,35			4,741	165	9,5	458		3,13
17,6	97	Argilla sabbiosa o limosa	6,38E-15	0,06		2,35			4,74	165	9,39	458		3,16
17,8	97	Argilla sabbiosa o limosa	2,14E-15	0,06		2,35			4,738	165	9,29	458		3,19
18	99	Argilla inorganica molto consistente	0	0,06		2,39			5,602	168	11,3	464		3,21

Profondità della falda (m): 10

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 1 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

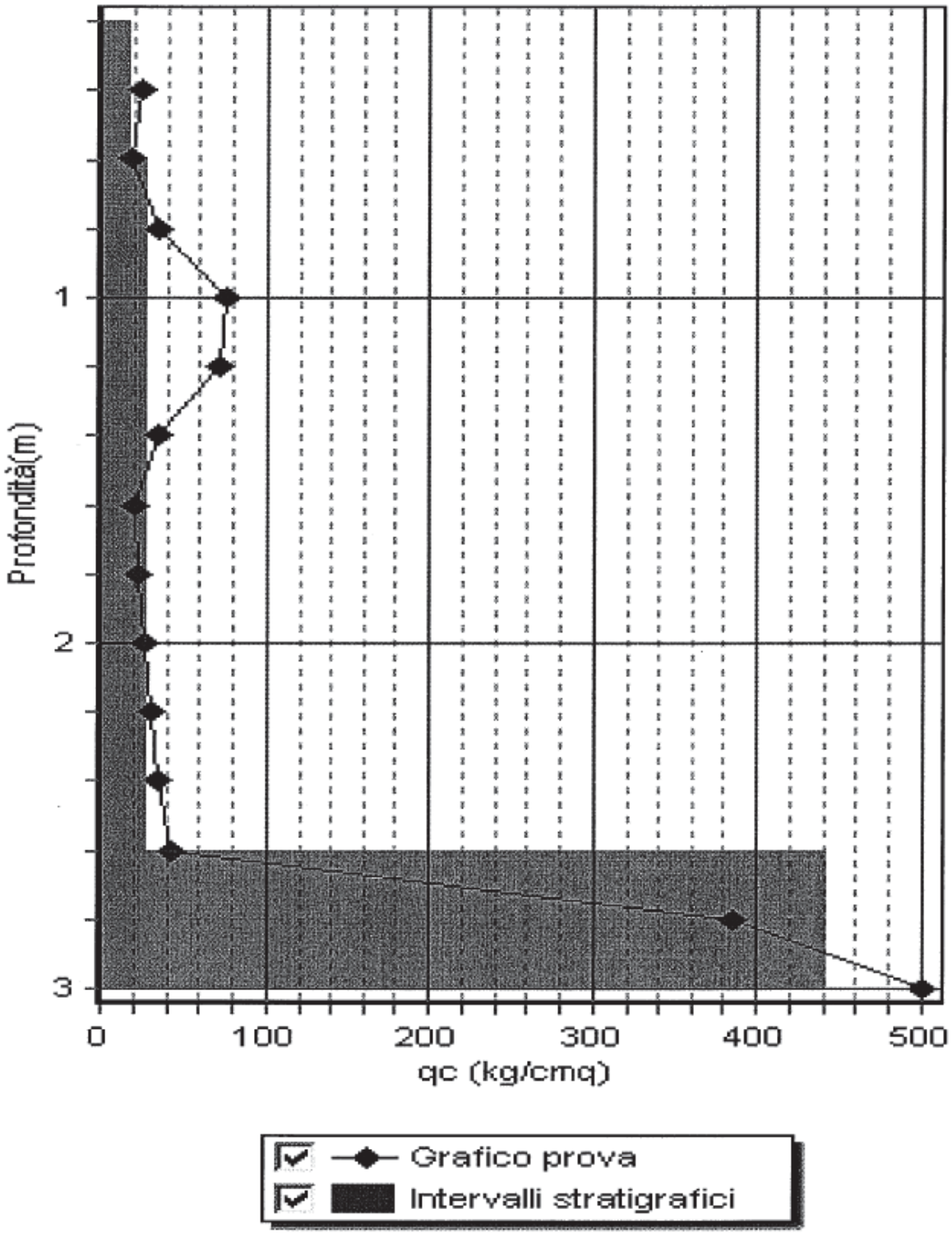
Quota(m): Sigla: \CPT1

Metodi di calcolo dei parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	*Angolo di resistenza al taglio (°)*	*Mod. edom. incoerenti (kg/cmq)*	*Coesione non drenata (kg/cmq)*	*Mod.edom. coesivi (kg/cmq)*	*Densità relativa (%)*	*Modulo di Young (kg/cmq)*	*Mod.dinamico di taglio incoerenti (kg/cmq)*	*Mod.dinamico di taglio coesivi (kg/cmq)*	*Rapporto di sovra consolidazione*
0,6			Lunne e Eide	Mitchell e Gardner - CL				Imai e Tomouchi	Ladd & Foot
1			Lunne e Eide	Mitchell e Gardner - CL				Imai e Tomouchi	Ladd & Foot
18			Lunne e Eide	Mitchell e Gardner - CL				Imai e Tomouchi	Ladd & Foot

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PEDAGUA SITO 2



PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO

VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 2 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Stratigrafia - metodo: Schmertmann (1978)

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs(kg/cmq)	Descrizione litologica	Comport. meccanico
0,6	17,62	0,8	Argilla inorganica molto consistente	1
2,6	28,68	3,27	Argilla inorganica molto consistente	1
3	442	6,67	Sabbia addensata	0

qc = resistenza alla punta fs = attrito laterale specifico

Comportamento meccanico dello strato: 0 = incoerente - 1 = coesivo - 2 = intermedio

Lunghezza della prova (m):	*3*	*Profondità di partenza (m):*	*0,2*
Profondità della falda (m):	*non*	*Passo di lettura (cm):*	*20*
Area della punta (cmq):	*10*	*Area del manicotto (cmq):*	*150*
Costante strumentale:	*10*	*Tipo di penetrometro: a punta meccanica*	
Fattore a (piezocono):	*0,5*	*Fattore b (piezocono):*	*0,00726*

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 2 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
0,6	18	Argilla inorganica molto consistente	4,11E-10	0,01		2,01			1,049	63	3,3	164		0,06
2,6	29	Argilla inorganica molto consistente	1,45E-23	0,03		2,12			1,678	49	1,02	219		0,33
3	442	Sabbia addensata	3,02E-5		44	2,16	85	1105				1157	89	0,59

Profondità della falda (m): non rilevata

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 2 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
0,4	25	Argilla inorganica molto consistente	1,59E-15	-0,01		2,08			1,46	43	7,78	200		0,04
0,6	19	Argilla inorganica consistente	1,64E-11	0,02		2,02			1,105	67	1,86	169		0,1
0,8	36	Argilla inorganica molto consistente	1,32E-20	0,01		2,17			2,097	61	2,82	250		0,15
1	77	Argilla sabbiosa o limosa	3,41E-12	0		2,3			3,88	131	4,53	398		0,19
1,2	71	Argilla inorganica molto consistente	8,44E-16	0,01		2,32			4,139	121	3,96	379		0,24
1,4	35	Argilla inorganica molto consistente	3,42E-21	0,03		2,16			2,031	60	1,42	246		0,28
1,6	21	Argilla inorganica molto consistente	3,62E-26	0,04		2,04			1,209	36	0,68	180		0,32
1,8	23	Argilla inorganica molto consistente	1,68E-22	0,04		2,06			1,324	39	0,71	190		0,36
2	26	Argilla inorganica molto consistente	6,18E-24	0,04		2,09			1,497	44	0,8	205		0,41
2,2	31	Argilla inorganica molto consistente	1,55E-24	0,04		2,13			1,787	53	0,97	228		0,45
2,4	34	Argilla inorganica molto consistente	6,02E-21	0,04		2,15			1,96	58	1,09	241		0,49
2,6	44	Argilla inorganica molto consistente	1,6E-56	0,04		2,21			2,542	75	1,54	283		0,53

Profondità della falda (m): non rilevata

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Profondità base strato(m)	qc (kg/cmq)	Descrizione litologica dello strato	k (m/s)	Cc	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Modulo edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Modulo dinamico di taglio (kg/cmq)	Modulo edom. incoerenti (kg/cmq)	Pres.eff. a metà strato (kg/cmq)
2,8	384	Sabbia addensata	1,23E-5		44	2,16	85	960				1062	87	0,58
3	500	Argilla inorganica molto consistente	0	-0,01		2,75			29,204	850	35,5	1248		0,63

Profondità della falda (m): non rilevata

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PROGRAM GEO
SOFTWARE DI GEOLOGIA APPLICATA

DOTT.GEOL.BORGHETTI MASSIMO
VIA TIBERTI 21 47521 CESENA (FC)
tel-fax 0547 29376- email bm2r@interfree.it

Committente: CESI Soc.Coop

Località: PEDAGNA SITO 2 COMUNE DI IMOLA

Data: OTTOBRE 2012 Attrezzatura: PENETROMETRO STATICO PAGANI MODELLO 20 TON.

Note: QUOTAINIZIO PERFORAZIONE PIANO CAMPAGNA ATTUALE

Quota(m): Sigla: \CPT1

Metodi di calcolo dei parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	*Angolo di resistenza al taglio (°)*	*Mod. edom. incoerenti (kg/cmq)*	*Coesione non drenata (kg/cmq)*	*Mod.edom. coesivi (kg/cmq)*	*Densità relativa (%)*	*Modulo di Young (kg/cmq)*	*Mod.dinamico di taglio incoerenti (kg/cmq)*	*Mod.dinamico di taglio coesivi (kg/cmq)*	*Rapporto di sovra consolidazione*
0,6			Lunne e Eide	Mitchell e Gardner - CL				Imai e Tomouchi	Ladd & Foot
2,6			Lunne e Eide	Mitchell e Gardner - CL				Imai e Tomouchi	Ladd & Foot
3	Meyerhof	Robertson e Campanella			Harman	Schmertmann	Imai e Tomouchi		

Dott. Geol. Borghetti Massimo

PREMESSA – SITO 1

Il giorno 26/10/2012 a Imola (BO) - Pedagna - Sito 1 è stata eseguita un'indagine geofisica mediante una prova MASW (ubicazione fig. 1) per il calcolo del valore Vs_{30}. Lo scopo dell'indagine era di ottenere la stratigrafia delle velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vs_{30}.
In questo cantiere è stata realizzata n. 1 prova MASW.



Fig. 1

Le caratteristiche della prova sono:

Nome	Stendimento geofonico (m)	Energizzaz.	Geofoni
Pedagna S1	46	3	24

ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali; questo viene interpretato con la metodologia MASW.
Questa pratica permette di utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali e di costruire un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh.
L'inversione della curva di dispersione viene realizzata utilizzando la curva ottenuta dalla modellazione diretta.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA



fig. 2

La strumentazione utilizzata (fig. 2) è costituita da:
un sismografo PASI 16S24P; processore Intel Celeron; Ambiente Operativo Windows Xp; Numero canali 24; Display VGA a colori LCD toch screen; Supporto memorizzazione Hard-Disk;
Temperatura di funzionamento 0°-55°; Umidità 5% - 90%; 24 geofoni da 4.5Hz; una mazza da 8 Kg;

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:
1- acquisizione dei dati di campo;
2- estrazione della curva di dispersione;
3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

ELABORAZIONE E RISULTATI

In allegato sono riportati i risultati della prova MASW eseguita.
Nella prima figura (allegato 1) si osserva l'acquisizione delle onde generate in seguito all'energizzazione.
Segue (allegato 2) il piking effettuato sulla curva di dispersione per la modellazione delle Vs.
Infine viene mostrato il grafico delle Vs (allegato 3).
La Vs_{30} è stata ricavata mediante l'utilizzo della formula sotto riportata:

$$V_{S30} = \frac{30}{\Sigma_{i=1,N} \; h_i / V_i}$$

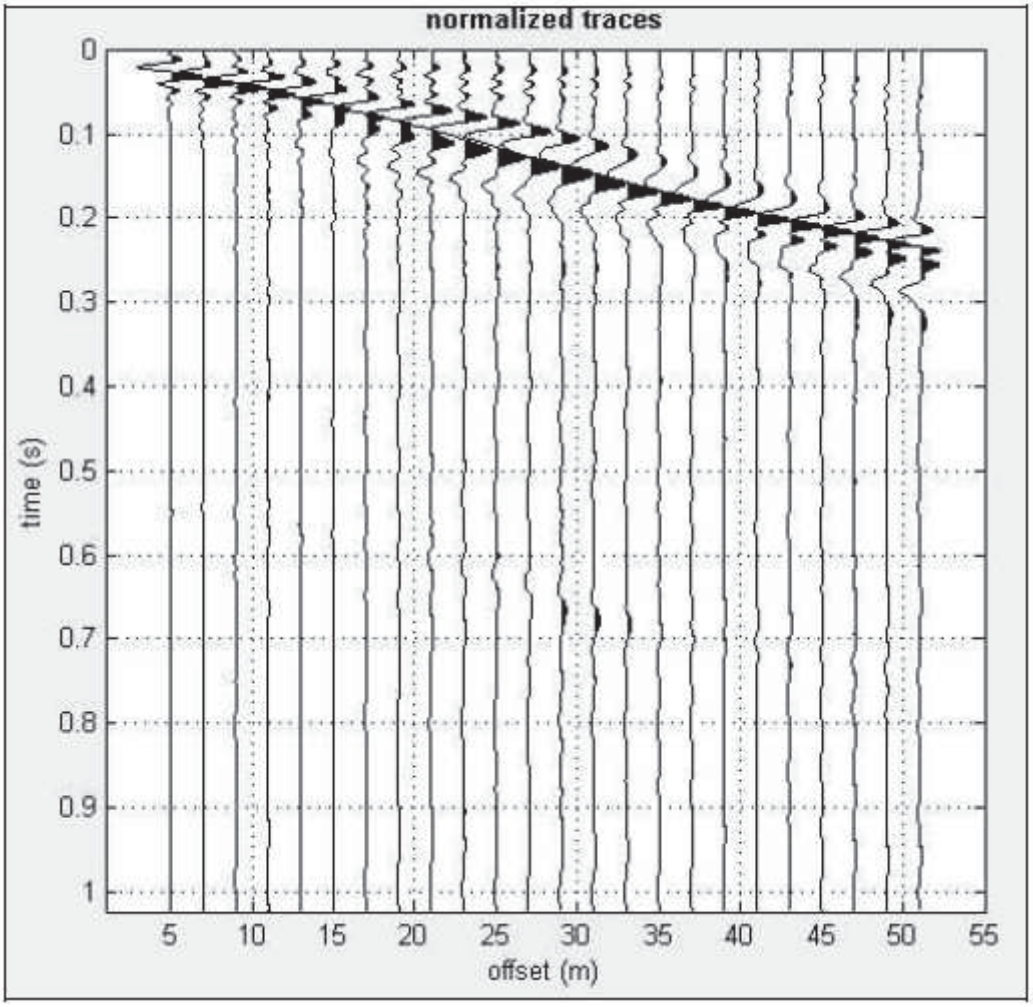
dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

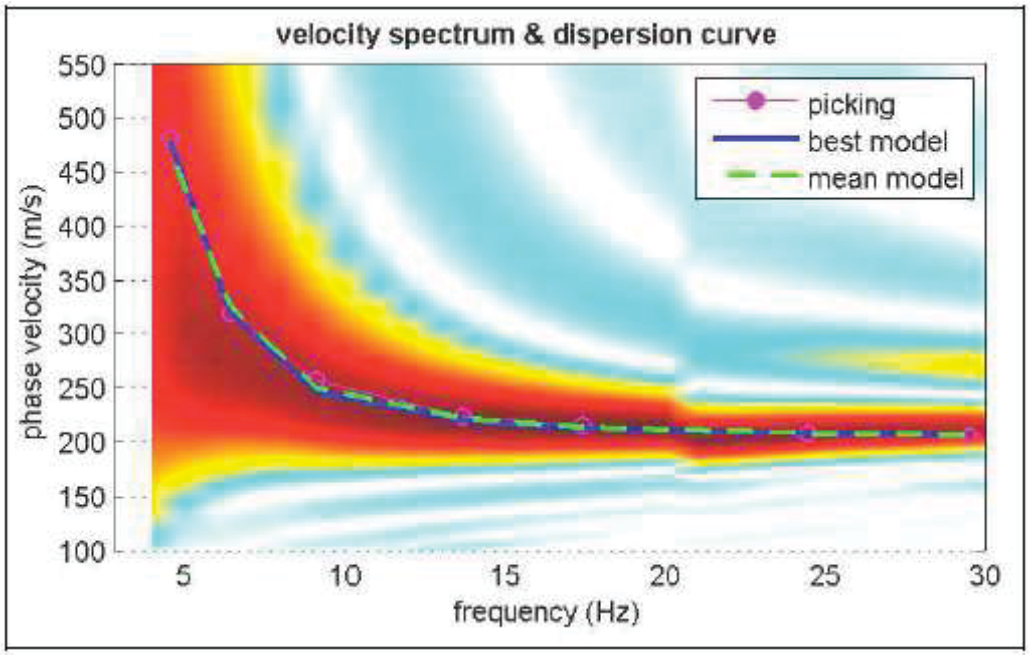
Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

ALLEGATO 1 - Acquisizione delle onde



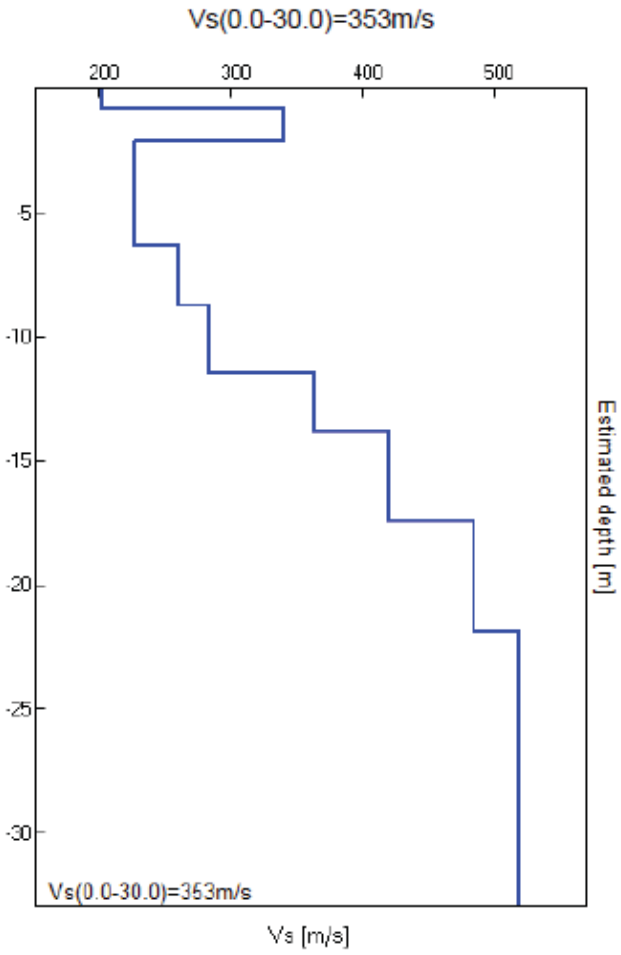
ALLEGATO 2 - Picking della curva di dispersione



Dott. Geol. Borghetti Massimo

ALLEGATO 3 - CALCOLO VS

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.80	0.80	202
2.10	1.30	341
6.30	4.20	227
8.70	2.40	261
11.50	2.80	283
13.80	2.30	364
17.40	3.60	421
21.90	4.50	486
inf.	inf.	520

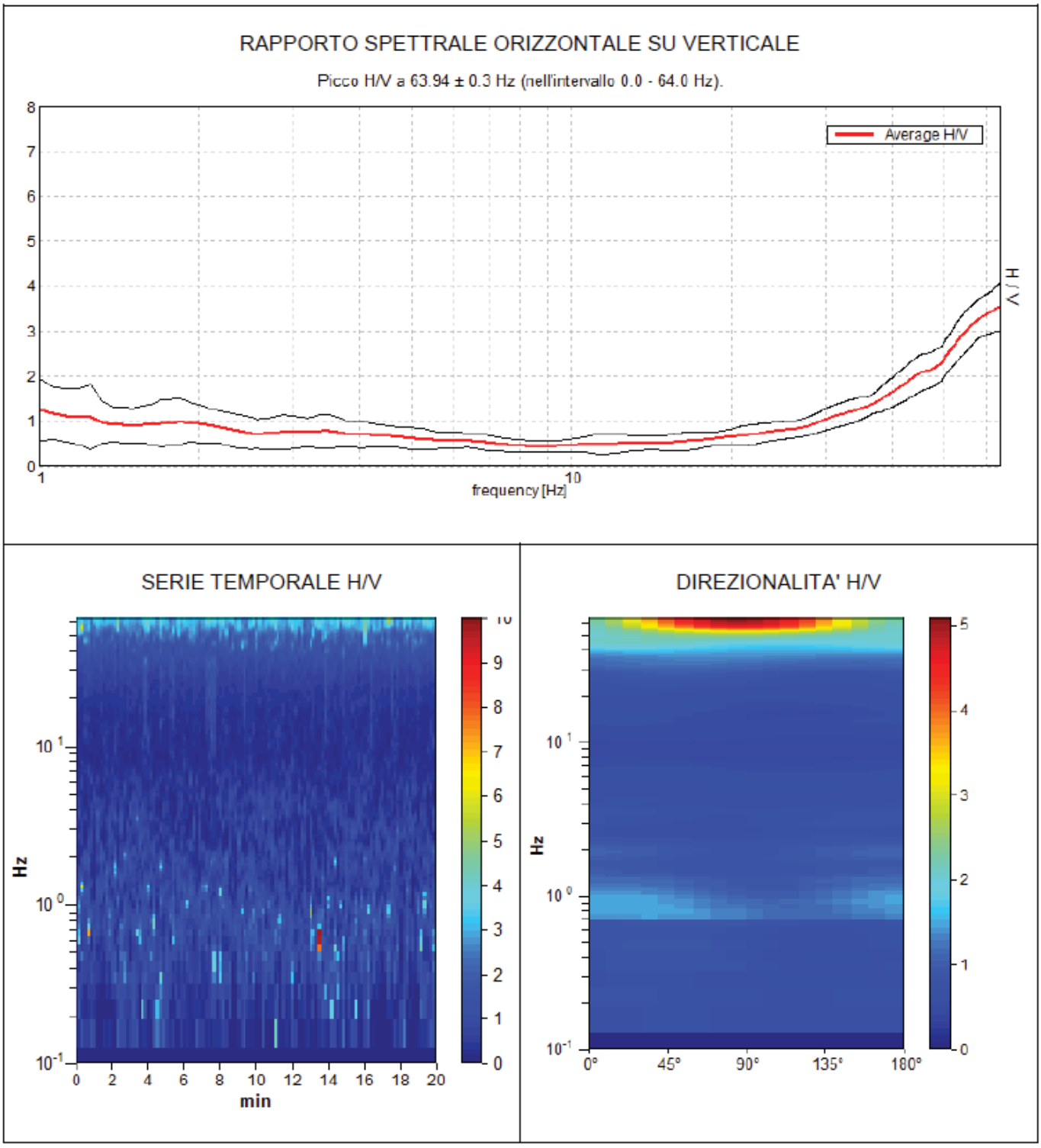


Profondità di calcolo	Vs30 m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	353	C
1,00-31,00mt.	364	B
2,00-32,00mt.	368	B
3,00-33,00mt.	379	B
4,00-34,00mt.	392	B

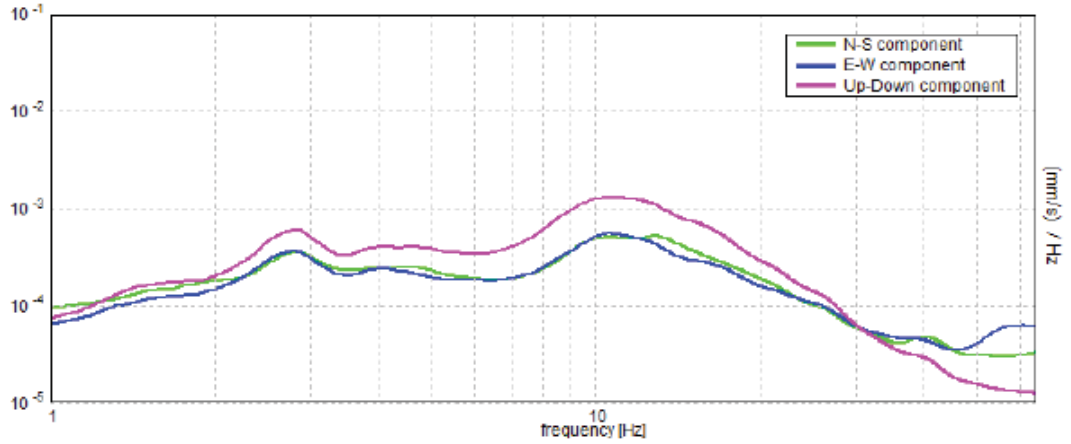
IMOLA - PEDAGNA SITO 1

Inizio registrazione: 26/10/12 10:48:40 Fine registrazione: 26/10/12 11:08:41
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS: 44.337379 – 11.682496

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 10 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

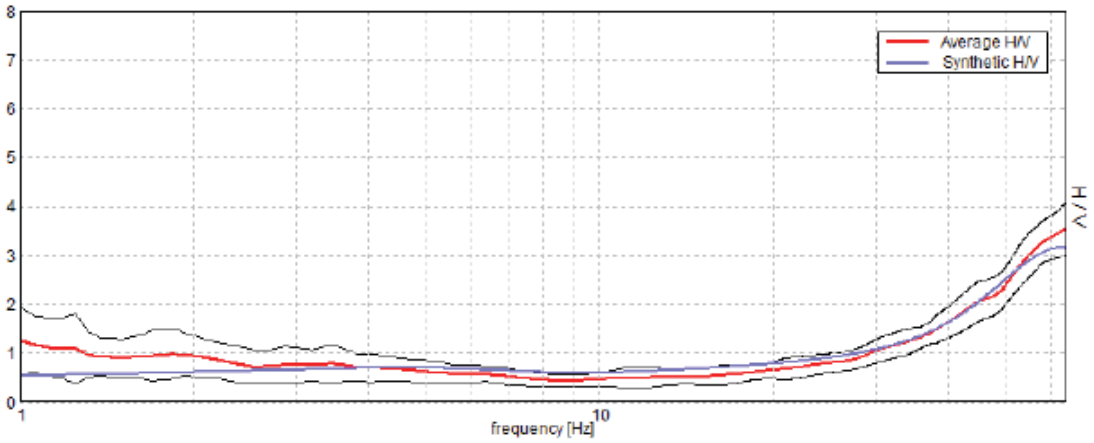


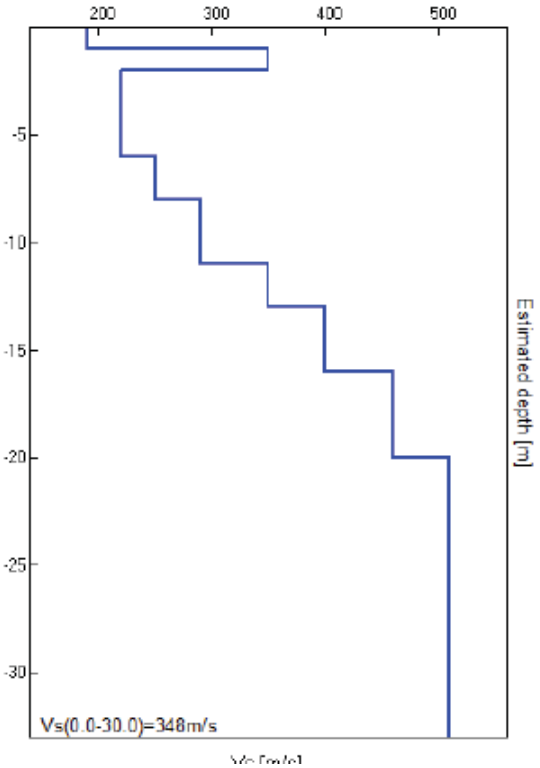
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 63.94 ± 0.3 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	190
2.00	1.00	350
6.00	4.00	220
8.00	2.00	250
11.00	3.00	290
13.00	2.00	350
16.00	3.00	400
20.00	4.00	460
inf.	inf.	510

Vs(0.0-30.0)=348m/s

Picco H/V a 63.94 ± 0.3 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	63.94 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	76725.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz	Superato 0 volte su 514	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	41.563 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.55 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00237| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.15158 < 3.19688	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.274 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

According to the Sesame, 2005 guidelines.

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

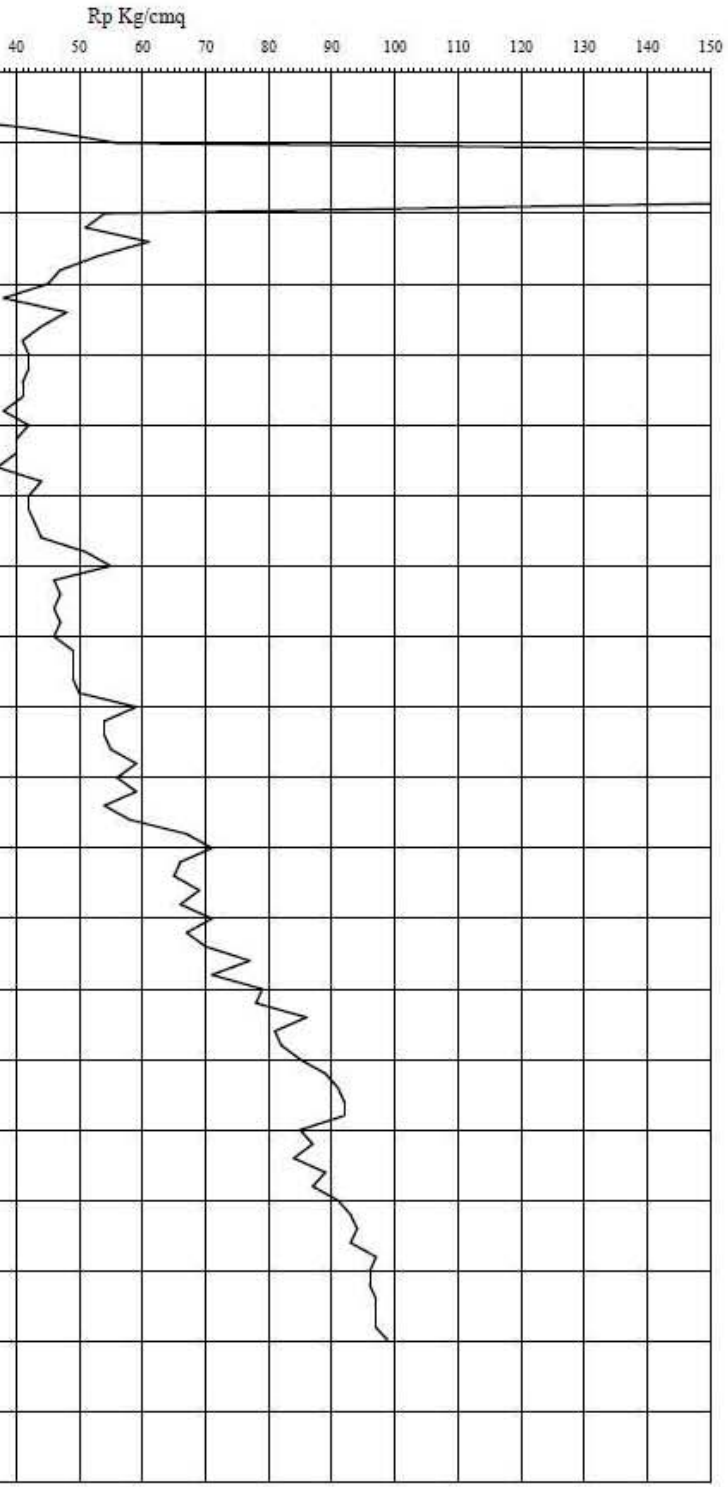
Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio (Vs30) :

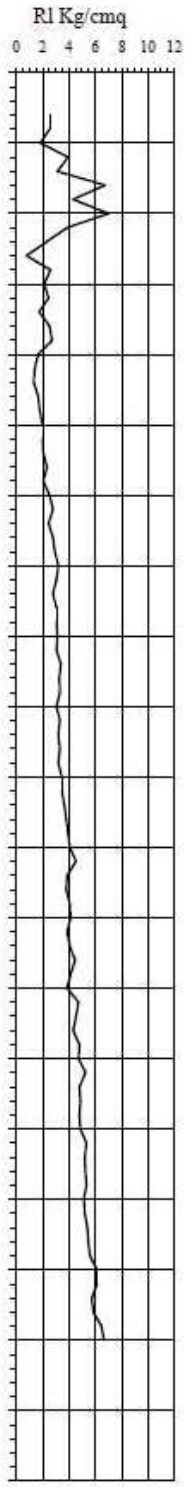
profondità di calcolo	Vs30 m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	348	C
1,00-31,00mt.	362	B
2,00-32,00mt.	366	B
3,00-33,00mt.	378	B
4,00-34,00mt.	391	B

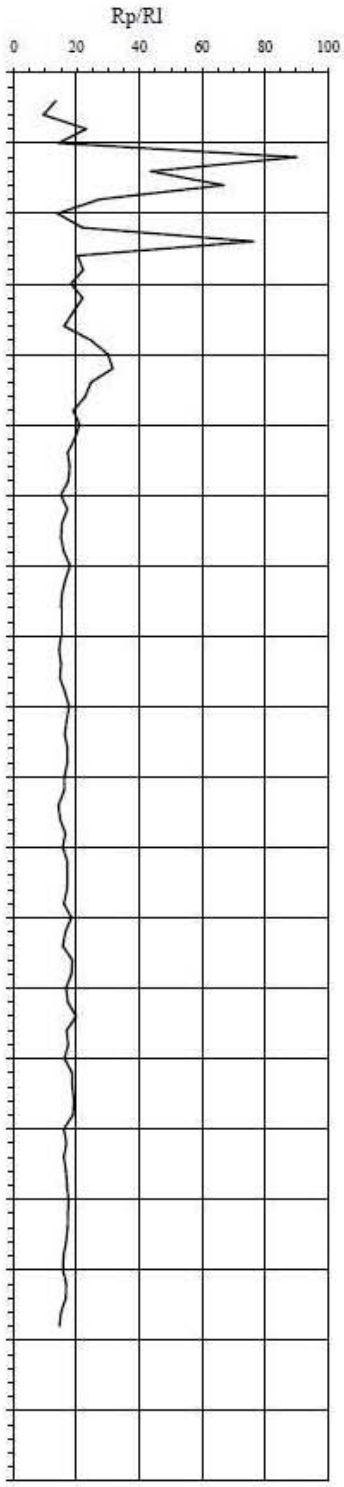
D) - Pedagna - Sito 1

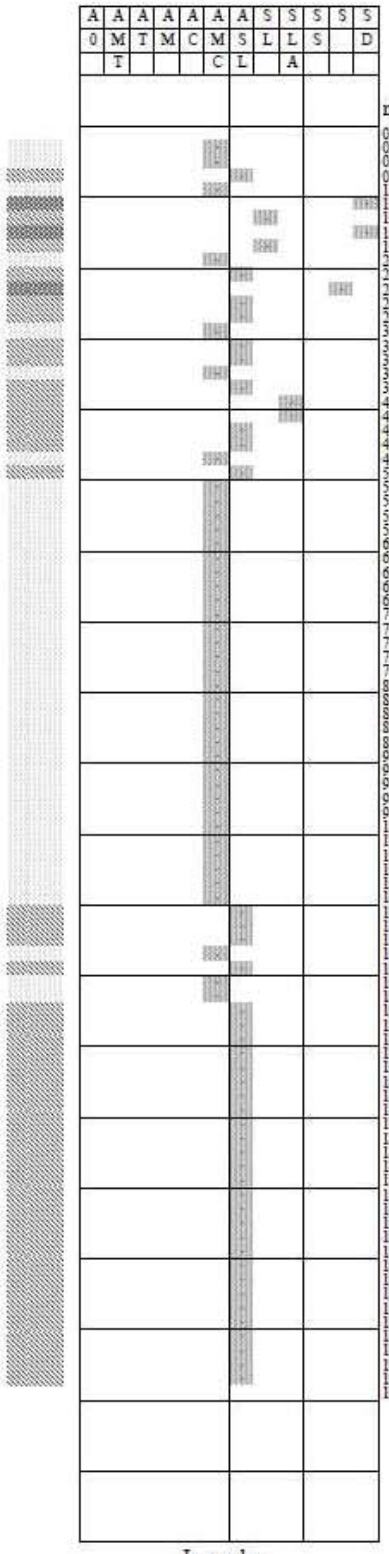
Liv.falda: -10,00 mt. circa

Note:









mt.	Rp	Rl	Rp/Rl
0.2			13.42
0.4	34		9.47
0.6	34	2.53	13.04
0.8	43	2.53	12.24
1	56	1.87	90.00
1.2	282	3.93	43.66
1.4	264	3.13	66.69
1.6	289	6.73	27.29
1.8	191	4.33	13.97
2	54	7.00	11.86
2.2	51	3.87	76.25
2.4	61	2.33	20.38
2.6	55	0.80	19.05
2.8	47	2.60	18.24
3	45	2.13	21.92
3.2	58	2.47	18.95
3.4	48	1.73	16.10
3.6	44	2.53	24.60
3.8	41	2.73	30.00
4	42	1.67	31.50
4.2	42	1.40	24.60
4.4	41	1.33	22.78
4.6	41	1.67	19.00
4.8	38	1.80	21.00
5	42	2.00	19.35
5.2	40	2.00	17.14
5.4	40	2.07	17.90
5.6	37	2.33	17.37
5.8	44	2.07	15.00
6	42	2.53	17.03
6.2	42	2.80	15.36
6.4	43	2.47	15.00
6.6	44	2.80	15.94
6.8	51	2.93	17.93
7	55	3.20	16.43
7.2	46	3.07	15.35
7.4	47	2.80	15.00
7.6	46	3.07	15.00
7.8	47	3.07	15.00
8	46	3.13	14.41
8.2	49	3.07	15.00
8.4	49	3.40	14.70
8.6	49	3.27	16.30
8.8	50	3.33	17.70
9	59	3.07	16.88
9.2	54	3.33	16.20
9.4	54	3.20	17.19
9.6	55	3.33	17.02
9.8	59	3.20	16.15
10	56	3.47	16.09
10.2	59	3.47	14.21
10.4	54	3.67	14.75
10.6	58	3.80	16.48
10.8	67	3.93	15.66
11	71	4.07	17.07
11.2	66	4.53	17.11
11.4	65	3.87	16.97
11.6	69	3.80	15.97
11.8	66	4.07	18.36
12	71	4.13	16.48
12.2	67	3.87	15.67
12.4	70	4.07	18.63
12.6	77	4.47	18.36
12.8	71	4.13	16.69
13	70	3.87	17.21
13.2	78	4.73	19.85
13.4	86	4.53	16.88
13.6	81	4.33	17.32
13.8	83	4.80	16.14
14	85	4.73	18.54
14.2	89	5.27	18.70
14.4	91	4.80	19.17
14.6	92	4.87	18.90
14.8	92	4.80	15.94
15	85	4.87	16.73
15.2	87	5.33	19.05
15.4	84	5.20	16.69
15.6	89	5.27	16.95
15.8	87	5.33	17.50
16	91	5.13	17.22
16.2	93	5.20	17.20
16.4	94	5.40	16.61
16.6	93	5.47	15.82
16.8	97	5.60	16.65
17	96	6.13	16.94
17.2	96	5.73	16.53
17.4	97	5.73	15.00
17.6	97	5.87	14.55
17.8	97	6.47	
18	99	6.67	

Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione

ϕ °	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt
		1.7	
		1.2	
		2.15	
		2.8	
50	1.01		70.5
51	1.02		73.5
			72.25
			47.75
		2.7	
		2.55	
36	0.45		15.25
		2.65	
		2.35	
		2.55	
		1.9	
		2.4	
		2.2	
		2.05	
			10.5
			10.5
		2.05	
		2.05	
		1.9	
		2.1	
		2	
		1.85	
		2.2	
		2.1	
		2.1	
		2.15	
		2.2	
		2.55	
		2.75	
		2.3	
		2.35	
		2.3	
		2.35	
		2.3	
		2.45	
		2.45	
		2.45	
		2.5	
		2.95	
		2.7	
		2.7	
		2.75	
		2.95	
		2.8	
		2.95	
		2.7	
		2.9	
		3.35	
		3.55	
		3.3	
		3.25	
		3.45	
		3.3	
		3.55	
		3.35	
		3.5	
		3.85	
		3.55	
		3.95	
		3.9	
		4.3	
		4.05	
		4.1	
		4.25	
		4.45	
		4.55	
		4.6	
		4.6	
		4.25	
		4.35	
		4.2	
		4.45	
		4.35	
		4.55	
		4.65	
		4.7	
		4.65	
		4.85	
		4.8	
		4.8	
		4.85	
		4.85	
		4.85	

PREMESSA – SITO 2

Il giorno 26/10/2012 a Imola (BO) - Pedagna - Sito 2 è stata eseguita un'indagine geofisica mediante una prova MASW (ubicazione fig. 1) per il calcolo del valore Vs30.
Lo scopo dell'indagine era di ottenere la stratigrafia delle velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vs30.
In questo cantiere è stata realizzata n. 1 prova MASW.

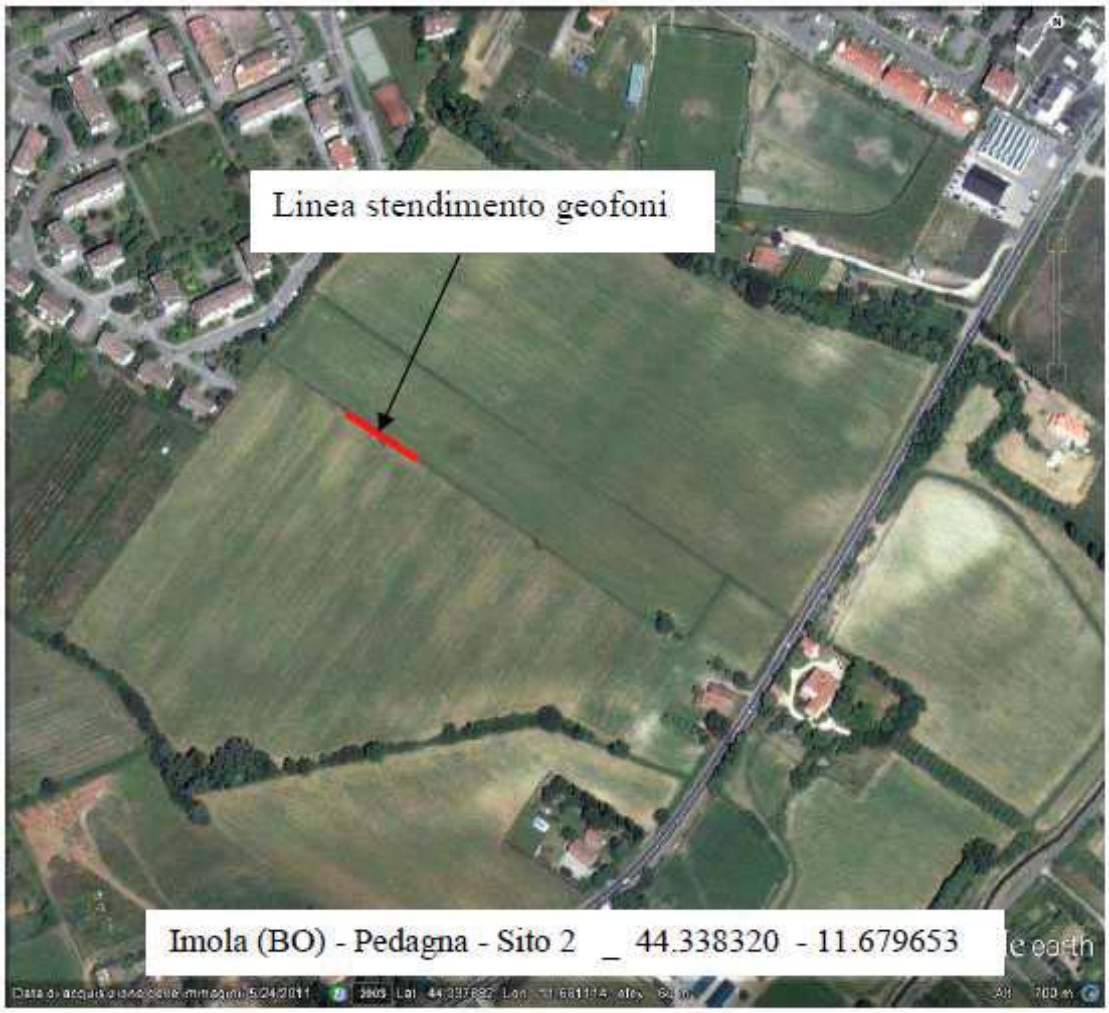


Fig. 1

Le caratteristiche della prova sono:

Nome	Stendimento geofonico (m)	Energizzaz.	Geofoni
Pedagna S2	46	3	24

ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali; questo viene interpretato con la metodologia MASW.
Questa pratica permette di utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali e di costruire un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh.
L'inversione della curva di dispersione viene realizzata utilizzando la curva ottenuta dalla modellazione diretta.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA



fig. 2

La strumentazione utilizzata (fig. 2) è costituita da:
un sismografo PASI 16S24P; processore Intel Celeron; Ambiente Operativo Windows Xp; Numero canali 24; Display VGA a colori LCD toch screen; Supporto memorizzazione Hard-Disk;
Temperatura di funzionamento 0°-55°; Umidità 5% - 90%; 24 geofoni da 4.5Hz; una mazza da 8 Kg;

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:
1- acquisizione dei dati di campo;
2- estrazione della curva di dispersione;
3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

ELABORAZIONE E RISULTATI

In allegato sono riportati i risultati della prova MASW eseguita.
Nella prima figura (allegato 1) si osserva l'acquisizione delle onde generate in seguito all'energizzazione.
Segue (allegato 2) il piking effettuato sulla curva di dispersione per la modellazione delle Vs.
Infine viene mostrato il grafico delle Vs (allegato 3).
La Vs30 è stata ricavata mediante l'utilizzo della formula sotto riportata:

$$V_{S30} = \frac{30}{\Sigma_{i=1,N} \; h_i / V_i}$$

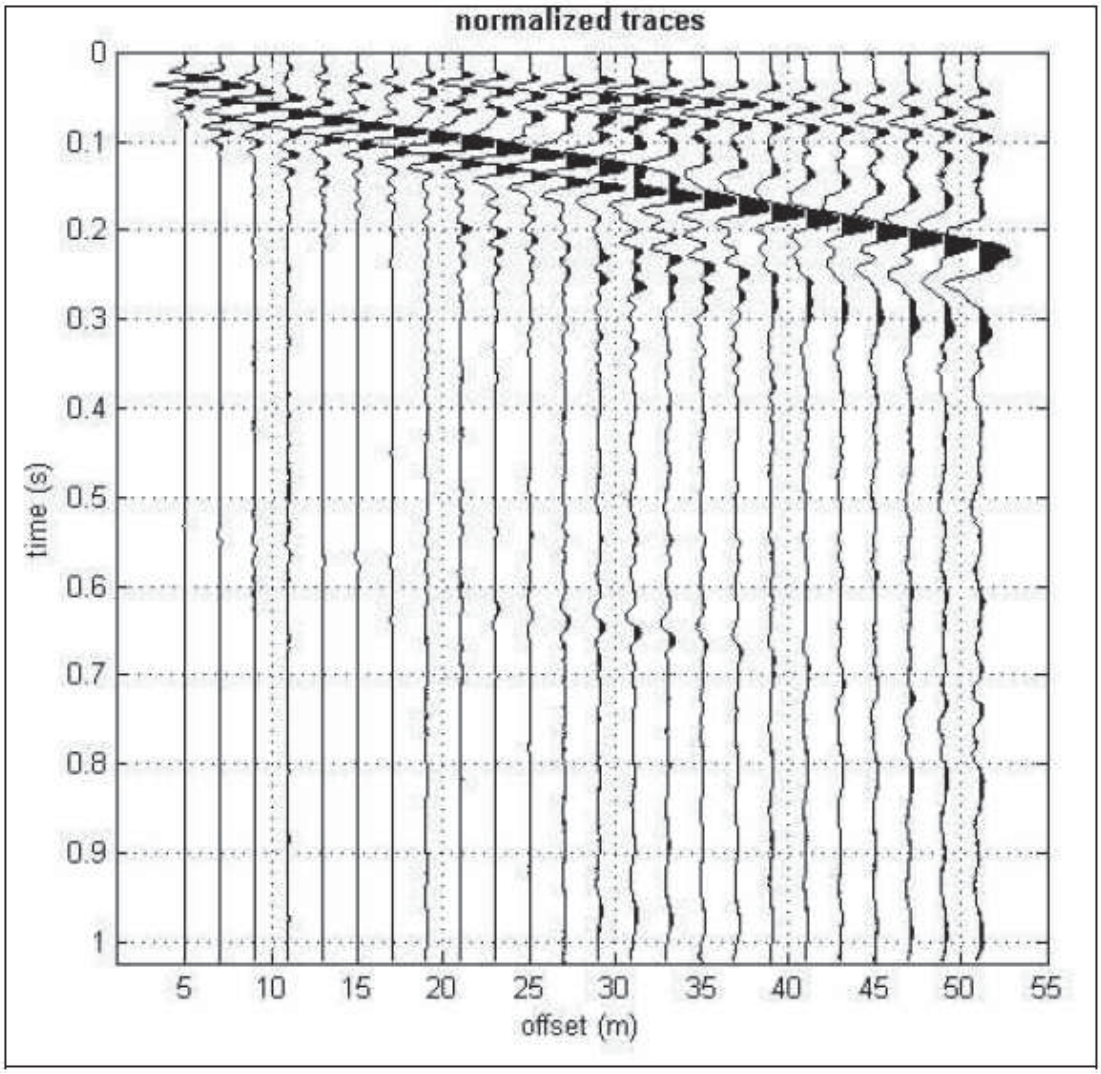
dove *hi* e *Vi* indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

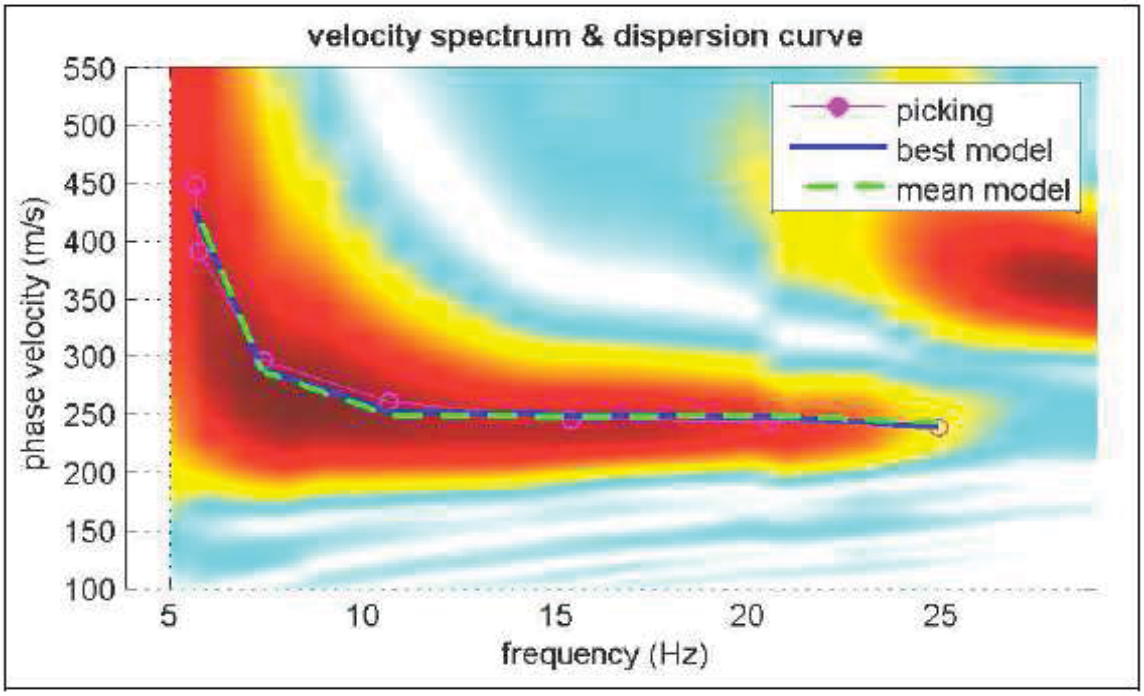
Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

ALLEGATO 1 - Acquisizione delle onde

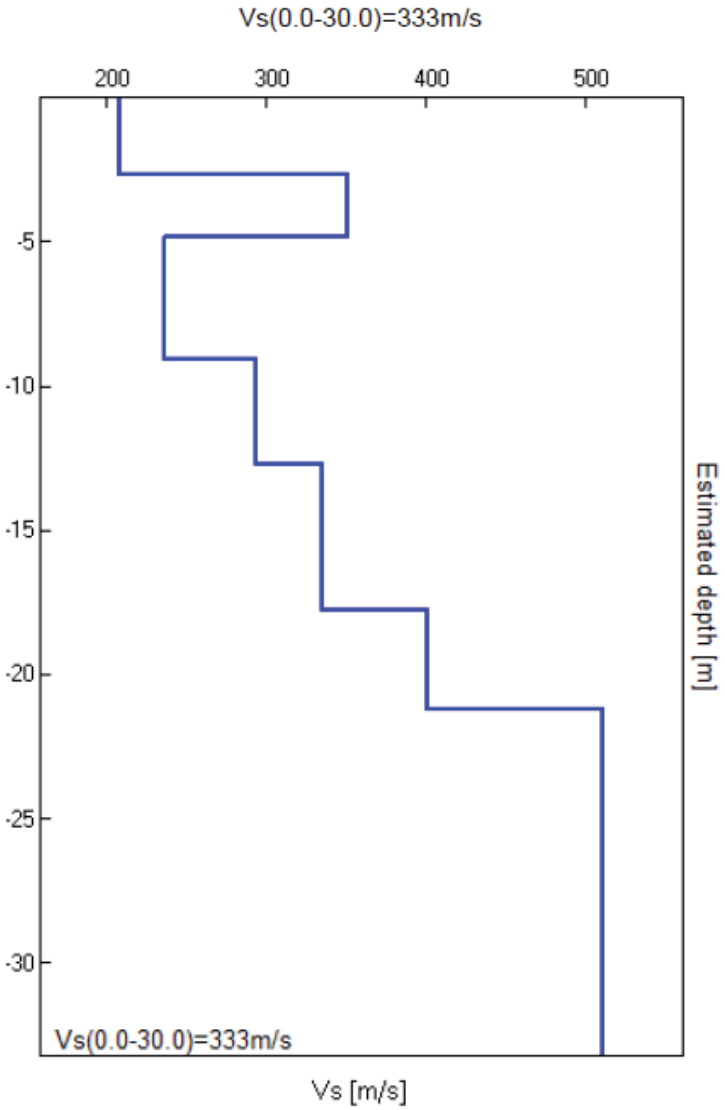


ALLEGATO 2 - Picking della curva di dispersione



ALLEGATO 3 - CALCOLO VS

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.70	2.70	209
4.80	2.10	352
9.10	4.30	237
12.70	3.60	294
17.80	5.10	335
21.20	3.40	402
inf.	inf.	511

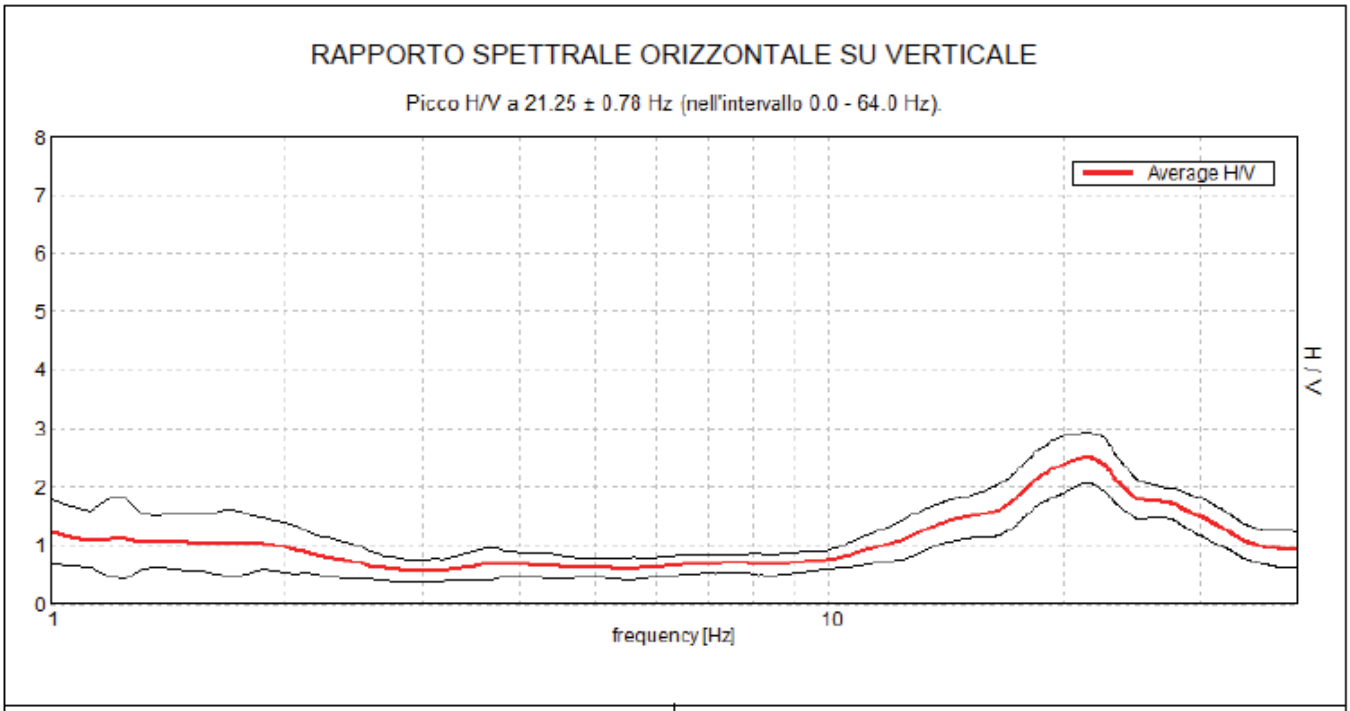


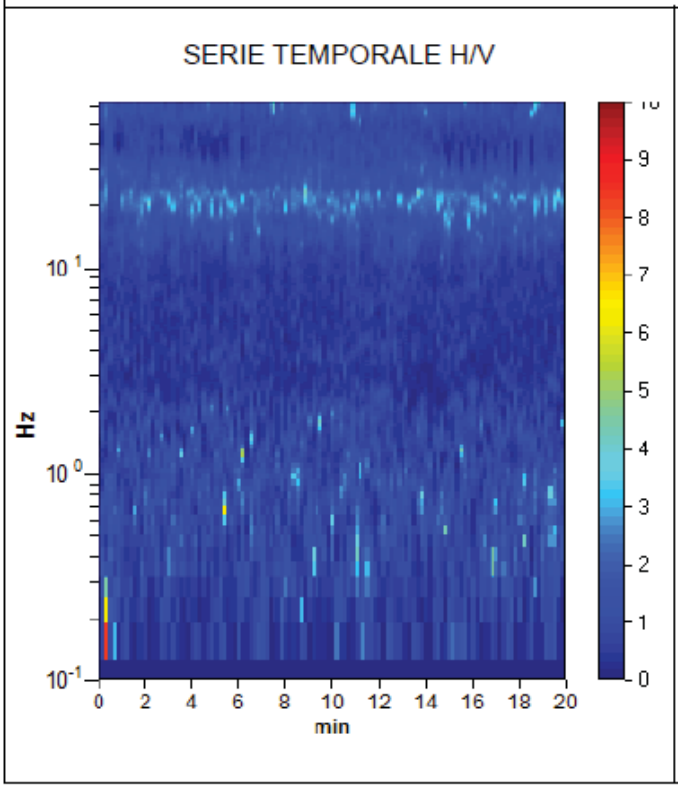
Profondità di calcolo	Vs30 m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	333	C
1,00-31,00mt.	343	C
2,00-32,00mt.	355	C
3,00-33,00mt.	365	B
4,00-34,00mt.	369	B

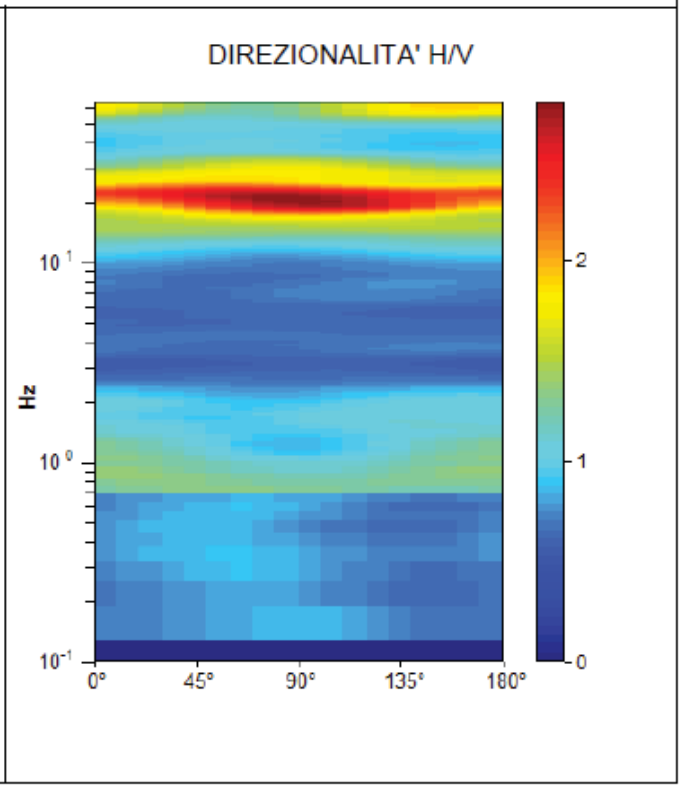
IMOLA - PEDAGNA SITO 2

Inizio registrazione: 26/10/12 11:44:06 Fine registrazione: 26/10/12 12:04:07
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS: 44.338320 – 11.679653

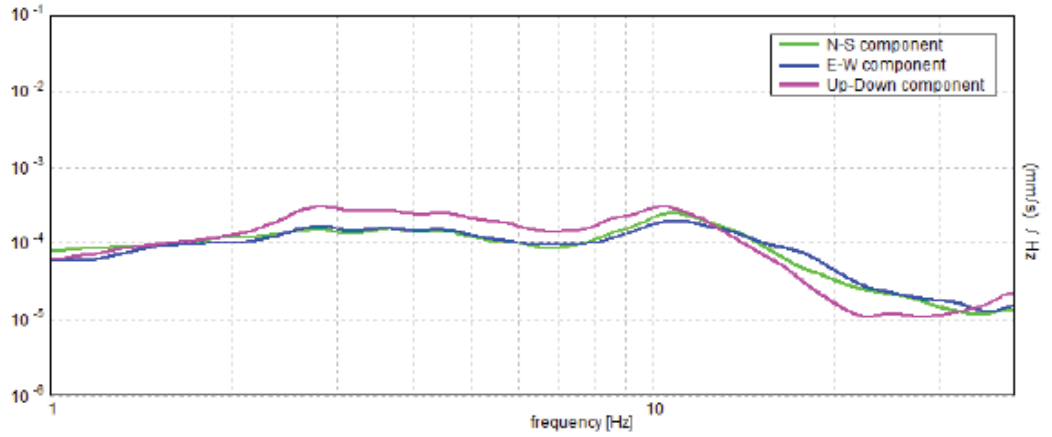
Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 10 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%





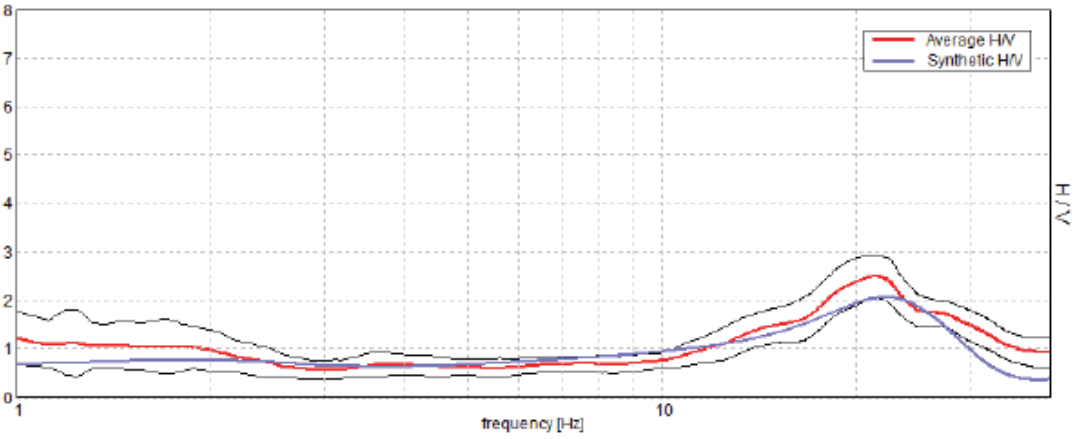


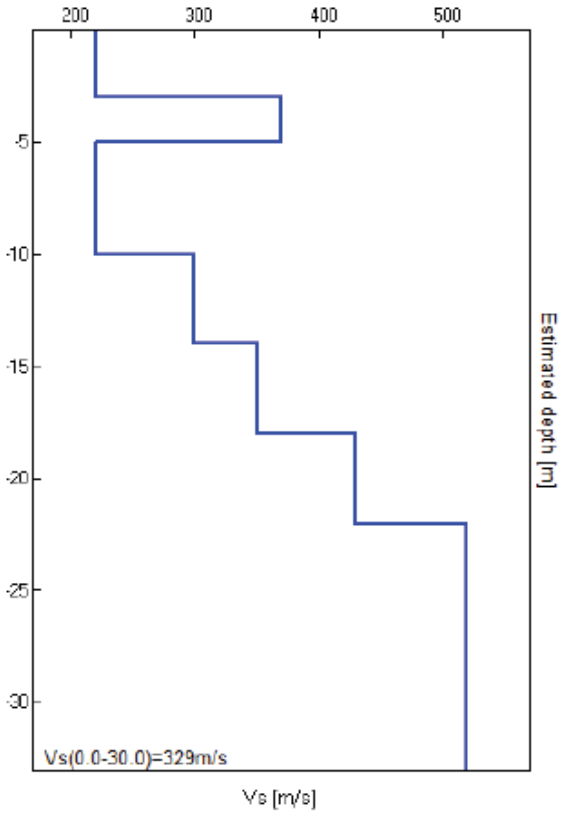
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 21.25 ± 0.78 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).





Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3.00	3.00	220
5.00	2.00	370
10.00	5.00	220
14.00	4.00	300
18.00	4.00	350
22.00	4.00	430
inf.	inf.	520

Vs(0.0-30.0)=329m/s

Dott. Geol. Borghetti Massimo

Picco H/V a 21.25 ± 0.78 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	21.25 > 1.00	OK	
$n_c(f_0) > 200$	25500.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz	Superato 0 volte su 511	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	13.125 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	32.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.50 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.01856| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.39431 < 1.0625	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2211 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

According to the Sesame, 2005 guidelines.

Con la determinazione delle onde di taglio Vs i terreni indagati vengono inseriti in una delle seguenti categorie di sottosuolo (N.T.C. 2008_Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.III):

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

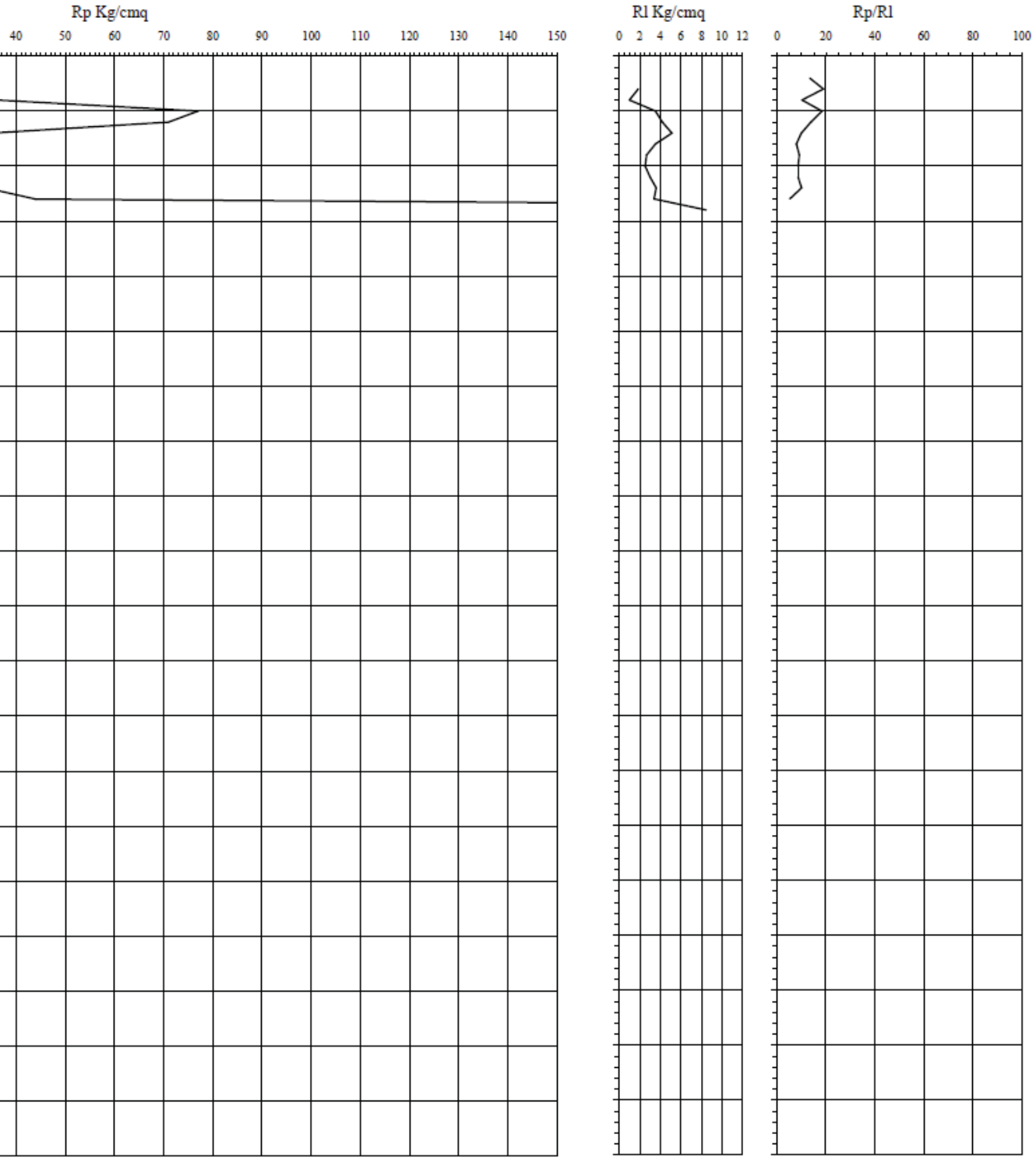
Dall'analisi dell'indagine si può affermare che il sito è caratterizzato dalle seguenti velocità delle onde di taglio (Vs30) :

profondità di calcolo	Vs30 m/sec.	Categoria di suolo
0,00-30,00mt.	329	C
1,00-31,00mt.	339	C
2,00-32,00mt.	349	C
3,00-33,00mt.	360	B
4,00-34,00mt.	363	B

O) - Pedagna - Sito 2

Liv.falda: assente

Note:



A	A	A	A	A	A	A	S	S	S	S	S
0	M	T	M	C	M	S	L	L	S		D
	T				C	L		A			

Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione

mt.	Rp	Rl	Rp/Rl	ϕ °	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt
0.2							
0.4	25		13.39	/	/	1.25	/
0.6	19	1.87	19.00	/	/	0.95	/
0.8	36	1.00	10.19	/	/	1.8	/
1	77	3.53	18.33	/	/	3.85	/
1.2	71	4.20	13.83	/	/	3.55	/
1.4	35	5.13	9.91	/	/	1.75	/
1.6	21	3.53	7.88	/	/	1.05	/
1.8	23	2.67	9.08	/	/	1.15	/
2	26	2.53	8.67	/	/	1.3	/
2.2	31	3.00	8.61	/	/	1.55	/
2.4	34	3.60	10.00	/	/	1.7	/
2.6	44	3.40	5.20	/	/	2.2	/
2.8	384	8.47					
3	500						

Legenda:

Cu media Kg/cmq 1.841667 0

LUCCHI dott.geol. ENZO

Sondaggi - Geotecnica - Geofisica - Geologia

Comune di IMOLA
Provincia di Bologna

INDAGINI GEOGNOSTICHE E DI FATTIBILITA' PRESSO L'AREA DI FUTURA IMPOSTA DI LOTTO IN UNA NUOVA LOTTIZZAZIONE DA INSERIRE NEL NUOVO "POC":

FATTIBILITA' PROGETTUALE GEOLOGICA

LOCALITÀ: **AMBITO ASP_AN2.4**- (Lotto nella Parte Nord-Est)
Area ubicata a Sud della Via Molino Rosso
Richiedente: G-4- Investment srl

RELAZIONE GEOLOGICA (Modellazione geologica)

INDICAZIONE SUI PARAMETRI SISMICI

➔ *Fattori di Amplificazione (FA) dell'area di Studio* ➔



47121, FORLÌ - via G. Lazzarini, n° 21 - Tel./.Fax. 0543 / 35738

e.lucchi.geologo@gigamail.it ./. www.studiogeolucchienzo.eu

(30 Novembre 2017)

INDICE

Premessa …… Pag. 3
Indagine Geofisica con metodo HVRS Pag. 6
Conclusioni Generali ……. Pag. 10
Riepilogo parametri consigliati..……. Pag. 13-15
Appendici al testo……. Pag. 16-20
Foto dei sondaggi ……..… ..……..…. Pag. 21-22
Allegati nel testo…..…… Pag. 23-27
Allegati di Fine testo ……da Pag. 27 in poi

Nello Studio in oggetto sono inoltre stati seguiti i suggerimenti e le prescrizioni delle attuali normative in materia , citiamo nell'ordine in particolare :

- *Legge 2 febbraio 1974 n°64*
- *D.M.21-01-1981*
- *D.M.11-03-1988*
- *Parere Min. LL.PP. 13 Aprile 1989, n°183*
- *Parere Min. LL.PP. 17 Dicembre 1993, n°138*
- *Circolare Min. LL.PP. 9 Gennaio 1996, n°218/24/3*
- *Ordinanza P.C.M.- 20 Marzo 2003, n°3274*
- *Decreto Min. INFR. E TRASP. - 14 Settembre 2005 – NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI-* (G.U.23-9-2005, n.222-suppl.) *… (parte…), poi modificato e recepito dal* ➔
- *Decreto Min. INFR. E TRASP. - 14 Gennaio 2008 – NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI-*
- *CIRCOLARE 2 Febbraio 2009 – n°617 –* (G.U.26-2-2009, n.47-suppl.Ordinario n.27) - *"Istruzioni per l'applicazione delle NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI" di cui al D.M. 14 Gennaio 2008*
- ***Sentenza del T.A.R. del Lazio, Roma , III Sezione , n.1422 del 18 Febbraio 2008***
- Ecc….

Inoltre vengono considerate le attuali Direttive Regionali in materia , con particolare riferimento alla dilibera n°112 dell'Assemblea Legislativa della regione Emilia Romagna del 2 Maggio 2007: "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma1, della L.R. 20/2000 " Disciplina generale sulla tutela ed uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica". ***Vengono valutati i numerosi allegati alla pubblicazione del PSC del Circondario Imolese , come si vedrà non sempre tutti gli elaborati tematici sono concordi nella stima delle zone omogennee ai fini della Microzonazione Sismica . Viene valutata anche la Carta Geologica del Servizio Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, che non segnalano nulla di rilevante per l'area di studio. E' comunque stato necessario eseguire alcune prove geognostiche finalizzate per il Lotto oggetto di Studio, onde approfondire le tematiche generali trattate nel PSC.***

PREMESSA

E' stata eseguita una Relazione Geologica preliminare. La attuale Relazione datata Novembre 2017 è basata su un'Indagine Geognostica e Geofisica generale per ricostruire le caratteristiche geologiche "di massima" dei terreni di un'area in Comune di IMOLA (BO), Località: Via Molino Rosso – v. PROGETTO PER VERIFICARE LA **FATTIBILITA' PROGETTUALE DI UN LOTTO** ALL'INTERNO DI UNA NUOVA LOTTIZZAZIONE CON RELATIVE OPERE DI URBANIZZAZIONE: Lotto all'interno dell' **Ambito ASP_AN2.4** .

L' espletamento dell'indagine preliminare (nell'area di studio) Lotto di proprietà della Società ***G-4 Investment srl*** *, ha richiesto l'utilizzo di:*

- ***1) - N° 2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT) approfondite a circa 10 metri dal p.c. (spinte comunque fino a Rifiuto tecnico: v. substrato ghiaioso "molto addensato" posto ad oltre 8/10 m dal p.c.) – (Prove eseguite in data 25/11/2017).***
- ***2) – N° 1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA "Superpesante" (DPSH approfondita (anche se a "fatica") a 12 metri dal p.c. (spinta fino a Rifiuto tecnico: v. substrato ghiaioso MOLTO ADDENSATO) – (Prova eseguita in data 25/11/2017).***
- ***3) - Indagine geofisica con Metodologia HVSR "Nakamura" (per verifiche della Frequenza tipica di risonanza sismica del sito e la stima della Vs-30) ; eseguito n° 1 Sondaggio geofisico HVSR al centro del Lotto in esame in data 25/11/2017***
- ***4) – Esame dei dati di Indagini eseguite in aree vicine (Via Correcchio, Via Correcchiello, Via Bicocca, ecc….***
  - SONDAGGI A CAROTAGGIO > 15 m , e PROVE PENETROMETRICHE STATICHE e DINAMICHE, Fori a parziale campionamento, per messa in opera di Micropali ..

L'integrazione dei dati raccolti con tali metodologie ha consentito di raggiungere una conoscenza di massima dei terreni superficiali, e sub-superficiali.

Per la generale correlabilità delle caratteristiche geomeccaniche di massima dei terreni locali (v. allegati) non sono state eseguite altre prove, risultando quelle effettuate al momento sufficienti per risolvere le problematiche poste (studio generale di fattibilità per NUOVA PROGETTAZIONE).

N.B.: La presente relazione contiene n° 27 Pagine di testo Numerate + Allegati fuori testo (a fine elaborato)

Con tali premesse evitiamo ripetizioni concettuali e concentriamo l'attenzione SOLO sulla parte di Relazione da cui è possibile ricavare una "stima" dei parametri di base per le valutazioni di fattibilità e dei citati Coefficienti di Amplificazione Sismica (FA) ….

INQUADRAMENTO GEOLOGICO –MODELLO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio è ubicata in una zona di pianura ed è caratterizzata dalla presenza dalla superficie di litotipi prevalentemente pelitici (argilloso-limosi) e (verso il basso) ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi molto addensati (attribuibili a formazioni "continentali" tipiche del *Pleistocene*), variamente interdigitati tra loro .

Le prove eseguite nell'area confortate dalla correlazione con numerose indagini in siti vicini, hanno interessato prevalentemente terreni argillosi e limoso-argillosi, passanti in profondità a sabbioso- ghiaiosi .

Dai sondaggi eseguiti, dal rilievo di campagna e dai dati acquisiti durante l'esecuzione delle prove in sito, si è ricostruita la stratigrafia dell'area in oggetto, rappresentata da una coltre prevalentemente argilloso-limosa, avente uno spessore variabile da zona a zona (qui in media circa 8/9 metri) al disotto della quale si hanno litotipi Ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi MOLTO ADDENSATI , attribuibili a Formazioni alluvionali (v. Conoide del F.Santerno) con spessori localmente anche di decine di metri.

In generale, al disotto dei materiali di riporto e dello strato di alterazione superficiale (e dei sedimenti più fini), profondo all'incirca un metro dal Piano Campagna attuale, i locali terreni presentano caratteristiche geomeccaniche "*apparentemente*" più che soddisfacenti. Il substrato ghiaioso più compatto è ubicato ad una profondità superiore a 8/9 metri circa.

In sintesi, visti i valori delle prove, e le risultanze del Rilievo Geologico, si ritiene di avere intercettato in TUTTE le prove il substrato compatto (v. anche Sondaggio a carotaggio eseguito in Via Correcchio in sito geologicamente confrontabile (fino a 15 m di prof) e Penetrometrie varie …

Alle profondità studiate , non è stata rilevata la presenza di acqua in falda (alla data delle prove) , ma solo umidità superficiale nelle aste presso la prova Penetrometrica n° 3 (dinamica - DPSH) fra 0 m e 1 m : v. anche valori sensibilmente più scarsi localmente : possibile ristagno nel terreno vegetale provocato da piogge recenti ? .

N:B: MANCA QUINDI UN REQUISITO FONDAMENTALE PER IPOTIZZARE IL POSSIBILE LOCALE RISCHIO DI LIQUEFAZIONE …SE POI AGGIUNGIAMO LA PREVALENZA DELLA LITOLOGIA ARGILLOSA MOLTO COMPATTA ED ASCIUTTA IN SUPERFICIE , PASSANTE AD UN SUBSTRATO GHIAIOSO MOLTO ADDENSATO

….MANCANO ANCHE GLI ALTRI REQUISITI…DI RISCHIO POTENZIALE PER l'Ipotesi "Liquefazione"!

INTERPRETAZIONE DATI (MODELLO GEOLOGICO)

I terreni esaminati consistono, come si è detto, in depositi terrigeni a granulometria variabile tra la classe delle argille e quella delle sabbie con ghiaie . Le caratteristiche dei terreni locali permettono la loro suddivisione nelle seguenti classi:

(Quota di riferimento p.c.=0 : v.+o- tutte le prove alla stessa quota)

Descrizione delle prove

Unità	Profondità [m]	Descrizione	Qc [kg/cm²)
A	0-1 c.a.	Terreni di riporto: argille con sabbia e ciottoli (presenza di piccoli frammenti di laterizi ed altri materiali artificiali)	
B	1.0-3 c.a.	ARGILLE ed Argille limose (con debole e subordinata laminazione sabbiosa e abbondanti calcinelli), molto compatte (anche per disseccamento) Rp "statica misurata " > 20/30 Kg/cm^2	> 25
C	3-8 c.a.	Argille (con debole frazione limosa), da med. compatte a compatte (soprattutto in P. n°1 con Rp "statica misurata "in P.1 > 30/35 Kg/cm^2) e Rp Statica in P.2 e "dinamica calcolata" in P.3 >20/30 Kg/cm^2	> 30 (P.1) >20 (P.2-3)
D	8 - 9 c.a.	GHIAIE e Sabbie limose molto compatte. Rp "statica misurata " > 100 /120 Kg/cm2	> 100
E	9/10-12 (ed oltre)	Ghiaie addensate con ciottoli anche grossolani in matrice limoso-sabbiosa. Rp "statica misurata " > 100/150 Kg/cmq	>120
F	12-15 (ed oltre) Da siti vicini	Ghiaie con ciottoli e poca matrice limoso-sabbiosa. materiali molto addensati (litotipi tipici di conoide fluviale)	>150/300

INDAGINI GEOFISICHE

(in collaborazione con PROGEO srl- Forlì)

1. INDICAZIONI GENERALI

Nel mese di Novembre 2017 (25/11/17) sono state eseguite indagini geofisiche integrate per fine di caratterizzare il profilo del sottosuolo.

Per lo studio del sito in esame con finalità di microzonazione si sono applicate le procedure definite nella delibera dell'Assemblea legislativa progr. N° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007 – "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

Nell'area di Studio (al centro del Lotto) è stato effettuata N° 1 prova col metodo della sismica passiva (HVSR) conosciute come "Tecnica Nakamura"

x. RISPOSTA SISMICA LOCALE (HVSR tecnica Nakamura)

MODALITA' OPERATIVE

Generalità

La metodologia, anche chiamata tecnica di Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base degli studi di Kanai e Tanaka del 1961.

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato soffice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alla geologia, geofisica e geotecnica del sito.

Questa tecnica presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura.

Il metodo è generalmente applicato per studi di microzonazione e per valutare la risposta sismica locale.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (**S**ite **E**ffect**S** assessment using **AM**bient **E**xcitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm).

La sismica passiva a stazione singola fornisce informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

Omettendo le specifiche dettagliate del metodo impiegato, già riportate per esteso nella relazione base del Settembre 2011, così concludiamo lo studio geofisico:

CONCLUSIONI "GEOFISICHE"

Prova HVSR n°1 – File n°078 – (dell'hard disk dello strumento)

Dall'analisi delle indagini geofisiche realizzate risulta che il sottosuolo entro i primi 30 m si presenta fondamentalmente a cinque strati con significato geofisico.

E' da notare che le prove mostrano una attendibilità della misura della frequenza di risonanza (i primi tre check del certificato sono validi) mentre i criteri di chiarezza del picco HVSR non sempre sono definiti questo ad indicare che l'inversione della misura del rumore sismico porta ad un sistema geofisico multistrato a bassa impedenza e non ad una sola interfaccia.

L'analisi della prova (N°078) presenta un picco principale a **6,09Hz.+/-0.89 Hz**

- La velocità delle onde di taglio stimata del primo metro è pari a circa 115 m/sec
- La velocità delle onde di taglio stimata dello strato sottostante (-1 a -7,0 m dal p.c.) è circa 298m/sec
- La velocità delle onde di taglio stimata dello strato sottostante (-7 a -9,5 m dal p.c.) è circa 240m/sec
- La velocità delle onde di taglio stimata dello strato sottostante (-9,5 a -26,5 m dal p.c.) è circa 560m/sec
- La velocità delle onde di taglio stimata dello strato sottostante (-26,5 a oltre 30 m dal p.c.) è circa 770m/sec

Con le velocità e gli spessori delle singole coltri è possibile **stimare** il valore di Vs_{30} che è di **405 m/sec** che corrisponde ad un **terreno di tipo B** secondo la classificazione sismica dei suoli (D.M. del 14 gennaio 2008).

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita dal Dott. Geol. Enzo Lucchi , con attrezzature gentilmente concesse dalla Società PROGEO srl di Forlì (specializzata in indagini geofisiche) , l'elaborazione dati è stata effettuata con la Collaborazione l'Assistenza, della detta Società PROGEO srl. , nella persona del Dott. Geol. Gabriele Pulelli.
*(v. in allegato, qui di seguito, gli elaborati grafici delle Prove Geofisiche in versione ridotta…**per visionare i grafici in formato più grande e meglio leggibile nei particolare <u>andare a Fine testo</u>**……..➔)*

RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE: G4 INVESTMENT S.r.l.

CODICE LAVORO: 803-155
CODICE PROVA: 078

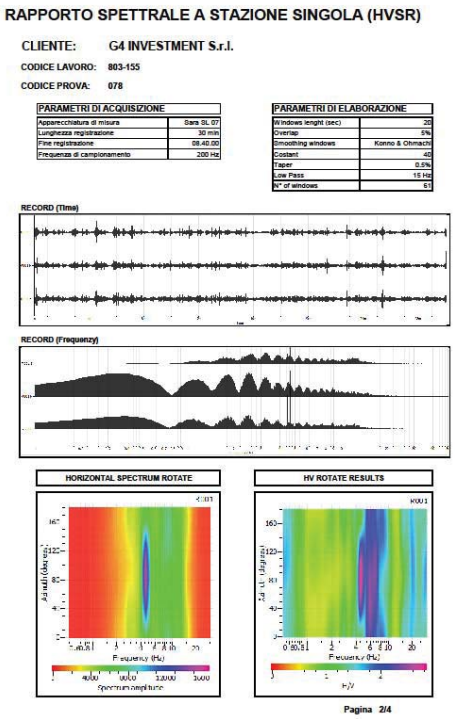
LOCALITA':	Via Molino rosso - Imola		
DATA PROVA:	25/11/2017	**TERRENO DI MISURA:**	naturale
LONGITUDINE:	11.717863°	**ACCOPPIAMENTO:**	appoggio
LATITUDINE:	44.387659°	**ORIENTAMENTO:**	Nord
QUOTA (m.s.l.m.):		**CONDIZIONI METEO:**	Sun

FOTO AEREA (Google Earth)



FOTO AREA DI INDAGINE





RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE: G4 INVESTMENT S.r.l.

CODICE LAVORO: 803-155

CODICE PROVA: 078

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	Sara SL 07
Lunghezza registrazione	30 min
Fine registrazione	08.40.00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Windows lenght (sec)	20
Overlap	5%
Smoothing windows	Konno & Ohmachi
Costant	40
Taper	0.5%
Low Pass	15 Hz
N° of windows	61

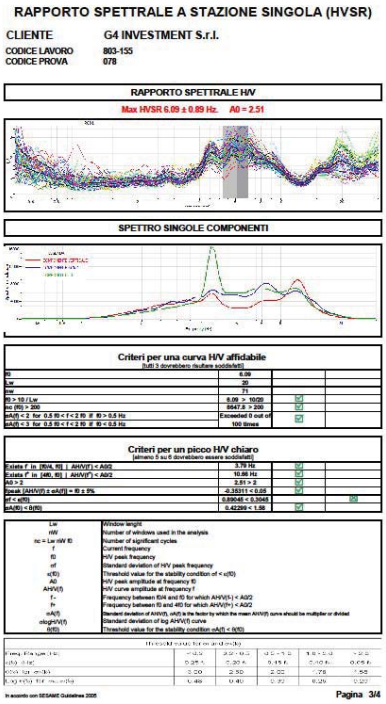
RECORD (Time)

RECORD (Frequenzy)

HORIZONTAL SPECTRUM ROTATE

HV ROTATE RESULTS

Pagina 2/4



RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE G4 INVESTMENT S.r.l.

CODICE LAVORO 803-155

CODICE PROVA 078

RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max H/VSR 6.09 ± 0.89 Hz A0 = 2.51

SPETTRO SINGOLE COMPONENTI

Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

fo	6.09		
Lw	20		
nw	71		
fo > 10 / Lw	6.09 > 10/20	☑	
nc (fo) > 200	5847.5 > 200	☑	
σA(f) < 2 for 0.5 fo < f < 2 fo if fo > 0.5 Hz	Exceeded 0 out of 100 times	☑	
σA(f) < 3 for 0.5 fo < f < 2 fo if fo < 0.5 Hz			

Criteri per un picco H/V chiaro

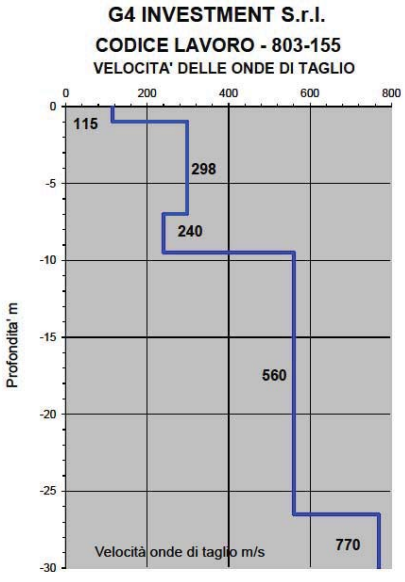
[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Exists f⁻ in [fo/4, fo] | AHV(f) < A0/2	3.79 Hz	☑	
Exists f⁺ in [fo, 4fo] | AHV(f⁺) < A0/2	10.86 Hz	☑	
A0 > 2	2.51 > 2	☑	
Peak [AHV(f) ± σA(f)] = fo ± 5%	-0.38311 < 0.05	☑	
σf < ε(fo)	0.89046 < 0.3045		☒
σA(fo) < θ(fo)	0.42299 < 1.58	☑	

Lw	Window lenght
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW fo	Number of significant cycles
f	Current frequency
fo	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(fo)	Threshold value for the stability condition σf < ε(fo)
A0	H/V peak amplitude at frequency fo
AHV(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f⁻	Frequency between fo/4 and fo for which AHV(f-) < A0/2
f+	Frequency between fo and 4fo for which AHV(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AHV(f). σA(f) is the factor by which the mean AHV(f) curve should be multiplied or divided
σlogH(V(f)	Standard deviation of log AHV(f) curve
θ(fo)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(fo)

In accordo con SESAME Guidelines 2005

Pagina 3/4



G4 INVESTMENT S.r.l.

CODICE LAVORO - 803-155

VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (D.M. 14/01/2008)

Vs_{30} = 405 m/sec

Suolo B

Pag 4/4

CONCLUSIONI GENERALI (Parametri geofisici)

Come è noto , la Normativa Regionale di riferimento di basa sulla ***Delibera n°112 dell'Assemblea Legislativa della regione Emilia Romagna del 2 Maggio 2007….***
Quindi, in particolare procediamo alla tabellazione dei presunti valori FA basandoci sui dati pregressi degli HV già fatti (e relative stime delle Vs) ed utilizzando le Tabelle dell' Allegato A-2 della Nota Delibera RER n° 112 …..
Facciamo quindi una media "ponderata" fra i valori di VS-30 ricavati dalle presenti prove e da **altre nel frattempo acquisite in aree vicine** di confrontabili caratteristiche geofisiche e geomeccaniche, e valutiamo la seguente tabella riassuntiva:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1	1	115	0.42
7	6	298	0.42
9.5	2.5	240	0.40
26.5	17	560	0.40
30	3.5	770	0.40
inf.	inf.	>770	0.40

$Vs30_{[0\text{-}30m]}$ = 405 m/s m/s – Per motivi "prudenziali , per il calcolo di riferimento, assumiamo il valore arrotodato un po' più basso = assimilabile 400 m/s

Tabella 1. Modello di sottosuolo medio sotto l'area indagata ottenuto delle prove H/V (sul sito) . Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su sole onde di superficie non possono fornire misure affidabili di questo parametro.

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (APPROCCIO SEMPLIFICATO DI II LIVELLO)

I fattori di amplificazione di PGA_0 e dell'intensità spettrale calcolati a partire dallo spettro di risposta in pseudovelocità negli intervalli di periodo [0.1, 0.5] e [0.5, 1] secondo l'approccio semplificato dell'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica in Emilia Romagna (2007) che prevede l'utilizzo di appositi abachi, sono riportati in Tabella sotto riportata. L'abaco utilizzato è quello relativo all'Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato caratterizzato da Vs < 800 m/s.

Profilo ➔ Pianura 2

	Fattore di Amplificazione
Fattore di amplificazione PGA/PGA_0	**1.4**
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) [0.1-0.5] s	**1.7**
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) [0.5-1] s	**2.0**

Nella tabella seguente si riportano in forma schematica i principali risultati ottenuti.

SOTTOSUOLO	
Amplificazione per risonanza	≈ <0.8-1 Hz (debole) ≈ 5-7 Hz (**marcata**)
$Vs30_{[0-30]m}$	> 400 m/s
Categoria secondo approccio semplificato (NTC, 2008)	**B**

MICROZONAZIONE SISMICA (approccio semplificato)	
Fattore di amplificazione PGA/PGA_0	1.4
Intensità spettrale: PSV [0.1, 0.5] s	1.7
Intensità spettrale: PSV [0.5, 1] s	2.0

CONCLUSIONI GEOGNOSTICHE
(riepilogo dei dati)

Dalle informazioni acquisite , nelle aree studiate potranno essere previste tipologie costruttive "semplici" , a livello indicativo :

1) OPERE DI URBANIZZAZIONE PER LOTTO (parcheggi, collegamenti, ecc…)

2) NUOVE COSTRUZIONI DI FABBRICATI (presumibilmente Industriali/Artigianali)

Le indicazioni che seguono sono quindi riferite separatamente alle tipologie sopracitate limitatamente alle aree di presunta imposta (v. Allegato cartografico) e sono tratte in particolare dall'analisi complessiva dei sondaggi con particolare riferimento alle prove che insistono direttamente sulle aree d'interesse . In fase di Progettazione Esecutiva si ritiene **indispensabile** comunque **integrare** le attuali indagini gegnostiche "generali", con altre specifiche per ogni singolo Lotto, da stabilire a seconda delle effettive tematiche progettuali . Data la accertata impossibilità di approfondire le prove penetro metriche di questa indagine preliminare nel Substrato ghiaioso ad oltre 10/12 m circa per l'eccessivo addensamento delle ghiaie in profondità, IN FASE DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ESECUTIVA, SI CONSIGLIA IN PARTICOLARE D'APPROFONDIRE E COMPLETARE LE INDAGINI con **Sondaggi meccanici a carotaggio** (o metodi similari) spinti "indicativamente FINO AD ALMENO **15/20**-(*30)* metri , soprattutto in corrispondenza degli edifici di maggiori dimensioni, ed ovviamente di valutare anche con un buon numero di **altre prove CPT** poste sui perimetri dei fabbricati. **La eventuale (anche se remota) presenza locale di terreni superficiali non omogenei (con tracce organiche) e con porzioni sabbiose ("temute" MA NON DIMOSTRATE nello studio generico e di massima allegato al PSC (per l' Ambito ASP_AN2.4 di cui fa parte il Lotto da noi studiato), NON sono state determinate con indagini e/o riscontri obbiettivi in loco!**) . **Non sono comunque emerse tali temunte problematiche nel Ns. Lotto dalle NS. attuali indagini finalizzate ; considerando però tale indicazione "ufficiale" del PSC, (anche se non dimostrata), bisognerà comunque procedere ad ulteriori approfondimenti e di conseguenza valutare caso per caso l'opportunità di progettare fondazioni particolari (in fase di progettazione definitiva/esecutiva).**

1) Collegamento viario ed OPERE D'URBANIZZAZIONE

In seguito alle prove effettuate e dal confronto con le precedenti prove eseguite in lotti vicini , si può affermare che non esistono particolari controindicazioni d'ordine geotecnico per le possibili opere d'urbanizzazione e viaria, (parcheggi, ecc…) escludendo il primo mezzo metro circa di terreno superficiale o poco più (fino alla parte agricola lavorata) : comunque i locali terreni più superficiali presentano

caratteristiche accettabili in relazione alle problematiche poste , da circa 0.5-0.6 metri per le **problematiche stradali** (v. al disotto del terreno agrario) e da circa 1,5 metri di prof. per le **problematiche edificative** , **NESSUNA Falda superficiale è stata riscontrata (alla data delle indagini nei fori di prova : v. grafici allegati)** dalle indagini in loco almeno fino a 10/12 m circa e da informazioni su siti vicini abbiamo , assenza di falde evidenti fino ad oltre 15 m circa….. salvo percola menti ed infiltrazioni locali (siti ubicati vicini a fossati e/o corsi d'acqua.., ecc…) , ma non è il Ns. caso . **Inoltre, si consiglia ovviamente di prevedere la costipazione con mezzi meccanici ed un'accurata rullatura prima di mettere a dimora i materiali di sottofondo stradale per parcheggi e vie di collegamento . I parametri di fondazione "stradale" potranno venire facilmente ricavati dalle prove Penetrometriche fornite in allegato….**

2) NUOVA COSTRUZIONE DI FABBRICATI (Industriali/Artigianali) CONCLUSIONI "PRELIMINARI" DI MASSIMA (aree edificabili)

Quindi, a livello preliminare abbiamo :

➔ **Prove di Riferimento del Lotto : CPT n°1-2 +HVSR n° 1 + DPSH n°3 (eseguite per lo studio preliminare attuale + confronto con altre indagini limitrofe (precedenti) , eseguite per altre problematiche ed altri Committenti….**

In seguito alle prove effettuate e dati d'indagini precedenti disponibili, si può affermare che non esistono particolari controindicazioni d'ordine geologico nei terreni del "substrato" per le opere in previsione di fondazioni sub-superficiali a medio carico. In relazione alle accertate "discrete" caratteristiche medie riscontrate da 1,2/2 metri, in poi, riteniamo consigliabile procedere ad un **approfondimento fondale fino ad almeno m ≥1,5 o più** (v. "palese" miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche) ; Tale soluzione sarebbe comunque tecnicamente più vantaggiosa perché permetterebbe di scaricare il peso dei fabbricati direttamente su terreni più addensati di quelli superficiali, **ovviamente la ipotesi di FONDAZIONI SEMI-APROFONDITE dovrà essere verificata ed Autorizzata in sede di Progetto col supporto di ulteriori Indagini specifiche !.**

Qui di seguito sono indicati dei Parametri di massima lasciati per riferimento preliminare al Progettista.

- (in caso che per esigenze progettuali, si vogliano attestare le fondazioni a quote diverse da quelle qui indicate, si consiglia di consultare le allegate tabelle per determinare le variazioni delle Resistenze dei locali litotipi,
- MA SOPRATTUTTO SARA' INDISPENSABILE ESEGUIRE UNA **APPOSITA INDAGINE GEOGNOSTICA** QUANDO SARANNO NOTE LE TIPOLOGIE DELLE STRUTTURE IN PROGETTO.

*Ovviamente i parametri di massima qui indicati DOVRANNO essere affinati con l'osservazione delle caratteristiche medie dei terreni all'atto dello scavo delle fondazioni ed **integrate** con altre prove finalizzate ed eseguite all'atto di progettazione delle singole opere (nelle aree direttamente interessate). I presenti elaborati sono utilizzabili per le opere indicate in oggetto: v. fattibilità progettuale preliminare .....*

Un eventuale Studio per la Modellazione Sismica al Terzo Livello di Approfondimento, limitatamente al Lotto di Ns. interesse e di proprietà "G-4 Investment srl", *dai dati attualmente in Ns. Possesso proveniente dalle indagini eseguite sul Lotto, a Ns. avviso , pare NON "strettamente" indispensabile soprattutto perchè mancano gli elementi tipici dei terreni a rischio liquefazione : (1) terreni sabbiosi fini monogranulari e (2)falda superficiale! ,* ***è comunque sempre possibile farla in ulteriori fasi di progetto se richiesta, anche alla luce di possibili ulteriori criticità presenti in aree relativamente vicine poste più a Nord (individuabili in alcune cartografie***

del PSC…..)….e delle frequenze di sito qui presenti (v. circa 6 Hz +/- 1 Hz). Queste frequenze di risonanza sono vicine a quelle di fabbricati di medie dimensioni….

RIEPILOGO PARAMETRI "medi" x fabbricato "tipo" da edificare in loco

I precedenti parametri e quelli che seguono , sono solo generali ed indicativi, esistono ovviamente sul sito situazioni locali diverse da quella "media" di rif. qui ipotizzata, per cui andranno ovviamente eseguite indagini finalizzate in ogni lotto in relazione alla particolare tipologia costruttiva, quindi le caratteristiche di fondazione potranno ovviamente variare caso per caso, rispetto a quelle qui ipotizzate…

➔ ➔ ➔ ***Pertanto, lo scrivente Dott.Geol. Lucchi Enzo, DIFFIDA chiunque ad un utilizzo improprio dei dati generali sotto riportati : ogni lotto dovrà venire studiato singolarmente in fase esecutiva…ed i parametri di calcolo dovranno venire attentamente ponderati e riferiti al caso particolare…..***

Sono ipotizzate in via generale :➔ FONDAZIONI semi-approfondite -Ipotesi fondale, (consigliata)

A	**Litologia**	**prevalenza in superficie d'argille limose con inclusi**	
B	***Base Fond.***	**Profondità "indicativa" di fondazione dal piano campagna medio (attuale)**	**1,5 (2.0) m**
C	**"RpS"** **"Qc"**	**Resistenza Statica "caratteristica" alla punta misurata sul piano ipotetico di fond.– da verificare caso per caso** **(e poi da sottoporre alle riduzioni x sicurezza)** **Indicativamente : a 1,5 a 2.0 m dal p.c.** **Si consiglia di trascurare i valori misurati più alti perché imputabili a situazioni locali**	**> 20/25 Kg/cm²**
C'	***„Kt"***	***Pressione Ammissibile "teorica" sul piano di fond.*** ***(a causa di lenti "superficiali" a relativamente bassa densità si sconsigliano applicazioni di carichi elevati)*** ***(dato fornito per beneficio d'inventario, non più utilizzabile con la Nuova Normativa sulle Costruzioni)***	**≤ 1,3/1,4 /cmq** **≤ 1.27-1,37 daN**/cmq (od inferiore)
D	***"ε"***	***Coefficiente sismico di fondazione*** ***(dato fornito per beneficio d'inventario, non più utilizzabile con la Nuova Normativa sulle Costruzioni)***	**= 1**
E	"Kr"	Coefficiente di sottofondo secondo Winkler	> 4/5 Kg/cmc
F	Falda	Falda superficiale non Rilevata alla Profondità delle Prove Falda periodica con possibilità di risalita stagionale (presente presumibilmente ad **oltre** 10/**15** m dal p.c nel substrato)	liv. statico di rif. – non RILEVATO
G	" Cu "	Coesione non drenata sul possibile piano di fondazione	>0.80/1.5
G'	" Cu "m	Coesione non drenata media in profondità (per la prof. studiata)	>0.7-1.2 Fino a 7/8 m
H	" φ "	Angolo d'attrito int. Sul piano di fondazione	>20°-22°
H'	" φ "m	Angolo d'attrito int. Medio in profondità (per la prof. studiata)	22°-25°->35°
I	" Ys "	Peso di Volume Sat. Sul piano di fondazione	1.9-2.0
I'	" Ys "m	Peso di Volume Sat. Medio in profondità (per la prof. studiata)	2.0-2.1
H	" E' "	Modulo Edometrico significativo (sul piano di Fondazione ipotizzato)	> 70/100
-	Carico limite Indicativo	Dato dalla Cu caratteristica (per terreni "coesivi") (ottenuta da Prove Statiche opportunamente mediate e ridotte per sicurezza)	3.5-4.5 Kg/cm²
-	Carico Limite effettivo	Come è noto va valutato in relazione alla geometria delle fondazioni ed ai parametri ottenuti (Valutazione di Pertinenza Strutturale)	

N.B.: CONDIZIONI ESTRAPOLATE DALL'ESAME DELLE PROVE ESEGUITE IN LOCO ED IN AREE VICINE. ➔ Per usufruire di valori di resistenza maggiori, bisognerebbe approfondire le fondazioni …

Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (suggerimenti)

AZIONE SISMICA (per tutta l'AREA IN ESAME)
(v. Ordinanza PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI - 20 Marzo 2003, n°3274)
-G.U. 8-5-2003, n.105-

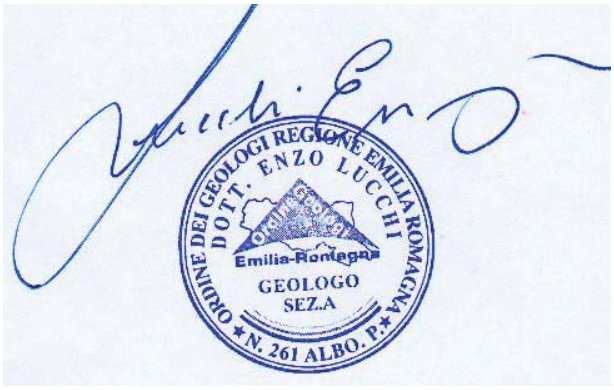
Categoria di suolo di fondazione : ➔ "B"
***Categoria Topografica di riferimento* : ➔ T1**
Coordinate geografiche (centro area) : +44.387659°; +11.717863°
(secondo Google maps)
Quota media s.l.m. del Sito: +33./.33.5 m *(secondo CTR)*

Profilo ➔ Pianura 2

Vs30 di rif. (centro area)- [0-30]m	> 400 m/s
	↓ Fattore di Amplificazione
Fattore di amplificazione PGA/PGA_0	1.4
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) [0.1-0.5] s	1.7
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) [0.5-1] s	2.0

N.B.: L'area di studio e pertinenze limitrofe insiste su di una zona pianeggiante .
*Per quanto riguarda le Nuove Norme Tecniche sulle costruzioni, ipotizziamo eventualmente l'applicazione dell' **APPROCCIO N°2 (Combinazione Unica)** o secondo approccio progettuale (A2) . In tale tipo di Approccio è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti da adottare sia nelle verifiche geotecniche (GEO) che in quelle strutturali (STR) = (A1+M1+R3).*
Ovviamente si lascia alla competenza del Progettista Geotecnico e Strutturale la puntuale valutazione , l'accoglimento o meno di tale ipotesi e la scelta dei relativi parametri, in quanto argomenti di Competenza Ingegneristica. **E' ovviamente facoltà ed onere del Progettista applicare per ogni lotto i parametri delle apposite indagini finalizzate che dovranno venire eseguite.**

Dr. Geol. ENZO LUCCHI
ORDINE dei GEOLOGI
REGIONE EMILIA-ROMAGNA
(Sez. "A") – Rif. n. 261

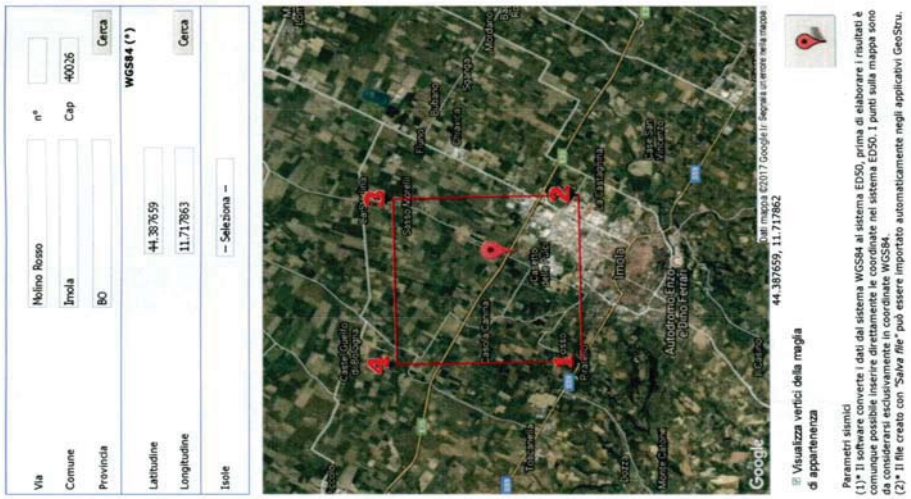


APPENDICE 1

(Elaborazioni statistiche "teoriche" di parametri sismici secondo il Soft-ware "GEO-STRU")

Valutazioni di massima riferite al Sito di interesse ed ad una maglia di riferimento: Parametri Generici





APPENDICE 2

Generalità del metodo H/V

Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terreste, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato in Figura 1. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

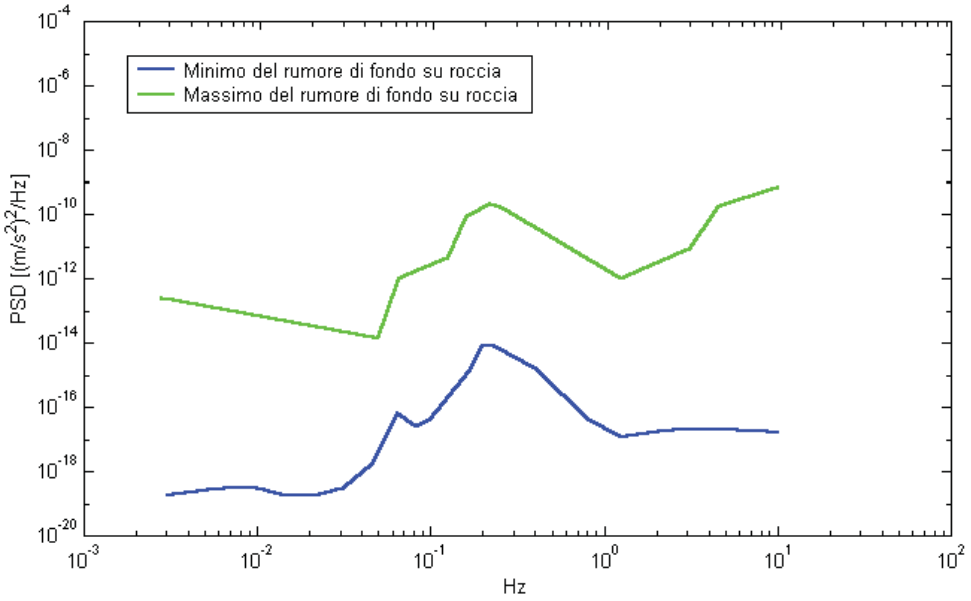


Figura 1. Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra secondo il servizio geologico statunitense (USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

La tecnica impiegata. Cenni storici.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.
Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le

frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità *h* della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V / (4 f_r)$ o, al più, tramite la formula [1] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, *x* un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-x)}{4 f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \qquad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a)* il contenuto in frequenza, *b)* la risposta strumentale e *c)* l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.
L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di Vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la Vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2007).

Bibliografia dell'Appendice

Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, **29**, 665-666.

Ben-Menahem A., Singh S.J., 1981. Seismic Waves and Sources, Springer-Verlag, New York.

Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *J. Geotech. Environm. Geol.*, **3**, 51-77.

Castellaro S. e Mulargia F., 2007. Vs30 estimates using constrained H/V measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99, 761-773.

Castellaro S. e Mulargia F., 2008. The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.*, 166, 567-592.

Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, **89**, 250-259.

Kanai K., 1957. The requisite conditions for predominant vibration of round, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, **31**, 457.

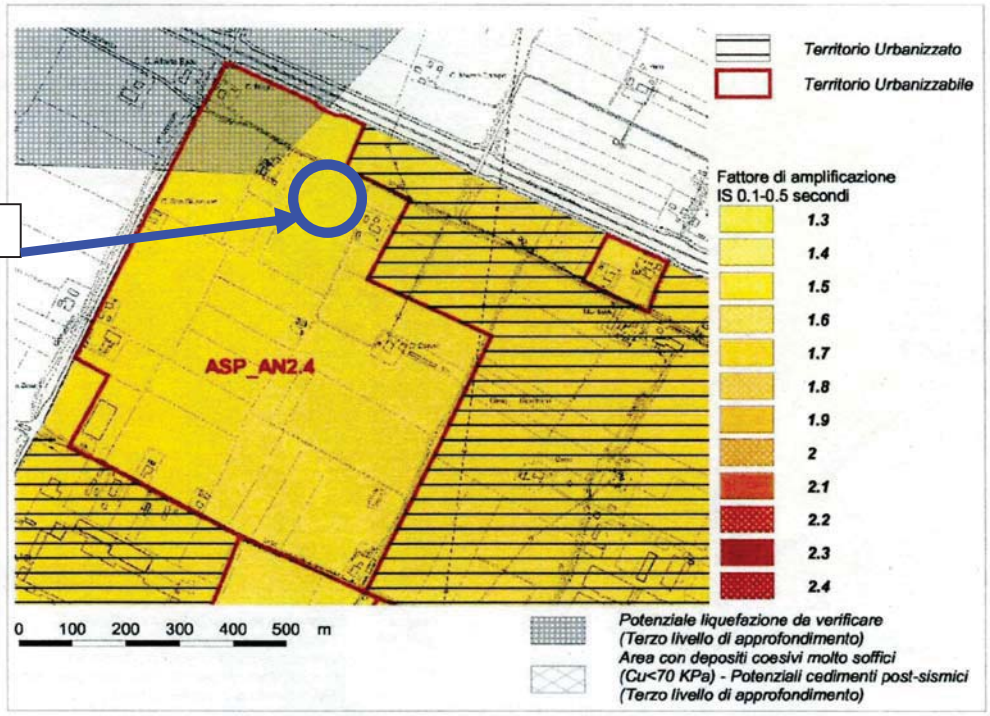
Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, **30**, 25-33.

Appendice 3

ESTRATTO DALL'ELABORATO "E3" DELLE SCHEDE D'AMBITO DI SINTESI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO DEL PSC

MICROZONAZIONE SISMICA-ANALISI DI SECONDO LIVELLO

COMUNE DI IMOLA AMBITO ASP_AN2.4 – Correcchio-Lasie

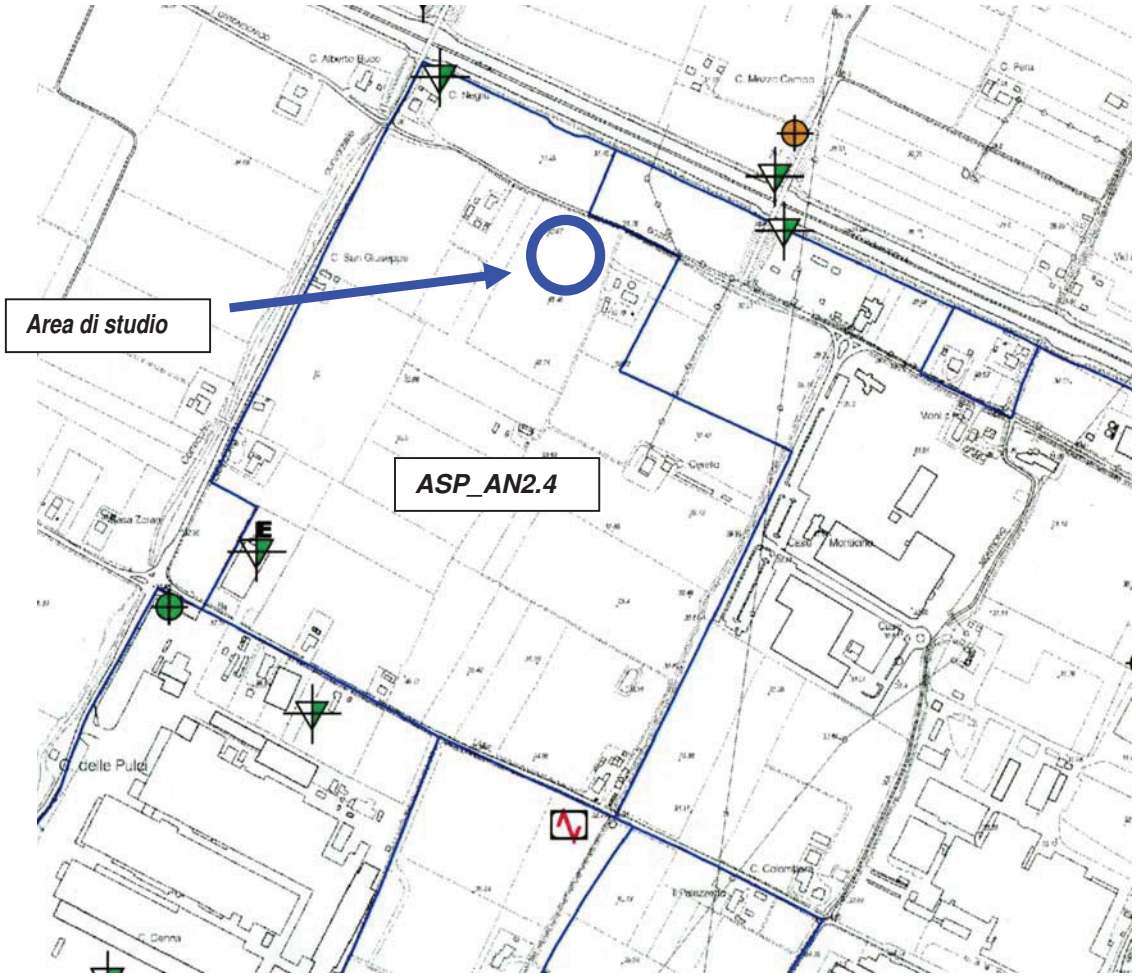


Zona 11		
	Descrizione litologico-tessiturale	Note
Unità 1	Depositi di copertura prevalentemetne limosi (con argille più raramente sabbie) di spessore limitato a pochi metri (massimo 5-6)	Conoide del Santerno. Localmente (estremità settore a NO della Zona) nell'Unità 1 possono essere presenti strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili
Unità 2	Depositi prevalentemente ghiaiosi pluridecametrici derivanti dall'amalgamazione di orizzonti grossolani riferibili a unità stratigrafiche diverse. Sono presenti intercalazioni sporadiche (1-2m) di peliti e/o sabbie limose	

Fattore di amplificazione PGA:	1.4-1.5
Fattore di amplificazione IS-0,1-0,5 s:	1.7
Fattore di amplificazione IS-0,5-1,0 s:	2.0
Potenziale liquefazione:	In una piccola porzione (settore nord)
Potenziali cedimenti	NO
Fattore di amplificazione topografico	NO
Altri elementi di instabilità sismica	Sì: una misura di frequenza di sito nell'intervallo 2-10Hz con ampiezza superiore a 3

TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO Sì, considerando sia la piccola porzione d'ambito nella quale si è ravvisata la presenza di sabbie potenzialmente liquefacibili e per la frequenza propria di sito rilevata compresa nell'intervallo 2-10 Hz

N.B.: Nell' Area di studio, NON SI VERIFICANO LE CONDIZIONI DI CRITICITA' x RISCHIO POTENZIALE LIQUEFAZIONE !



N.B. : Estratto dalla Carta riportante i punti di prova utilizzati dal Circondario Imolese per la Microzonazione sismica di II Livello allegata al PSC

➔ come si può vedere NON VI SONO PROVE SPERIMENTALI "UFFICIALI" NELL'AREA OGGETTO DI QUESTO STUDIO E NEPPURE IN AREE LIMITROFE ….
Vi sono solo 2 Prove CPT presso Il perimetro NW dell'Ambito ASP-AN2.4 e poche altre all'esterno del perimetro …..
(MEGLIO QUINDI DISPORRE DI PROVE IN SITO , anche per uno studio di massima!)

FOTO DELLE ATTREZZATURE IMPIEGATE (Prove del 25/11/2017)



CPT -1



CPT -2



DPSH-3

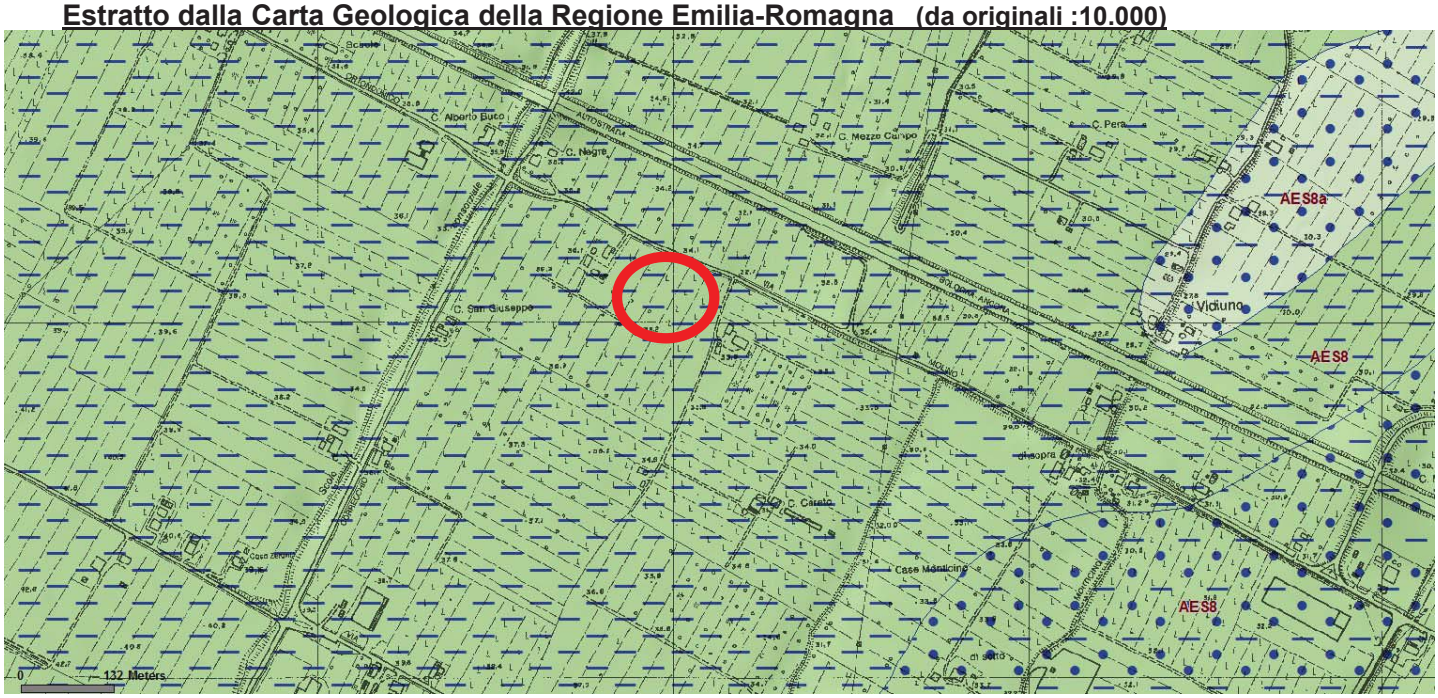
x CPT e DPSH = Strumentazione usata ➔ Penetr. Statico-Dinamico PAGANI TG 63/100 KN
(di proprietà del Dott.Geol. Enzo Lucchi)



Indagine sismica (HVRS) con metodologia " Nakamura" (25/11/2017)

-(ALLEGATI)-

Estratto dalla Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna (da originali :10.000)



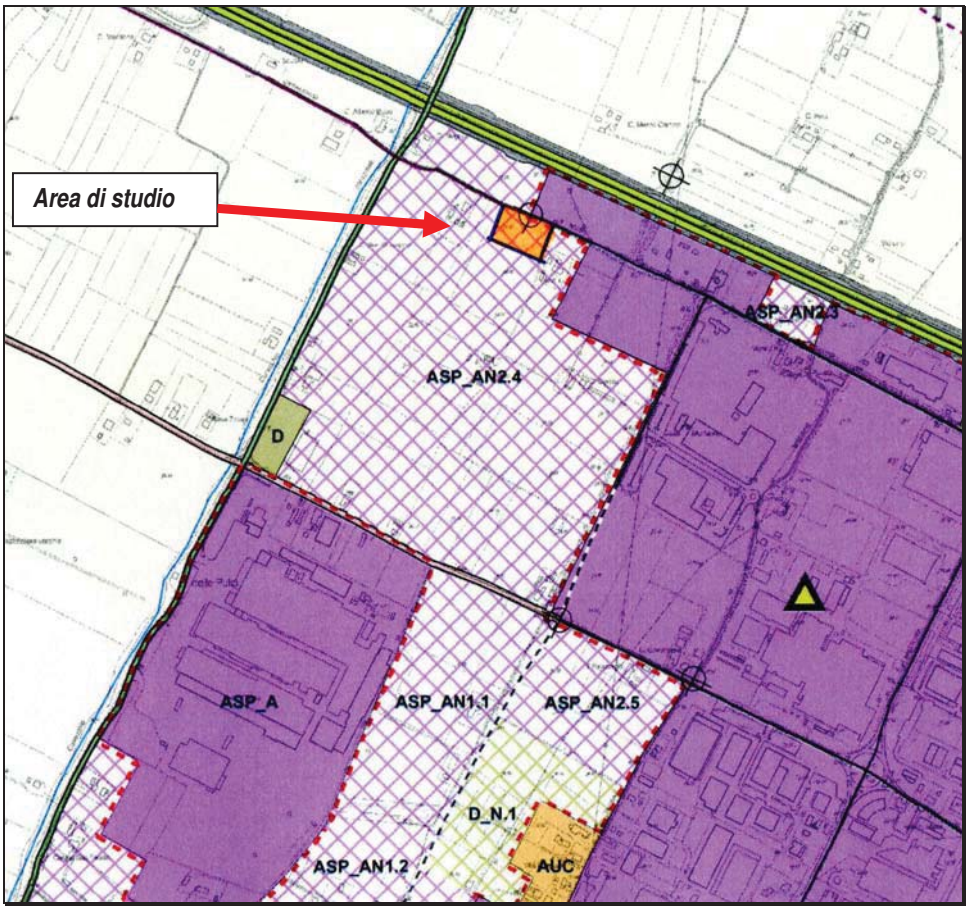
Legenda in breve :
(Nell'area di Studio)

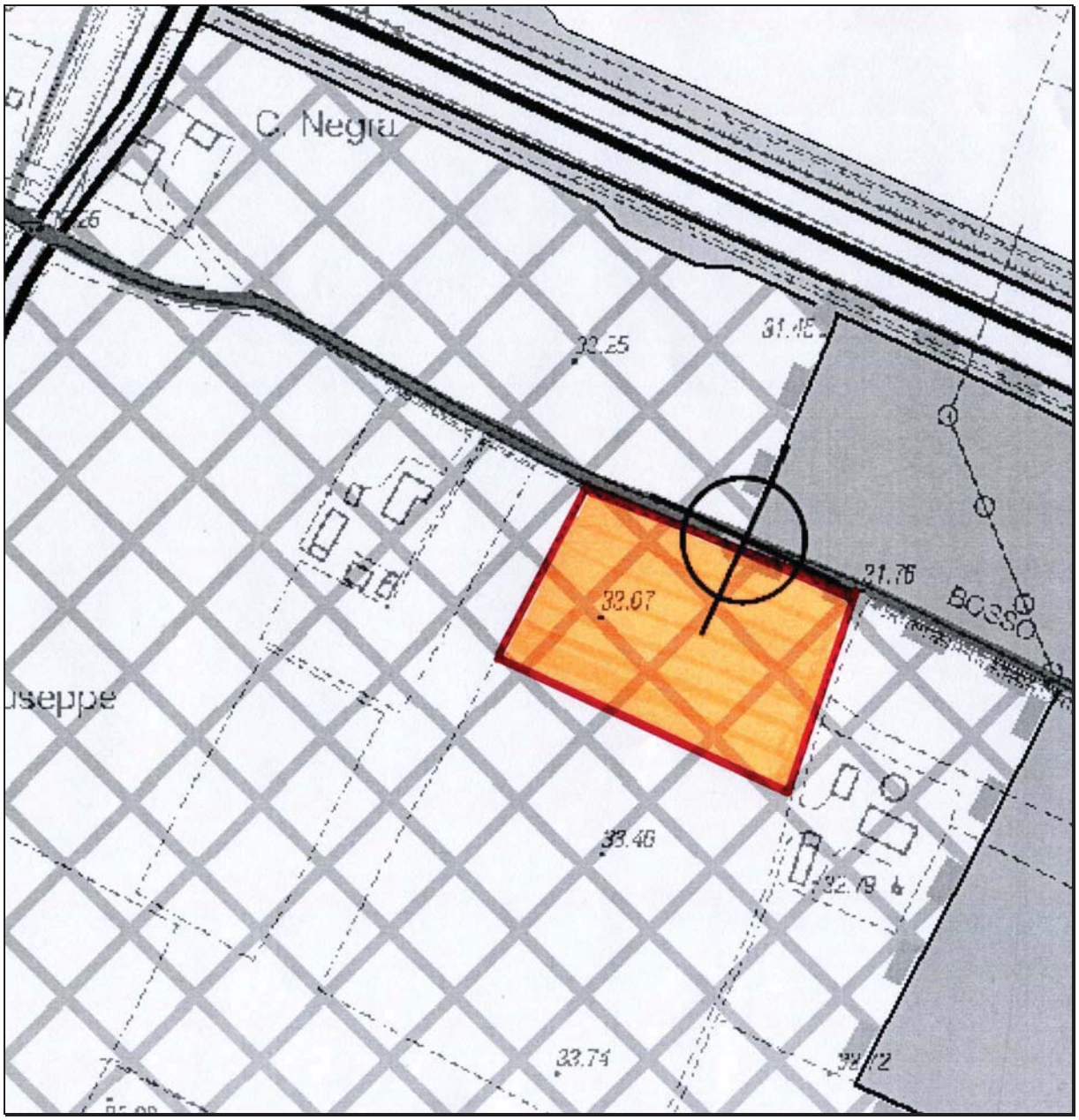
AES8 = ALLUVIONI DI PIANURA – Litofacies Pelitica- (ALLOMEMBRO DI RAVENNA)
(ETÀ : OLOCENE)
(Fuori dall'area di Studio)
AES8a = ALLUVIONI DI PIANURA – Litofacies Pelitico-sabbiosa (UN. DI MODENA)

(a Sud-Ovest dell'area di Studio)
AES6 = ALLUVIONI DI PIANURA – (subsintema di Bazzano)
IMO = SABBIE DI IMOLA (litofacies sabbioso arenacea del Pleistocene Inf. = "substrato")

N.B.: nessun dissesto da segnalare nell'area di studio e limitrofe !

ESTRATTO DALL'ELABORATO "PROGETTO E ASSETTO DEL TERRITORIO" PSC - COMUNE DI IMOLA – Tavola 1 - Fg. 3





Particolare dell'Area di Studio

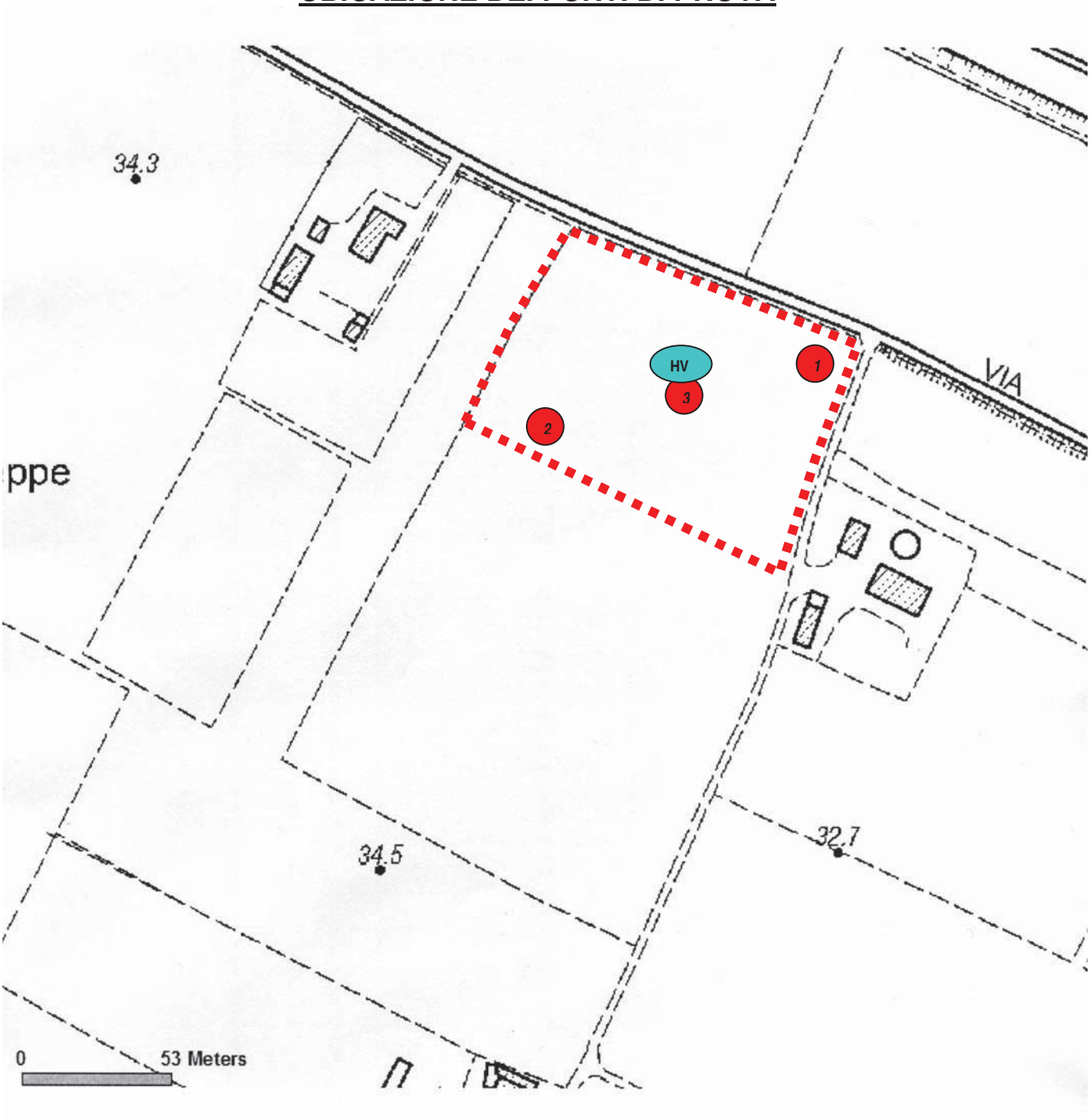


Corografia fotografica “satellitare” dell’Area di Studio

Ubicazione area (parte centrale)

***Coordinate geografiche* : +44.387659°; +11.717863°** *(secondo Google maps)*
***Quota media s.l.m. del Sito*: +33./.33.5 m** *(secondo CTR)*

UBICAZIONE DEI PUNTI DI PROVA



PROVE PENETROMETRICHE

HV PROVA SISMICA - HVSR

RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE: G4 INVESTMENT S.r.l.

CODICE LAVORO: 803-155
CODICE PROVA: 078

LOCALITA':	Via Molino rosso - Imola		
DATA PROVA:	25/11/2017	**TERRENO DI MISURA:**	naturale
LONGITUDINE:	11.717863°	**ACCOPPIAMENTO:**	appoggio
LATITUDINE:	44.387659°	**ORIENTAMENTO:**	Nord
QUOTA (m.s.l.m.):		**CONDIZIONI METEO:**	Sun

FOTO AEREA (Google Earth)



FOTO AREA DI INDAGINE



RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE: G4 INVESTMENT S.r.l.

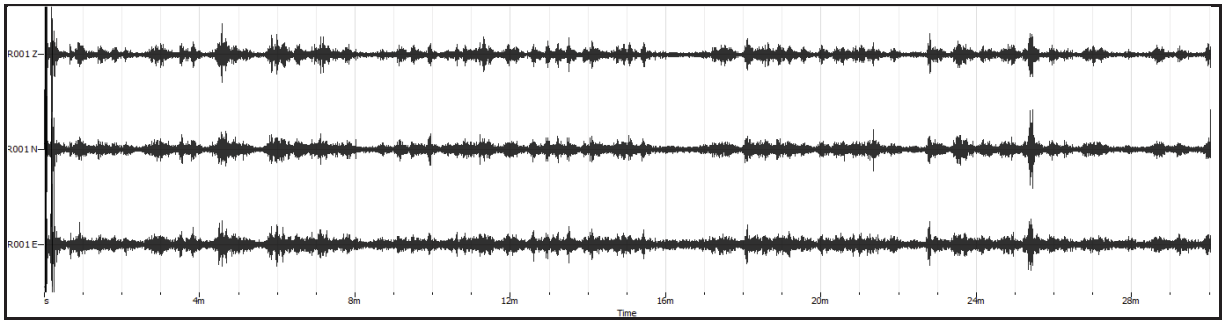
CODICE LAVORO: **803-155**

CODICE PROVA: **078**

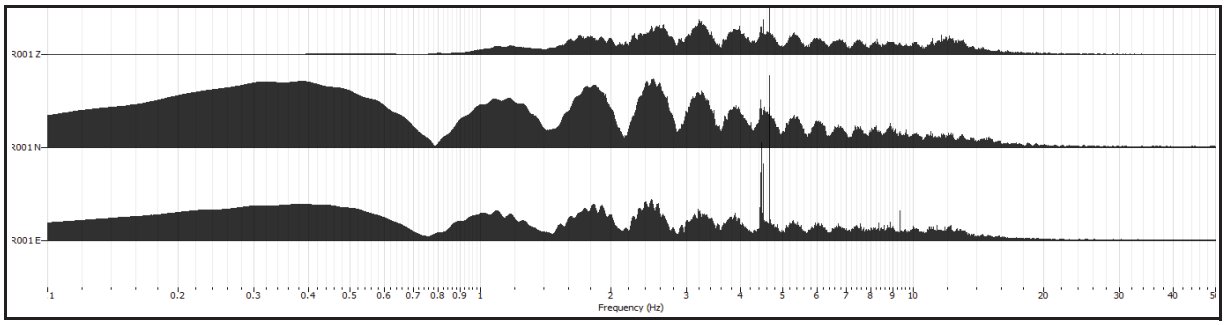
PARAMETRI DI ACQUISIZIONE	
Apparecchiatura di misura	Sara SL 07
Lunghezza registrazione	30 min
Fine registrazione	08.40.00
Frequenza di campionamento	200 Hz

PARAMETRI DI ELABORAZIONE	
Windows lenght (sec)	20
Overlap	5%
Smoothing windows	Konno & Ohmachi
Costant	40
Taper	0.5%
Low Pass	15 Hz
N° of windows	61

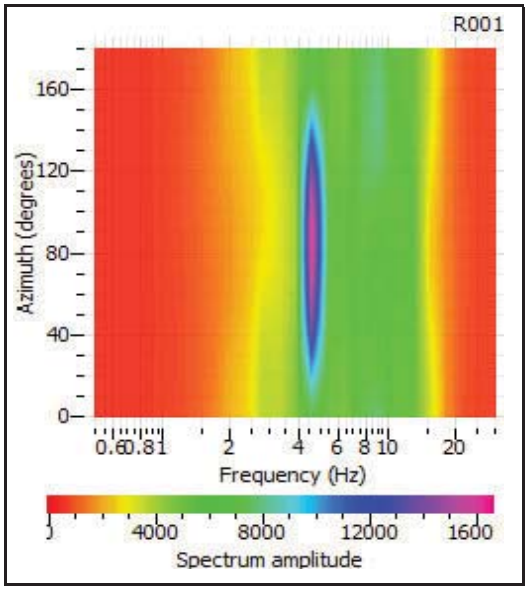
RECORD (Time)



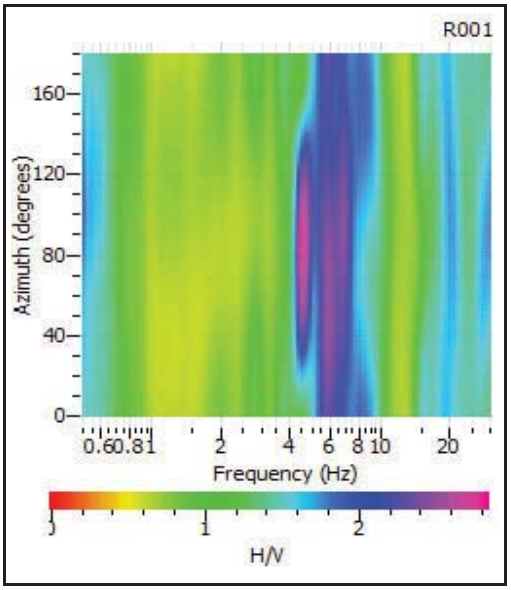
RECORD (Frequenzy)



HORIZONTAL SPECTRUM ROTATE



HV ROTATE RESULTS



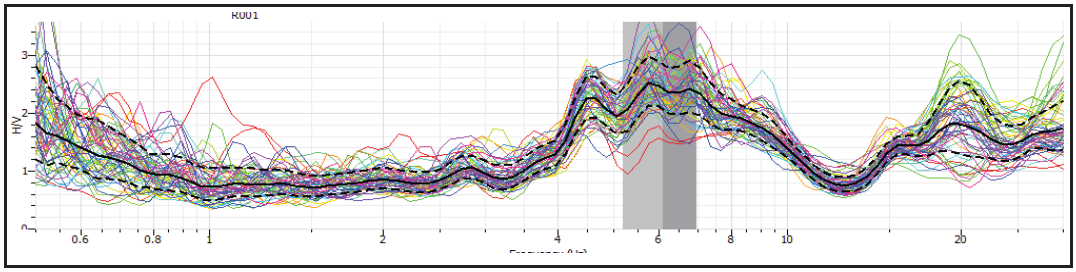
RAPPORTO SPETTRALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

CLIENTE **G4 INVESTMENT S.r.l.**

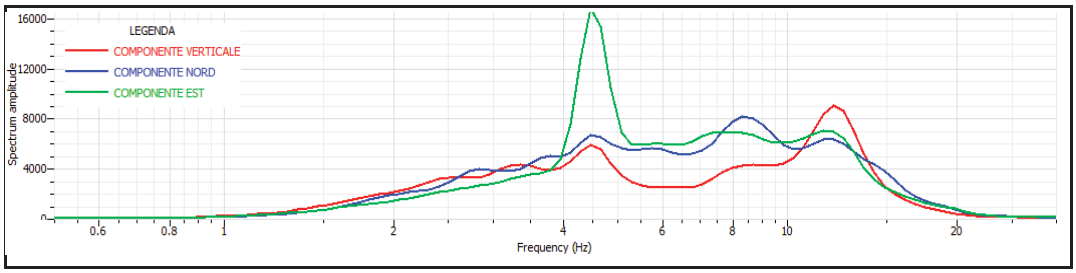
CODICE LAVORO **803-155**
CODICE PROVA **078**

RAPPORTO SPETTRALE H/V

Max HVSR 6.09 ± 0.89 Hz. A0 = 2.51



SPETTRO SINGOLE COMPONENTI



Criteri per una curva H/V affidabile

[tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

f0	**6.09**		
Lw	**20**		
nw	**71**		
f0 > 10 / Lw	**6.09 > 10/20**	☑	
nc (f0) > 200	**8647.8 > 200**	☑	
σA(f) < 2 for 0.5 f0 < f < 2 f0 if f0 > 0.5 Hz	**Exceeded 0 out of 100 times**	☑	
σA(f) < 3 for 0.5 f0 < f < 2 f0 if f0 < 0.5 Hz			

Criteri per un picco H/V chiaro

[almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Exists f^- in [f0/4, f0] | AH/V(f^-) < A0/2	**3.79 Hz**	☑	
Exists f^+ in [4f0, f0] | AH/V(f^+) < A0/2	**10.66 Hz**	☑	
A0 > 2	**2.51 > 2**	☑	
fpeak [AH/V(f) ± σA(f)] = f0 ± 5%	**-0.35311 < 0.05**	☑	
σf < ε(f0)	**0.89045 < 0.3045**		☒
σA(f0) < θ(f0)	**0.42299 < 1.58**	☑	

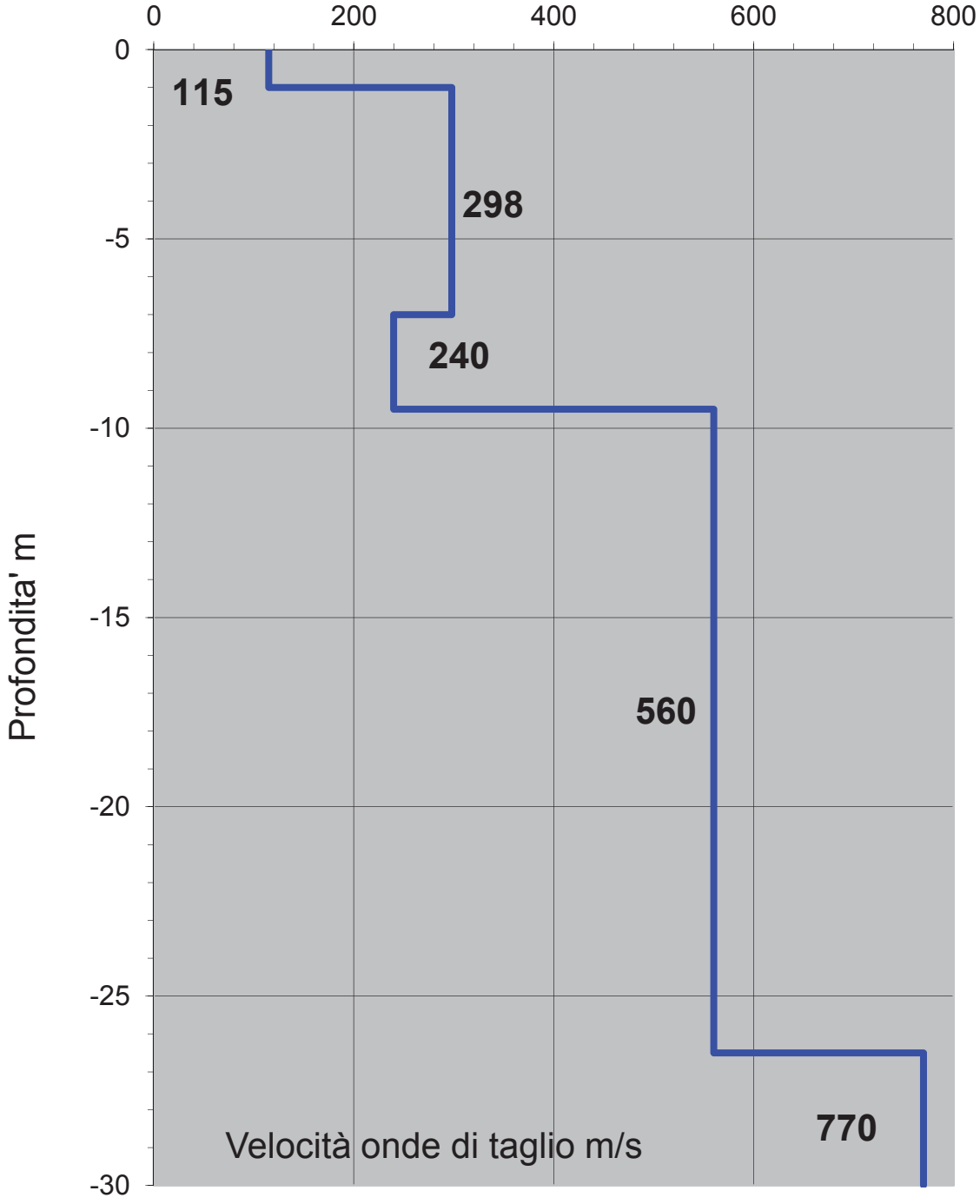
Lw	Window lenght
nW	Number of windows used in the analysis
nc = Lw nW f0	Number of significant cycles
f	Current frequency
f0	H/V peak frequency
σf	Standard deviation of H/V peak frequency
ε(f0)	Threshold value for the stability condition σf < ε(f0)
A0	H/V peak amplitude at frequency f0
AH/V(f)	H/V curve amplitude at frequency f
f -	Frequency between f0/4 and f0 for which AH/V(f-) < A0/2
f+	Frequency between f0 and 4f0 for which AH/V(f+) < A0/2
σA(f)	Standard deviation of AH/V(f), σA(f) is the factor by which the mean AH/V(f) curve should be multiplier or divided
σlogH/V(f)	Standard deviation of log AH/V(f) curve
θ(f0)	Threshold value for the stability condition σA(f) < θ(f0)

Thresold value for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. Range [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ (Hz)	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.00	2.50	2.00	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

G4 INVESTMENT S.r.l.

CODICE LAVORO - 803-155

VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (D.M. 14/01/2008)

Vs_{30} = 405 m/sec

Suolo B

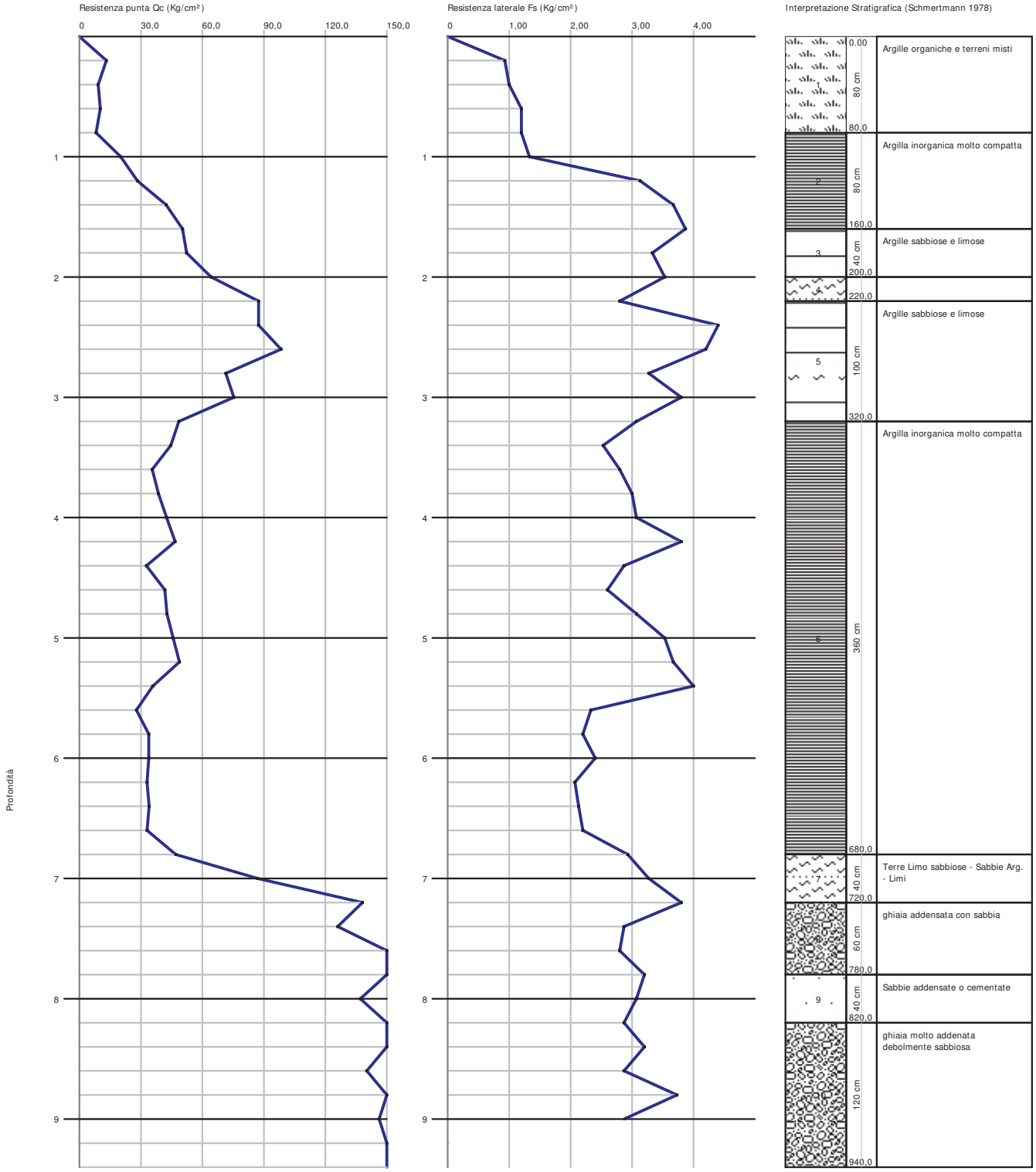
Dott. Geol. ENZO LUCCHI
Via G. Lazzarini. n°21 - 47121 Forlì - FC
Tel./.Fax. 0543-35738 - e-mail: e.lucchi.geologo@gigamail.it

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (100 kN)
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : G 4 - Investment srl
Cantiere : Via Molino Rosso - Area ASP_AN2.4 - Parz.
Località : Imola - BO

Data :25/11/2017

Scala 1:50



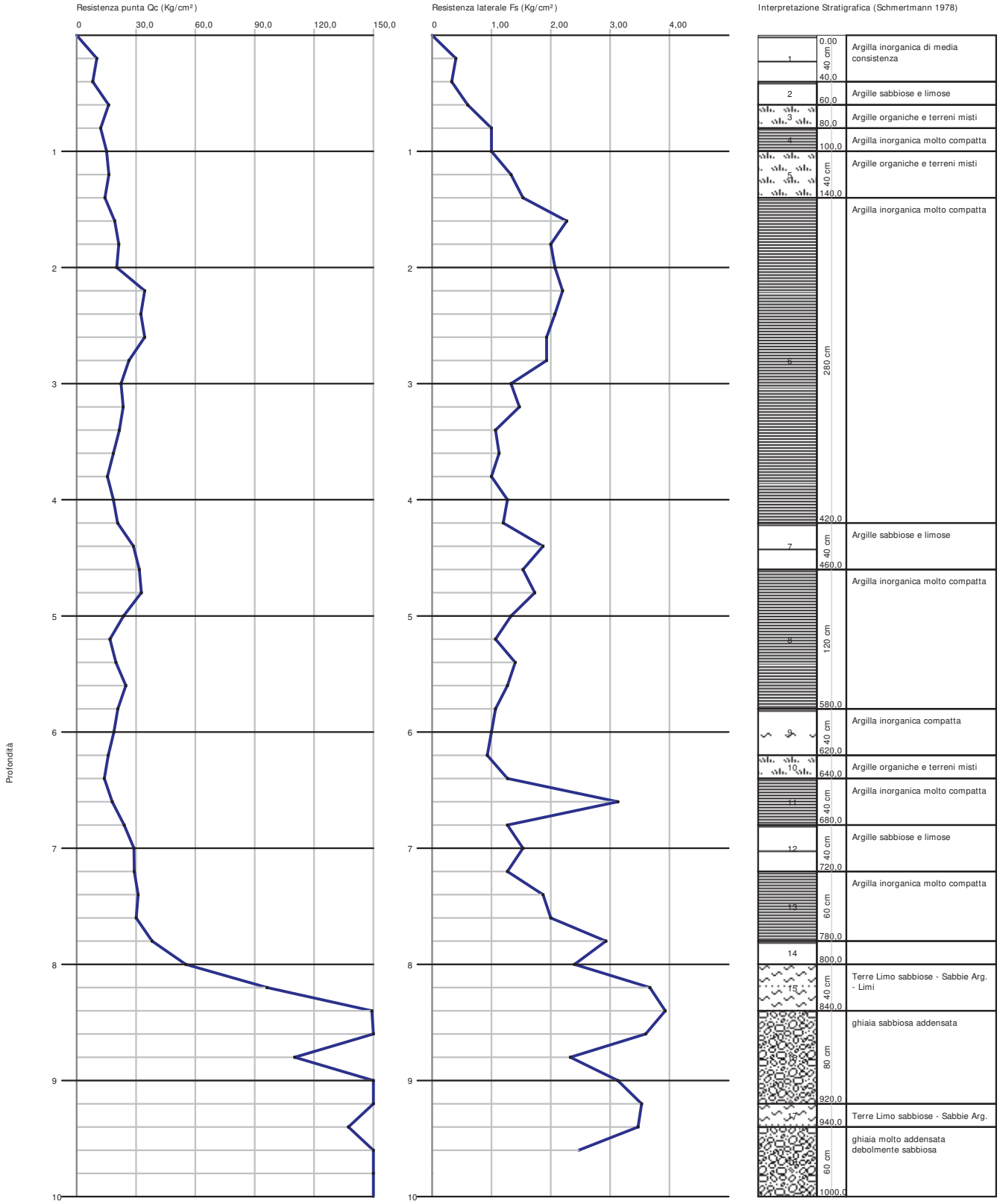
Dott. Geol. ENZO LUCCHI
Via G. Lazzarini. n°21 - 47121 Forlì - FC
Tel./.Fax. 0543-35738 - e-mail: e.lucchi.geologo@gigamail.it

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (100 kN)
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : G 4 - Investment srl
Cantiere : Via Molino Rosso - Area ASP_AN2.4 - Parz.
Località : Imola - BO

Data :25/11/2017

Scala 1:50



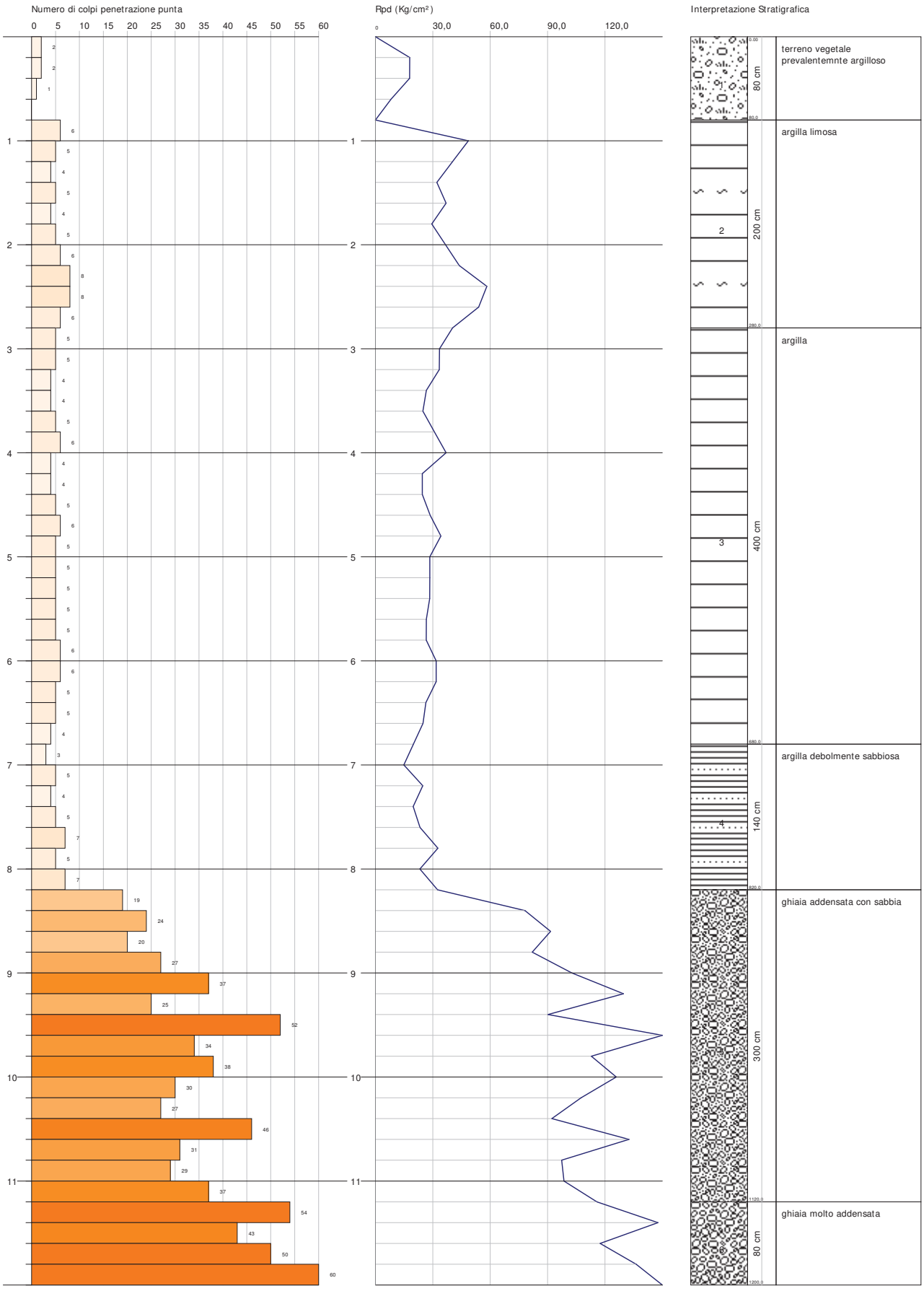
Dott. Geol. ENZO LUCCHI
Via Lazzarini. n°21 - 47121 Forlì - FC
Tel./.Fax. 0543-35738 - e-mail: e.lucchi.geologo@gigamail.it

PROVA PENETROMETRI CA DI NAMI CA Nr.3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: G-4-Investment
Cantiere: Via Molino Rosso - Area ASP_AN2.4 -Parte
Località: Imola - BO

Data: 25/11/2017

Scala 1:54



PROVA PENETROMETRICA STATICA (CPT n° 1-2)

(REPORT Misure di campagna, elaborazioni, ecc…)

Committente: G 4 - Investment
Cantiere: Via Molino Rosso - Area ASP_AN2.4 - Parz.
Località: Imola - BO

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (100 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

OPERATORE
Sig. SAURO CASTELLUCCI

RESPONSABILE
Dott.Geol. ENZO LUCCHI

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (100 kN)
Prova eseguita in data 25/11/2017
Profondità prova 9,40 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	13,0	0,0	13,14	0,93	14,13	7,08
0,40	9,0	23,0	9,14	1,0	9,14	10,94
0,60	10,0	25,0	10,14	1,2	8,45	11,83
0,80	8,0	26,0	8,14	1,2	6,78	14,74
1,00	20,0	38,0	20,14	1,33	15,14	6,6
1,20	28,0	48,0	28,28	3,13	9,04	11,07
1,40	42,0	89,0	42,28	3,67	11,52	8,68
1,60	50,0	105,0	50,28	3,87	12,99	7,7
1,80	52,0	110,0	52,28	3,33	15,7	6,37
2,00	64,0	114,0	64,28	3,53	18,21	5,49
2,20	87,0	140,0	87,41	2,8	31,22	3,2
2,40	87,0	129,0	87,41	4,4	19,87	5,03
2,60	98,0	164,0	98,41	4,2	23,43	4,27
2,80	71,0	134,0	71,41	3,27	21,84	4,58
3,00	75,0	124,0	75,41	3,8	19,84	5,04
3,20	48,0	105,0	48,55	3,07	15,81	6,32
3,40	44,0	90,0	44,55	2,53	17,61	5,68
3,60	35,0	73,0	35,55	2,8	12,7	7,88
3,80	38,0	80,0	38,55	3,0	12,85	7,78
4,00	42,0	87,0	42,55	3,07	13,86	7,22
4,20	46,0	92,0	46,69	3,8	12,29	8,14
4,40	32,0	89,0	32,69	2,87	11,39	8,78
4,60	41,0	84,0	41,69	2,6	16,03	6,24
4,80	42,0	81,0	42,69	3,07	13,91	7,19
5,00	45,0	91,0	45,69	3,53	12,94	7,73
5,20	48,0	101,0	48,83	3,67	13,31	7,52
5,40	35,0	90,0	35,83	4,0	8,96	11,16
5,60	27,0	87,0	27,83	2,33	11,94	8,37
5,80	33,0	68,0	33,83	2,2	15,38	6,5
6,00	33,0	66,0	33,83	2,4	14,1	7,09
6,20	32,0	68,0	32,97	2,07	15,93	6,28
6,40	33,0	64,0	33,97	2,13	15,95	6,27
6,60	32,0	64,0	32,97	2,2	14,99	6,67
6,80	46,0	79,0	46,97	2,93	16,03	6,24
7,00	86,0	130,0	86,97	3,27	26,6	3,76
7,20	137,0	186,0	138,1	3,8	36,34	2,75
7,40	125,0	182,0	126,1	2,87	43,94	2,28
7,60	151,0	194,0	152,1	2,8	54,32	1,84
7,80	178,0	220,0	179,1	3,2	55,97	1,79
8,00	136,0	184,0	137,1	3,07	44,66	2,24
8,20	210,0	256,0	211,24	2,87	73,6	1,36
8,40	240,0	283,0	241,24	3,2	75,39	1,33
8,60	139,0	187,0	140,24	2,87	48,86	2,05
8,80	258,0	301,0	259,24	3,73	69,5	1,44
9,00	145,0	201,0	146,24	2,87	50,95	1,96
9,20	326,0	369,0	327,38	0,0		0,0
9,40	450,0	0,0	451,38	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,80	9,14	1,13	1,84	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1,60	35,25	3,0	2,06	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,00	58,28	3,43	2,15	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
2,20	87,41	2,8	2,22	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi

3,20	76,24	3,75	2,19	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
6,80	38,76	2,84	2,08	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
7,20	112,54	3,54	2,26	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
7,80	152,43	2,96	2,09	Incoerente	ghiaia addensata con sabbia
8,20	174,17	2,97	2,15	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
9,40	260,95	2,11	2,0	Incoerente	ghiaia molto addenata debolmente sabbiosa

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (100 kN)
Prova eseguita in data 25/11/2017
Profondità prova 10,00 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	10,0	0,0	10,14	0,4	25,35	3,94
0,40	8,0	14,0	8,14	0,33	24,67	4,05
0,60	16,0	21,0	16,14	0,6	26,9	3,72
0,80	12,0	21,0	12,14	1,0	12,14	8,24
1,00	15,0	30,0	15,14	1,0	15,14	6,61
1,20	16,0	31,0	16,28	1,33	12,24	8,17
1,40	14,0	34,0	14,28	1,53	9,33	10,71
1,60	19,0	42,0	19,28	2,27	8,49	11,77
1,80	21,0	55,0	21,28	2,0	10,64	9,4
2,00	20,0	50,0	20,28	2,07	9,8	10,21
2,20	34,0	65,0	34,41	2,2	15,64	6,39
2,40	32,0	65,0	32,41	2,07	15,66	6,39
2,60	34,0	65,0	34,41	1,93	17,83	5,61
2,80	26,0	55,0	26,41	1,93	13,68	7,31
3,00	22,0	51,0	22,41	1,33	16,85	5,93
3,20	23,0	43,0	23,55	1,47	16,02	6,24
3,40	21,0	43,0	21,55	1,07	20,14	4,97
3,60	18,0	34,0	18,55	1,13	16,42	6,09
3,80	15,0	32,0	15,55	1,0	15,55	6,43
4,00	18,0	33,0	18,55	1,27	14,61	6,85
4,20	20,0	39,0	20,69	1,2	17,24	5,8
4,40	28,0	46,0	28,69	1,87	15,34	6,52
4,60	31,0	59,0	31,69	1,53	20,71	4,83
4,80	32,0	55,0	32,69	1,73	18,9	5,29
5,00	23,0	49,0	23,69	1,33	17,81	5,61
5,20	16,0	36,0	16,83	1,07	15,73	6,36
5,40	19,0	35,0	19,83	1,4	14,16	7,06
5,60	24,0	45,0	24,83	1,27	19,55	5,11
5,80	20,0	39,0	20,83	1,07	19,47	5,14
6,00	18,0	34,0	18,83	1,0	18,83	5,31
6,20	15,0	30,0	15,97	0,93	17,17	5,82
6,40	13,0	27,0	13,97	1,27	11,0	9,09
6,60	17,0	36,0	17,97	3,13	5,74	17,42
6,80	23,0	70,0	23,97	1,27	18,87	5,3
7,00	28,0	47,0	28,97	1,53	18,93	5,28
7,20	28,0	51,0	29,1	1,27	22,91	4,36
7,40	30,0	49,0	31,1	1,87	16,63	6,01
7,60	29,0	57,0	30,1	2,0	15,05	6,64
7,80	37,0	67,0	38,1	2,93	13,0	7,69
8,00	54,0	98,0	55,1	2,4	22,96	4,36
8,20	95,0	131,0	96,24	3,67	26,22	3,81
8,40	148,0	203,0	149,24	3,93	37,97	2,63
8,60	226,0	285,0	227,24	3,6	63,12	1,58
8,80	109,0	163,0	110,24	2,33	47,31	2,11
9,00	236,0	271,0	237,24	3,13	75,8	1,32

9,20	241,0	288,0	242,38	3,53	68,66	1,46
9,40	136,0	189,0	137,38	3,47	39,59	2,53
9,60	230,0	282,0	231,38	2,47	93,68	1,07
9,80	305,0	342,0	306,38	0,0		0,0
10,00	450,0	0,0	451,38	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,40	9,14	0,37	1,84	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
0,60	16,14	0,6	1,94	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
0,80	12,14	1,0	1,89	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1,00	15,14	1,0	1,92	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
1,40	15,28	1,43	1,92	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
4,20	23,52	1,64	1,99	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
4,60	30,19	1,7	2,04	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
5,80	23,12	1,31	1,99	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
6,20	17,4	0,97	1,94	Coesivo	Argilla inorganica compatta
6,40	13,97	1,27	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
6,80	20,97	2,2	1,97	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
7,20	29,04	1,4	2,03	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
7,80	33,1	2,27	2,05	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
8,00	55,1	2,4	2,14	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
8,40	122,74	3,8	2,27	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9,20	204,28	3,15	2,0	Incoerente	ghiaia sabbiosa addensata
9,40	137,38	3,47	2,29	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
10,00	329,71	0,82	2,0	Incoerente	ghiaia molto addensata debolmente sabbiosa

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (DPSH n° 3)

(REPORT Misure di campagna, elaborazioni, ecc…)

Committente: G-4-Investment
Cantiere: Via Molino Rosso - Area ASP_AN2.4 -Parte
Località: Imola - BO

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-100 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,45
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

OPERATORE
Sig. S. CASTELLUCCI

RESPONSABILE

Dott. Geol. ENZO LUCCHI

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato...	DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data	25/11/2017
Profondità prova	12,00 mt
Falda non rilevata	

(segue ➔)

Appendice (B) – REPORT MISURE Elaborazione dati con software “GEOSTRU” x Dynamic probing DPSH

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	2	0,855	17,96	21,01	0,90	1,05
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	1	0,847	8,17	9,64	0,41	0,48
0,80	0	0,843	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	6	0,840	48,59	57,86	2,43	2,89
1,20	5	0,836	40,32	48,22	2,02	2,41
1,40	4	0,833	32,13	38,57	1,61	1,93
1,60	5	0,830	36,96	44,55	1,85	2,23
1,80	4	0,826	29,45	35,64	1,47	1,78
2,00	5	0,823	36,68	44,55	1,83	2,23
2,20	6	0,820	43,85	53,47	2,19	2,67
2,40	8	0,817	58,25	71,29	2,91	3,56
2,60	8	0,814	53,95	66,25	2,70	3,31
2,80	6	0,811	40,32	49,69	2,02	2,48
3,00	5	0,809	33,49	41,41	1,67	2,07
3,20	5	0,806	33,38	41,41	1,67	2,07
3,40	4	0,803	26,61	33,13	1,33	1,66
3,60	4	0,801	24,78	30,94	1,24	1,55
3,80	5	0,798	30,88	38,68	1,54	1,93
4,00	6	0,796	36,95	46,41	1,85	2,32
4,20	4	0,794	24,56	30,94	1,23	1,55
4,40	4	0,791	24,49	30,94	1,22	1,55
4,60	5	0,789	28,64	36,28	1,43	1,81
4,80	6	0,787	34,27	43,54	1,71	2,18
5,00	5	0,785	28,48	36,28	1,42	1,81
5,20	5	0,783	28,41	36,28	1,42	1,81
5,40	5	0,781	28,34	36,28	1,42	1,81
5,60	5	0,779	26,62	34,17	1,33	1,71
5,80	5	0,777	26,56	34,17	1,33	1,71
6,00	6	0,775	31,80	41,00	1,59	2,05
6,20	6	0,774	31,73	41,00	1,59	2,05
6,40	5	0,772	26,38	34,17	1,32	1,71
6,60	5	0,770	24,87	32,29	1,24	1,61
6,80	4	0,769	19,86	25,83	0,99	1,29
7,00	3	0,767	14,86	19,37	0,74	0,97
7,20	5	0,766	24,72	32,29	1,24	1,61
7,40	4	0,764	19,74	25,83	0,99	1,29
7,60	5	0,763	23,34	30,60	1,17	1,53
7,80	7	0,761	32,62	42,85	1,63	2,14
8,00	5	0,760	23,26	30,60	1,16	1,53
8,20	7	0,759	32,50	42,85	1,63	2,14
8,40	19	0,707	82,25	116,30	4,11	5,81
8,60	24	0,656	91,58	139,62	4,58	6,98
8,80	20	0,705	81,99	116,35	4,10	5,82
9,00	27	0,653	102,64	157,07	5,13	7,85
9,20	37	0,602	129,64	215,24	6,48	10,76
9,40	25	0,651	94,69	145,43	4,73	7,27
9,60	52	0,550	158,50	288,21	7,92	14,41
9,80	34	0,599	112,84	188,44	5,64	9,42
10,00	38	0,598	125,88	210,61	6,29	10,53
10,20	30	0,647	107,51	166,27	5,38	8,31
10,40	27	0,646	96,60	149,65	4,83	7,48
10,60	46	0,544	132,54	243,45	6,63	12,17
10,80	31	0,593	97,35	164,06	4,87	8,20
11,00	29	0,642	98,59	153,48	4,93	7,67
11,20	37	0,591	115,79	195,82	5,79	9,79
11,40	54	0,540	154,40	285,79	7,72	14,29
11,60	43	0,539	117,42	217,75	5,87	10,89
11,80	50	0,538	136,28	253,19	6,81	12,66
12,00	65	0,537	176,82	329,15	8,84	16,46

DAVIDE SASDELLI
GEOLOGO
Via Petrarca, 36
40026 Imola – Bologna

RELAZIONE GEOLOGICA SULL'AREA OGGETTO DI MANIFESTAZIONE DI INTERESSE AMMESSA ALLA SOTTOSCRIZIONE DELL'ACCORDO ART.18 AI FINI DELL'INSERIMENTO NEL POC, UBICATA IN VIA LASIE .

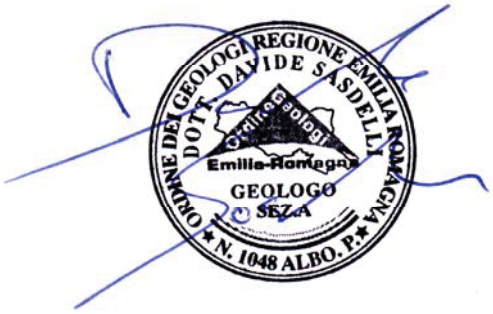
COMUNE DI IMOLA (BO)



L.I. s.r.l.

Via dell'Artigianato 6 - 6/A

40126 Imola (BO)



Relazione Geologica Novembre 2017

Indice

1 Premessa 2
1.1 Normativa 2
1.2 Cartografia 3
1.3 Vincoli urbanistici 4
2 Caratterizzazione geologica 13
2.1 Geomorfologia generale 13
2.2 Geomorfologia locale 14
3 Geologia dell'area 15
4 Idrologia e idrogeologia 17
4.1 Caratteri strutturali 20
5 Indagini geotecniche 25
5.1 Prove penetrometriche statiche (punta meccanica) 25
5.1 Indagine sismica 26
6 Caratterizzazione e modellazione geotecnica 28
7 Considerazioni tecniche 31
8 Caratterizzazione sismica 32
8.1 Dati generali 33
8.2 Parametri sismici 33
8.3 Valutazione dell'azione sismica 35
8.4 Effetti stratigrafici 35
8.5 Effetti topografici 41
8.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale 42
8.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale 44
8.8 Studio di Amplificazione Sismica Locale 45
9 Conclusioni 50

1 Premessa

A seguito dell'incarico professionale ricevuto dalla Ditta L.I. srl, avente sede legale in Via dell'Artigianato, 6/6A in Comune di Imola (BO), si espone la presente relazione, inerente lo studio geologico svolto sull'area oggetto di manifestazione di interesse ammessa alla sottoscrizione dell'accordo art.18 ai fini dell'inserimento nel poc, ubicata in via Lasie.

Il presente studio geologico è stato eseguito sviluppando i punti seguenti:

- raccolta e analisi iniziale dei dati presenti nella letteratura tecnica (campagna geologica 2004);
- campagna di prove penetrometriche statiche CPT;
- campagna sismica, composta da indagine MASW e HVSR;
- rilevamento geomorfologico e idrologico, con descrizione della geologia generale, della stratigrafia, dell'idrogeologia e della litologia dell'area;
- elaborazione ed interpretazione dei dati acquisiti per la ricostruzione del modello lito-stratigrafico del sottosuolo dell'area;
- implicazioni sismiche dell'area, ai sensi del D.M. 14.01.2008 e ai sensi dell'Ordinanza del Dipartimento della Protezione Civile e del Servizio Sismico Nazionale del 20 marzo 2003: "Nuove disposizioni per le costruzioni in zona sismica" entrata in vigore il 23 ottobre '05;
- Studio di risposta sismica locale
- caratterizzazione geotecnica della successione stratigrafica;
- determinazione dell'eventuale presenza della falda idrica;
- Indice del potenziale di liquefazione;
- Determinazione della profondità del bedrock sismico
- Velocità delle onde di taglio Vs (categoria di suolo)
- Coefficienti di amplificazione sismica

Lo svolgimento delle attività suesposte ha permesso di descrivere lo stato dei luoghi, di valutare le condizioni di stabilità e di fornire raccomandazioni per l'intervento di progetto.

1.1 Normativa

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa nel settore geotecnico e delle costruzioni, in particolare modo si evidenziano:

- *D.M. 21 gennaio 1981* – "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- *Circ. Dir. Centr. Tecn. n°. 97/81* – "Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- *D.M. LL.PP. 11 marzo 1988* - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- *Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n° 30483* – "Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88".
- AGI: raccomandazione sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977;
- Circolare Ministero dei LL.PP. 15.10.06 n. 252 AA.GG./S.T.C., Istruzione per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al D.M. 16.01. 1996;
- Circolare Ministero dei LL.PP. 10.04.07 n. 65/ AA.GG. Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni Sismiche, di cui al D.M. 16.01.1996;
- Legge 02.02.1974 n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.";
- *"Nuove disposizioni per le costruzioni in zona sismica"* Ordinanza del Dipartimento della Protezione Civile e del Servizio Sismico Nazionale del 20 marzo 2003: pubblicata nella G.U. del 8 maggio 2003;
- *"Norme tecniche per le costruzioni*". Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti:" del 14 gennaio 2008;
- *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*

Le indicazioni contenute nel presente documento rappresentano valutazioni di fattibilità dell'opera di progetto e degli interventi necessari per realizzarla. Le considerazioni svolte vanno, dunque, attentamente osservate per la progettazione esecutiva dell'intero intervento di progetto.

1.2 Cartografia

L'area oggetto di questo lavoro è localizzata nel territorio comunale di Imola, mappale 80, 81, 82, 162 Foglio 110, a Nord dell'abitato e a poche centinaia di metri a Sud dell'Autostrada A14 Bologna Taranto.

L'area è rappresentata nelle seguenti Carte Tecniche della Regione Emilia Romagna:

- *Tavola 239 NO: toponimo "Imola", scala 1:25.000;*
- *Sezione 239010: toponimo "Imola", scala 1:10.000;*
- *Elemento 239011: toponimo "Vidiuno", scala 1:5.000 (Tavola 1).*

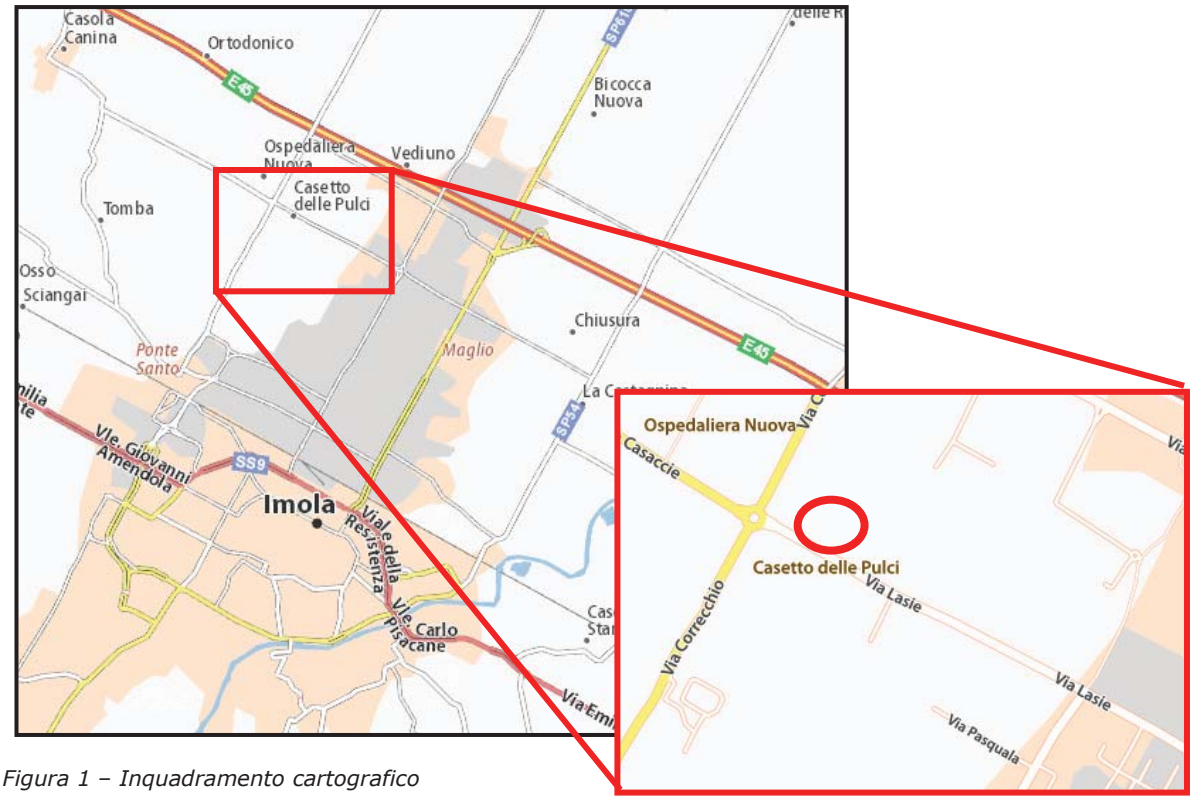


Figura 1 – Inquadramento cartografico

1.3 Vincoli urbanistici

1.3.1 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE – CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Città Metropolitana di Bologna, redatto in base all'articolo 20 del D.Lgs. 267/2000, all'articolo 57 del D.Lgs 112/1998 ed all'articolo 26 della L.R. 20/2000, è stato approvato dal Consiglio Provinciale con Delibera n. 9 del 30.3.2004 e costituisce atto di programmazione generale e definisce l'assetto del territorio con riferimento agli interessi sovracomunali, articolando sul territorio le linee di azione della programmazione regionale, nonché raccorda e verifica le politiche settoriali della Provincia ed indirizza e coordina la pianificazione urbanistica comunale.

Il PTCP attua le prescrizioni del Piano Territoriale Paesistico Regionale ed assume efficacia di piano territoriale con finalità di salvaguardia dei valori paesistici, ambientali e culturali del

territorio, ai sensi dell'articolo 149 del D.Lgs. 490/1999 e costituisce unico riferimento, per gli strumenti di pianificazione comunali e per l'attività amministrativa attuativa, in materia di pianificazione paesaggistica ai sensi dell'articolo 24 della L.R. 20/2000. Con la medesima logica il PTCP, con i Titoli 4 e 6 delle Norme di Attuazione e con le Tavole n. 1 e n. 2, costituisce disciplina di coordinamento e di attuazione anche del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – PSAI (Delibera del C.I. n 1/1 del 6.12.2002) dei bacini del Fiume Reno e dei Torrenti Idice, Sillaro e Santerno (approvato con D.G.R. n. 567 del 7.4.2003) e le prescrizioni degli articoli 4.11 punto 1 e 6.11 punto 2 hanno carattere immediatamente vincolante ai sensi dell'art. 17, comma 5, della Legge 183/89. Gli elaborati costitutivi del PTCP sono:

- Quadro conoscitivo
- Norme di Attuazione
- Elaborati grafici:
    - Tavola 1 "Tutela dei sistemi ambientali e delle risorse naturali e storico culturali"
    - Tavola 2a "Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque meteoriche"
    - Tavola 2b "Tutela delle acque superficiali e sotterranee"
    - Tavola 2c "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali "
    - Tavola 3 "Assetto evolutivo degli insediamenti, delle reti ambientali e delle reti per la mobilità"
    - Tavola 4 "Assetto strategico delle infrastrutture e dei servizi per la mobilità"
    - Tavola 5 "Reti ecologiche"
- Valutazione di sostenibilità ambientale e territoriale".

In questo paragrafo si analizzerà il sistema dei vincoli e delle tutele che interessa l'area in esame per ogni tavola del Piano.

1. *Tavola 1 "Tutela dei sistemi ambientali e delle risorse naturali e storico culturali"*

L'area in esame risulta cartografa all'interno della tavola come Zone di tutela della struttura centuriata (art. 8.2d1)

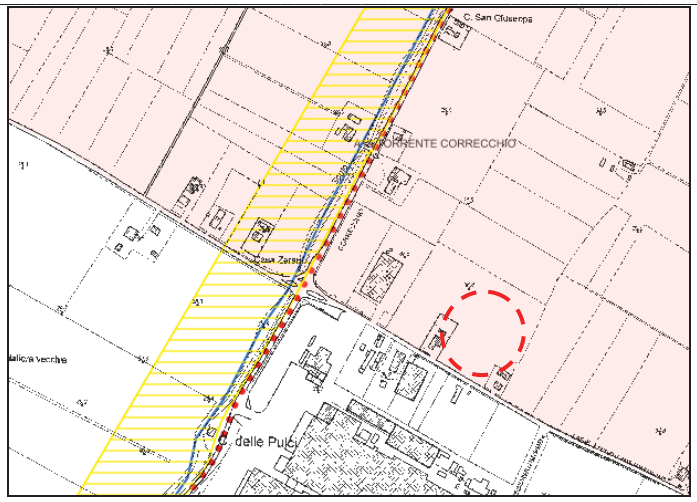


Figura 2 - PTCP Tav 1- Tutela dei sistemi ambientali e storici-culturali

2. *Tavola 2A. Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque meteoriche*

L'area ricade all'interno dell'area normata dall' Art. 4.8 relativo alla gestione delle acque meteoriche.

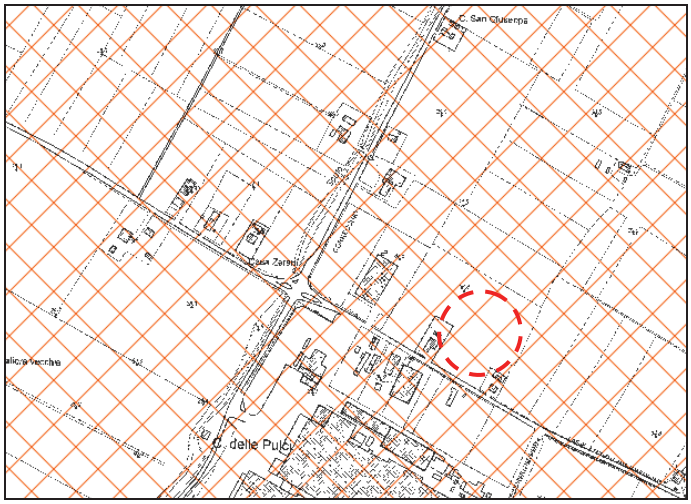


Figura 3 - PTCP Tav. 2A Rischio da frana, assetto versanti e gestione delle acque meteoriche

3. *Tavola 2B. Tutela delle acque superficiali e sotterranee*

L'intera area in esame non risulta cartografata nella Tavola 2B.

Si segnala che il lotto è ubicato al margine dellae Zone di rispetto delle sorgenti e pozzi (PTCP Art. 5.2 e 5.3).

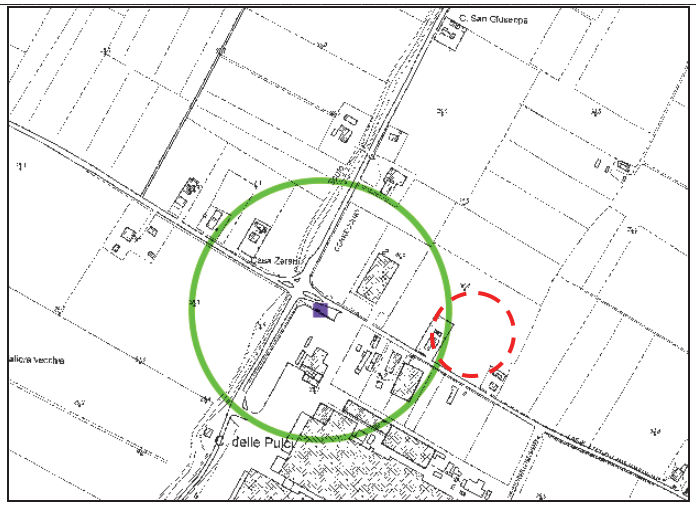


Figura 4 - PTCP Tav. 2B Tutela acque superficiali e sotterranee

4. Tav.2C. Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali

Come si osserva in Tav. 2C, l'area ricade sia all'interno di zone potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche (PTCP Art. 6.14).

Studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico (approfondimenti di II livello); sui pendii con acclività maggiore di 15° e nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.

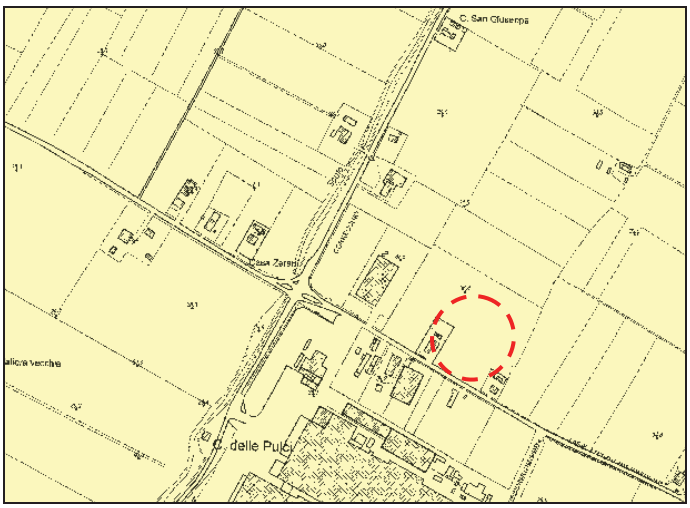


Figura 5- PTCP Tav. 2C Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali

5. *Tav.3. Assetto evolutivo degli insediamenti, delle reti ambientali e delle reti per la mobilità*

Come si osserva in Tav. 3, l'area ricade in ambiti a prevalente alta vocazione produttiva agricola PTCP Art. 11.9 e in ambiti produttivi di rilievo sovracomunale suscettibili di sviluppo per funzioni miste produttive logistiche e del commercio non alimentare PTCP Art. 9.1

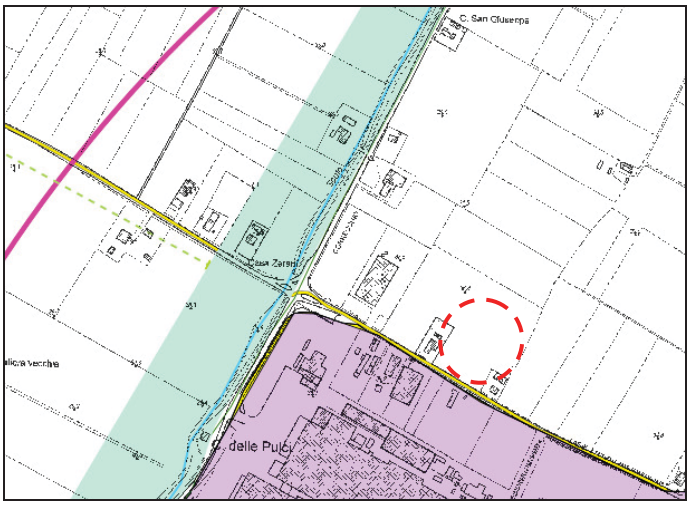


Figura 6 - PTCP Tav. 3 Assetto evolutivo degli insediamenti, delle reti ambientali e delle reti per la mobilità

6. *Tavola 4A "Assetto strategico delle infrastrutture per la mobilità"*

La tavola non tratta di tematiche inerenti il presente documento.

7. *Tavola 4B "Assetto strategico delle infrastrutture e dei servizi per la mobilità collettiva"*

La tavola non tratta di tematiche inerenti il presente documento

8. *Tavola 5 "Reti ecologiche"*

Come si osserva in Tav. 25, l'area ricade all'interno delle aree di potenziamento della rete ecologica PTCP Art. 3.5 e diInterferenze con ambiti produttivi di rilievo sovracomunale suscettibili di sviluppo PTCP Artt. 9.1 e 9.3

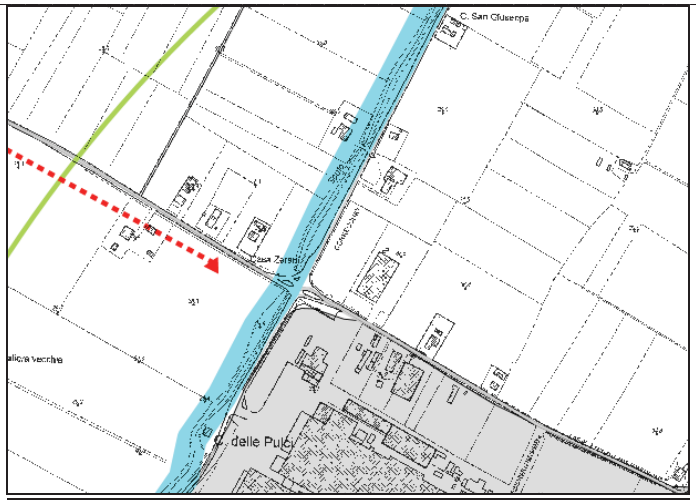


Figura 7 - PTCP Tav. 8 Reti ecologiche

1.3.2 PIANO STRUTTURALE COMUNALE – COMUNE IMOLA

Con la legge n. 20 del 2000, la Regione Emilia-Romagna ha attribuito ai Comuni del territorio regionale la responsabilità di definire una pianificazione territoriale e urbanistica che li metta in grado di promuovere:

lo sviluppo economico, sociale e culturale della popolazione;

il miglioramento della qualità della vita;

l'uso consapevole e appropriato delle risorse non rinnovabili.

Con deliberazione del Consiglio Comunale n. 233 del 22/12/2015 sono stati approvati ai sensi della L.R. 20/2000 e s.m. rispettivamente il PSC (PIANO STRUTTURALE COMUNALE) con effetti di Variante al PTCP, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, limitatamente ad elementi presenti nel territorio comunale, il RUE (REGOLAMENTO URBANISTICO EDILIZIO) e, ai sensi della L.R. 15/2001 e s.m. il Piano di Classificazione Acustica.

I documenti costitutivi del PSC sono:

Relazione illustrativa;

Norme tecniche attuative

Sette serie di tavole:

assetto del territorio;

tutela e valorizzazione delle identità culturali e del paesaggio;

tutela e vulnerabilità della sicurezza del territorio;

infrastrutture, attrezzature tecnologi. limiti del territorio;

schema infrastrutturale della mobilità e sistemi territoriali;

rete ecologica;

potenzialità archeologiche

Valutazione di sostenibilità ambientale e territoriale (Valsat);

Quadro conoscitivo.

- *Tavola 1: assetto del territorio*

L'intervento è in progetto in un'ambiti produttivi sovracomunali di sviluppo di nuovo impianto (art. 5.3.5).

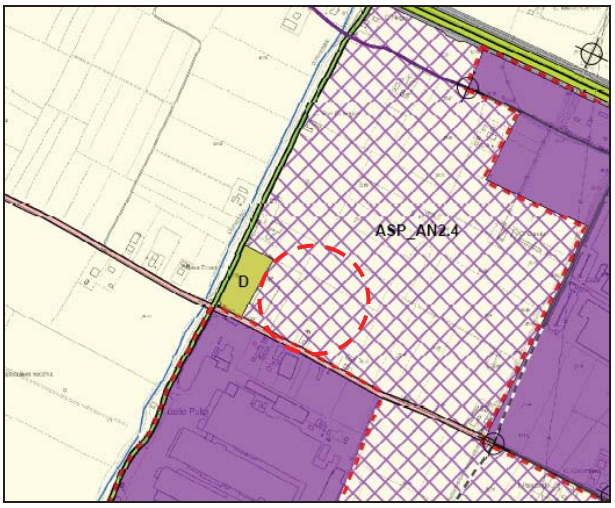


Figura 8 - PSC Comune di Imola " assetto del territorio"

L'articolo del piano non norma l'intervento.

- *Tavola 2 " tutela e valorizzazione delle identità culturali e del paesaggio "*

L'intervento è in progetto in un' area di Zone di tutela della centuriazione (art. 2.2.4)

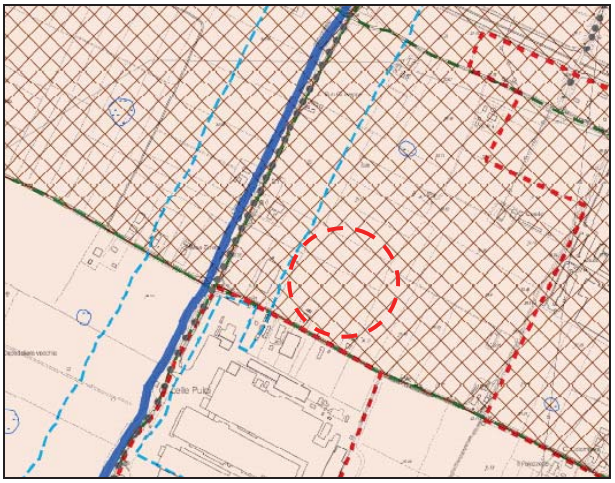


Figura 9 - PSC Comune di Imola " tutela e valorizzazione delle identità culturali e del paesaggio"

- *Tavola 3 " tutela e vulnerabilità della sicurezza del territorio "*

L'area risulta cartografata all'interno della tavola 3 del PSC ai margini della zona di rispetto di sorgenti, pozzi e captazioni (art. 3.1.8)

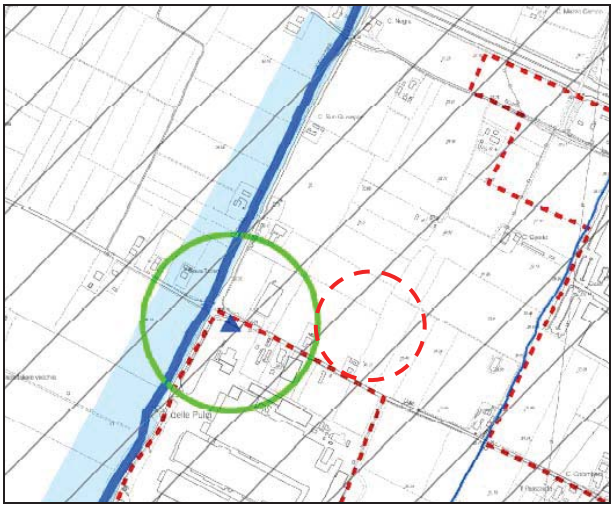


Figura 10 - PSC Comune di Imola " tutela e vulnerabilità della sicurezza del territorio"

- *Tavola 4 " infrastrutture, attrezzature tecnologi. limiti del territorio "*

Nella Tavole 4 del PSC del Comune di Imola l'area risulta normata dall'art. 4.1.4 in quanto ricade nel corridoio di attenzione gasdotti (100 m)



Figura 11 - PSC Comune di Imola " infrastrutture, attrezzature tecnologi. limiti del territorio"

L'area non risulta normata nelle Tavole 5 e 6, del PSC del Comune di Imola

Nella tavola 7 l'area ricade in potenzialità archeologica E



Figura 12 - PSC Comune di Imola " Carta delle potenzialità archeologiche"

Alla luce dell'analisi degli articoli del PSC sopra esposti, l'intervento in progetto risulta compatibile con il piano da un punto di vista geologico-idrogeologico-morfologico-sismico.

2 Caratterizzazione geologica

2.1 Geomorfologia generale

L'Emilia-Romagna, compresa per intero nel versante padano dell'Appennino settentrionale, è caratterizzata da una marcata articolazione del territorio, prodotta dalla distribuzione dei rilievi e, conseguentemente, dalla rete idrografica, dall'altimetria, dai paesaggi e dal clima.

Nella Regione si possono individuare una zona di montagna, una di collina, una di pianura ed una costiera. Le condizioni naturali sono caratterizzate da una distribuzione lineare, secondo fasce a sviluppo ONO-ESE, compenetrate da valli ad esse ortogonali.

Montagne e colline, estese da ONO a ESE a formare il lato meridionale della Regione e disposte in successione degradante verso la pianura, determinano una comunione di caratteri su tutto il territorio regionale, alla quale si sovrappongono differenziazioni areali, talvolta notevoli, dovute in buona parte alla natura geologica della catena appenninica: in particolare, la degradabilità dei principali litotipi presenti e la struttura tettonica, che determinano una naturale instabilità idrogeologica.

In corrispondenza dell'asse della catena sono presenti le cime più elevate che formano rilievi compatti a cui seguono, verso la pianura, varie cime e dorsali di minor altezza, emergenti, rispetto a rilievi a più dolce morfologia e prevalentemente argillosi.

La cintura collinare degrada, infine, attraverso una fascia pedemontana, alla pianura alluvionale, percorsa dai corsi d'acqua.

Il reticolo idrografico, orientato con direzione SSO-NNE, determina l'incunearsi della pianura pedemontana verso Sud, creando ampi fondovalle che si riducono progressivamente fino a scomparire per lasciar posto a valli via via più strette che giungono, con la parte imbrifera dei corsi d'acqua, fino a ridosso delle aree di crinale.

Dal punto di vista idraulico, i corsi d'acqua presentano, nel loro tratto montano e collinare, regime torrentizio caratterizzato da elevate portate autunnali e primaverili alle quali si alternano, nei periodi invernali ed estivi, prolungati periodi di magra. Questo regime, ed in particolare gli eventi idrologici estremi conseguenti, costituisce un grave problema sia per l'ambito montano-collinare che per quello di pianura, su tutto il territorio regionale.

L’assetto dei lineamenti orografici generali è assai regolare: una catena principale ed una serie di contrafforti montuosi a questa più o meno perpendicolari e degradanti verso la

pianura fra i quali sono ospitati i principali corsi d'acqua. Tale andamento è da mettere in relazione con fenomeni legati a un'evoluzione strutturale della catena appenninica, almeno a partire dal Miocene medio, complicati da movimenti tettonici differenziali post-pliocenici, prevalentemente verticali. Ne sono un chiaro esempio la frequente asimmetria dei versanti, legata a un andamento della stratificazione, l'orientamento del reticolo idrografico parallelo alle direttrici strutturali è condizionato, in minor misura, dagli assi delle strutture plicative.

Se l'evoluzione tettonica ha determinato l'assetto morfologico generale, l'acquisizione delle forme finali è stata condizionata dalla natura delle rocce affioranti e dall'azione dei processi geomorfologici che vi hanno operato.

Dal punto di vista geomorfologico si possono quindi distinguere aggregazioni in ambiti o unità omogenei: crinale, alta montagna, montagna, collina, pianura alluvionale.

2.2 Geomorfologia locale

L'ambiente della pianura alluvionale è costituito da sedimenti di origine fluviale depositatisi sia dai corsi d'acqua appenninici che da quelli della piana pedemontana e della pianura a meandri del Fiume Po. L'ambiente è tipicamente deposizionale, con prevalenza di litologie da argillose a sabbiose e, nell'alta pianura, ghiaiose.

Il paesaggio è controllato dai processi di tracimazione e rotta e, subordinatamente, da fattori strutturali.

All'interno della pianura alluvionale si possono distinguere vari contesti ambientali che danno luogo a diversi ambiti morfologici.

La pianura pedemontana è situata ai piedi della fascia collinare ed è caratterizzata dai corpi sedimentari, di varie dimensioni, depositati dai corsi d'acqua allo sbocco dalle valli montane in conseguenza della diminuzione del gradiente topografico, e dai depositi alluvionali intravallivi. Sono costituiti da materiali per lo più grossolani, ma talvolta anche fini, caratterizzati da una scarsa selezione, che immergono verso la pianura con pendenze del 10%. La superficie è piana o sub-pianeggiante per le conoidi recenti, piano-convessa per le conoidi antiche. All'interno delle valli fluviali possono essere presenti depositi alluvionali terrazzati, costituiti da sedimenti eterogenei scarsamente selezionati.

La pianura alluvionale è costituita dalla fascia di pianura che dal limite delle conoidi pedemontane si estende verso il mare; è caratterizzata da una crescita prevalentemente verticale per effetto di rotte e tracimazioni dei corsi d'acqua che l'attraversano. Questi sono prevalentemente rettilinei o meandriformi e scorrono pensili sulla pianura.

I depositi a lato del canale fluviale sono di tipo sabbioso limoso, quelli delle aree più distali a granulometria più fine. Nelle zone morfologicamente depresse, dove una volta le acque fuoriuscite dagli alvei formavano laghi e paludi anche a carattere stagionale, prevalgono argille, argille limose e livelli torbosi.

L'area in esame si trova su una conoide alluvionale formatasi al margine pedemontano del Torrente Santerno.

L'area è pianeggiante e si sviluppa ad una quota di circa 37 metri sul livello del mare ed è ubicata circa a m. 300 a Sud dell'autostrada Adriatica (A14).

3 Geologia dell'area

Come si evince dall'estratto della carta geologica pubblicata sul sito internet della Regione Emilia Romagna, a cura del servizio Geologico Sismico e dei Suoli (vd. Figura 19), il contesto geologico è caratterizzato da depositi caratteristici di piana alluvionale. La litologia è fortemente condizionata dalla disposizione dei principali canali fluviali che, nel periodo antecedente gli interventi antropici di regimazione idraulica, erano soggetti a frequenti e ripetute tracimazioni delle correnti alluvionali, non essendo in grado di contenere la maggior parte delle piene stagionali. Le acque tracimate inondavano i territori adiacenti depositando, in funzione della capacità di flusso, dapprima i materiali più grossolani, quindi quelli più fini in corrispondenza delle aree più distali.

I depositi di superficie appartengono interamente al Subsintema di Ravenna (AES8) del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), ed in particolare ai depositi dell' Unità di Modena AES8a.

In AES8, la piana alluvionale è caratterizzata dai depositi grossolani di riempimento di canale fluviale (ghiaie e sabbie) confinati entro scarpate di terrazzo lungo le aste dei principali corsi d'acqua. Questi depositi vengono gradualmente obliterati verso le aree più distali dal canale da corpi limoso-sabbiosi di argine e rotta fluviale occupando gran parte della piana alluvionale.

Nelle aree interfluviali sono presenti i depositi argillosi e limosi di piana inondabile che formano dei nastri allungati parallelamente ai sistemi fluviali.

La legenda di seguito proposta è riferita alla carta geologica mostrata in Figura 16, che fa riferimento alla cartografia geologica e dei suoli della Regione Emilia-Romagna a scala 1:10000:

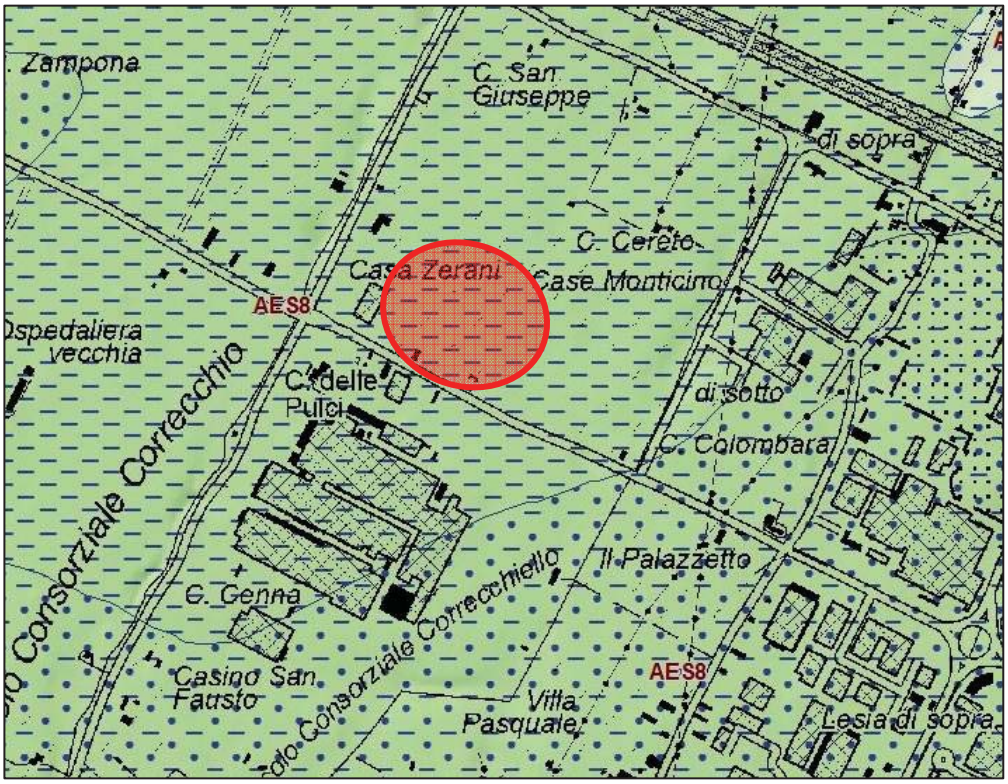


Figura 13 – Estratto da "Cartografia Geologica regione Emilia Romagna

- AES8 - Subsintema di Ravenna

  Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Il limite superiore è dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Lo spessore massimo in pianura risulta pari a 25 metri circa.

  Età: Pleistocene sup. – Olocene

Viene di seguito riportato un estratto della Sezione Geologica 107 fornita entro il layer "Sezioni geologiche" della Carta Geologica dell'Emilia Romagna entro il Geoportale regionale.

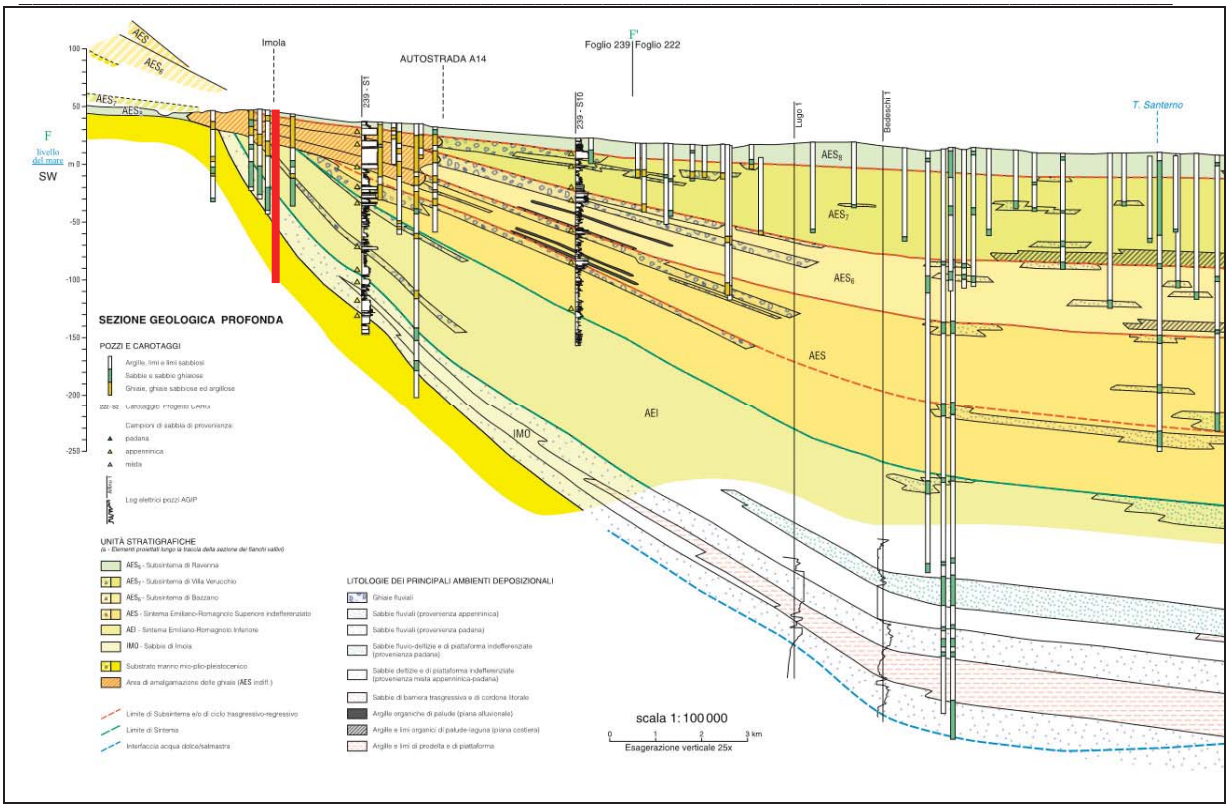


Figura 14: Sezione Geologica fornita nel Geoprtale dell'Emilia Romagna.

La sezione geologica mostra al di sotto dei depositi appartenenti al subsintema di Ravenna AES8 uno spessore di circa 20-30 m di amalgamazione con le ghiaie (AES indiff.) fino ai depositi assoggettabili al Sintema Emiliano Romagnolo inferiore.

Il bedrock è riscontrabile alla profondità di circa 100 m da piano campagna ed è caratterizzato dal basamento marino mio-plio-pleistocenico.

presenta elevata pendenza e tende ad approfondirsi rapidamente verso NE, determinando sensibili variazioni anche entro il territorio comunale. Uno studio che utilizza tecniche sismiche a bassa frequenza ed elevate profondità di indagine potrà stimare lo spessore dei terreni sovrastanti in risonanza.

4 Idrologia e idrogeologia

La Pianura Padana rappresenta il risultato del riempimento dell'antico bacino posto a valle del Margine Appenninico, dovuto alla sedimentazione marina e all'azione di trasporto e sedimentazione da parte dei corsi d'acqua (deposito continentale). Come afferma lo studio effettuato dalla Regione Emilia-Romagna (1998) relativamente alle risorse idriche sotterranee, il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non è avvenuto in maniera continua e progressiva, ma è stato il frutto di

eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Mediante correlazioni effettuate con le superfici di discontinuità riconosciute in affioramento sul Margine, sono stati distinti nel sottosuolo regionale 3 Sequenze Principali denominate rispettivamente, dalla più antica alla più recente:

- Supersintema del Pliocene medio-superiore;
- Supersintema del Quaternario Marini;
- Supersintema Emiliano-Romagnolo.

A loro volta sono stati identificati tredici Complessi Acquiferi che definiscono i tre grandi Gruppi Acquiferi principali denominati rispettivamente A (identificabile con il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore), B (identificabile con il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore), C (che comprende il Supersintema del Pliocene medio-superiore e quello del Quaternario Marino). Di seguito si riporta una tabella riassuntiva che riporta, in sintesi, la suddivisione gerarchica sopra descritta.

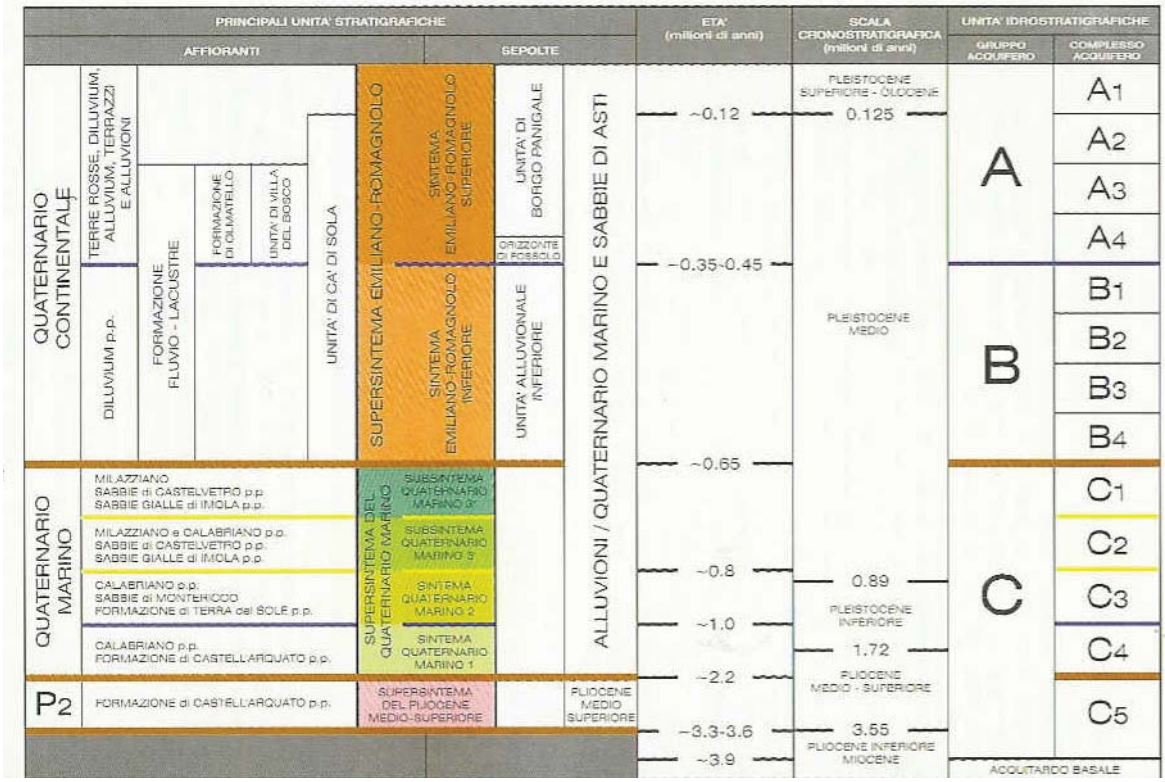


Figura 15: Suddivisione schematica dell'assetto idrogeologico generale della Regione Emilia-Romagna e identificazione dei tre Gruppi Acquiferi principali A, B,C

Per ogni Complesso Acquifero è stato delimitato il Sistema Acquifero, ovvero lo spessore idrogeologicamente omogeneo, costituito da serbatoi acquiferi separati da barriere di permeabilità locali ed il Sistema Acquitardo costituito dall'unità fine omogenea.

Per quanto riguarda la circolazione idrica nel primo sottosuolo, si sottolinea che, al termine delle prove penetrometriche realizzate non è stata riscontrata la presenza della falda idrica superficiale all'interno dei fori di sondaggio.

L'idrografia dell'abitato di Imola è caratterizzata dalla presenza di un corso d'acqua principale (torrente Santerno), il quale scorre ad una distanza minima di circa m. 2000 a Sud rispetto all'area di intervento, ad una quota inferiore di circa m. 20,00.

Attualmente l'alveo del Santerno mostra un andamento tendenzialmente rettilineo a monte della città di Imola e risulta piuttosto incassato all'interno dei propri argini, mentre, verso il settore di pianura evidenzia una notevole sinuosità caratterizzata da ampi meandri. L'idrografia del Santerno, prima della realizzazione degli argini da parte dell'uomo, ha sempre subito numerose variazioni del suo assetto e del suo andamento nel corso dei secoli, sia in prossimità, che a valle di Imola. Lo studio di tali mutazioni verificatesi nel corso degli ultimi secoli è stato avvallato anche dall'osservazione della cartografia storica, prodotta a partire dal XV-XVI sec. in poi; "*…in particolare la caratteristica più vistosa è la progressiva rettifica dell'andamento meandriforme rilevato da Leonardo. Il cambiamento è avvenuto in meno di 130 anni…Le modalità del cambiamento sono la graduale traslazione verso valle del sistema dei meandri, a seguito di erosione del precedente materasso alluvionale lungo la fascia meandrata, oppure mediante frequenti tagli di meandro…Dalla metà dell'ottocento il sistema di meandri è risalito verso monte, raggiungendo quasi di nuovo la città".*[1]

Ulteriori conferme della variabilità dell'andamento del corso del fiume Santerno sono testimoniate da altre due carte prodotte nel XIX sec. Nella prima si può osservare, nella porzione a SE dell'abitato di Imola, la presenza di meandri accentuati, all'incirca disposti con andamento simile a quello individuato da Leonardo; nella carta successiva (1892) l'alveo mostra, invece, un andamento più lineare del tutto simile a quello riportato nella carta del 1705.

La rete idrologica secondaria è rappresentata sia dai principali affluenti del Santerno i cui percorsi sono in parte di origine naturale ed in parte regimati da opere idrauliche

[1] VAI G.B., *Un fiume per la gente? Il Santerno e gli insediamenti umani ad una svolta tra passato e futuro*, EDIZIONI CARS-IMOLA, 1986.

artificiali, sia da una serie di fossi e scoli posti sui limiti interpoderali nella campagna circostante.

L'elemento idrografico più prossimo all''area è il Torrente Correcchio che scorre a circa 250 m. a Ovest.

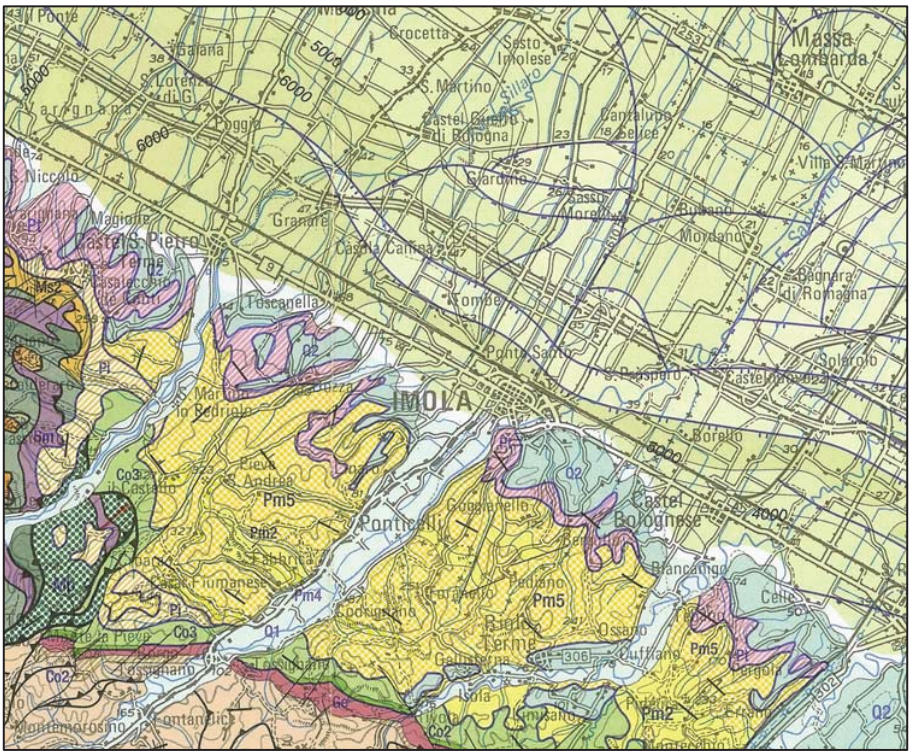
Al termine dell'indagine geologica non si è rilevata la presenza di acqua all'interno del foro di sondaggio, fino alle massime profondità esplorate (circa 8,00 metri dal p.c.).

Dalla conoscenza dell'area, dalle indagine eseguite nelle aree limitrofe e dalla consultazione della bibliografia disponibile si può supporre la presenza di una falda avente pelo libero a circa m. 22 dal p.c.

4.1 Caratteri strutturali

4.1.1 CARATTERISTICHE TETTONICO-STRUTTURALI DELL'AREA

L'attività sismica del territorio in esame risulta connessa alla più estesa attività orogenetica appenninica e definita nell'ambito di specifiche zone sismogenetiche nelle quali gli eventi possono ritenersi circoscritti o definiti in relazione all'assetto tettonico del territorio. Recenti studi hanno messo in luce il legame sismogenetico tra la Pianura Padana e il fronte della catena appenninica[2].

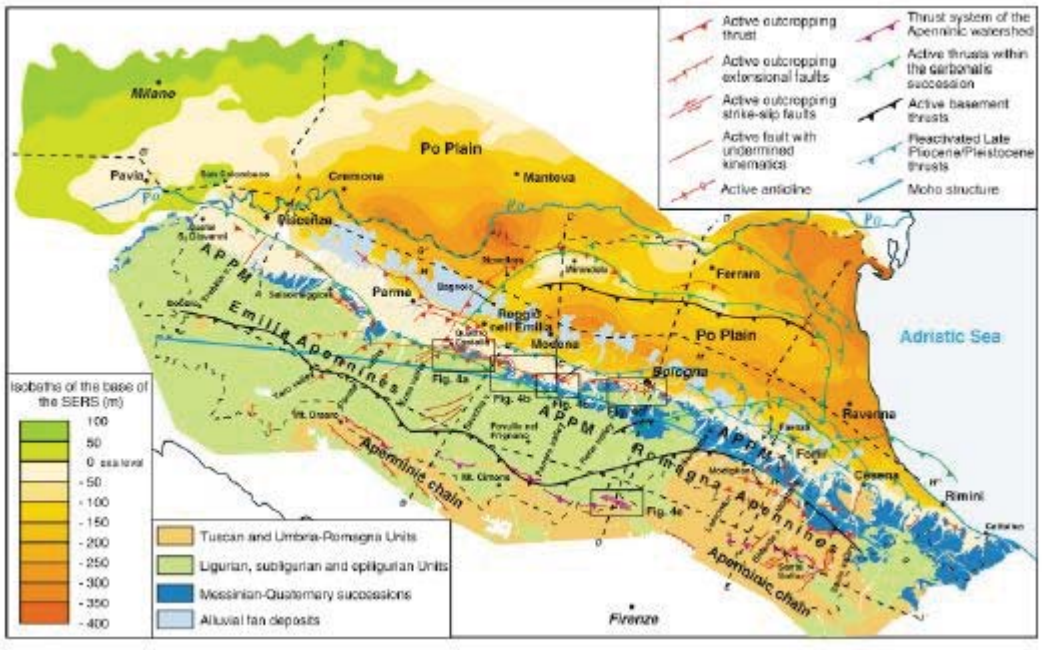


Estratto dalla "Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo in scala 1:250.000" – Regione Emilia-Romagna / C.N.R.

La struttura tettonica dell'Appennino prosegue sepolta al di sotto dei sedimenti che costituiscono la pianura alluvionale, per circa quaranta Km. fino a nord di Ferrara ed è

[2] (A. Castellarin, Università degli studi di Bologna)

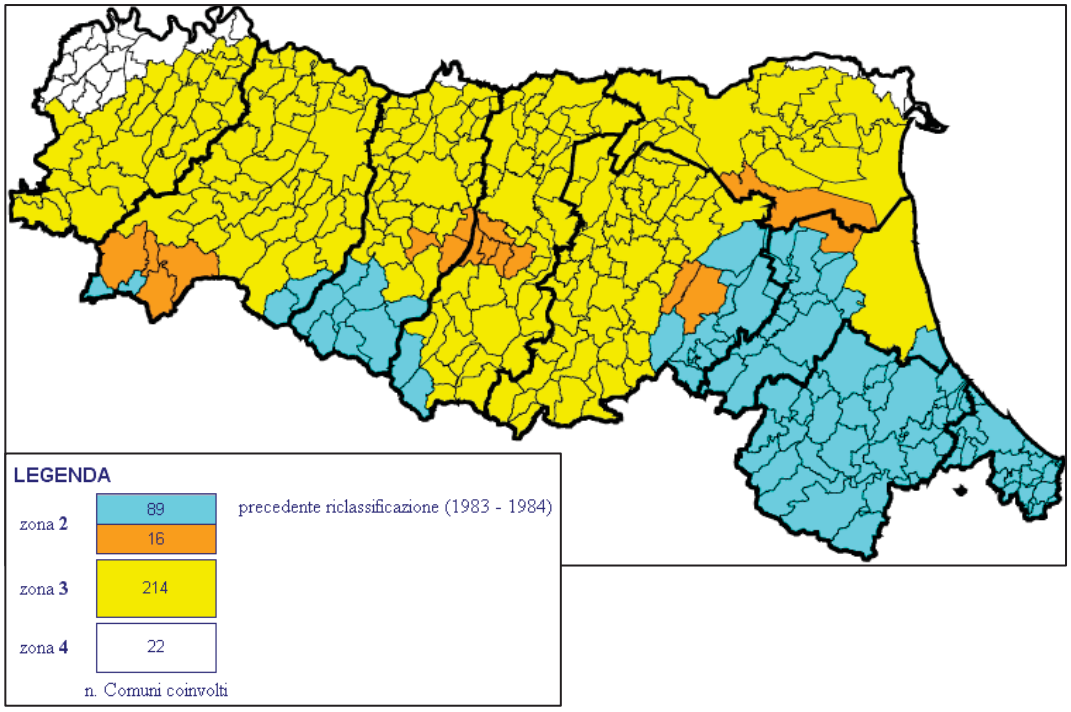
costituita da un sistema di grandi faglie inverse (accavallamenti) con superfici di sovrascorrimento a basso angolo (circa 30°), immerse verso S-SO e con trasporto verso N-NE. Questi sovrascorrimenti hanno determinato un sistema a grandi pieghe superficiali che si sono sviluppate durante le traslazioni degli elementi appenninici verso N-NE entro l'area padana. Grandi pieghe sinclinaliche sono interposte fra più strette pieghe anticlinaliche che formano rilievi e creste sepolti associati ai fronti di sovrascorrimento. Le aree sinclinaliche sono state sedi di imponenti accumuli di sedimenti marini del Pliocene-Pleistocene inferiore, con spessori fino a 3-4 km nella pianura adiacente al margine appenninico del Bolognese. I grandi depositi, in gran parte marini, con spessori fino a 2 km. che seguono quelli del Pleistocene inferiore, estendendosi regolarmente al di sopra dei rilievi (anticlinalici) generalmente con giaciture tabulari, documentano che l'attività tettonica traslativa si era notevolmente attenuata alla fine del Pliocene superiore e del Pleistocene inferiore. Nel Quaternario si svilupparono ingenti movimenti di abbassamento (subsidenza) dell'area padana, che persistono tutt'ora. Il sistema di sovrascorrimenti della Pianura Padana, ha determinato pronunciate deformazioni e intense traslazioni, con raccorciamenti nelle copertura sedimentarie dell'ordine di una trentina di km. tra il margine pedemontano del bolognese orientale e il fronte ferrarese più esterno. Inoltre è interessante notare come l'attività tettonica più intensa e prolungata nel tempo, ampiamente estesa anche entro il Pleistocene medio-superiore, si sia sviluppata lungo la fascia pedeappenninica più interna, mentre i fronti settentrionali più esterni risultino in prevalenza disattivati con la fine del Pliocene inferiore o al massimo col Pliocene medio. Con riferimento all'estratto della "Carta geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo" prodotta in collaborazione da Regione Emilia-Romagna e C.N.R., si può notare che le linee tettoniche principali riguardanti l'area in esame sono due faglie dirette con allineamento NW-SE ubicate a NE del centro storico di Imola. Maggiormente attivi risultano invece gli scorrimenti post-tortoniani del faentino, come testimoniato anche dall'ultimo sciame sismico verificato nell'anno 2000 nel territorio faentino-forlivese.



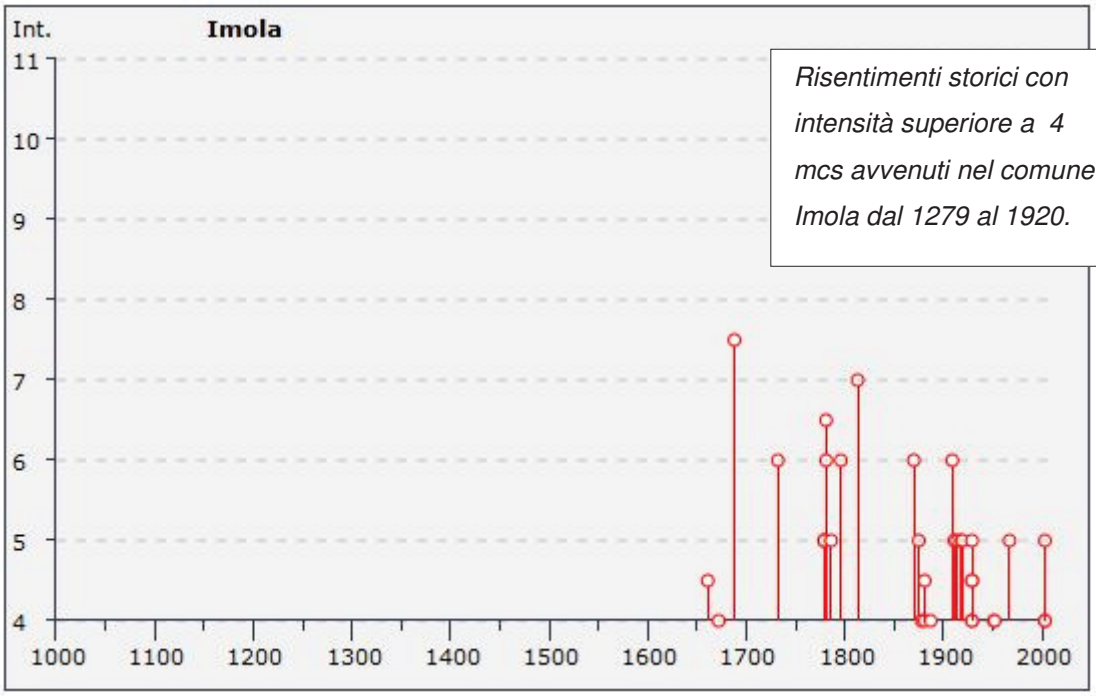
strutture tettoniche attive del settore padano dell'Appennino settentrionale (Boccaletti et al., 2011)

4.1.2 STORIA SISMICA DEL TERRITORIO

Sulla base riclassificazione sismica dell´Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274/2003, il Comuni di Imola ricade nella zona 2.



Il territorio in esame è stato più volte interessato da fenomeni sismici; il sito internet Emidius, riporta i dati relativi alla "storia sismica" dei Comuni italiani.



Risentimenti storici con intensità superiore a 4 - mcs avvenuti nel comune di Imola dal 1279 al 1920.

Sulla base di tale pubblicazione, che fa riferimento a "CPTI, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani" *(disponibile in rete Internet all'indirizzo: http://emidius.itim.mi.cnr.it/CPTI/home.html)* e ad un collegato database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana, si riportano i principali eventi sismici di interesse per il territorio in oggetto:

Seismic history of Imola
[44.353, 11.714]

Total number of earthquakes: 68

Effects | Earthquake occurred:

Intensità macrosisimica	Data	Area	Scala Mercalli	Magnitudo momento
4-5	*1661 03 22 12:50*	*Appennino romagnolo*	*9*	*6.09 ±0.16*
4	*1672 04 14 15:45*	*Riminese*	*8*	*5.61 ±0.21*
7-8	*1688 04 11 12:20*	*Romagna*	*8-9*	*5.78 ±0.35*
F	*1725 10 29 17:40*	*Appennino tosco-emiliano*	*8*	*5.43 ±0.34*
6	*1732 08 09*	*FAENZA*	*6*	*4.72 ±0.34*
3	*1779 06 01 23:55*	*Bolognese*		
5	*1779 06 04 07:00*	*Bolognese*	*7*	*5.24 ±0.52*
5	*1779 06 10 08:35*	*Bolognese*		
F	*1779 07 14 19:30*	*Bolognese*		
5	*1779 11 23 18:30*	*Bolognese*	*5*	*4.99 ±0.31*
6-7	*1781 04 04 21:20*	*Romagna*	*9-10*	*5.94 ±0.17*
6	*1781 07 17 09:40*	*Romagna*	*8*	*5.58 ±0.26*
5	*1786 12 25 01:00*	*Riminese*	*8*	*5.62 ±0.17*
6	*1796 10 22 04:00*	*Emilia orientale*	*7*	*5.61 ±0.36*
7	*1813 09 21 07:45*	*Romagna centrale*	*7*	*5.27 ±0.94*
F	*1828 10 08 22:30*	*Romagna meridionale*	*5-6*	*4.35 ±0.72*
6	*1870 10 30 18:34*	*Romagna*	*8*	*5.58 ±0.27*

2-3	1873 09 17	LIGURIA ORIENTALE	6-7	5.43 ±0.15
3	1874 10 07	IMOLESE	7	5.02 ±0.18
5	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale		5.93 ±0.16
4	1878 03 12 21:36	Bolognese	6	5.06 ±0.30
F	1878 06 04 14:40	Bolognese		
4	1881 01 24 16:14	Bolognese	7	5.16 ±0.30
4-5	1881 02 14 09:00:30	Bolognese		
4	1887 09 30 15:55	Faenza	5	4.33 ±0.50
3	1889 03 08 02:57:04	Bolognese	5	4.73 ±0.22
2-3	1897 12 18 07:24:20	Appennino umbro-marchigiano	7	5.13 ±0.14
2	1898 01 16 12:10:05	Romagna settentrionale	6-7	4.79 ±0.33
2	1899 06 26 23:17:22	Valle del Bisenzio	7	5.06 ±0.15
6	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	6-7	5.53 ±0.09
5	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	7	5.28 ±0.11
NF	1911 09 13 22:29	Chianti	7	5.19 ±0.14
3-4	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	5-6	4.78 ±0.19
NF	1913 11 25 20:55	Val di Taro	4-5	4.84 ±0.20
5	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	7	5.76 ±0.09
NF	1915 01 13 06:52	Avezzano	11	7.00 ±0.09
2-3	1916 05 17 12:49:50	Alto Adriatico		5.95 ±0.14
2-3	1917 12 02 17:39	GALEATA	6-7	5.09 ±0.20
5	1918 11 10 15:12:28	Appennino romagnolo	9	5.88 ±0.11
5	1919 06 29 15:06:12	Mugello	10	6.29 ±0.09
F	1924 01 02 08:55:08	Medio Adriatico	7-8	5.36 ±0.16
5	1929 04 10 05:43:12	Bolognese	7	5.03 ±0.13
3-4	1929 04 11 00:56:08	Bolognese		5.02 ±0.37
3	1929 04 12 00:32:12	Bolognese		5.09 ±0.37
4	1929 04 19 04:15:22	Bolognese		
4	1929 04 20 01:09:46	Bolognese	7	5.34 ±0.13
4-5	1929 04 22 08:25:33	Bolognese		
3	1929 04 29 18:35:59	Bolognese		
4-5	1929 05 11 19:22:48	Bolognese		
3	1929 07 18 21:01:58	Mugello	6-7	5.02 ±0.17
2	1930 10 30 07:13:13	SENIGALLIA	8	5.81 ±0.09
3	1931 04 05 13:34	Faentino	6	4.80 ±0.25
2-3	1931 09 05 01:25:53	Mugello	6	4.80 ±0.22
2	1931 12 15 03:31:22	Mugello	6	4.85 ±0.24
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	6-7	5.39 ±0.14
4	1952 07 04 20:35:12	Appennino romagnolo	7	4.99 ±0.18
3	1956 04 26 03:00:03	Appennino tosco-emiliano	6	4.77 ±0.14
NF	1957 08 27 11:54:40	ZOCCA	5	4.65 ±0.21
5	1967 12 30 04:19:20	BASSA PADANA	6	5.24 ±0.19
3	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	10	6.89 ±0.09
3-4	1983 11 09 16:29:52	Parmense	6-7	5.06 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02:60	GUBBIO/VALFABBRICA	7	5.65 ±0.09
2-3	1986 12 06 17:07:20	BONDENO	6	4.61 ±0.10
NF	1989 09 13 21:54:01	PASUBIO	6-7	4.88 ±0.09
4	2003 01 26 19:57:03	Forlivese	6	4.70 ±0.09
4	2003 01 26 20:15:03	Forlivese		4.56 ±0.09
5	2003 09 14 21:42:53	Appennino bolognese	6	5.29 ±0.09
3	2003 12 07 10:20:33	Zona Forlì	5	4.22 ±0.09

Risentimenti storici con magnitudo superiore a 5 avvenuti nel territorio limitrofo fino al 2003.

5 Indagini geotecniche

Per validare l'elaborazione sismica dell'area è stata eseguita una prova penetrometrica statica a punta meccanica correlandola con altre indagine geognostiche eseguite dal sottoscritto nel lotto a Sud della Via Lasie, ovvero nell'area ove è stato realizzato il capannone della ditta Castellari Spa.

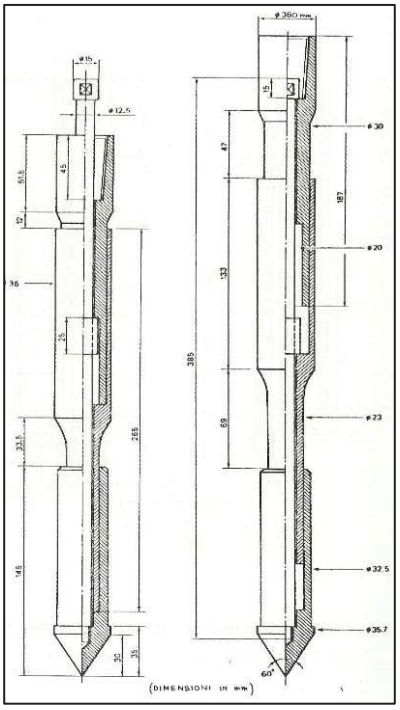
Le posizioni del punto di indagine è riportata nella *Tavola 3* allegata.

PROVA NUMERO	PROFONDITA' INDAGINE	POSIZIONE DELLA FALDA	DATA ESECUZIONE
PROVA CPT 1	8,80 metri	assente	20/11/2017

5.1 Prove penetrometriche statiche (punta meccanica)

Il penetrometro statico utilizzato (montato su un trattore Mercedes MB TRAC 800), con cella di carico da 20 t, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm2 per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (friction jacket) della superficie di 150 cm2 per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo Begemann).

Figura 16 - Punta Begemann



La punta tipo Begemann (cfr. figura 6 a lato) ha un diametro di base pari a 37,5 mm. e angolo di apertura del cono pari a 60°, come da raccomandazioni AGI 1977 e indicazioni internazionali standardizzate. La batteria di aste è composta da una serie di spezzoni di aste cave di lunghezza pari a 1 m. e con diametro esterno di 36 mm. al cui interno è posta la batteria di astine che permette l'apertura della punta meccanica. La penetrazione avviene ad una velocità costante pari a 2 cm/sec (con tolleranza ± 0,5 cm/sec), indipendentemente dalla resistenza opposta dal terreno.

Il dispositivo di spinta è solidale al terreno mediante un ancoraggio centrale in modo da non muoversi rispetto al piano di lavoro durante l'immissione. Esso agisce alternativamente sulla batteria di aste interne (consentendo l'avanzamento dapprima della punta e poi del manicotto laterale) e su quella di aste cave esterne (durante tale fase la punta si richiude e torna in

posizione iniziale). Si ottengono in tal modo misure "discontinue", poiché il ciclo di apertura-chiusura avviene ogni 20 cm, che consistono in:

Lp: spinta necessaria per l'avanzamento della sola punta;

Lp+Ll: spinta per l'avanzamento della punta e del manicotto;

Tramite semplici formule di conversione si ottengono:

Rp: resistenza alla punta;

Rl: resistenza per attrito locale sul manicotto.

Ogni 20 cm di penetrazione dell'intera batteria di aste, il sistema di spinta, consente di spingere alternativamente nel terreno la punta e il manicotto, con una velocità di avanzamento di 20 mm/s, compiendo quindi una misura della resistenza di punta ed una misura dell'attrito laterale locale.

Un'indicazione della stratigrafia dei terreni indagati è fornita dal rapporto tra la resistenza all'infissione statica della punta (Rp) e la resistenza per attrito laterale locale (Ral) che il materiale sviluppa sul manicotto della punta meccanica. Nell'interpretazione quantitativa dei risultati, che consente di determinare le grandezze di alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati mediante formule empiriche, si è tenuto in considerazione che le prove sono assimilabili a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito. Pertanto, in terreni coesivi, si ottiene una stima della coesione non drenata Cu. Nei terreni sabbiosi è possibile valutare il grado di addensamento e una stima del valore di angolo di attrito.

I risultati delle penetrometrie statiche sono illustrati in forma diagrammatica negli appositi allegati, in cui sono riportati, in funzione della profondità, i valori della punta qc (kg/cm2), il valore della resistenza dell'attrito laterale locale fs (kg/cm2), ed il rapporto qc/fs che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati utilizzando l'interpretazione più attendibile e di più facile applicazione quella proposta da Schmertmann J.H., 1978 (vd. Tavola 2).

Le quote dei grafici sono riferite al piano di campagna attuale e l'ubicazione delle prove viene riportata nella planimetria allegata.

5.1 Indagine sismica

Al fine di stimare il parametro Vs30 caratteristico dell'area, ovvero la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di profondità rispetto alla quota di imposta della fondazione, è stata effettuata un'indagine sismica integrata (MASW+HVRS)

5.1.1 INDAGINE SISMICA MASW

Per mezzo della tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999), e quindi dello studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale), è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S. L'idea su cui si fonda il metodo MASW, come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, è quella di utilizzare il fenomeno della dispersione per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obbiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza (cf -f), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda; nel presente studio è applicata un procedimento che prevede una trasformata tempo di ritardo – slowness (τ-p) e una trasformata di Fourier dal dominio τ a quello della frequenza. Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-slowness o frequenza-velocità di fase (la slowness è infatti il reciproco della velocità).

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stato utilizzato un sismografo Echo 24 /2002 seismic unit, a 24 canali prodotto da Ambrogeo (Piacenza) connesso a 24 geofoni con frequenza propria pari a 4,5 Hz, interspaziati tra loro di m 2,0 per un totale di m 46,0. La sorgente sismica utilizzata è una mazza di peso pari a kg 8,0 battente su una piastra di acciaio inossidabile posta ad una distanza pari alla metà della lunghezza del profilo (m 23,0) dal primo geofono. Per quanto riguarda i dettagli dei risultati ottenuti dalle indagini si rimanda alla relazione proposta Allegato 2.

5.1.2 INDAGINE SISMICA HVRS

Per mezzo di un tomografo digitale "Tromino®" è stato possibile acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto periodo. Il metodo teorico utilizzato per l'analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), poichè

rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L'elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo:

fr = Vs/4*H con H = spessore dello strato

dove H è lo spessore dello strato.

In questo modo, le misure tomografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un'indagine non invasiva e l'acquisizione avviene tramite l'utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d'indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. Oltre alla frequenza di campionamento è possibile impostare anche la durata temporale della misura: di norma la durata minima è di circa 12 minuti e la massima supera i 30 minuti per misure finalizzate alla ricerca del "bedrock sismico" più profondo. La traccia acquisita viene elaborata tramite l'utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario "smoothing" (lisciamento) del segnale, poi la rappresentazione grafica dell'amplificazione H/V-f (Hz) e delle tre componenti separate, infine il modello sinottico della distribuzione delle velocità delle onde di taglio (Vs) nel sottosuolo, verificata dalla "curva sintetica" H/V-f (Hz).

Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto è stato stimato il parametro Vs30 rispetto all'attuale piano campagna, pari a 152 m/s con il programma WaveEq e 151 m/s con il programma SWAMI. Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 14/01/2008, unicamente sulla base del parametro Vs30 relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade in **categoria B**.

Per maggiori dettagli a riguardo della prospezione sismica svolta, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti in allegato.

6 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

L'esame dei grafici derivanti dalle indagini geognostiche effettuate direttamente sul lotto indagato e integrate con la campagna di indagine del 2004, eseguita a Sud dell'area,

evidenzia una buona omogeneità dei terreni in senso orizzontale a conferma di uniformità litologica.

Le prove sono state effettuate su una superficie topografica quasi pianeggiante.

PROVA CPT 1	8.80 metri	assente	20/11/2017
PROVA CPT 1 (archivio)	10.20 metri	assente	13/10/2004
PROVA CPT 2 (archivio)	9.40 metri	assente	13/10/2004
PROVA CPT 3 (archivio)	11.00 metri	assente	13/10/2004
PROVA CPT 4 (archivio)	9.60 metri	assente	13/10/2004

Le prove statiche eseguite hanno raggiunto la profondità massima di m 11.00, attraversando una successione di terreni a granulometria medio-fine (prevalenti argille, da debolmente limose a limose).

Alla base di un strato di terreno vegetale di circa m. 1.50-1.80 composto limo argilloso passante a argilla limosa a consistenza variabile si ha la presenza di un terreno prevalentemente argilloso interessato da fenomeni di sovraconsolidazione fino ad una profondità di circa m. 3.00-3.40; si presume che il suddetto livello argilloso sia interessato dalla presenza di piccoli inclusi calcarei denominati localmente "calcinelli". Al di sotto di m. 3.40 si riscontra la presenza di una litologia prevalentemente argillosa molto consistente passante ad una granulometria più grossolana (limi argillosi) a –7.00/-8.00 metri. Ad una profondità variabile da circa m. 8.80 a circa m. 10.50 si assiste ad un passaggio netto tra una litologia limosa e le sottostanti ghiaie in matrice sabbiosa di colore marrone.

Da sondaggi geognostici a carotaggio continuo effettuati in prossimità dell'area indagata si può affermare che lo spessore del livello ghiaioso in matrice limoso-sabbiosa è superiore a m. 25,0 (max. profondità indagata) e presenta delle diffuse lenti di spessore centimetrino di sabbia limosa.

	Profondità (m da p.c.)	**Litologia**
CPT 1	0,0 – 1,5	Limo argilloso (terreno vegetale) /argilla limosa
	1,5 – 3,4	Argilla deb. Limosa sovraconsolidata
	3,4 – 8,2	Argilla deb. Limosa consistente
	8,2 – 8,8	Limo argilloso
	> 8,8	Ghiaia in matrice sabbiosa

	Profondità (m da p.c.)	Litologia
CPT 1 archivio	0,0 – 1,5	Limo argilloso (terreno vegetale) /argilla limosa
	1,5 – 3,4	Argilla deb. Limosa sovraconsolidata
	3,4 – 8,4	Argilla deb. Limosa consistente
	8,4 – 9,6	Limo argilloso
	> 9,6	Ghiaia in matrice sabbiosa

	Profondità (m da p.c.)	Litologia
CPT 2 archivio	0,0 – 1,8	Limo argilloso (terreno vegetale) /argilla limosa
	1,8 – 3,4	Argilla deb. Limosa sovraconsolidata
	3,4 – 8,4	Argilla deb. Limosa consistente
	8,4– 8,8	Limo argilloso
	> 8,8	Ghiaia in matrice sabbiosa

	Profondità (m da p.c.)	Litologia
CPT 3 archivio	0,0 – 1,2	Limo argilloso (terreno vegetale) /argilla limosa
	1,2 – 3,4	Argilla deb. Limosa sovraconsolidata
	3,4 – 8,4	Argilla deb. Limosa consistente
	8,4 – 10,2	Limo argilloso
	> 10,2	Ghiaia in matrice sabbiosa

	Profondità (m da p.c.)	Litologia
CPT 4 archivio	0,0 – 1,8	Limo argilloso (terreno vegetale) /argilla limosa
	1,8 – 3,0	Argilla deb. Limosa sovraconsolidata
	3,0 – 8,4	Argilla deb. Limosa consistente
	8,4 – 9,0	Limo argilloso
	> 9,0	Ghiaia in matrice sabbiosa

L'attribuzione dei parametri geotecnici è stata formulata sulla base delle prove statiche a punta meccanica CPT.

La penetrazione della punta conica costituisce una prova rapida pertanto, secondo i tipi di terreni incontrati, i parametri stimati sono in condizioni non drenate.

Si ricavano, infatti, l'angolo di attrito interno "φ" per i terreni a tessitura media (sabbie), la coesione non drenata "CU" per quelli a tessitura fine e finissima (limi e argille). I valori del terreno di riporto sono molto variabili a causa della eterogeneità del materiale presente e della sua distribuzione spaziale.

INIZIO (M)	FINE (M)	Descrizione	Cu (kg/cm^2)	φ' (°)	γ'_t (t/m^3)	Rp (kg/cm^2)	Rl (kg/cm^2)	Kw (kg/cm^2 /cm)	Q ammissibile
0.00	1,2/1,8	Limo argilloso/ argilla limosa	0,50-0,90	-	1,80-1,95	15-40	0,8-3,5	3,0-8,0	1.5
1,2/1,8	3,0/3,4	Argilla deb. limosa sovraconsol.	1,15-2,00	-	1,95-2,00	40-65	4,0-5,5	7,0-15,0	2.5
3,0/3,4	8,2/8,4	Argilla deb. Limosa molto consistente	0,50-0,90	-	1,85-1,90	20-30	1,2-2,5	5,0-8,0	1.8
8,2 /8,4	8,8/10,2	Limo argilloso	0,80-1,30	-	1,90-1,95	20-40	1,5-2,0	5,0-10,0	2.0
>8,8/ 10,2	>30,0	Ghiaia in matrice sabbiosa	-	35	2,00	>200	>7,4	>20.0	>3.0

PARAMETRI GEOTECNICI
γ_t = peso dell' unità di volume del terreno
Cu = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : Cu - qc]
Eu= modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : Eu - Cu - OCR - Ip Ip= ind.plast.]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - qc - natura]
φ= angolo di attrito interno (terreni granulari N.C.)

7 Considerazioni tecniche

Le indagini geognostiche hanno evidenziato la presenza di terreno sovraconsolidato fino a m. 3,40 dal p.c..

PIANO DI POSA DELLE FONDAZIONI: Sulla base dei risultati delle prove penetrometriche effettuate si stabilisce che la quota idonea del piano di posa della fondazione, dovrà attestarsi al di sotto del terreno di alterato e/o sovraconsolidato, ovvero ad una profondità di almeno m. 3,40 rispetto alla quota di campagna.

Nel caso in cui, alla quota di imposta delle fondazioni si riscontrasse la presenza di litologie con chiare evidenze di alterazione e scadenti caratteristiche geotecniche si dovrà approfondire ulteriormente lo scavo in modo da intercettare litologie idonee a sopportare i sovraccarichi strutturali.

FALDA IDRICA SOTTERRANEA: Come precedentemente descritto, al momento delle indagini non è stata rilevata la presenza della falda idrica all'interno dei fori di sondaggio che può essere ipotizzata ad una profondità di circa m. 20,00 da p.c.. Tale falda è soggetta a sensibili oscillazioni stagionali in relazione alla periodicità delle precipitazioni

REGIMAZIONE ACQUE SUPERFICIALI: le acque meteoriche dovranno essere convogliate verso la rete fognaria limitrofa e nei fossi poderali.

8 Caratterizzazione sismica

La normativa in materia di costruzioni vigente (D.M. 14/01/2008) asserisce che " *le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito interessato dalla costruzione.*

Come riporta l'art 3.2.2 della nuova normativa sismica (D.M. 14/01/2008) "*…ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale…*".

Come stabilisce l'allegato A delle NTC 2008 " la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- *In termini di valori di accelerazione massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopraccitate;*
- *In corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 Km);*
- *Per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodo di ritorno dell'azione sismica T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, estremi esclusi.*

L'azione sismica così calcolata (azione sismica di base) viene ulteriormente caratterizzata sulla base della risposta sismica locale, individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito.

L'INGV, attraverso un reticolo di riferimento con maglia di 10 Km e un periodo di ritorno ricadente in un intervallo di riferimento (30-2475 anni) ha definito la pericolosità di base sull'intero territorio nazionale. Per qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri (F_0,a_g e T_c) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici nella maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, secondo quanto riportato nell'Allegato A delle NTC.

Le azioni di progetto si ricavano in funzione di:

a_g : accelerazione orizzontale massima del sito;

F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

I suddetti parametri si determinano sulla base del reticolo definito dall'INGV definendo, innanzitutto, la vita di riferimento V_R della costruzione (dipendente dalla vita nominale e dalla classe d'uso) e la probabilità di eccedenza nella vita P_{VR} di riferimento associate a ciascuno degli stati limite considerati e quindi calcolando il periodo di ritorno di riferimento T_R.

8.1 Dati generali

I seguenti parametri sono stati calcolati sulla base dell'ubicazione dell'intervento e recependo alcune caratteristiche progettuali (tipo d'opera, vita nominale e classe d'uso) fornite dal progettista strutturale. I seguenti dati dovranno essere validati dal progettista:

COORDINATE WGS 84	**LONG.** 11.7148300	**LAT.** 44.3840500
TIPO D'OPERA	**2** Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di dimensioni normali	
VITA NOMINALE **V_N**	**≥50**	
CLASSE D'USO	**II** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali	
COEFFICIENTE D'USO **C_U**	**1,0**	
VITA DI RIFERIMENTO **$V_R = V_N \cdot C_U$**	**50**	

8.2 Parametri sismici

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi deicomponenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella seguente tabella:

STATI LIMITE		**P_{VR}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R**
STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	**SLO**	81%
	SLD	63%
STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	**SLV**	10%
	SLC	5%

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito.

In riferimento all'ubicazione dell'intervento e sulla base delle caratteristiche progettuali scelte e che dovranno essere validate dal progettista strutturale, i parametri sismici calcolati risultano i seguenti:

STATI LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_C [s]
SLO	30	0.063	2.424	0.261
SLD	50	0.081	2.406	0.269
SLV	475	0.201	2.412	0.300
SLC	975	0.253	2.459	0.314

8.3 Valutazione dell'azione sismica

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR .

La pericolosità sismica è definita in termini di :

accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);

ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

8.4 Effetti stratigrafici

8.4.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Nella classificazione riportata nella seguente tabella, in cui la suddivisione in classi di sottosuolo avviene (ove possibile) in funzione dei valori delle Vs30 (velocità media di

propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio) e, subordinatamente, in base ai valori di Nspt per terreni granulari e Cu per terreni coesivi.

	Descrizione del profilo stratigrafico	**Parametri**		
		Vs,30 (m/s)	NSPT (colpi/30 cm)	Cu (kPa)
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800	-	-
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori di superiori a 30 metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica NSPT>50 e cu>250 kPa	360 - 800	> 50	> 250
C	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistent*i, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 e 360 m/s (15<NSPT<50 e 70<cu<250 kPa)	180 – 360	15 - 50	70 – 250
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30<180 m/s (NSPT<15, cu<70 kPa)	< 180	< 15	< 70
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (Vs,30 >800 m/s)			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI>40) e contenuto d'acqua caratterizzati da Vs,30 <100 m/s e 10<cu<20 kPa	< 100	-	10 - 20
S2	Depositi di terreno soggetto a liquefazione, di argille sensitive, o			

	qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

La caratterizzazione sismica dei suoli e la costruzione del profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio s è stata effettuata utilizzando tecniche a sismiche a onde di superficie. Nello specifico è stata eseguita una prova singola a stazione singola basata sull'acquisizione in passivo ad ampio spettro dei micro-tremori ambientali secondo la tecnica Nakamura (HVSR) e una prova sismica in arrey che sfrutta la correlazione del segnale relativa ad una energizzazione attiva (MASW). L'ubicazione delle prove è presentata in Tavola 3 allegata.

Il modello sismico della velocità è stato ottenuto tramite fitting congiunto degli spettri di velocità di fase e di gruppo, ottenuto tramite tecnica multicanale e del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del moto sismico e quella verticale (H/V), ottenuto tramite acquisizione a stazione singola. Le tecniche multicanale attive consentono una buona discretizzazione dei sismo-strati entro i primi 30 m di profondità, i quali risultano di particolare interesse geo-ingegneristico, mentre l'utilizzo dei micro-tremori ambientali e il loro ampio spettro consente di definire contrasti di impedenza anche a elevate profondità. Questa combinazione ha consentito una preciso caratterizzazione dei terreni di fondazione e la definizione della profondità del bed-rock sismico (tramite relativo picco H/V). Viene di seguito riportato il fitting congiunto degli spettri sopra citati.

Profondità del tetto dello strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coeff. Poisson
0.50	0.50	170	0.42
2.50	2.00	190	0.42
9.00	6.50	280	0.42
15.00	6.00	475	0.40
23.00	8.00	550	0.40
Inf.	inf.	630	0.40

Vs(0.0-30.0)=400m/s

I risultati dell'indagine realizzata hanno evidenziato un valore del parametro Vs30 pari a 400 m/s . Pertanto, riconducendo tali risultati alla classificazione riportata nella suddetta tabella, considerando la tolleranza strumentale e applicando un principio cautelativo, si può ritenere che il suolo sia classificabile nell'ambito della **categoria B**.

Per maggiori dettagli al riguardo dell'indagine sismica svolta, si rimanda all'All.4 - "Relazione sismica".

8.4.2 RISCHIO LIQUEFAZIONE

Il Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni»3 (paragrafo 7.11.3.4) e la successiva Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contenente "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008" (paragrafo C7.11.3.4) impongono che sia valutata la stabilità nei confronti della liquefazione mediante il ricorso a metodologie analitiche o a carattere semiempirico.

Tali verifiche devono essere condotte tutte le volte che il manufatto in progetto interagisce con terreni saturi a prevalente componente sabbiosa ed in presenza, ovviamente, di sollecitazioni cicliche e dinamiche per le quali il sottosuolo tende a comportarsi come un sistema idraulicamente chiuso, ovvero come un sistema non drenato.

Al fine di facilitare le procedure di analisi, al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza dei seguenti casi:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M<5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60> 30 oppure qc1N> 180 dove:
5. (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e

   qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad un a tensione efficace verticale di 100 kPa;
6. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc< 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc>3,5.

[3] Pubblicato nella "Gazzetta Ufficiale" del 4 febbraio 2008, n. 29

Quando le condizioni 1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.

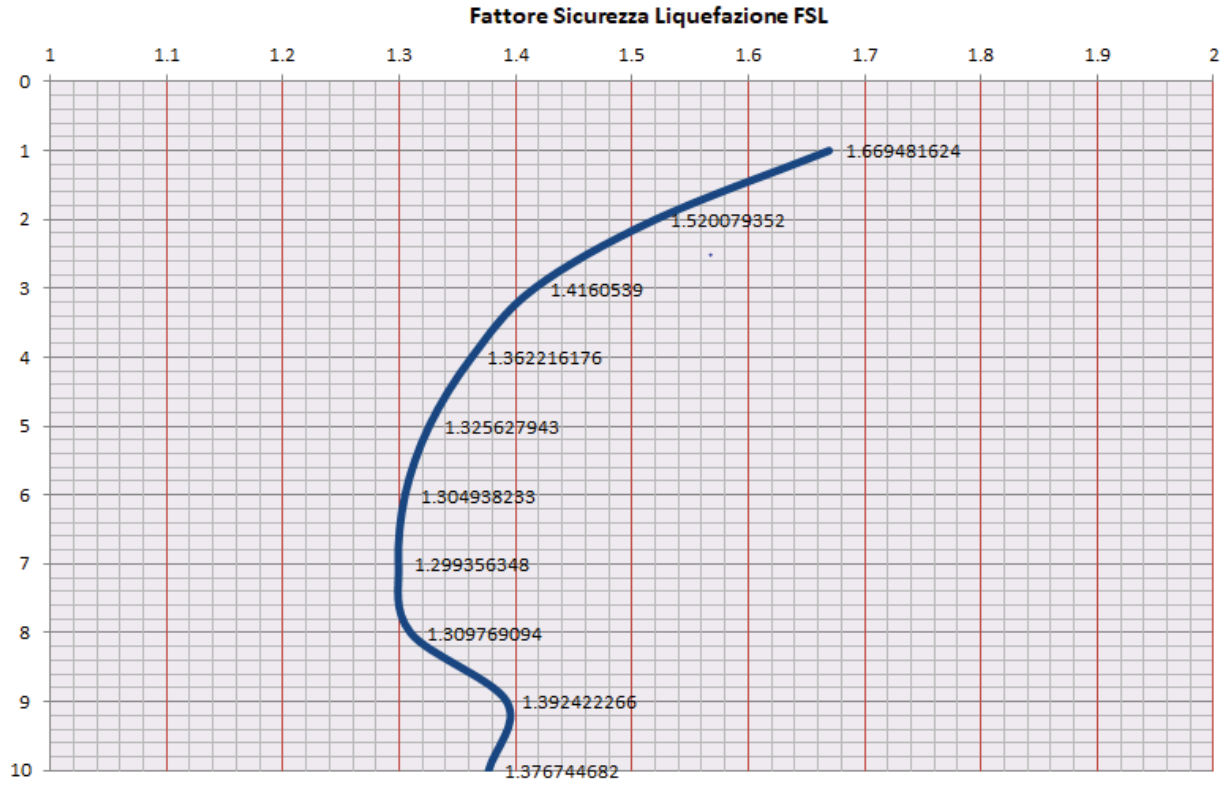
Quando nessuna delle condizioni elencate risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Come si evince dagli elaborati di pianificazione territoriale, il lotto oggetto dell'intervento non ricade in un'area suscettibile di effetti locali; inoltre, la profondità della falda è superiore a m. 15,00 da p.c.

A scopo cautelativo, ovvero supponendo una risalita del livello di soggiacenza della falda causato dall'arresto dell'emungimento del/i pozzo/i limitrofo/i si è valutato il rischio liquefazione.

Nel presente elaborato la suscettibilità a liquefazione dei depositi è stata stimata tramite la metodologia proposta da Robertson&Wride (1977). Il metodo si basa sulla determinazione del Fattore di Sicurezza FSL=CRR/CSR. Quest'ultimo è indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare. Il deposito prevalentemente sabbioso è potenzialmente liquefacibile quando FSL risulta < 1. Il Fattore di Sicurezza a Liquefazione è stato stimato a partire dei valori di resistenza alla punta e di attrito laterale, qc e fs, ottenuti da prova statica CPT.

Viene di seguito presentato un profilo verticale del Fattore di Sicurezza a Liquefazione FSL ottenuto per la verticale di indagine relativa la prova CPT1 (ubicata in Tavola 3 allegata).



I risultati mostrano Fattori di Sicurezza superiori all'unità lungo l'intera verticale penetrometrica indagata. I terreni relativi il sito sono considerabili dall'analisi come NON suscettibili al fenomeno di liquefazione sismica.

8.5 Effetti topografici

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici " *Le categorie topografiche riportate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bi-dimensionali, creste o dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri"* si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	**Caratteristiche della superficie topografica**	**S_T** max
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media ≤ 15°	1,0
T2	Pendii con inclinazione media > 15°	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media 15°≤i≤30°	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media >30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un incremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta alla base dove S_T assume valore unitario.

Dal rilievo morfologico effettuato si può considerare l'area oggetto dell'intervento ricade all'interno della **Categoria Topografica T1,** ai fini della caratterizzazione delle azioni indotte dal sisma si potrà adottare un **coefficiente S_T=1,0.**

Nel caso in esame, il sito ricade in categoria topografica T1, pertanto:

STATI LIMITE	**S_T**
SLO	1,00
SLD	1,00
SLV	1,00
SLC	1,00

8.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante:

- la sola accelerazione massima attesa in superficie;
- l'intero spettro di risposta;
- storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi).

Qualora la costruzione sia di dimensioni limitate o le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti, si può assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione. Altrimenti si deve tener conto della variabilità spaziale del moto.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%.

Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione T≤4 s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \le T < T_B \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

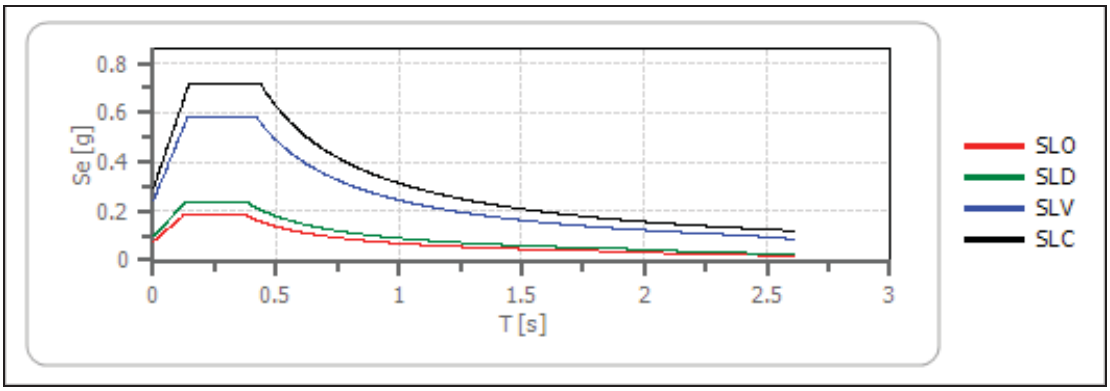
$$T_D \le T \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T ed Se sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_S \cdot S_T$ essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T il coefficiente amplificazione topografica;

- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali x diversi dal 5%, mediante la relazione: $\eta = \sqrt{\frac{10}{(5+\xi)^3}} \geq 0,55$ dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- F_0 è il fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da: $T_C = C_C \cdot T^*_C$ dove T^*_C (Tratto Spettrale a Periodo Costante per un Periodo di Ritorno determinato) e C_C è il coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, utilizzato per definire il periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico;
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante, $T_B = \frac{T_C}{3}$;
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$

Viene di seguito riportato lo Spettro di risposta della componente orizzontale del moto e i relativi parametri sismici di ottenimento, ricavato per il sito in esame tramite l'approccio normativo semplificato.



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1	0.063	2.424	0.261	1.200	1.440	1.000	1.200	1.000	0.125	0.375	1.852	0.076	0.183
SLD	1	0.081	2.406	0.269	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.128	0.384	1.923	0.097	0.233
SLV	1	0.201	2.412	0.300	1.200	1.400	1.000	1.200	1.000	0.140	0.420	2.404	0.241	0.582
SLC	1	0.253	2.459	0.314	1.150	1.390	1.000	1.150	1.000	0.146	0.437	2.613	0.291	0.716

8.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito invece dalle espressioni seguenti:

$$0 \le T < T_B \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \le T \qquad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T e Sve sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e Fv è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno ag su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di ag, Fo, S, η sono gli stessi definiti per le componenti orizzontali; i valori di SS, TB, TC e TD, salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguente tabella:

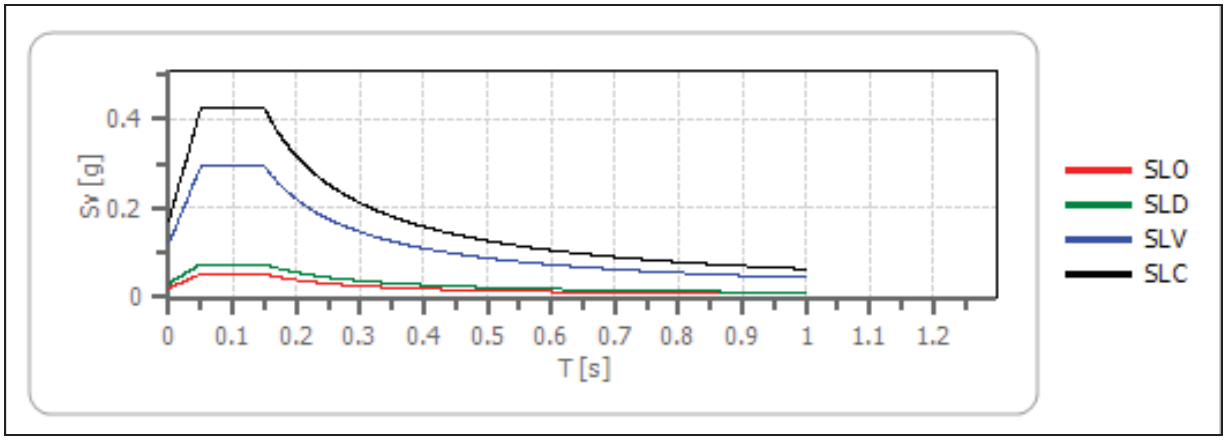
CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	**S_S**	**T_B**	**T_C**	**T_D**
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST.

Alla luce dei risultati sin qui scaturiti, il calcolo dei restanti coefficienti ha portato alla definizione dei parametri illustrati nella tabella di seguito proposta:

STATI LIMITE	k_h	k_v	a_{max} [m^2]	beta
SLO	0,015	0,008	0,742	0,200
SLD	0,019	0,010	0,952	0,200
SLV	0,068	0,034	2,367	0,280
SLC	0,082	0,041	2,856	0,280

Viene di seguito riportato lo Spettro di risposta della componente verticale del moto e i relativi parametri sismici di ottenimento, ricavato per il sito in esame tramite l'approccio normativo semplificato.



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1	0.063	2.424	0.261	1	1.440	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.021	0.052
SLD	1	0.081	2.406	0.269	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.031	0.075
SLV	1	0.201	2.412	0.300	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.122	0.294
SLC	1	0.253	2.459	0.314	1	1.390	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.172	0.423

8.8 Studio di Amplificazione Sismica Locale

Nel seguente paragrafo verrà presentata l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), la quale consista nella valutazione quantitativa dei Fattori di amplificazione sismica a partire dagli spettri di risposta ottenuti per il bed-rock sismico e per la superficie.

E' noto come l'utilizzo dell'approccio semplificato abbia grosse limitazioni in presenza di contrasti di impedenza netti vicini alla superficie. Infatti, nonostante il sito risulti classificabile come appartenente alla Categoria B di sottosuolo, la presenza di un "salto" delle velocità di propagazione Vs a profondità di interesse ingegneristico può determinare

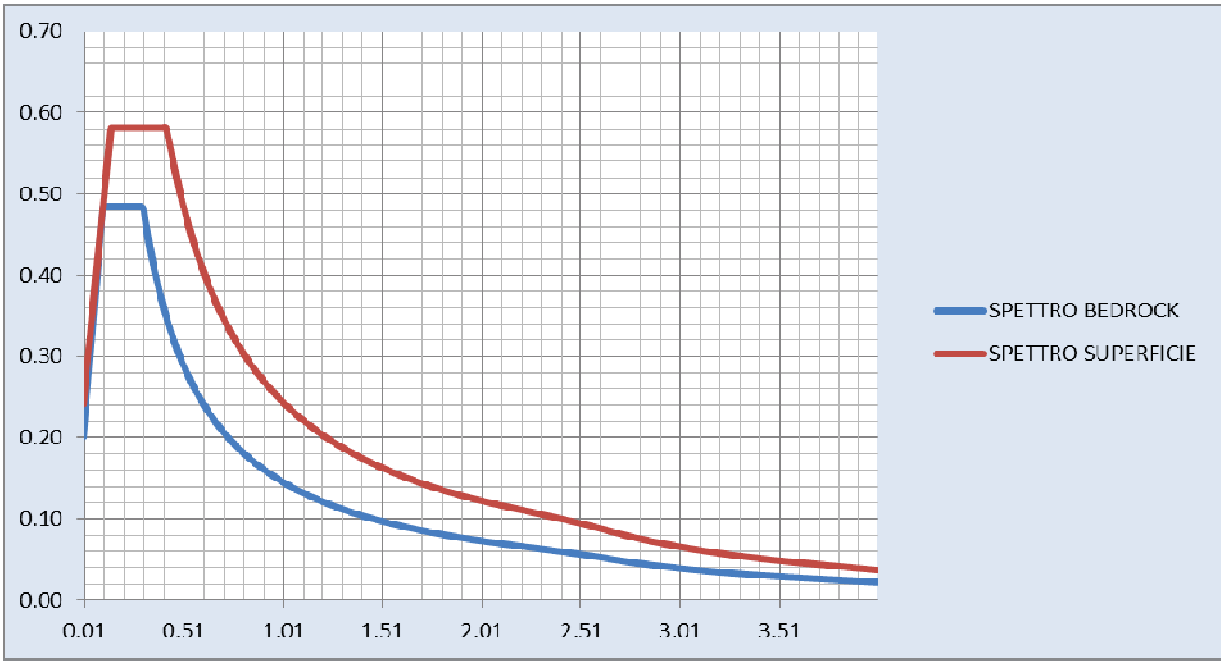
importanti processi di amplificazione sismica del moto. Risulta opportuno valutare i Fattori di amplificazione anche tramite approccio numerico.

Verranno quindi considerati i rapporti spettrali tra superficie e bedrock utilizzando l'approccio normativo e, a seguire la modellazione numerica della Risposta Sismica Locale.

I risultati saranno espressi in termini di Fattori di Amplificazione Sismica della PGA (Peak Ground Acceleration) e dell'intensità di Housner.

8.8.1 APPROCCIO NORMATIVO (II LIVELLO)

Nei precedenti paragrafi sono stati esaminati i principi stratigrafici e topografici e teorici sui quali si basa la costruzione degli spettri di risposta secondo normativa. Il rapporto tra lo spettro di risposta ottenuto per la superficie e quello relativo al bed-rock sismico (categoria di suolo A e topografia T1) permette di ricavare i fattori di amplificazione sismica relativi al sito, che vengono di seguito riportati per il sito in esame.



FA PGA/PGA$_0$	**1.1999**
FA Housner 0.1-0.5 s	**1.3314**
FA Housner 0.5-5 s	**1.6769**

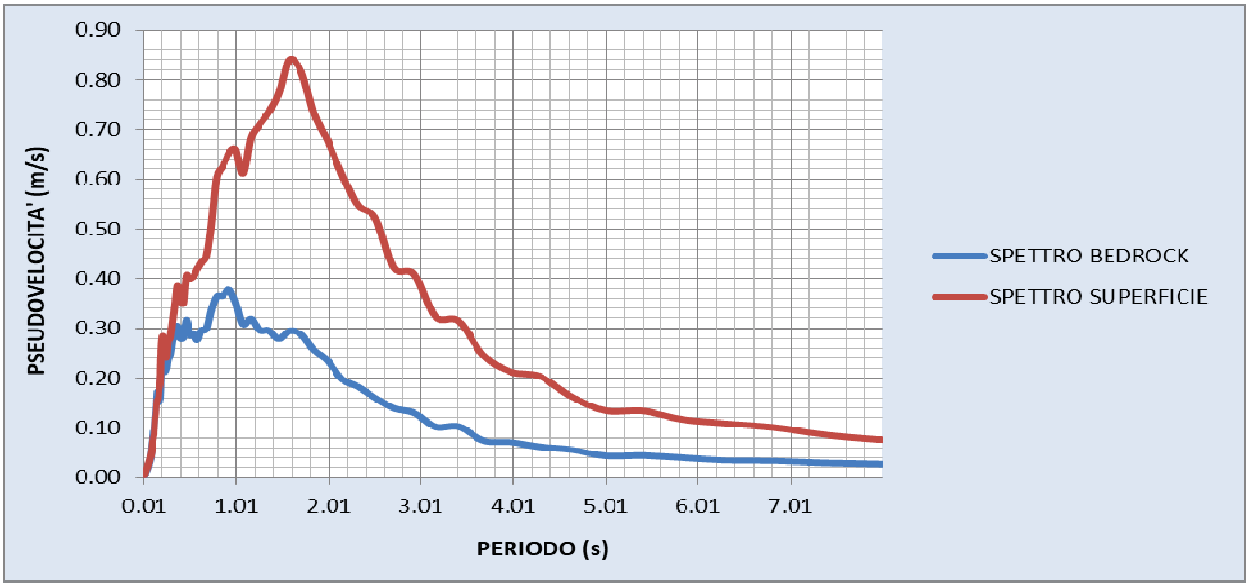
8.8.2 APPROCCIO NUMERICO (III LIVELLO)

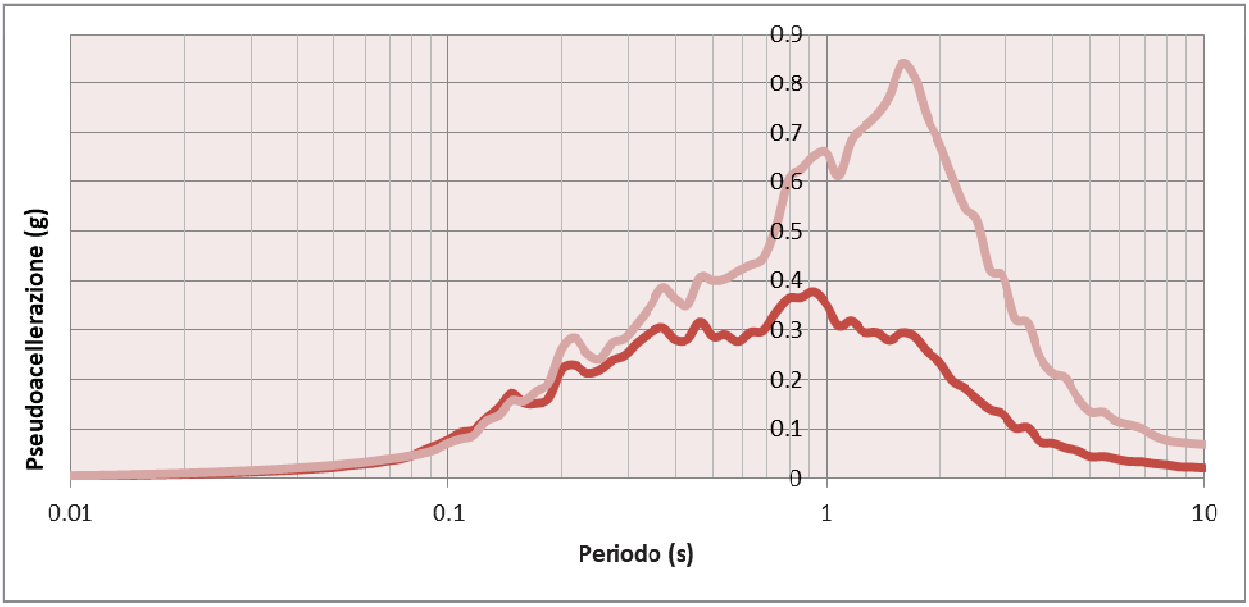
Lo studio di Risposta Sismica Locale (RSL) è stato effettuato tramite modello lineare equivalente numerico. Questo simula la propagazione di un set di acellerogrammi, compatibili con sismicità di base del sito, dal bedrock attraverso la colonna sismo-stratigrafica fino alla superficie. L'azione simica di progetto è generalmente espressa in termini di Spettro di risposta in superficie, che è definibile come un inviluppo di massimi delle funzioni di amplificazioni per vari periodi propri strutturali, per un coefficiente di smorzamento costante. Gli acellerogrammi sono stati estratti sulla base di una spettro compatibilità ai parametri sismici di base per il sito ed estratti dalla Banca Italiana di Acelerogrammi (ITACA). Viene di seguito riportata una tabella suntiva degli acelerogrammi utilizzati per la modellazione numerica.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Mw	Fault Mechanism	PGA_X [m/s^2]
281	71	PSC	VAL COMINO EARTHQUAKE	5.5	Normal	0.1826
270	70	PNT	VAL COMINO EARTHQUAKE	5.9	Normal	0.63325
103	28	SRC0	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	5.9	Thrust	1.2852
270	70	PNT	VAL COMINO EARTHQUAKE	5.9	Normal	0.63325
103	28	SRC0	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	5.9	Thrust	1.2852
813	178	MTR	L'Aquila Mainshock	6.3	Normal	0.61371
488	118	CSC	UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK	5.6	Normal	0.52517
mean:				5.857143		0.736896857

La colonna sismo-stratigrafica è stata ricavata combinando i risultati della prova sismica passiva (che ha delineato per il bedrock un picco di risonanza a 0.9 Hz) con la sezione stratigrafica messa a disposizione entro il Geoportale dell'Emilia Romagna. Viene di seguito riportata la colonna sismo-stratigrafica utilizzata per la modellazione numerica. Le curve di decadimento dei rapporti G/G_0 e D/D_0 sono state selezionate da letteratura in funzione della tessitura e dell'origine dei depositi. Per i depositi fini prevalentemente argillosi sono state utilizzate le curve proposte da Idriss (1990) per le argille, per i depositi a prevalenza sabbiosa e limosa (come le Unità appartenenti al Sintema Emiliano Romagnolo inferiore) sono state utilizzate le curve proposte da Idriss (1990) per le sabbie e per la zona di amalgamazione con le Ghiaie sono state utilizzate le curve relative le Ghiaie alluvionali detritiche fornite dal Geoportale del Lazio.

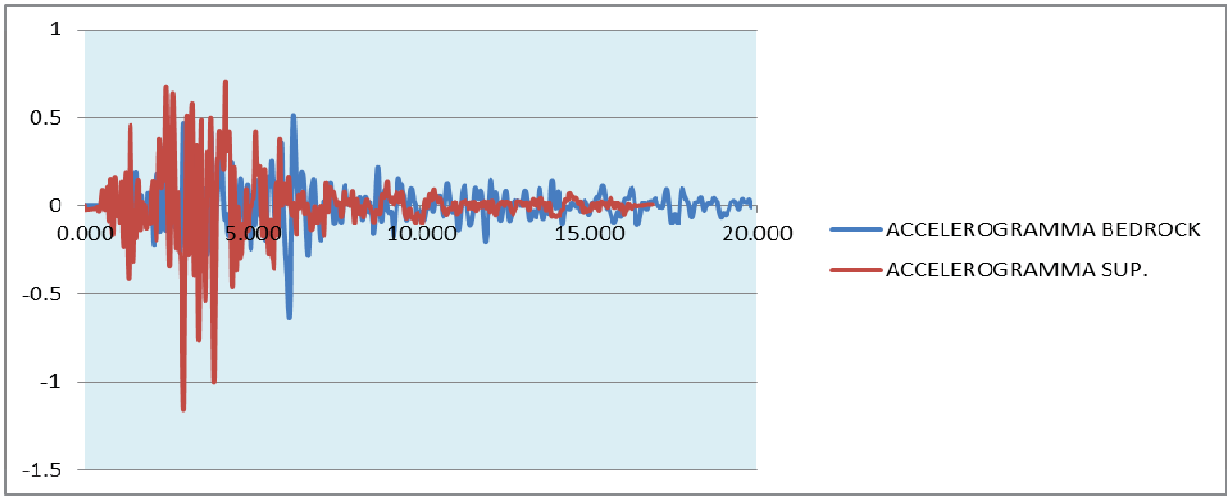
Vengono di seguito riportati i rapporti spettrali tra bedrock e superficie, in termini di spettri in pseudo-accelerazione e in pseudo-velocità numerici della componente orizzontale del moto. Di seguito vengono riportati graficamente: l'accelerogramma medio di input e quello risultante in superficie a seguito della propagazione numerica.





Sono valutati i Fattori di amplificazione dell'intensità sismica di Housner. Si tratta del rapporto tra l'integrale della curva spettro in superficie e quello al bedrock, entro determinati intervalli di periodo, i quali sono funzionali a valutazioni riguardanti strutture di materiale, altezza e pianta differente.

FA Housner 0.1-0.5 s	**1.220241**
FA Housner 0.5-1.5 s	**2.005531**
FA Housner 1.5-5 s	**3.032268**



Viene di seguito il riportato il Fattore di amplificazione sismica della PGA, ottenuto dal rapporto tra il massimo valore di accelerazione della serie temporale in superficie e quella di input al bedrock.

FA PGA/PGA0	**1.825**

9 Conclusioni

Sulla base delle risultanze ottenute nel corso dell'indagine eseguita sull'area interessata, si può stabilire quanto segue:

1. l'area oggetto di studio insiste sulle alluvioni quaternarie del Torrente Santerno;
2. Dalle indagine geotecniche e sismiche si identifica un primo spessore limoso-argilloso da p.c. fino a 1.2 - 1.8 m, fino a circa 3.0 – 3.4 m si riscontra argilla deb.limosa sovraconsolidata, sovrastante argille limose molto consistenti e limi argillosi. Tra 8.8 e 10.2 m da p.c. si riscontra la presenza di ghiaie in matrice sabbiosa.
3. Non è stata reperita la falda freatica entro i punti di indagine. Dai dati disponibili da letteratura si ipotizza la presenza di una falda superficiale con pelo libero soggiacente a circa m. 22,00 da p.c.
4. alla base degli interventi in progetto, si possono realizzare fondazioni superficiali tipo platea, plinto o trave rovescia, con piano di posa assestata ad almeno m. 1,20 dal p.c.;
5. ai sensi del D.M. 14/01/2008, il terreno appartiene alla **categoria di suolo B** e all'interno della **Categoria Topografica T1**;
6. Sono stati registrati picchi di risonanza di rilevante ampiezza alle frequenze di 4.5 e 7 Hz, come viene mostrato in Allegato (Relazione Sismica). Sarebbe opportuno, per evitare fenomeni di doppia-risonanza tra suolo e struttura, mantenere le frequenze proprie di vibrare delle strutture al di fuori dei suddetti intervalli di frequenza.
7. La modellazione numerica ha fornito importanti indicazioni circa l'amplificazione stratigrafica sito-specifica. La presenza di contrasti di impedenza rilevanti (quale il passaggio da terreni argillosi a ghiaiosi alla profondità di circa 9 m) e il passaggio a roccia rigida alla profondità di circa 100 m di profondità, determinano sensibili effetti di amplificazione, che vengono ben descritti dai relativi fattori. L'amplificazione sismica maggiore si registra nell'intervallo di periodo compreso tra 1.5 e 5 s.
8. E' possibile affermare che, considerando l'elevata frazione argillosa dei terreni superficiali, la presenza di uno spessore rilevante ad alta drenanza entro i primi 10 m di profondità e una soggiacenza che supera i 15 m, il sito è considerabile come **non liquefacibile**. I Fattori di Sicurezza FSL ottenuti tramite Robertson&Wride(1977) risultano sensibilmente superiori all'unità lungo la verticale penetrometrica indagata.

9. Il Fattore di amplificazione sismica della **PGA è di 1.825**; i fattori di amplificazione dell'intensità di Housner sono i seguenti:

FA Housner 0.1-0.5 s	1.220241
FA Housner 0.5-1.5 s	2.005531
FA Housner 1.5-5 s	3.032268

Lo scrivente resta a disposizione per ogni caso dubbio o chiarimento.

Imola, Novembre 2017

Dottor Davide Sasdelli Geologo

Allegati

Stralcio Planimetria catastale

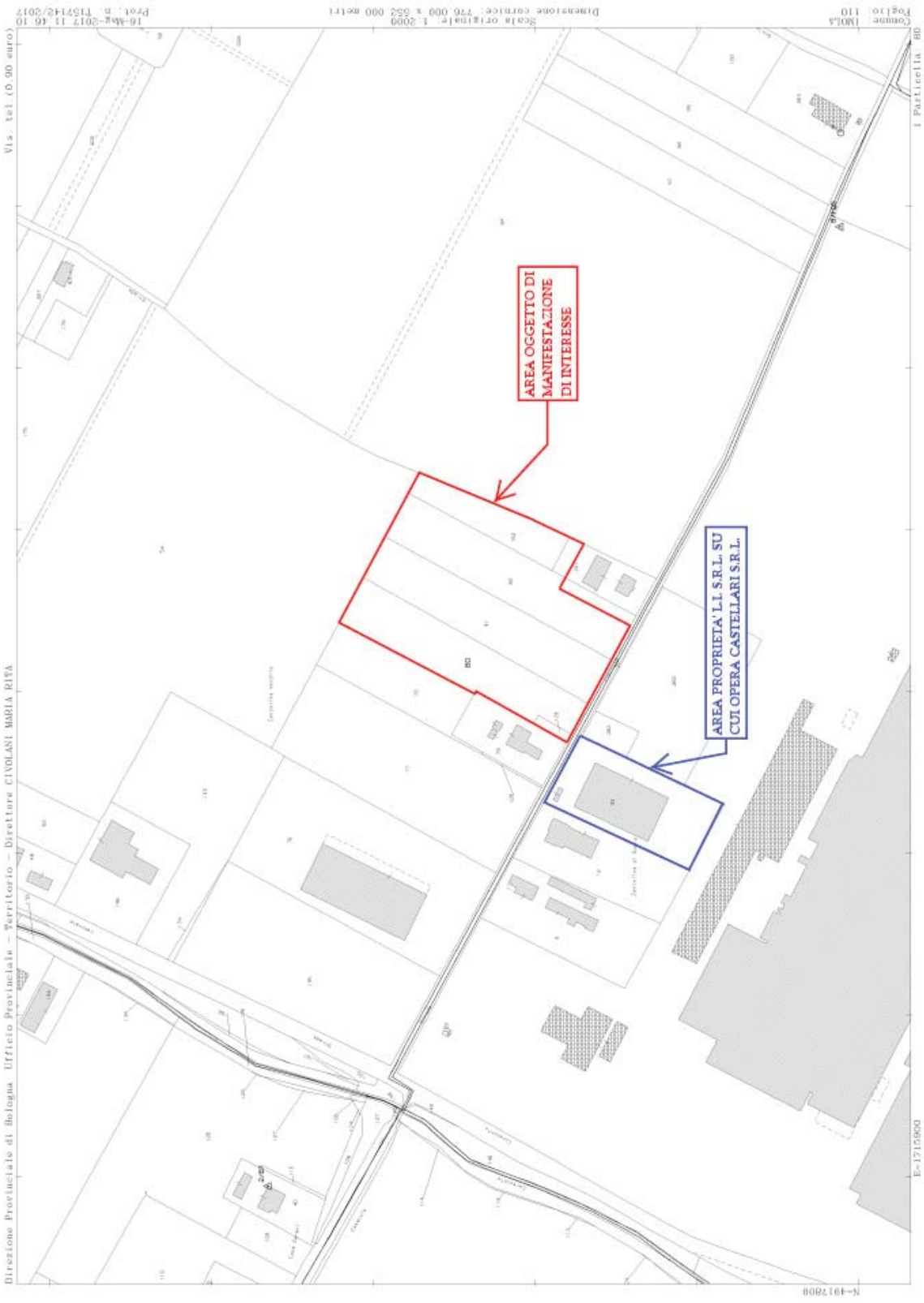
Stralcio Carta Tecnica Regionale

Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche

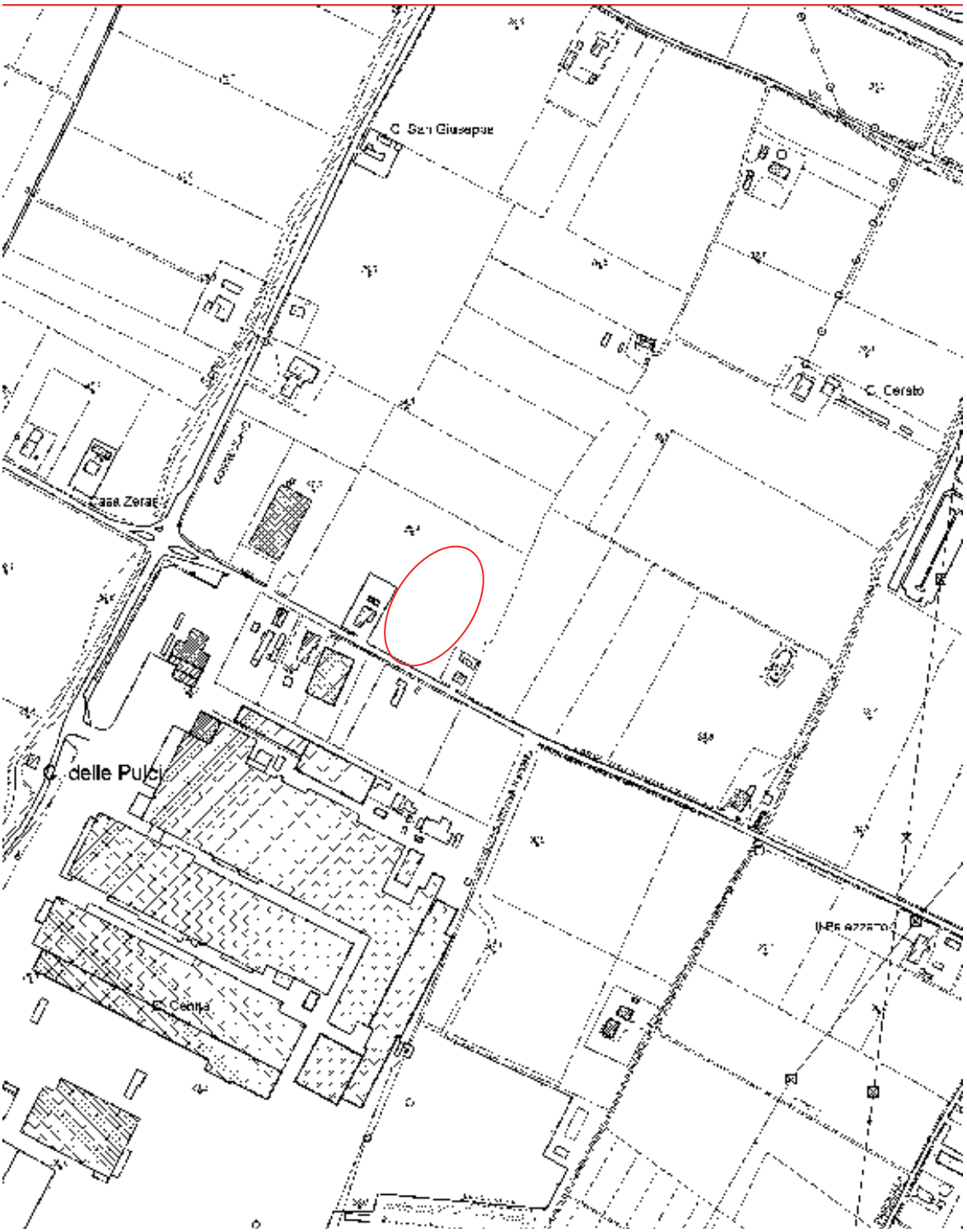
Tabelle e grafici delle indagini

Relazione di indagine sismica

STRALCIO PLANIMETRIA CATASTALE



STRALCIO CARTA TECNICA REGIONALE



UBICAZIONE INDAGINI GEOTECNICO SISMICHE



TABELLE E GRAFICI INDAGINE

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 171-17

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Davide Sasdelli
- lavoro : nuovo fabbricato
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :
- data : 20/11/2017
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl
m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-	m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-
0,20	----	----	--	0,87	----	4,60	47,0	91,0	47,0	3,47	14,0
0,40	7,0	20,0	7,0	0,87	8,0	4,80	32,0	84,0	32,0	3,60	9,0
0,60	8,0	21,0	8,0	1,07	7,0	**5,00**	32,0	86,0	32,0	2,67	12,0
0,80	10,0	26,0	10,0	1,00	10,0	5,20	43,0	83,0	43,0	2,67	16,0
1,00	23,0	38,0	23,0	1,87	12,0	5,40	34,0	74,0	34,0	2,80	12,0
1,20	29,0	57,0	29,0	2,67	11,0	5,60	37,0	79,0	37,0	2,47	15,0
1,40	34,0	74,0	34,0	3,33	10,0	5,80	35,0	72,0	35,0	2,47	14,0
1,60	54,0	104,0	54,0	3,53	15,0	**6,00**	25,0	62,0	25,0	1,73	14,0
1,80	60,0	113,0	60,0	3,67	16,0	6,20	28,0	54,0	28,0	1,73	16,0
2,00	59,0	114,0	59,0	6,40	9,0	6,40	27,0	53,0	27,0	1,80	15,0
2,20	46,0	142,0	46,0	3,47	13,0	6,60	26,0	53,0	26,0	1,60	16,0
2,40	39,0	91,0	39,0	3,60	11,0	6,80	29,0	53,0	29,0	2,27	13,0
2,60	45,0	99,0	45,0	2,87	16,0	**7,00**	24,0	58,0	24,0	1,80	13,0
2,80	40,0	83,0	40,0	3,00	13,0	7,20	21,0	48,0	21,0	1,40	15,0
3,00	38,0	83,0	38,0	3,33	11,0	7,40	27,0	48,0	27,0	1,07	25,0
3,20	36,0	86,0	36,0	2,80	13,0	7,60	28,0	44,0	28,0	1,40	20,0
3,40	26,0	68,0	26,0	2,20	12,0	7,80	29,0	50,0	29,0	1,13	26,0
3,60	19,0	52,0	19,0	1,53	12,0	**8,00**	33,0	50,0	33,0	2,40	14,0
3,80	25,0	48,0	25,0	1,13	22,0	8,20	27,0	63,0	27,0	2,00	14,0
4,00	40,0	57,0	40,0	3,47	12,0	8,40	21,0	51,0	21,0	0,87	24,0
4,20	38,0	90,0	38,0	3,00	13,0	8,60	188,0	201,0	188,0	3,33	56,0
4,40	36,0	81,0	36,0	2,93	12,0	8,80	450,0	500,0	450,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 171-17

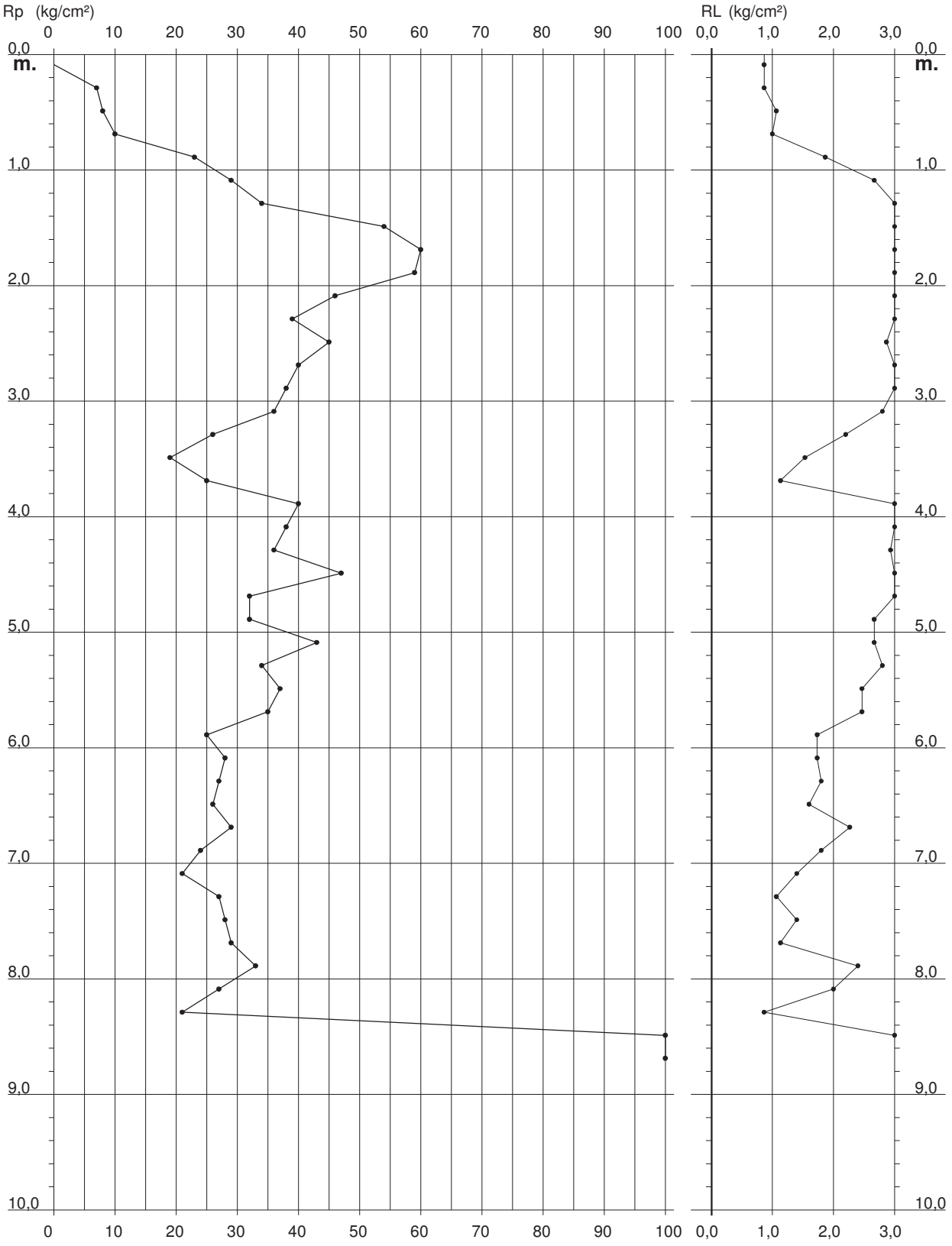
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Davide Sasdelli
- lavoro : nuovo fabbricato
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 20/11/2017
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 171-17

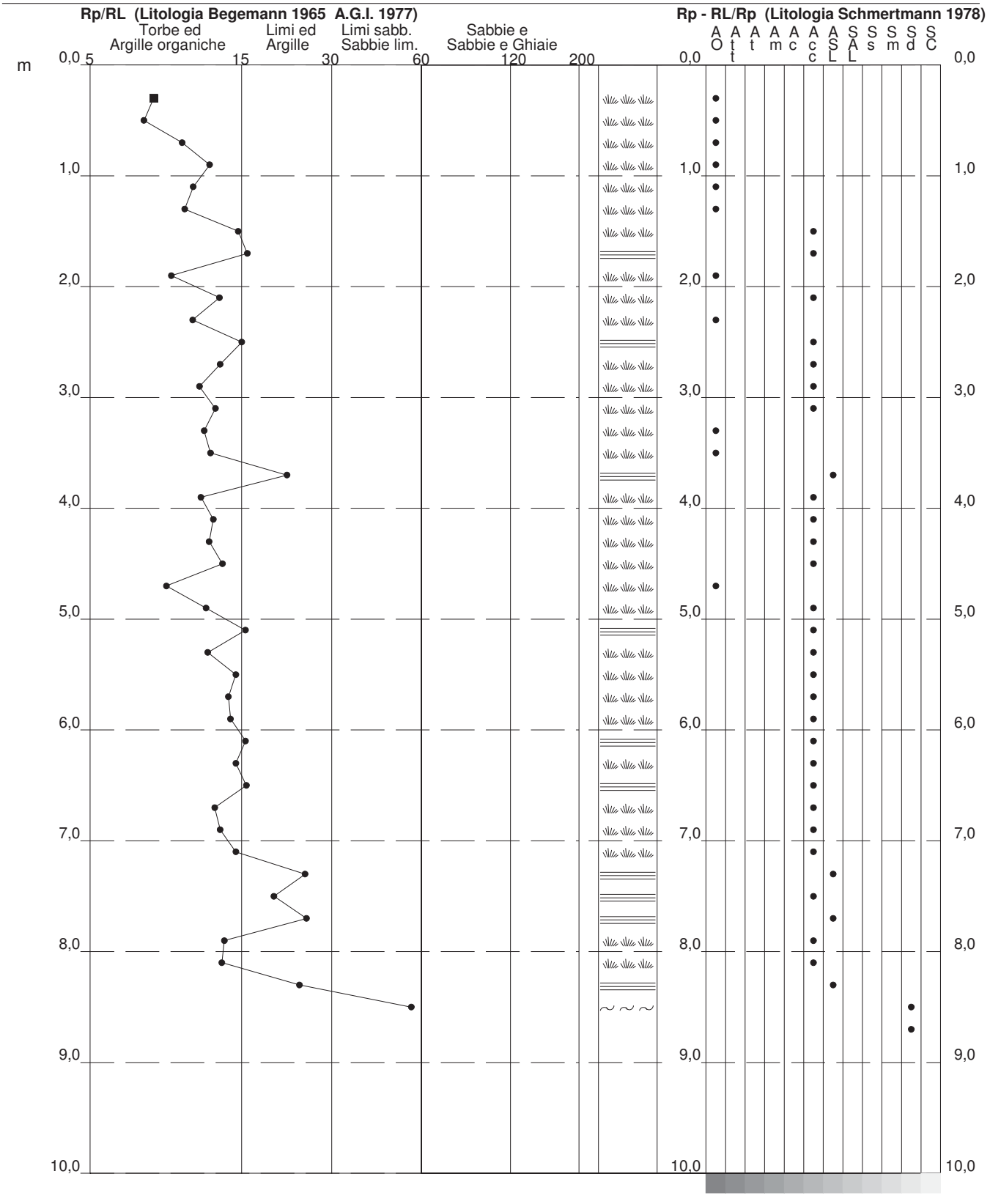
PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Davide Sasdelli
- lavoro : nuovo fabbricato
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 20/11/2017
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 1
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Davide Sasdelli
- lavoro : nuovo fabbricato
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :
- data : 20/11/2017
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

											NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	7	8	1***	1,85	0,07	0,35	43,8	14	21	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	8	7	2////	1,85	0,11	0,40	31,2	68	102	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	10	10	2////	1,85	0,15	0,50	28,8	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	23	12	4/:/:	1,85	0,19	0,87	43,3	148	221	69	63	37	39	41	43	38	28	0,138	38	58	69
1,20	29	11	4/:/:	1,85	0,22	0,98	40,3	167	251	87	66	37	39	41	43	38	29	0,148	48	73	87
1,40	34	10	4/:/:	1,85	0,26	1,13	39,7	193	289	102	68	38	39	41	43	38	29	0,153	57	85	102
1,60	54	15	4/:/:	1,85	0,30	1,80	60,0	306	459	162	81	39	41	43	44	40	31	0,192	90	135	162
1,80	60	16	4/:/:	1,85	0,33	2,00	59,0	340	510	180	81	39	41	43	45	40	32	0,194	100	150	180
2,00	59	9	4/:/:	1,85	0,37	1,97	50,7	334	502	177	78	39	41	42	44	39	32	0,184	98	148	177
2,20	46	13	4/:/:	1,85	0,41	1,53	33,0	261	391	138	67	37	39	41	43	38	31	0,151	77	115	138
2,40	39	11	4/:/:	1,85	0,44	1,30	24,0	221	332	117	59	36	38	41	43	36	30	0,129	65	98	117
2,60	45	16	4/:/:	1,85	0,48	1,50	26,0	255	383	135	62	37	39	41	43	37	31	0,137	75	113	135
2,80	40	13	4/:/:	1,85	0,52	1,33	20,5	227	340	120	57	36	38	40	43	36	30	0,121	67	100	120
3,00	38	11	4/:/:	1,85	0,55	1,27	17,6	215	323	114	53	35	38	40	42	35	30	0,112	63	95	114
3,20	36	13	4/:/:	1,85	0,59	1,20	15,2	204	306	108	50	35	37	40	42	34	30	0,103	60	90	108
3,40	26	12	4/:/:	1,85	0,63	0,93	10,2	158	237	78	37	33	36	38	41	32	28	0,073	43	65	78
3,60	19	12	2////	1,85	0,67	0,78	7,6	162	244	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	25	22	4/:/:	1,85	0,70	0,91	8,7	167	250	75	33	33	35	38	41	31	28	0,064	42	63	75
4,00	40	12	4/:/:	1,85	0,74	1,33	13,1	227	340	120	48	35	37	39	42	34	30	0,099	67	100	120
4,20	38	13	4/:/:	1,85	0,78	1,27	11,6	215	323	114	45	34	37	39	42	33	30	0,091	63	95	114
4,40	36	12	4/:/:	1,85	0,81	1,20	10,2	204	306	108	42	34	36	39	41	32	30	0,084	60	90	108
4,60	47	14	4/:/:	1,85	0,85	1,57	13,5	266	400	141	50	35	37	40	42	34	31	0,104	78	118	141
4,80	32	9	4/:/:	1,85	0,89	1,07	7,9	214	321	96	36	33	36	38	41	31	29	0,070	53	80	96
5,00	32	12	4/:/:	1,85	0,93	1,07	7,5	226	340	96	35	33	35	38	41	31	29	0,068	53	80	96
5,20	43	16	4/:/:	1,85	0,96	1,43	10,3	244	366	129	44	34	37	39	42	32	30	0,089	72	108	129
5,40	34	12	4/:/:	1,85	1,00	1,13	7,4	246	369	102	35	33	35	38	41	31	29	0,068	57	85	102
5,60	37	15	4/:/:	1,85	1,04	1,23	7,8	250	376	111	37	33	36	38	41	31	30	0,073	62	93	111
5,80	35	14	4/:/:	1,85	1,07	1,17	7,0	270	404	105	34	33	35	38	41	31	29	0,067	58	88	105
6,00	25	14	4/:/:	1,85	1,11	0,91	4,9	307	461	75	22	31	34	37	40	29	28	0,041	42	63	75
6,20	28	16	4/:/:	1,85	1,15	0,97	5,1	316	474	84	25	31	34	37	40	29	28	0,047	47	70	84
6,40	27	15	4/:/:	1,85	1,18	0,95	4,8	329	493	81	23	31	34	37	40	29	28	0,043	45	68	81
6,60	26	16	4/:/:	1,85	1,22	0,93	4,5	341	511	78	21	31	34	37	40	28	28	0,040	43	65	78
6,80	29	13	4/:/:	1,85	1,26	0,98	4,6	350	525	87	24	31	34	37	40	29	29	0,045	48	73	87
7,00	24	13	4/:/:	1,85	1,30	0,89	3,9	363	544	72	17	30	33	36	39	28	28	0,032	40	60	72
7,20	21	15	4/:/:	1,85	1,33	0,82	3,4	375	563	63	11	30	33	36	39	27	27	0,023	35	53	63
7,40	27	25	4/:/:	1,85	1,37	0,95	4,0	383	574	81	19	31	34	36	40	28	28	0,037	45	68	81
7,60	28	20	4/:/:	1,85	1,41	0,97	3,9	394	591	84	20	31	34	37	40	28	28	0,038	47	70	84
7,80	29	26	4/:/:	1,85	1,44	0,98	3,9	405	608	87	20	31	34	37	40	28	29	0,039	48	73	87
8,00	33	14	4/:/:	1,85	1,48	1,10	4,3	413	620	99	24	31	34	37	40	29	29	0,046	55	83	99
8,20	27	14	4/:/:	1,85	1,52	0,95	3,5	428	641	81	17	30	33	36	39	27	28	0,032	45	68	81
8,40	21	24	4/:/:	1,85	1,55	0,82	2,8	417	625	63	8	29	32	35	39	26	27	0,017	35	53	63
8,60	188	56	3::::	1,85	1,59	--	--	--	--	--	82	40	41	43	45	38	37	0,198	313	470	564
8,80	450	--	3::::	1,85	1,63	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	41	40	0,258	750	1125	1350

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :
- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl
m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-	m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-
0,20	----	----	--	------	----	5,40	28,0	55,0	28,0	1,80	16,0
0,40	15,0	32,0	15,0	1,13	13,0	5,60	20,0	48,0	20,0	1,87	11,0
0,60	23,0	43,0	23,0	1,33	17,0	5,80	23,0	51,0	23,0	1,87	12,0
0,80	20,0	60,0	20,0	2,67	7,0	**6,00**	23,0	47,0	23,0	1,60	14,0
1,00	24,0	48,0	24,0	1,60	15,0	6,20	24,0	54,0	24,0	2,00	12,0
1,20	21,0	56,0	21,0	2,33	9,0	6,40	22,0	54,0	22,0	2,13	10,0
1,40	23,0	62,0	23,0	2,60	9,0	6,60	20,0	51,0	20,0	2,07	10,0
1,60	29,0	64,0	29,0	2,33	12,0	6,80	21,0	50,0	21,0	1,93	11,0
1,80	31,0	82,0	31,0	3,40	9,0	**7,00**	22,0	50,0	22,0	1,87	12,0
2,00	39,0	72,0	39,0	2,20	18,0	7,20	24,0	49,0	24,0	1,67	14,0
2,20	61,0	121,0	61,0	4,00	15,0	7,40	26,0	58,0	26,0	2,13	12,0
2,40	72,0	129,0	72,0	3,80	19,0	7,60	24,0	50,0	24,0	1,73	14,0
2,60	65,0	146,0	65,0	5,40	12,0	7,80	27,0	55,0	27,0	1,87	14,0
2,80	51,0	165,0	51,0	7,60	7,0	**8,00**	28,0	48,0	28,0	1,33	21,0
3,00	64,0	132,0	64,0	4,53	14,0	8,20	25,0	67,0	25,0	2,80	9,0
3,20	57,0	150,0	57,0	6,20	9,0	8,40	31,0	60,0	31,0	1,93	16,0
3,40	43,0	123,0	43,0	5,33	8,0	8,60	26,0	56,0	26,0	2,00	13,0
3,60	41,0	102,0	41,0	4,07	10,0	8,80	42,0	67,0	42,0	1,67	25,0
3,80	26,0	72,0	26,0	3,07	8,0	**9,00**	28,0	66,0	28,0	2,53	11,0
4,00	24,0	70,0	24,0	3,07	8,0	9,20	39,0	77,0	39,0	2,53	15,0
4,20	22,0	58,0	22,0	2,40	9,0	9,40	50,0	78,0	50,0	1,87	27,0
4,40	23,0	53,0	23,0	2,00	12,0	9,60	20,0	54,0	20,0	2,27	9,0
4,60	20,0	51,0	20,0	2,07	10,0	9,80	59,0	121,0	59,0	4,13	14,0
4,80	21,0	42,0	21,0	1,40	15,0	**10,00**	221,0	331,0	221,0	7,33	30,0
5,00	21,0	44,0	21,0	1,53	14,0	10,20	368,0	450,0	368,0	5,47	67,0
5,20	19,0	40,0	19,0	1,40	14,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :
- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl
m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-	m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-
0,20	----	----	--	------	----	**5,00**	24,0	49,0	24,0	1,67	14,0
0,40	28,0	47,0	28,0	1,27	22,0	5,20	26,0	51,0	26,0	1,67	16,0
0,60	44,0	74,0	44,0	2,00	22,0	5,40	27,0	50,0	27,0	1,53	18,0
0,80	39,0	83,0	39,0	2,93	13,0	5,60	25,0	52,0	25,0	1,80	14,0
1,00	34,0	84,0	34,0	3,33	10,0	5,80	26,0	54,0	26,0	1,87	14,0
1,20	38,0	87,0	38,0	3,27	12,0	**6,00**	21,0	54,0	21,0	2,20	10,0
1,40	37,0	91,0	37,0	3,60	10,0	6,20	20,0	51,0	20,0	2,07	10,0
1,60	29,0	78,0	29,0	3,27	9,0	6,40	26,0	53,0	26,0	1,80	14,0
1,80	27,0	84,0	27,0	3,80	7,0	6,60	21,0	50,0	21,0	1,93	11,0
2,00	29,0	82,0	29,0	3,53	8,0	6,80	27,0	58,0	27,0	2,07	13,0
2,20	45,0	98,0	45,0	3,53	13,0	**7,00**	21,0	53,0	21,0	2,13	10,0
2,40	61,0	122,0	61,0	4,07	15,0	7,20	22,0	43,0	22,0	1,40	16,0
2,60	58,0	127,0	58,0	4,60	13,0	7,40	20,0	37,0	20,0	1,13	18,0
2,80	70,0	155,0	70,0	5,67	12,0	7,60	21,0	36,0	21,0	1,00	21,0
3,00	71,0	139,0	71,0	4,53	16,0	7,80	22,0	38,0	22,0	1,07	21,0
3,20	66,0	135,0	66,0	4,60	14,0	**8,00**	23,0	44,0	23,0	1,40	16,0
3,40	38,0	123,0	38,0	5,67	7,0	8,20	25,0	43,0	25,0	1,20	21,0
3,60	39,0	103,0	39,0	4,27	9,0	8,40	22,0	42,0	22,0	1,33	16,0
3,80	36,0	86,0	36,0	3,33	11,0	8,60	33,0	56,0	33,0	1,53	22,0
4,00	34,0	84,0	34,0	3,33	10,0	8,80	82,0	192,0	82,0	7,33	11,0
4,20	30,0	80,0	30,0	3,33	9,0	**9,00**	217,0	329,0	217,0	7,47	29,0
4,40	31,0	75,0	31,0	2,93	11,0	9,20	323,0	434,0	323,0	7,40	44,0
4,60	37,0	78,0	37,0	2,73	14,0	9,40	381,0	491,0	381,0	7,33	52,0
4,80	27,0	68,0	27,0	2,73	10,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 3
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :
- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl
m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-	m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-
0,20	----	----	--	------	----	5,80	24,0	43,0	24,0	1,27	19,0
0,40	20,0	32,0	20,0	0,80	25,0	**6,00**	22,0	48,0	22,0	1,73	13,0
0,60	18,0	28,0	18,0	0,67	27,0	6,20	20,0	45,0	20,0	1,67	12,0
0,80	28,0	41,0	28,0	0,87	32,0	6,40	20,0	45,0	20,0	1,67	12,0
1,00	26,0	46,0	26,0	1,33	19,0	6,60	21,0	44,0	21,0	1,53	14,0
1,20	24,0	44,0	24,0	1,33	18,0	6,80	20,0	40,0	20,0	1,33	15,0
1,40	25,0	59,0	25,0	2,27	11,0	**7,00**	21,0	39,0	21,0	1,20	17,0
1,60	28,0	78,0	28,0	3,33	8,0	7,20	20,0	41,0	20,0	1,40	14,0
1,80	32,0	82,0	32,0	3,33	10,0	7,40	16,0	32,0	16,0	1,07	15,0
2,00	45,0	112,0	45,0	4,47	10,0	7,60	21,0	36,0	21,0	1,00	21,0
2,20	66,0	135,0	66,0	4,60	14,0	7,80	20,0	33,0	20,0	0,87	23,0
2,40	51,0	144,0	51,0	6,20	8,0	**8,00**	19,0	34,0	19,0	1,00	19,0
2,60	57,0	143,0	57,0	5,73	10,0	8,20	19,0	31,0	19,0	0,80	24,0
2,80	55,0	145,0	55,0	6,00	9,0	8,40	18,0	30,0	18,0	0,80	22,0
3,00	56,0	135,0	56,0	5,27	11,0	8,60	22,0	38,0	22,0	1,07	21,0
3,20	62,0	141,0	62,0	5,27	12,0	8,80	32,0	54,0	32,0	1,47	22,0
3,40	31,0	91,0	31,0	4,00	8,0	**9,00**	43,0	73,0	43,0	2,00	22,0
3,60	39,0	89,0	39,0	3,33	12,0	9,20	41,0	77,0	41,0	2,40	17,0
3,80	31,0	81,0	31,0	3,33	9,0	9,40	51,0	82,0	51,0	2,07	25,0
4,00	30,0	84,0	30,0	3,60	8,0	9,60	44,0	76,0	44,0	2,13	21,0
4,20	26,0	78,0	26,0	3,47	7,0	9,80	51,0	81,0	51,0	2,00	26,0
4,40	22,0	61,0	22,0	2,60	8,0	**10,00**	53,0	96,0	53,0	2,87	18,0
4,60	24,0	58,0	24,0	2,27	11,0	10,20	41,0	81,0	41,0	2,67	15,0
4,80	26,0	54,0	26,0	1,87	14,0	10,40	64,0	145,0	64,0	5,40	12,0
5,00	22,0	46,0	22,0	1,60	14,0	10,60	166,0	261,0	166,0	6,33	26,0
5,20	24,0	42,0	24,0	1,20	20,0	10,80	271,0	381,0	271,0	7,33	37,0
5,40	21,0	38,0	21,0	1,13	19,0	**11,00**	373,0	468,0	373,0	6,33	59,0
5,60	23,0	41,0	23,0	1,20	19,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 4
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :
- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/Rl
m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-	m	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	-
0,20	----	----	--	------	----	**5,00**	39,0	56,0	39,0	1,13	34,0
0,40	11,0	29,0	11,0	1,20	9,0	5,20	23,0	49,0	23,0	1,73	13,0
0,60	13,0	25,0	13,0	0,80	16,0	5,40	25,0	49,0	25,0	1,60	16,0
0,80	23,0	59,0	23,0	2,40	10,0	5,60	28,0	49,0	28,0	1,40	20,0
1,00	22,0	61,0	22,0	2,60	8,0	5,80	26,0	51,0	26,0	1,67	16,0
1,20	20,0	71,0	20,0	3,40	6,0	**6,00**	31,0	60,0	31,0	1,93	16,0
1,40	21,0	67,0	21,0	3,07	7,0	6,20	28,0	61,0	28,0	2,20	13,0
1,60	23,0	64,0	23,0	2,73	8,0	6,40	26,0	56,0	26,0	2,00	13,0
1,80	27,0	71,0	27,0	2,93	9,0	6,60	21,0	48,0	21,0	1,80	12,0
2,00	29,0	77,0	29,0	3,20	9,0	6,80	20,0	46,0	20,0	1,73	12,0
2,20	47,0	96,0	47,0	3,27	14,0	**7,00**	20,0	46,0	20,0	1,73	12,0
2,40	46,0	104,0	46,0	3,87	12,0	7,20	24,0	48,0	24,0	1,60	15,0
2,60	43,0	108,0	43,0	4,33	10,0	7,40	27,0	57,0	27,0	2,00	14,0
2,80	49,0	104,0	49,0	3,67	13,0	7,60	26,0	54,0	26,0	1,87	14,0
3,00	43,0	105,0	43,0	4,13	10,0	7,80	27,0	60,0	27,0	2,20	12,0
3,20	35,0	87,0	35,0	3,47	10,0	**8,00**	23,0	54,0	23,0	2,07	11,0
3,40	32,0	65,0	32,0	2,20	15,0	8,20	29,0	59,0	29,0	2,00	14,0
3,60	28,0	61,0	28,0	2,20	13,0	8,40	25,0	47,0	25,0	1,47	17,0
3,80	24,0	54,0	24,0	2,00	12,0	8,60	27,0	48,0	27,0	1,40	19,0
4,00	22,0	55,0	22,0	2,20	10,0	8,80	55,0	79,0	55,0	1,60	34,0
4,20	21,0	51,0	21,0	2,00	10,0	**9,00**	65,0	102,0	65,0	2,47	26,0
4,40	24,0	48,0	24,0	1,60	15,0	9,20	74,0	132,0	74,0	3,87	19,0
4,60	25,0	52,0	25,0	1,80	14,0	9,40	286,0	391,0	286,0	7,00	41,0
4,80	27,0	59,0	27,0	2,13	13,0	9,60	323,0	418,0	323,0	6,33	51,0

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

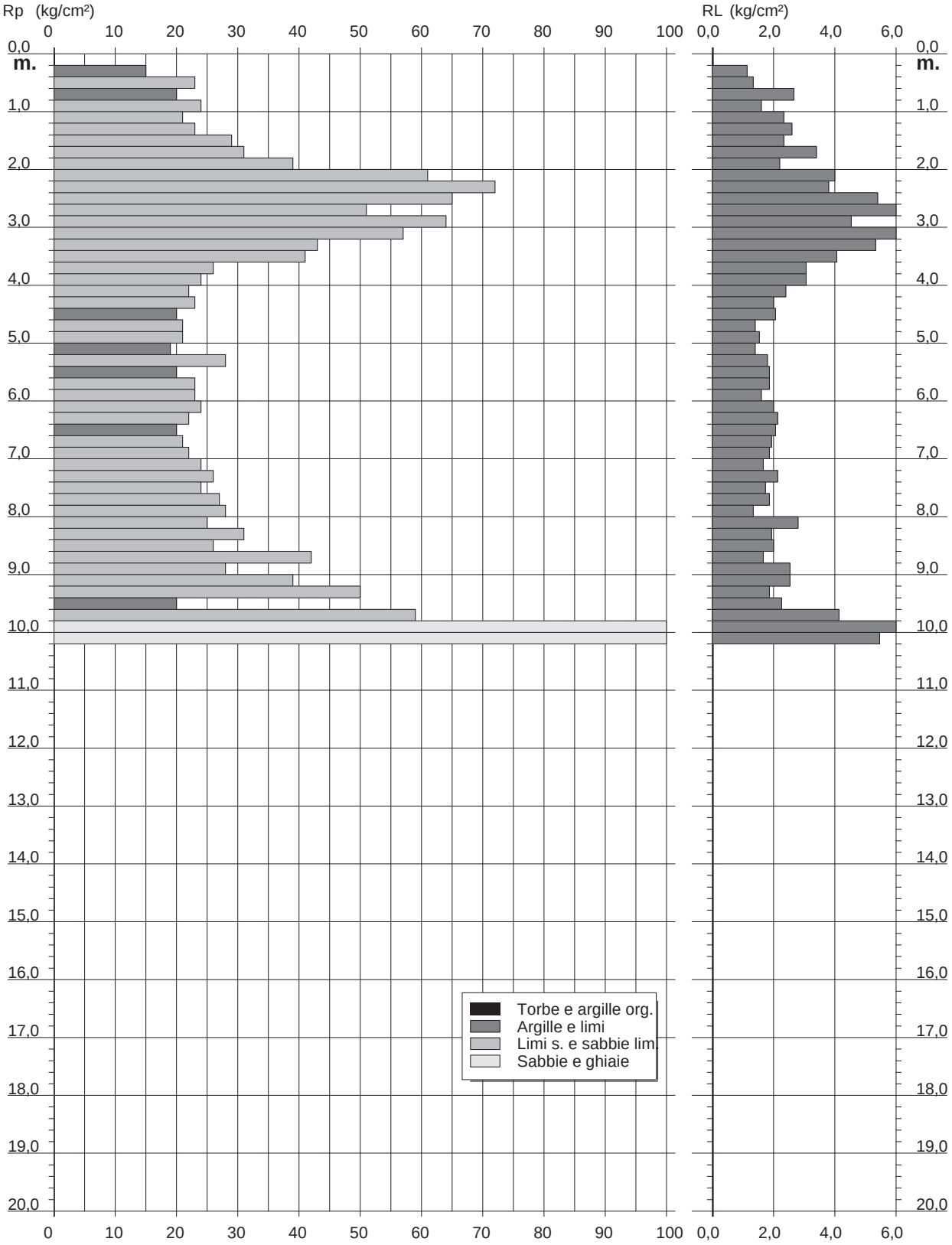
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

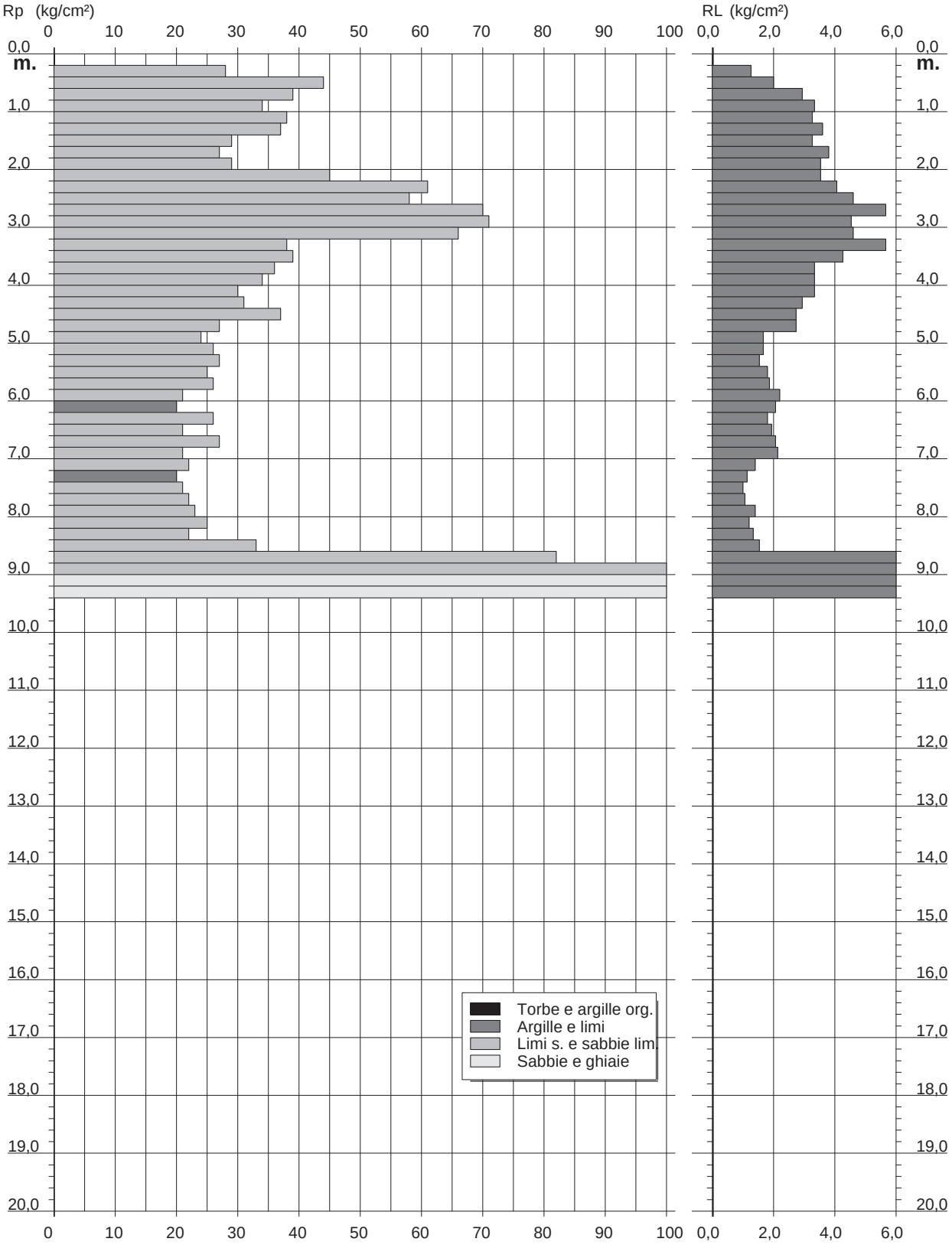
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

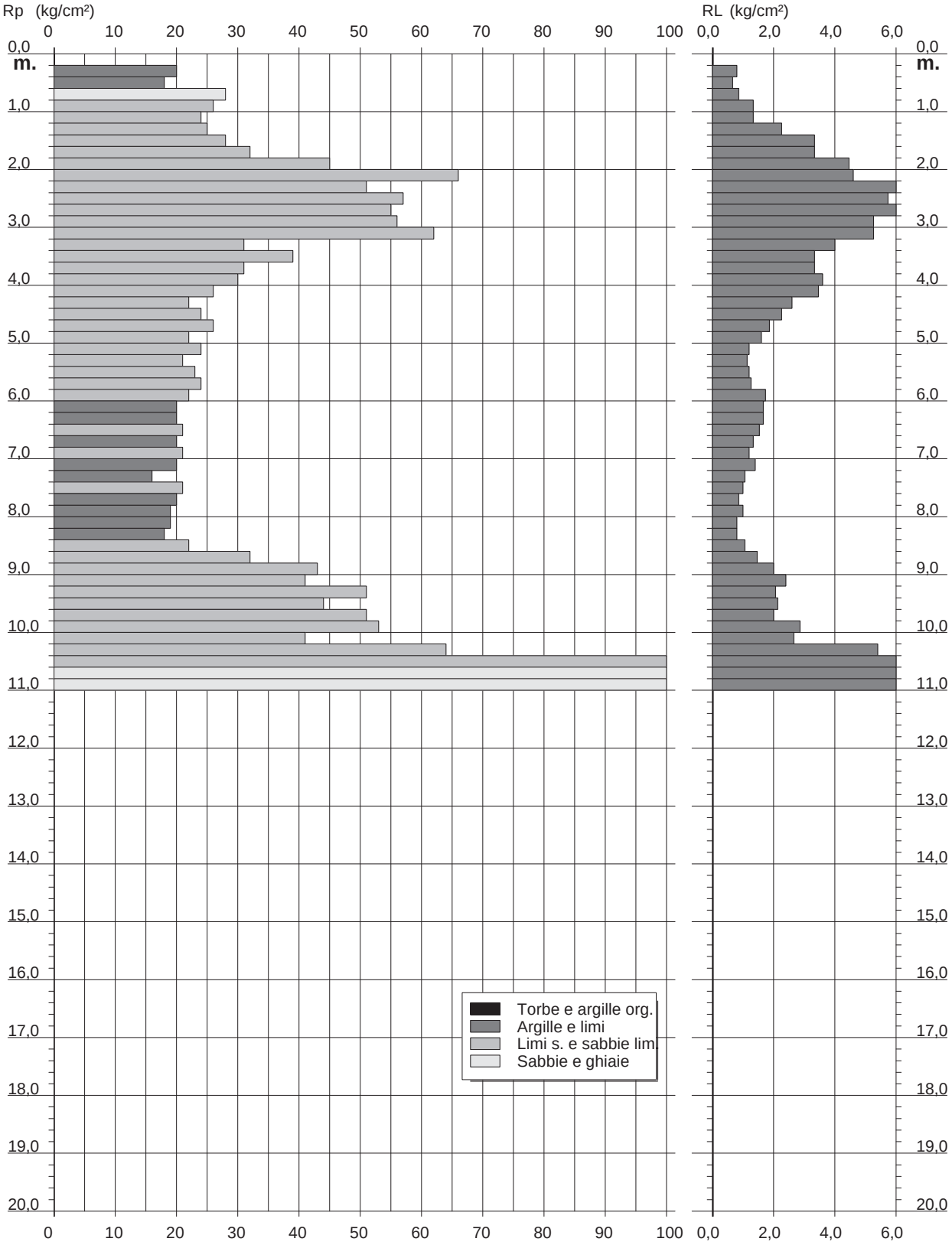
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

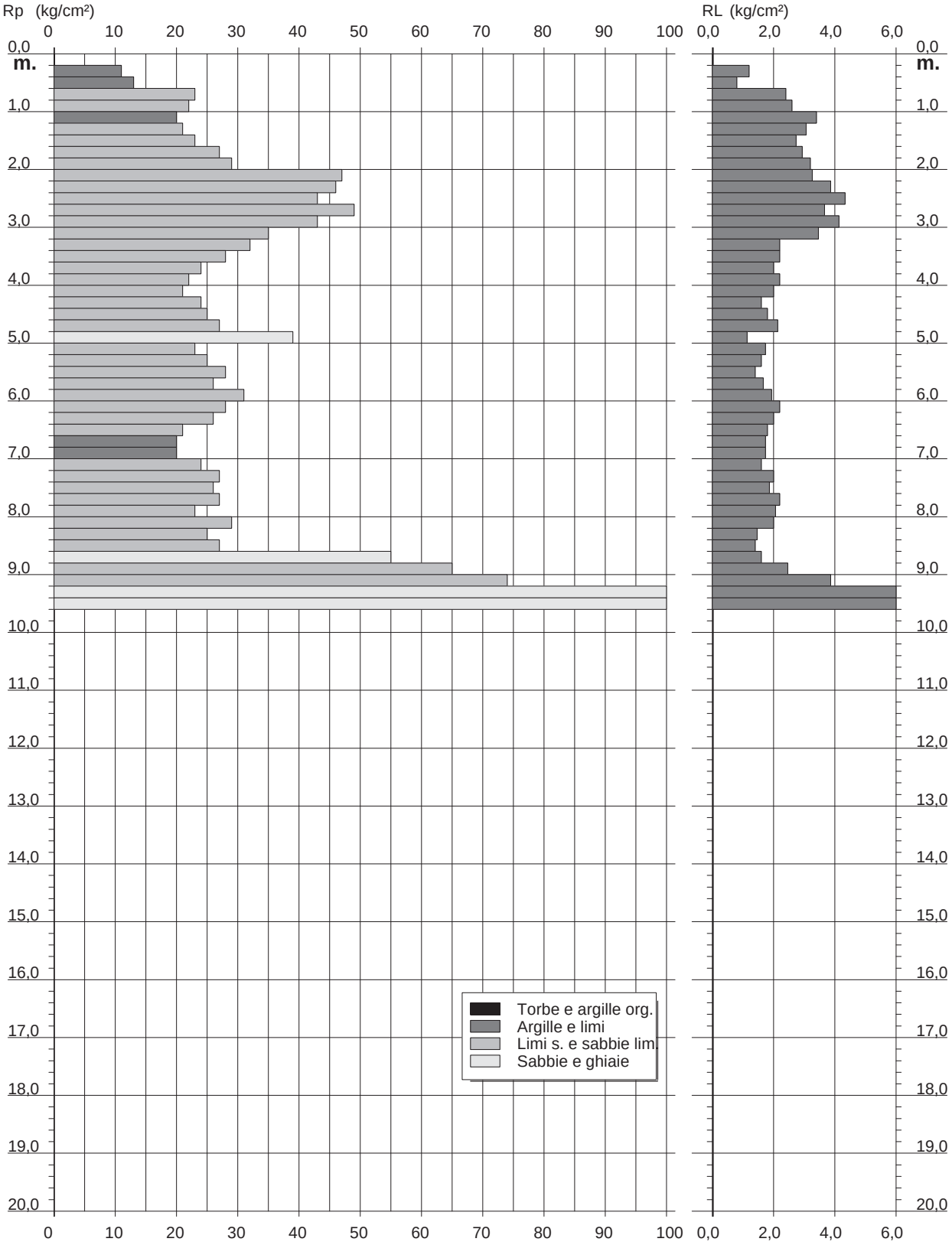
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 4

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

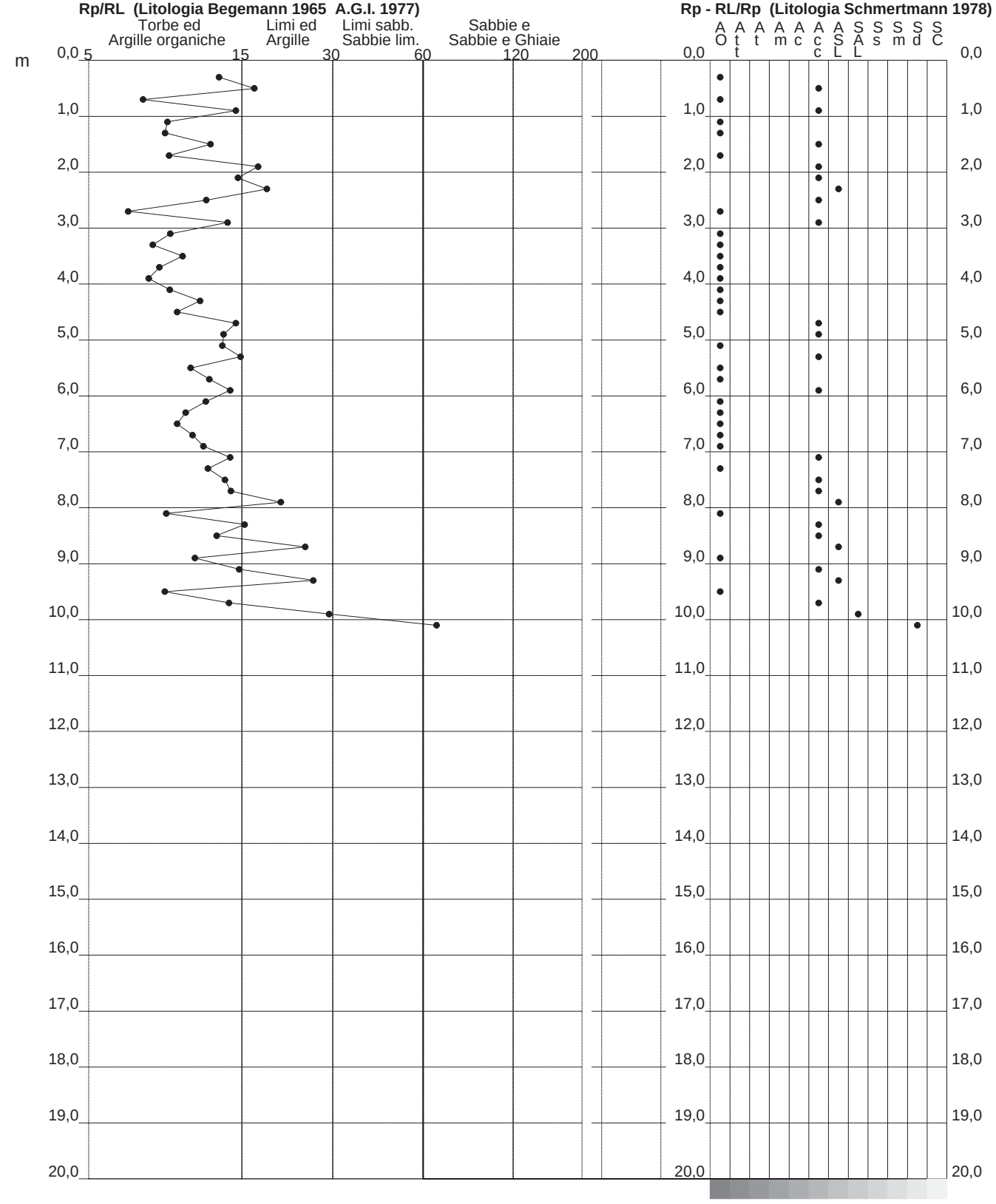
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

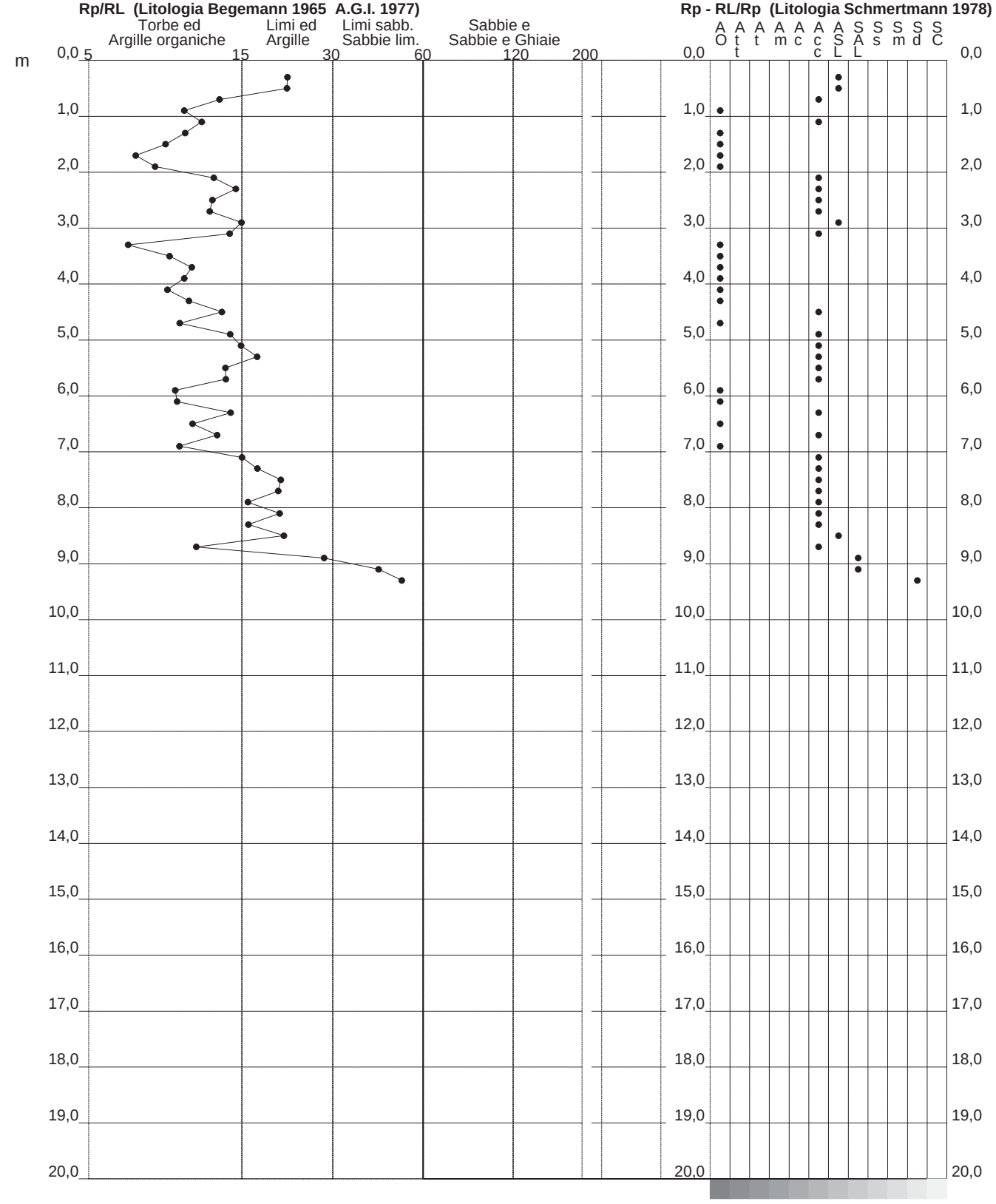
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

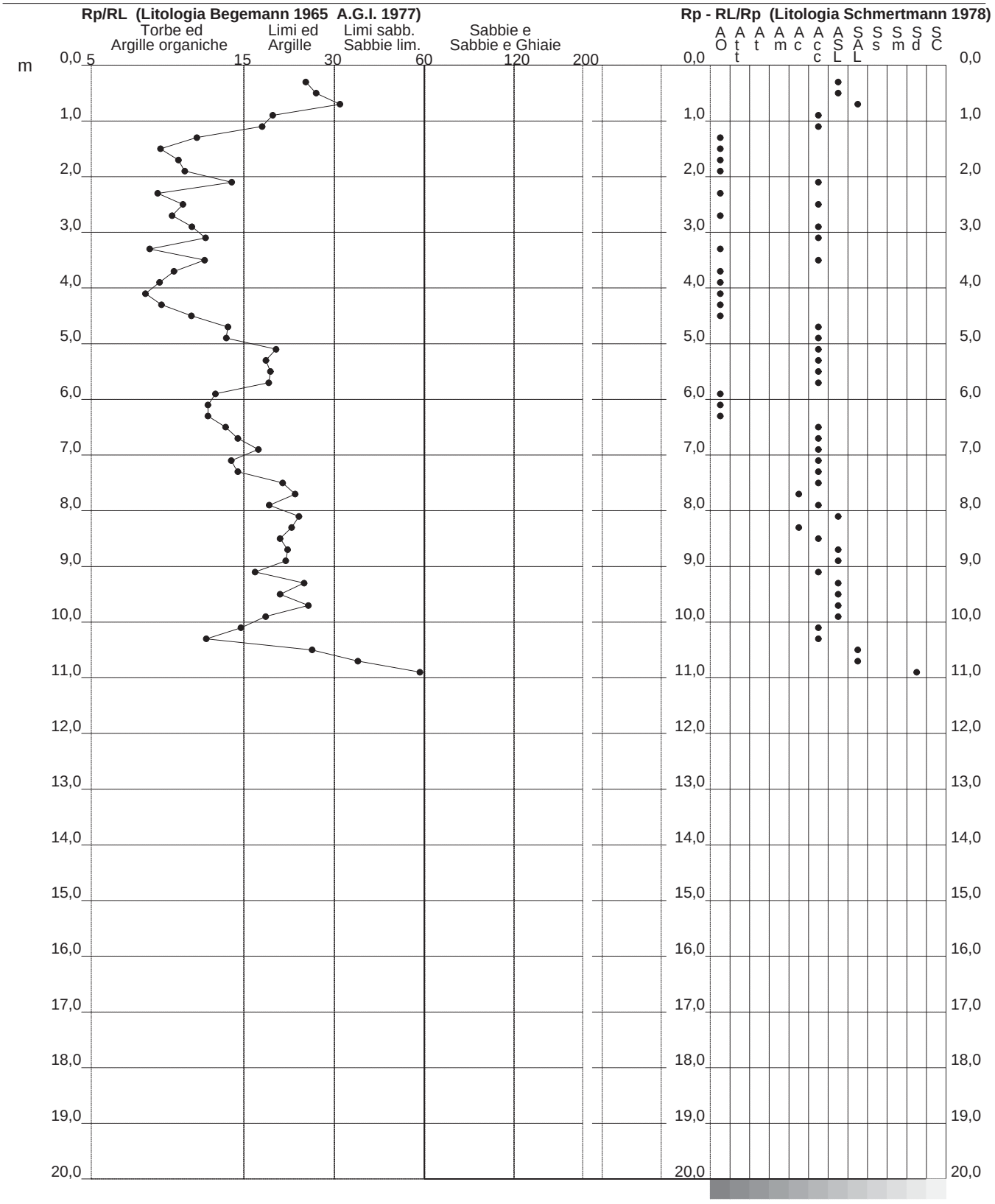
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

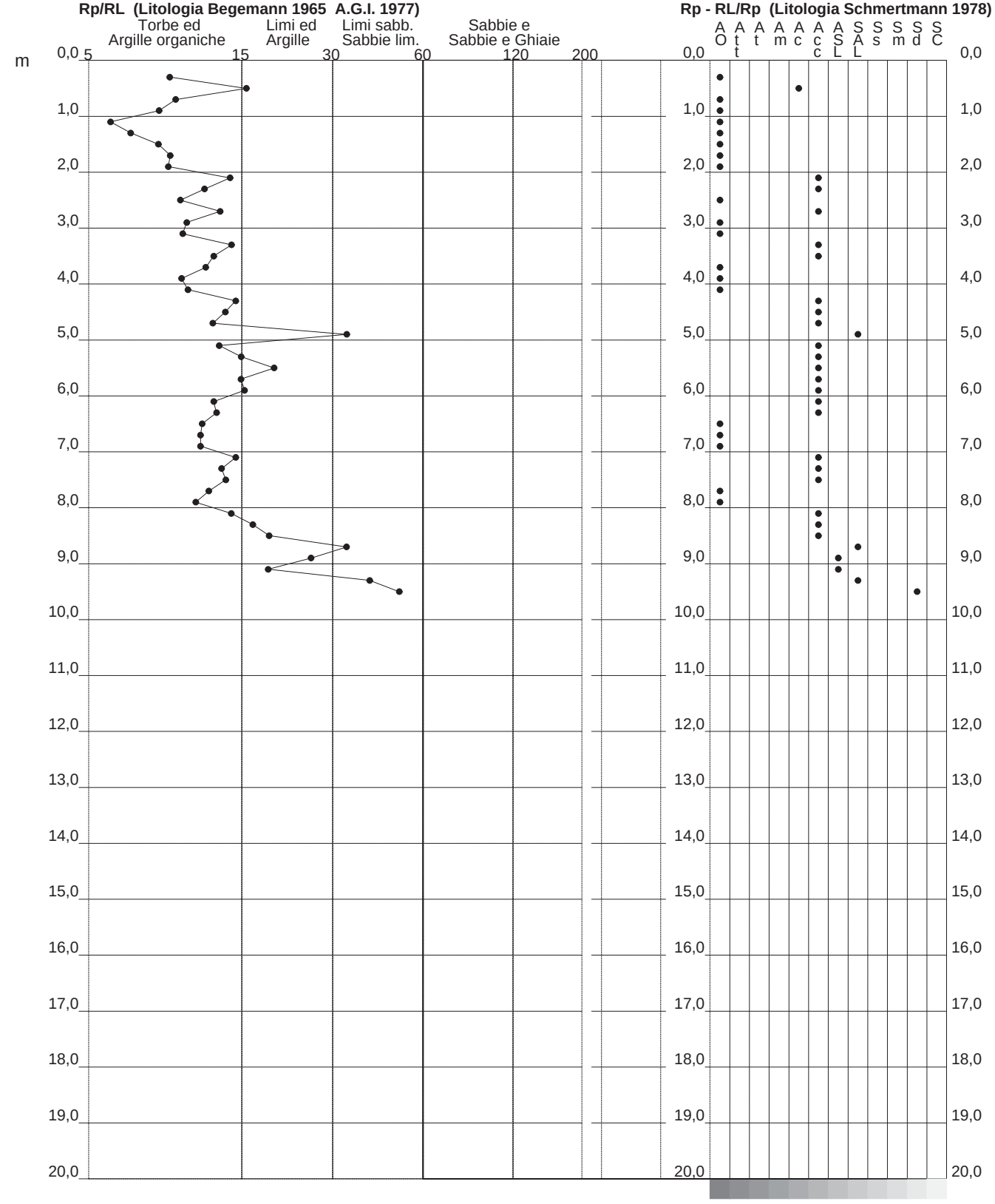
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 4

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Tel. 0546-667312 E-mail: geoland@libero.it

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

						NATURA COESIVA						**NATURA GRANULARE**										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	øm y (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	15	13	2////	1,85	0,07	0,67	98,0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	23	17	4/:/:	1,85	0,11	0,87	82,1	148	221	69	75	39	40	42	44	40	28	0,175	38	58	69	
0,80	20	7	4/:/:	1,85	0,15	0,80	51,7	136	204	60	63	37	39	41	43	38	27	0,140	33	50	60	
1,00	24	15	4/:/:	1,85	0,19	0,89	44,7	151	227	72	64	37	39	41	43	38	28	0,142	40	60	72	
1,20	21	9	4/:/:	1,85	0,22	0,82	32,3	140	210	63	55	36	38	40	42	37	27	0,117	35	53	63	
1,40	23	9	4/:/:	1,85	0,26	0,87	28,5	148	221	69	54	36	38	40	42	36	28	0,115	38	58	69	
1,60	29	12	4/:/:	1,85	0,30	0,98	28,1	167	251	87	59	36	38	40	43	37	29	0,128	48	73	87	
1,80	31	9	4/:/:	1,85	0,33	1,03	25,9	176	264	93	59	36	38	40	43	37	29	0,127	52	78	93	
2,00	39	18	4/:/:	1,85	0,37	1,30	30,2	221	332	117	64	37	39	41	43	37	30	0,141	65	98	117	
2,20	61	15	4/:/:	1,85	0,41	2,03	46,9	346	519	183	77	39	40	42	44	39	32	0,180	102	153	183	
2,40	72	19	4/:/:	1,85	0,44	2,40	51,7	408	612	216	81	39	41	43	44	39	32	0,192	120	180	216	
2,60	65	12	4/:/:	1,85	0,48	2,17	41,2	368	553	195	75	39	40	42	44	38	32	0,174	108	163	195	
2,80	51	7	4/:/:	1,85	0,52	1,70	27,7	289	434	153	65	37	39	41	43	37	31	0,144	85	128	153	
3,00	64	14	4/:/:	1,85	0,55	2,13	33,8	363	544	192	71	38	40	42	44	38	32	0,162	107	160	192	
3,20	57	9	4/:/:	1,85	0,59	1,90	27,0	323	485	171	65	37	39	41	43	37	31	0,146	95	143	171	
3,40	43	8	4/:/:	1,85	0,63	1,43	17,6	244	366	129	54	36	38	40	42	35	30	0,115	72	108	129	
3,60	41	10	4/:/:	1,85	0,67	1,37	15,4	232	349	123	51	35	37	40	42	34	30	0,107	68	103	123	
3,80	26	8	4/:/:	1,85	0,70	0,93	8,9	167	250	78	34	33	35	38	41	31	28	0,067	43	65	78	
4,00	24	8	4/:/:	1,85	0,74	0,89	7,9	178	267	72	30	32	35	38	40	31	28	0,058	40	60	72	
4,20	22	9	4/:/:	1,85	0,78	0,85	7,0	195	293	66	26	32	34	37	40	30	28	0,050	37	55	66	
4,40	23	12	4/:/:	1,85	0,81	0,87	6,8	206	310	69	27	32	34	37	40	30	28	0,051	38	58	69	
4,60	20	10	4/:/:	1,85	0,85	0,80	5,8	227	341	60	21	31	34	37	40	29	27	0,039	33	50	60	
4,80	21	15	4/:/:	1,85	0,89	0,82	5,7	238	358	63	21	31	34	37	40	29	27	0,040	35	53	63	
5,00	21	14	4/:/:	1,85	0,93	0,82	5,4	251	377	63	20	31	34	37	40	29	27	0,038	35	53	63	
5,20	19	14	2////	1,85	0,96	0,78	4,8	267	400	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,40	28	16	4/:/:	1,85	1,00	0,97	6,0	264	396	84	28	32	35	37	40	30	28	0,054	47	70	84	
5,60	20	11	4/:/:	1,85	1,04	0,80	4,5	289	433	60	16	30	33	36	39	28	27	0,030	33	50	60	
5,80	23	12	4/:/:	1,85	1,07	0,87	4,8	298	446	69	20	31	34	36	40	28	28	0,038	38	58	69	
6,00	23	14	4/:/:	1,85	1,11	0,87	4,6	309	464	69	19	31	34	36	40	28	28	0,036	38	58	69	
6,20	24	12	4/:/:	1,85	1,15	0,89	4,6	320	479	72	20	31	34	36	40	28	28	0,037	40	60	72	
6,40	22	10	4/:/:	1,85	1,18	0,85	4,1	331	496	66	16	30	33	36	39	28	28	0,030	37	55	66	
6,60	20	10	4/:/:	1,85	1,22	0,80	3,7	345	517	60	12	30	33	36	39	27	27	0,023	33	50	60	
6,80	21	11	4/:/:	1,85	1,26	0,82	3,7	355	533	63	13	30	33	36	39	27	27	0,025	35	53	63	
7,00	22	12	4/:/:	1,85	1,30	0,85	3,7	366	548	66	14	30	33	36	39	27	28	0,027	37	55	66	
7,20	24	14	4/:/:	1,85	1,33	0,89	3,8	375	563	72	16	30	33	36	39	27	28	0,031	40	60	72	
7,40	26	12	4/:/:	1,85	1,37	0,93	3,9	385	577	78	18	31	33	36	39	28	28	0,034	43	65	78	
7,60	24	14	4/:/:	1,85	1,41	0,89	3,5	397	595	72	15	30	33	36	39	27	28	0,028	40	60	72	
7,80	27	14	4/:/:	1,85	1,44	0,95	3,7	407	611	81	18	31	33	36	39	28	28	0,034	45	68	81	
8,00	28	21	4/:/:	1,85	1,48	0,97	3,7	418	627	84	19	31	33	36	39	28	28	0,036	47	70	84	
8,20	25	9	4/:/:	1,85	1,52	0,91	3,3	425	637	75	14	30	33	36	39	27	28	0,028	42	63	75	
8,40	31	16	4/:/:	1,85	1,55	1,03	3,8	438	657	93	21	31	34	37	40	28	29	0,040	52	78	93	
8,60	26	13	4/:/:	1,85	1,59	0,93	3,2	443	664	78	14	30	33	36	39	27	28	0,028	43	65	78	
8,80	42	25	4/:/:	1,85	1,63	1,40	5,2	446	670	126	30	32	35	38	40	29	30	0,058	70	105	126	
9,00	28	11	4/:/:	1,85	1,66	0,97	3,2	462	693	84	16	30	33	36	39	27	28	0,030	47	70	84	
9,20	39	15	4/:/:	1,85	1,70	1,30	4,5	475	712	117	27	32	34	37	40	29	30	0,051	65	98	117	
9,40	50	27	4/:/:	1,85	1,74	1,67	6,0	461	692	150	35	33	35	38	41	30	31	0,068	83	125	150	
9,60	20	9	4/:/:	1,85	1,78	0,80	2,3	433	650	60	3	28	32	35	38	25	27	0,007	33	50	60	
9,80	59	14	4/:/:	1,85	1,81	1,97	7,0	456	684	177	39	34	36	38	41	31	32	0,078	98	148	177	
10,00	221	30	4/:/:	1,85	1,85	7,37	35,3	1252	1879	663	84	40	41	43	45	38	38	0,204	368	553	663	
10,20	368	67	3::::	1,85	1,89	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	613	920	1104	

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

					NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	øm (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	28	22	4/:/:	1,85	0,07	0,97	99,9	164	246	84	92	41	42	44	45	43	28	0,229	47	70	84
0,60	44	22	4/:/:	1,85	0,11	1,47	99,9	249	374	132	97	42	43	44	46	43	31	0,249	73	110	132
0,80	39	13	4/:/:	1,85	0,15	1,30	94,9	221	332	117	86	40	42	43	45	41	30	0,210	65	98	117
1,00	34	10	4/:/:	1,85	0,19	1,13	60,5	193	289	102	76	39	40	42	44	40	29	0,178	57	85	102
1,20	38	12	4/:/:	1,85	0,22	1,27	55,4	215	323	114	75	39	40	42	44	39	30	0,176	63	95	114
1,40	37	10	4/:/:	1,85	0,26	1,23	44,2	210	315	111	71	38	40	42	44	39	30	0,161	62	93	111
1,60	29	9	4/:/:	1,85	0,30	0,98	28,1	167	251	87	59	36	38	40	43	37	29	0,128	48	73	87
1,80	27	7	4/:/:	1,85	0,33	0,95	23,2	161	242	81	54	36	38	40	42	36	28	0,114	45	68	81
2,00	29	8	4/:/:	1,85	0,37	0,98	21,3	167	251	87	54	36	38	40	42	36	29	0,114	48	73	87
2,20	45	13	4/:/:	1,85	0,41	1,50	32,1	255	383	135	66	37	39	41	43	38	31	0,149	75	113	135
2,40	61	15	4/:/:	1,85	0,44	2,03	42,1	346	519	183	75	38	40	42	44	39	32	0,174	102	153	183
2,60	58	13	4/:/:	1,85	0,48	1,93	35,7	329	493	174	71	38	40	42	44	38	31	0,162	97	145	174
2,80	70	12	4/:/:	1,85	0,52	2,33	41,2	397	595	210	76	39	40	42	44	38	32	0,177	117	175	210
3,00	71	16	4/:/:	1,85	0,55	2,37	38,5	402	604	213	75	38	40	42	44	38	32	0,173	118	178	213
3,20	66	14	4/:/:	1,85	0,59	2,20	32,4	374	561	198	70	38	40	42	44	38	32	0,161	110	165	198
3,40	38	7	4/:/:	1,85	0,63	1,27	15,1	215	323	114	50	35	37	40	42	34	30	0,104	63	95	114
3,60	39	9	4/:/:	1,85	0,67	1,30	14,5	221	332	117	50	35	37	40	42	34	30	0,103	65	98	117
3,80	36	11	4/:/:	1,85	0,70	1,20	12,2	204	306	108	45	34	37	39	42	33	30	0,093	60	90	108
4,00	34	10	4/:/:	1,85	0,74	1,13	10,7	193	289	102	42	34	36	39	41	33	29	0,085	57	85	102
4,20	30	9	4/:/:	1,85	0,78	1,00	8,6	184	276	90	37	33	36	38	41	32	29	0,072	50	75	90
4,40	31	11	4/:/:	1,85	0,81	1,03	8,5	193	290	93	37	33	36	38	41	32	29	0,072	52	78	93
4,60	37	14	4/:/:	1,85	0,85	1,23	10,0	210	315	111	42	34	36	39	41	32	30	0,084	62	93	111
4,80	27	10	4/:/:	1,85	0,89	0,95	6,8	225	338	81	30	32	35	38	40	30	28	0,058	45	68	81
5,00	24	14	4/:/:	1,85	0,93	0,89	6,0	245	368	72	25	31	34	37	40	29	28	0,047	40	60	72
5,20	26	16	4/:/:	1,85	0,96	0,93	6,0	255	382	78	27	32	34	37	40	30	28	0,051	43	65	78
5,40	27	18	4/:/:	1,85	1,00	0,95	5,9	266	399	81	27	32	34	37	40	30	28	0,052	45	68	81
5,60	25	14	4/:/:	1,85	1,04	0,91	5,3	283	424	75	23	31	34	37	40	29	28	0,045	42	63	75
5,80	26	14	4/:/:	1,85	1,07	0,93	5,2	294	441	78	24	31	34	37	40	29	28	0,046	43	65	78
6,00	21	10	4/:/:	1,85	1,11	0,82	4,3	310	465	63	16	30	33	36	39	28	27	0,030	35	53	63
6,20	20	10	4/:/:	1,85	1,15	0,80	4,0	320	480	60	13	30	33	36	39	27	27	0,026	33	50	60
6,40	26	14	4/:/:	1,85	1,18	0,93	4,6	330	494	78	22	31	34	37	40	29	28	0,041	43	65	78
6,60	21	11	4/:/:	1,85	1,22	0,82	3,8	343	515	63	13	30	33	36	39	27	27	0,026	35	53	63
6,80	27	13	4/:/:	1,85	1,26	0,95	4,4	351	527	81	21	31	34	37	40	28	28	0,041	45	68	81
7,00	21	10	4/:/:	1,85	1,30	0,82	3,6	366	548	63	12	30	33	36	39	27	27	0,024	35	53	63
7,20	22	16	4/:/:	1,85	1,33	0,85	3,6	376	564	66	13	30	33	36	39	27	28	0,025	37	55	66
7,40	20	18	4/:/:	1,85	1,37	0,80	3,2	381	571	60	9	29	32	35	39	26	27	0,019	33	50	60
7,60	21	21	4/:/:	1,85	1,41	0,82	3,2	391	587	63	10	29	32	36	39	26	27	0,021	35	53	63
7,80	22	21	4/:/:	1,85	1,44	0,85	3,2	402	603	66	11	30	33	36	39	26	28	0,022	37	55	66
8,00	23	16	4/:/:	1,85	1,48	0,87	3,2	412	618	69	12	30	33	36	39	27	28	0,024	38	58	69
8,20	25	21	4/:/:	1,85	1,52	0,91	3,3	425	637	75	14	30	33	36	39	27	28	0,028	42	63	75
8,40	22	16	4/:/:	1,85	1,55	0,85	2,9	422	633	66	9	29	32	35	39	26	28	0,019	37	55	66
8,60	33	22	4/:/:	1,85	1,59	1,10	4,0	445	667	99	23	31	34	37	40	28	29	0,043	55	83	99
8,80	82	11	4/:/:	1,85	1,63	2,73	12,0	465	697	246	53	35	38	40	42	33	33	0,112	137	205	246
9,00	217	29	4/:/:	1,85	1,66	7,23	39,4	1230	1845	651	86	40	42	43	45	38	38	0,210	362	543	651
9,20	323	44	3::::	1,85	1,70	--	--	--	--	--	99	42	43	45	46	40	40	0,256	538	808	969
9,40	381	52	3::::	1,85	1,74	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	635	953	1143

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 3

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

						NATURA COESIVA						**NATURA GRANULARE**										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	20	25	4/:/:	1,85	0,07	0,80	99,9	136	204	60	80	39	41	43	44	41	27	0,191	33	50	60
0,60	18	27	2////	1,85	0,11	0,75	68,4	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	28	32	3::::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	75	38	40	42	44	40	28	0,174	47	70	84
1,00	26	19	4/:/:	1,85	0,19	0,93	47,2	158	237	78	67	37	39	41	43	39	28	0,150	43	65	78
1,20	24	18	4/:/:	1,85	0,22	0,89	35,6	151	227	72	60	36	38	41	43	37	28	0,130	40	60	72
1,40	25	11	4/:/:	1,85	0,26	0,91	30,2	155	232	75	57	36	38	40	43	37	28	0,123	42	63	75
1,60	28	8	4/:/:	1,85	0,30	0,97	27,5	164	246	84	58	36	38	40	43	37	28	0,125	47	70	84
1,80	32	10	4/:/:	1,85	0,33	1,07	26,9	181	272	96	60	36	38	41	43	37	29	0,130	53	80	96
2,00	45	10	4/:/:	1,85	0,37	1,50	36,1	255	383	135	69	38	40	41	44	38	31	0,156	75	113	135
2,20	66	14	4/:/:	1,85	0,41	2,20	51,7	374	561	198	80	39	41	43	44	39	32	0,189	110	165	198
2,40	51	8	4/:/:	1,85	0,44	1,70	33,6	289	434	153	69	38	39	41	43	38	31	0,155	85	128	153
2,60	57	10	4/:/:	1,85	0,48	1,90	35,0	323	485	171	71	38	40	42	44	38	31	0,161	95	143	171
2,80	55	9	4/:/:	1,85	0,52	1,83	30,5	312	467	165	67	37	39	41	43	37	31	0,152	92	138	165
3,00	56	11	4/:/:	1,85	0,55	1,87	28,6	317	476	168	66	37	39	41	43	37	31	0,149	93	140	168
3,20	62	12	4/:/:	1,85	0,59	2,07	30,0	351	527	186	68	38	39	41	43	37	32	0,154	103	155	186
3,40	31	8	4/:/:	1,85	0,63	1,03	11,7	176	264	93	43	34	36	39	41	33	29	0,087	52	78	93
3,60	39	12	4/:/:	1,85	0,67	1,30	14,5	221	332	117	50	35	37	40	42	34	30	0,103	65	98	117
3,80	31	9	4/:/:	1,85	0,70	1,03	10,2	176	264	93	40	34	36	39	41	32	29	0,081	52	78	93
4,00	30	8	4/:/:	1,85	0,74	1,00	9,1	176	264	90	38	33	36	38	41	32	29	0,075	50	75	90
4,20	26	7	4/:/:	1,85	0,78	0,93	7,8	188	281	78	32	32	35	38	41	31	28	0,062	43	65	78
4,40	22	8	4/:/:	1,85	0,81	0,85	6,6	209	313	66	25	31	34	37	40	30	28	0,048	37	55	66
4,60	24	11	4/:/:	1,85	0,85	0,89	6,6	218	327	72	27	32	34	37	40	30	28	0,051	40	60	72
4,80	26	14	4/:/:	1,85	0,89	0,93	6,6	227	341	78	29	32	35	37	40	30	28	0,055	43	65	78
5,00	22	14	4/:/:	1,85	0,93	0,85	5,6	249	374	66	22	31	34	37	40	29	28	0,042	37	55	66
5,20	24	20	4/:/:	1,85	0,96	0,89	5,7	259	388	72	24	31	34	37	40	29	28	0,045	40	60	72
5,40	21	19	4/:/:	1,85	1,00	0,82	4,9	276	414	63	18	31	33	36	39	28	27	0,035	35	53	63
5,60	23	19	4/:/:	1,85	1,04	0,87	5,0	286	428	69	21	31	34	37	40	29	28	0,039	38	58	69
5,80	24	19	4/:/:	1,85	1,07	0,89	5,0	296	445	72	21	31	34	37	40	29	28	0,040	40	60	72
6,00	22	13	4/:/:	1,85	1,11	0,85	4,5	310	464	66	17	30	33	36	39	28	28	0,033	37	55	66
6,20	20	12	4/:/:	1,85	1,15	0,80	4,0	320	480	60	13	30	33	36	39	27	27	0,026	33	50	60
6,40	20	12	4/:/:	1,85	1,18	0,80	3,8	333	499	60	13	30	33	36	39	27	27	0,025	33	50	60
6,60	21	14	4/:/:	1,85	1,22	0,82	3,8	343	515	63	13	30	33	36	39	27	27	0,026	35	53	63
6,80	20	15	4/:/:	1,85	1,26	0,80	3,6	355	533	60	11	30	33	36	39	27	27	0,022	33	50	60
7,00	21	17	4/:/:	1,85	1,30	0,82	3,6	366	548	63	12	30	33	36	39	27	27	0,024	35	53	63
7,20	20	14	4/:/:	1,85	1,33	0,80	3,3	373	560	60	10	29	32	35	39	26	27	0,020	33	50	60
7,40	16	15	2////	1,85	1,37	0,70	2,7	359	539	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	21	21	4/:/:	1,85	1,41	0,82	3,2	391	587	63	10	29	32	36	39	26	27	0,021	35	53	63
7,80	20	23	4/:/:	1,85	1,44	0,80	3,0	394	592	60	8	29	32	35	39	26	27	0,017	33	50	60
8,00	19	19	2////	1,85	1,48	0,78	2,8	395	592	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,20	19	24	2////	1,85	1,52	0,78	2,7	399	599	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,40	18	22	2////	1,85	1,55	0,75	2,5	396	594	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,60	22	21	4/:/:	1,85	1,59	0,85	2,9	427	641	66	9	29	32	35	39	26	28	0,018	37	55	66
8,80	32	22	4/:/:	1,85	1,63	1,07	3,7	459	689	96	21	31	34	37	40	28	29	0,040	53	80	96
9,00	43	22	4/:/:	1,85	1,66	1,43	5,2	456	685	129	31	32	35	38	40	29	30	0,059	72	108	129
9,20	41	17	4/:/:	1,85	1,70	1,37	4,8	472	709	123	28	32	35	37	40	29	30	0,054	68	103	123
9,40	51	25	4/:/:	1,85	1,74	1,70	6,1	458	687	153	35	33	35	38	41	30	31	0,069	85	128	153
9,60	44	21	4/:/:	1,85	1,78	1,47	4,9	491	736	132	30	32	35	38	40	29	31	0,057	73	110	132
9,80	51	26	4/:/:	1,85	1,81	1,70	5,8	485	727	153	34	33	35	38	41	30	31	0,067	85	128	153
10,00	53	18	4/:/:	1,85	1,85	1,77	5,9	491	737	159	35	33	35	38	41	30	31	0,069	88	133	159
10,20	41	15	4/:/:	1,85	1,89	1,37	4,2	527	791	123	26	32	34	37	40	28	30	0,049	68	103	123
10,40	64	12	4/:/:	1,85	1,92	2,13	7,1	479	719	192	41	34	36	39	41	31	32	0,081	107	160	192
10,60	166	26	4/:/:	1,85	1,96	5,53	23,0	941	1411	498	73	38	40	42	44	36	37	0,168	277	415	498
10,80	271	37	3::::	1,85	2,00	--	--	--	--	--	89	41	42	44	45	39	40	0,221	452	678	813
11,00	373	59	3::::	1,85	2,03	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	40	40	0,258	622	933	1119

Geo-Land
SERVIZI GEOTECNICI
Via Bettisi n.12 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 183-04

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 4

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Sasdelli Davide
- lavoro : Nuovo capannone
- località : Via Lasie, Imola (BO)
- note :

- data : 13/10/2004
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

					NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	øm (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	11	9	2////	1,85	0,07	0,54	74,7	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	13	16	2////	1,85	0,11	0,60	52,2	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	23	10	4/-/:	1,85	0,15	0,87	57,3	148	221	69	68	38	39	41	43	39	28	0,153	38	58	69
1,00	22	8	4/-/:	1,85	0,19	0,85	42,0	144	216	66	61	37	39	41	43	38	28	0,134	37	55	66
1,20	20	6	4/-/:	1,85	0,22	0,80	31,2	136	204	60	53	35	38	40	42	36	27	0,113	33	50	60
1,40	21	7	4/-/:	1,85	0,26	0,82	26,7	140	210	63	51	35	37	40	42	36	27	0,107	35	53	63
1,60	23	8	4/-/:	1,85	0,30	0,87	24,1	148	221	69	51	35	37	40	42	36	28	0,107	38	58	69
1,80	27	9	4/-/:	1,85	0,33	0,95	23,2	161	242	81	54	36	38	40	42	36	28	0,114	45	68	81
2,00	29	9	4/-/:	1,85	0,37	0,98	21,3	167	251	87	54	36	38	40	42	36	29	0,114	48	73	87
2,20	47	14	4/-/:	1,85	0,41	1,57	33,9	266	400	141	68	38	39	41	43	38	31	0,153	78	118	141
2,40	46	12	4/-/:	1,85	0,44	1,53	29,6	261	391	138	65	37	39	41	43	37	31	0,145	77	115	138
2,60	43	10	4/-/:	1,85	0,48	1,43	24,6	244	366	129	61	37	39	41	43	36	30	0,133	72	108	129
2,80	49	13	4/-/:	1,85	0,52	1,63	26,4	278	417	147	64	37	39	41	43	37	31	0,140	82	123	147
3,00	43	10	4/-/:	1,85	0,55	1,43	20,6	244	366	129	57	36	38	40	43	36	30	0,123	72	108	129
3,20	35	10	4/-/:	1,85	0,59	1,17	14,7	198	298	105	49	35	37	39	42	34	29	0,101	58	88	105
3,40	32	15	4/-/:	1,85	0,63	1,07	12,1	181	272	96	44	34	37	39	42	33	29	0,090	53	80	96
3,60	28	13	4/-/:	1,85	0,67	0,97	10,0	164	246	84	38	33	36	38	41	32	28	0,076	47	70	84
3,80	24	12	4/-/:	1,85	0,70	0,89	8,4	167	251	72	32	32	35	38	41	31	28	0,061	40	60	72
4,00	22	10	4/-/:	1,85	0,74	0,85	7,4	182	273	66	27	32	35	37	40	30	28	0,052	37	55	66
4,20	21	10	4/-/:	1,85	0,78	0,82	6,8	198	296	63	25	31	34	37	40	30	27	0,047	35	53	63
4,40	24	15	4/-/:	1,85	0,81	0,89	7,0	204	306	72	28	32	35	37	40	30	28	0,054	40	60	72
4,60	25	14	4/-/:	1,85	0,85	0,91	6,8	216	323	75	28	32	35	37	40	30	28	0,054	42	63	75
4,80	27	13	4/-/:	1,85	0,89	0,95	6,8	225	338	81	30	32	35	38	40	30	28	0,058	45	68	81
5,00	39	34	3::::	1,85	0,93	--	--	--	--	--	42	34	36	39	41	32	30	0,083	65	98	117
5,20	23	13	4/-/:	1,85	0,96	0,87	5,5	260	391	69	22	31	34	37	40	29	28	0,043	38	58	69
5,40	25	16	4/-/:	1,85	1,00	0,91	5,6	270	405	75	24	31	34	37	40	29	28	0,046	42	63	75
5,60	28	20	4/-/:	1,85	1,04	0,97	5,7	278	416	84	27	32	35	37	40	30	28	0,052	47	70	84
5,80	26	16	4/-/:	1,85	1,07	0,93	5,2	294	441	78	24	31	34	37	40	29	28	0,046	43	65	78
6,00	31	16	4/-/:	1,85	1,11	1,03	5,7	298	446	93	29	32	35	37	40	30	29	0,056	52	78	93
6,20	28	13	4/-/:	1,85	1,15	0,97	5,1	316	474	84	25	31	34	37	40	29	28	0,047	47	70	84
6,40	26	13	4/-/:	1,85	1,18	0,93	4,6	330	494	78	22	31	34	37	40	29	28	0,041	43	65	78
6,60	21	12	4/-/:	1,85	1,22	0,82	3,8	343	515	63	13	30	33	36	39	27	27	0,026	35	53	63
6,80	20	12	4/-/:	1,85	1,26	0,80	3,6	355	533	60	11	30	33	36	39	27	27	0,022	33	50	60
7,00	20	12	4/-/:	1,85	1,30	0,80	3,4	365	547	60	10	29	32	36	39	27	27	0,021	33	50	60
7,20	24	15	4/-/:	1,85	1,33	0,89	3,8	375	563	72	16	30	33	36	39	27	28	0,031	40	60	72
7,40	27	14	4/-/:	1,85	1,37	0,95	4,0	383	574	81	19	31	34	36	40	28	28	0,037	45	68	81
7,60	26	14	4/-/:	1,85	1,41	0,93	3,7	397	595	78	17	30	33	36	39	28	28	0,033	43	65	78
7,80	27	12	4/-/:	1,85	1,44	0,95	3,7	407	611	81	18	31	33	36	39	28	28	0,034	45	68	81
8,00	23	11	4/-/:	1,85	1,48	0,87	3,2	412	618	69	12	30	33	36	39	27	28	0,024	38	58	69
8,20	29	14	4/-/:	1,85	1,52	0,98	3,7	428	642	87	19	31	34	36	40	28	29	0,037	48	73	87
8,40	25	17	4/-/:	1,85	1,55	0,91	3,2	433	649	75	14	30	33	36	39	27	28	0,026	42	63	75
8,60	27	19	4/-/:	1,85	1,59	0,95	3,3	445	667	81	16	30	33	36	39	27	28	0,030	45	68	81
8,80	55	34	3::::	1,85	1,63	--	--	--	--	--	40	34	36	38	41	31	31	0,079	92	138	165
9,00	65	26	4/-/:	1,85	1,66	2,17	8,7	394	592	195	45	34	37	39	42	32	32	0,091	108	163	195
9,20	74	19	4/-/:	1,85	1,70	2,47	10,0	419	629	222	49	35	37	39	42	32	32	0,101	123	185	222
9,40	286	41	3::::	1,85	1,74	--	--	--	--	--	95	41	43	44	46	39	40	0,239	477	715	858
9,60	323	51	3::::	1,85	1,78	--	--	--	--	--	98	42	43	44	46	40	40	0,252	538	808	969

RELAZIONE DI INDAGINE SISMICA

La caratterizzazione sismica dei suoli e la costruzione del profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio s è stata effettuata utilizzando tecniche a sismiche a onde di superficie. Nello specifico sono state eseguite:

- Prova sismica passiva a stazione singola della durata di 20 minuti con frequenza di campionamento di 256 Hz;
- Prova attiva basata su uno stendimento sismico a 16 canali e frequenza di campionamento di 526 Hz.

Il modello sismico della velocità è stato ottenuto tramite fitting congiunto degli spettri di velocità di fase e di gruppo, ottenuto tramite tecnica multicanale e del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del moto sismico e quella verticale (H/V), ottenuto tramite acquisizione a stazione singola.

Le tecniche multicanale attive consentono una buona discretizzazione dei sismo-strati entro i primi 30 m di profondità, i quali risultano di particolare interesse geo-ingegneristico, mentre l'utilizzo dei micro-tremori ambientali e il loro ampio spettro consente di definire contrasti di impedenza anche a elevate profondità. Questa combinazione ha consentito una preciso caratterizzazione dei terreni di fondazione e la definizione della profondità del bed-rock sismico (tramite relativo picco H/V), fondamentale allo studio di Risposta Sismica Locale (RSL). Viene di seguito riportato il fitting congiunto degli spettri sopra citati.

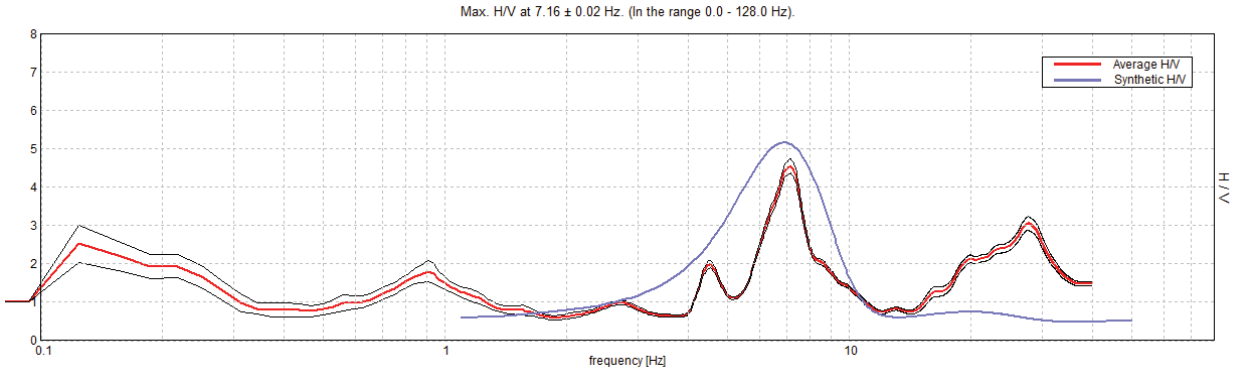
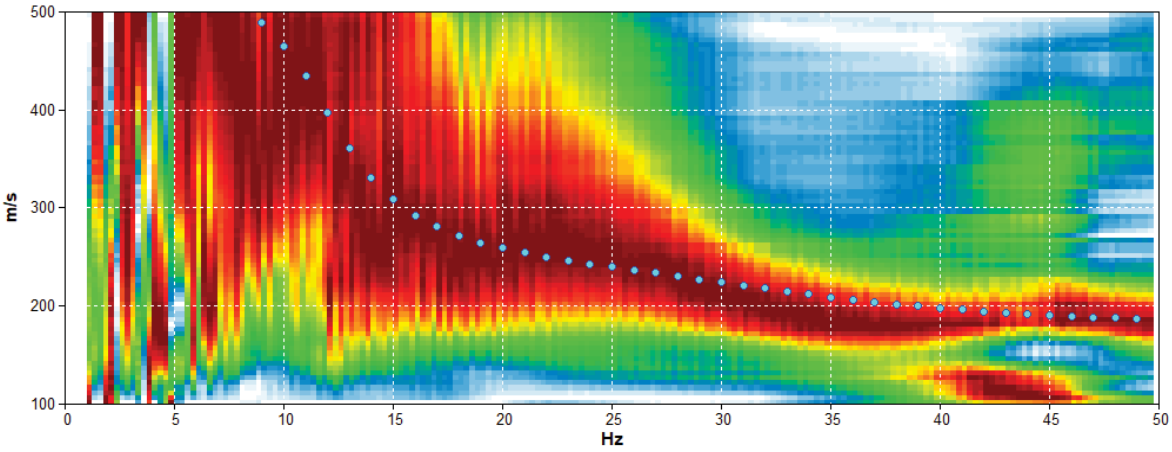
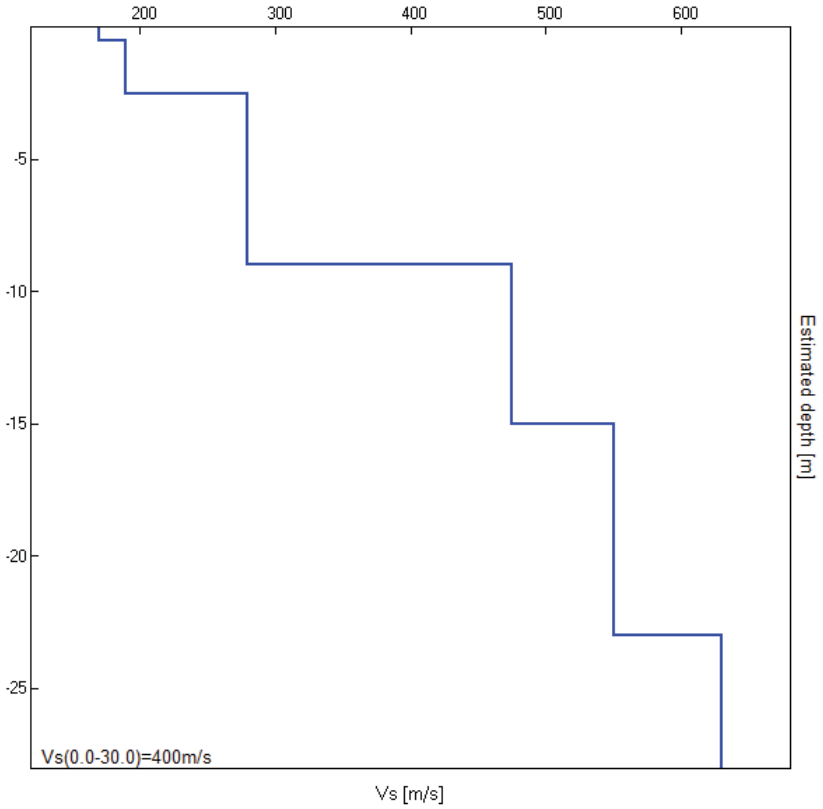


Figura 2: Rapporto spettrale tra la componente orizzontale e quella verticale del moto.



Spettri di velocità di fase e di gruppo e relativo fitting della curva di dispersione.

E' possibile osservare un netto contrasto di impedenza rappresentato dall'ampio picco a 7 Hz, assoggettabile aa un passaggio da terreni prevalentemente fini a terreni granulari prevalentemente ghiaiosi. Inoltre si osserva un secondo picco di risonanza a circa 4.5 Hz, relativo ad un ulteriore aumento di rigidezza a maggiori profondità. Infine il picco di risonanza a circa 0.9 Hz è assoggettabile al bed-rock sismico, anche basandosi sui dati bibliografici a disposizione reperibili nelle sezione geologiche della Carta Geologica di Itali e nel layer "Prove Geognostiche" entro il Geoportale dell'Emilia Romagna, relativi perforazioni profonde. Il processo logico sopra descritto, parallelamente alla buona correlazione del segnale sugli spettri, ha prodotto il profilo sismo-stratigrafico sotto riportato (relativo i 30 m di profondità).



Profilo verticale delle Vs ottenute da prove a onde di superficie.

Vs(0.0-30.0)=400m/s

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	170	0.42
2.50	2.00	190	0.42
9.00	6.50	280	0.42
15.00	6.00	475	0.40
23.00	8.00	550	0.40
Inf.	inf.	630	0.40

Sulla base del parametro VS30 (velocità media dello strato equivalente relativo i primi 30 m di terreno), stimato a 400 m/s, il sito è classificabile come appartenente alla categoria di suolo B, ai sensi del D.M. 14.01.2008 e ai sensi dell'Ordinanza del Dipartimento della Protezione Civile e del Servizio Sismico Nazionale del 20 marzo 2003: "Nuove disposizioni per le costruzioni in zona sismica" entrata in vigore il 23 ottobre '05.

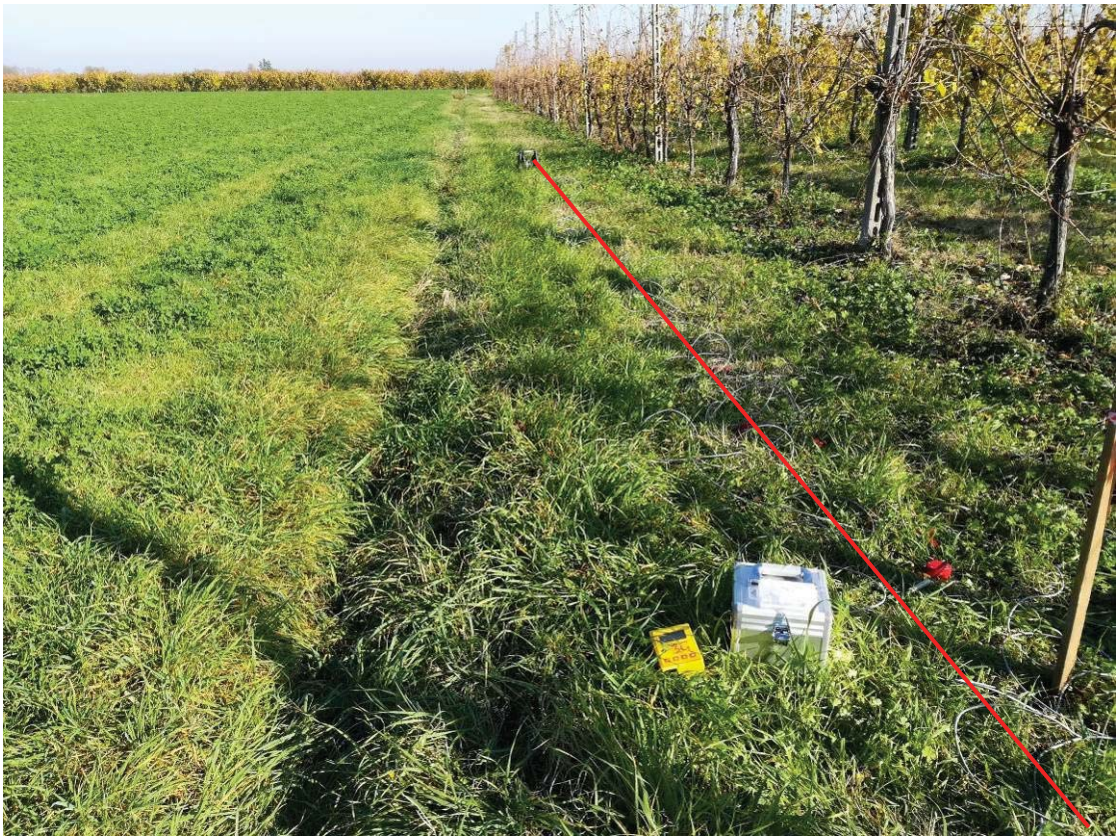
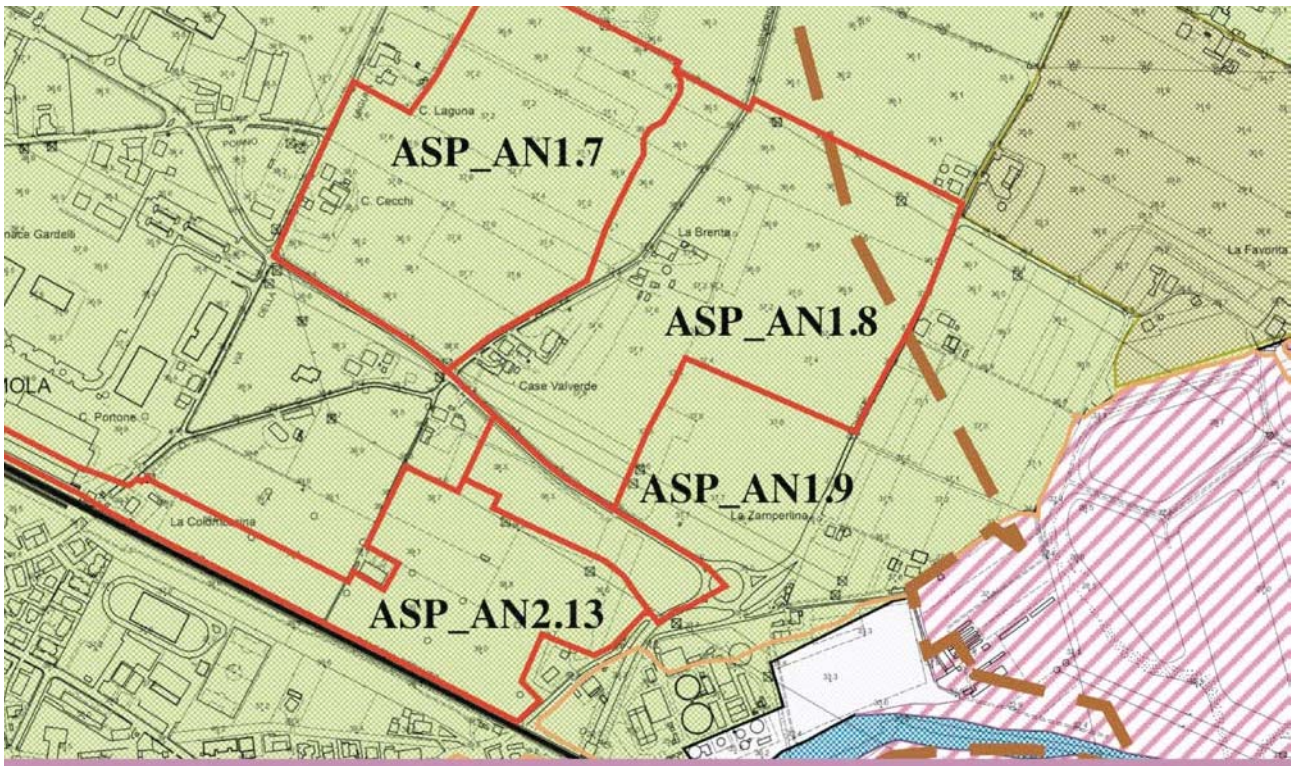


Immagine rappresentante l’esecuzione di prove sismiche a onde di superficie a stazione sismica e multicanale.

Indagini Geologiche e Ambientali

Relazione sull'indagine geologica e sismica relativa all'ambito ASP_AN1.8 N18: Lughese sito a ovest della via Lughese, Comune di Imola



Committente:

Zini Elio s.r.l.

Via Bacchini 2/A

40026 Imola (BO)

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
Ordine Geologi Emilia-Romagna
GEOLOGO SEZ.A
N. 544 ALBO

Imola 08 maggio '18

Dott. Maurizio Castellari Via P. Mascagni 3 - 40026 Imola (BO) Tel 334 2075125 - 0542 682776
mail: castellari.geo@gmail.com P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

Sommario

1 Premessa 3
2 Inquadramento geologico regionale 4
2.1 Inquadramento geologico strutturale 4
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 6
3 Stratigrafia 9
3.1 Settore Appenninico 10
3.1.1 - SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE PADANO-ADRIATICO 10
3.1.2 ARGILLE AZZURRE (Faa) (Cfr Ril In 254 E 238) 10
3.1.3 SABBIE DI IMOLA (IMO) (cfr Sabbie gialle di Imola, auctt) 12
3.2 Settore Di Pianura 13
3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura 15
4 Stratigrafia Delle Unità Quaternarie Continentali 17
4.1 Supersintema Emiliano-Romagnolo 17
4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI) 17
4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES) 22
4.2.1 *Subsintema di Bazzano* (AES6) 24
4.2.2 Subsintema di Villa Verucchio (AES7) 25
4.2.3 Subsintema di Ravenna (AES8) 27
5 Associazioni Di Facies 29
5.1 Depositi alluvionali 29
5.1.1 Ghiaie di canale fluviale 29
5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale 30
5.1.3 Limi e argille di piana inondabile 31
6 Idrogeologia 32
7 Prove pregresse 34
7.1 Settore a nord della Via Emilia 34
7.2 Indagini geognostiche 38
7.3 Indagini a corredo PRG 40
7.4 Geologia di dettaglio 42
8 Verifica a liquefazione 43
9 Area di studio e indagini effettuate 48
10 Sismicità dell'area 51
10.1 Stendimento MASW/Re.Mi 53
10.2 Registrazione HVSR 54
10.3 Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017) 55
11 Microzonizzazione Sismica 57
12 Conclusioni 67

1 Premessa

A seguito dell'adozione del POC di Imola è stata eseguita un'indagine geologica e sismica per determinare le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'ambito **ASP_AN1.8** ad ovest di via Lughese in Comune di Imola, come da planimetria allegata al fine di acquisire il parere in materia di vincolo sismico e verifiche di compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti sismici ed idrogeologici ai sensi dell'art. 5 della L.R. n. 19 del 2008 ed in conformità con il DGR 2193 del 21 dicembre 2015 entrato in vigore l'8 gennaio 2016.

Sulla base di quanto previsto dalla scheda geologica d'ambito e da quanto indicato nella comunicazione del Servizio Pianificazione edilizia Privata ed Ambiente del 14 novembre 2017 le analisi effettuate sono le seguenti:

- verifica di compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti geologici ed idrogeologici.
- Nelle aree dove non sono previsti fenomeni di liquefazione e/o amplificazione si potrà provvedere ad un'analisi semplificata di 2° livello di approfondimento, più precisamente occorrerà determinare sinteticamente quanto segue:

  1) la profondità del "bedrock sismico" locale e per un perimetro esterno comprendente le aree già insediate.

  2) la velocità delle onde di taglio Vs almeno per i primi 31 metri dal p.c., misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;

  3) i coefficienti di amplificazione sismica delle aree suscettibili di effetti locali, in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) e di intensità di Housner (SI/Slo).

Allo scopo di definire un modello geotecnico del sito in oggetto, in primo luogo sono stati presi in esame ed elaborati i dati derivanti da bibliografia e da campagne geognostiche precedenti eseguite nell'intorno dell'area ed è stato quindi acquisito l'andamento litostratigrafico generale del sito.

L'indagine eseguita nel maggio '18 è stata eseguita direttamente sull'area mediante una prova sismica MASW e una prova tromografiche HVSR.

Si sono pertanto individuati i tipi litologici ed alcune proprietà dei terreni medesimi, che verranno descritti di seguito.

In allegato sono indicati i punti di esecuzione delle prove.



Fig. 1: Ubicazione del lotto

2 Inquadramento geologico regionale

2.1 Inquadramento geologico strutturale

Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedeapenninic Thrust Front o PTF (Boccaletti et al., 1985). Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985), separa la catena in via di sollevamento a sud da un'area fortemente subsidente a nord.

Le ricerche condotte dall'AGIP nel corso degli ultimi decenni hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano mediante l'interpretazione di profili sismici (Pieri & Groppi, 1981; Dondi et al., 1982; Castellarin et al., 1985; Dondi & D'Andrea, 1986; Dalla et al., 1992). Recentemente, sulla base di criteri stratigrafico-sequenziali, Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Regione Lombardia & ENI-Divisione Agip (2000) hanno suddiviso il Bacino Padano in sette sequenze deposizionali, delimitate a base e a tetto da superfici di inconformità e da superfici correlative di continuità stratigrafica (figura 1). Queste sequenze, i cui limiti marcano importanti fasi di ristrutturazione del bacino nel corso dell'orogenesi, con denudamento delle aree marginali e incremento della subsidenza in quelle centrali, mostrano un grado di deformazione progressivamente decrescente dal basso verso l'alto, con valori minimi in corrispondenza della successione medio e tardoquaternaria.

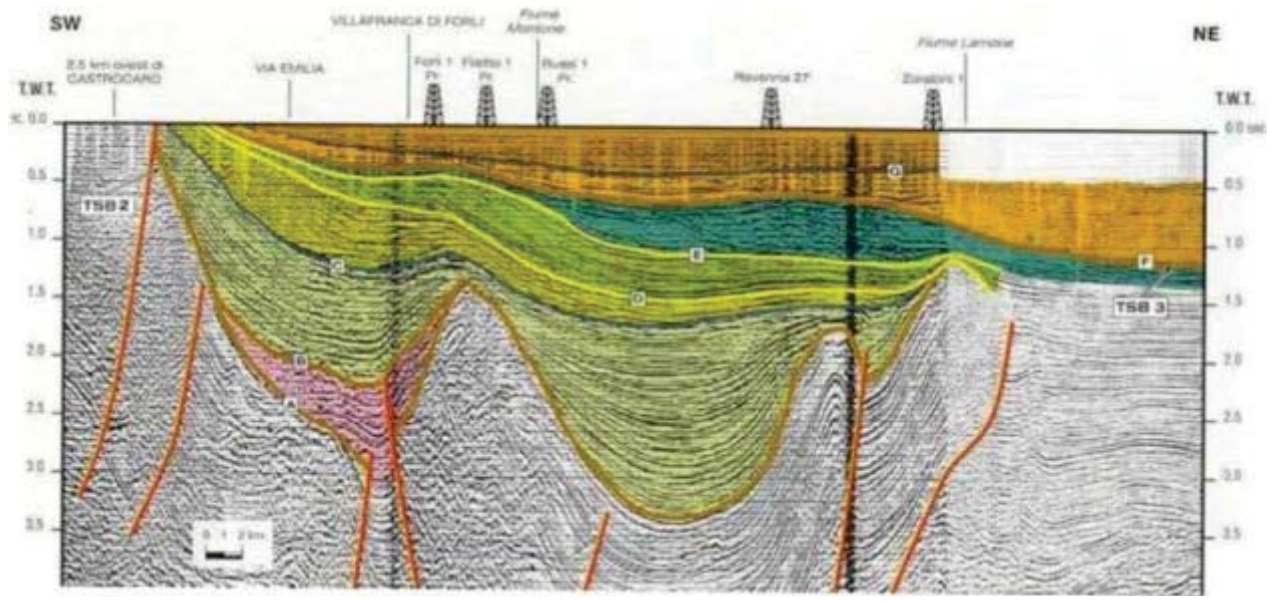


Figura 1: sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità “G” in figura 1) consente una buona preservazione dei rapporti originari tra facies all’interno dei depositi datati agli ultimi 400.000 anni. Ricostruzioni stratigrafiche e sedimentologiche di dettaglio all’interno di questa sequenza, basate sullo studio di sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 200m, hanno messo in luce come una ciclicità deposizionale alla scala milankoviana, definita dall’alternanza di cicli glaciale/interglaciale di circa 100.000 anni di durata, rappresenti il principale elemento di controllo dell’architettura stratigrafica (Amorosi et al., 2004; Amorosi & Colalongo, 2005), permettendo l’attribuzione delle superfici trasgressive a successivi episodi interglaciali (stadi isotopici dell’ossigeno 1, 5e, 7, 9 e 11 in Fig. 2 - Amorosi & Colalongo, 2005).

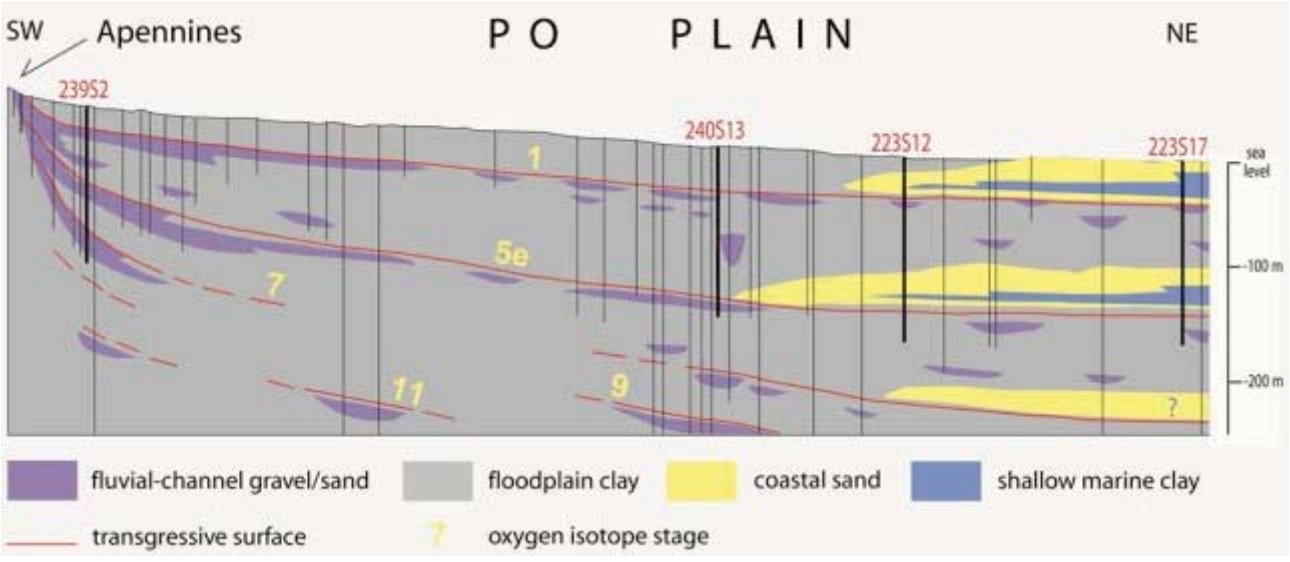


Figura 2: stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale(in viola) e litorali (in giallo), separati da superfici trasgressive (da Amorosi & Colalongo, 2005).

Come osservabile in figura 2, i depositi tardoquaternari al margine del Bacino Padano sono dominati da spessi accumuli di sedimenti di conoide alluvionale, che costituiscono i principali acquiferi dell'intera area padana. Si tratta di spessi pacchi di ghiaie amalgamate, sovrapposti e saldati lateralmente per spessori complessivi dell'ordine delle centinaia di metri e con un'estensione laterale di decine di km parallelamente al margine appenninico. Questi corpi tendono a sfrangiarsi verso la pianura, interdigitandosi con sedimenti limoso-argillosi di piana inondabile e dando origine a caratteristiche sequenze trasgressivo-regressive .
A valle dei conoidi alluvionali il Bacino Padano è dominato da spessi pacchi di depositi di piana inondabile, che si interpongono tra i corpi di conoide alluvionale ed un secondo sistema di acquiferi, legato all'attività del Fiume Po. La piana costiera, infine, presenta caratteristici corpi sabbiosi cuneiformi di spiaggia, derivanti dalla migrazione della linea di costa verso terra durante le maggiori pulsazioni trasgressive, seguita dalla progradazione dei sistemi costieri (delta e spiagge) durante le successive fasi di stazionamento alto del livello del mare (figura. 2).

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano; la porzione sud-occidentale, pari a circa il 40%, è costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo mentre la maggior parte del foglio, nord-orientale, appartiene alla Pianura Padana
Le unità geologiche affioranti nel settore appenninico appartengono alla Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola (da qui in avanti UMR), alla Successione evaporitica messiniana e alla Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico
Si tratta di successioni che non hanno subito importanti traslazioni orizzontali e perciò ritenute autoctone. Le successioni affioranti si immergono a monoclinale, piuttosto regolarmente, verso nord-est e in pianura sono ricoperte dai depositi alluvionali padani (fig. 2).
Per la regolare immersione verso nord-est, l'età delle formazioni affioranti è sempre più giovane procedendo da sud-ovest verso nord-est.

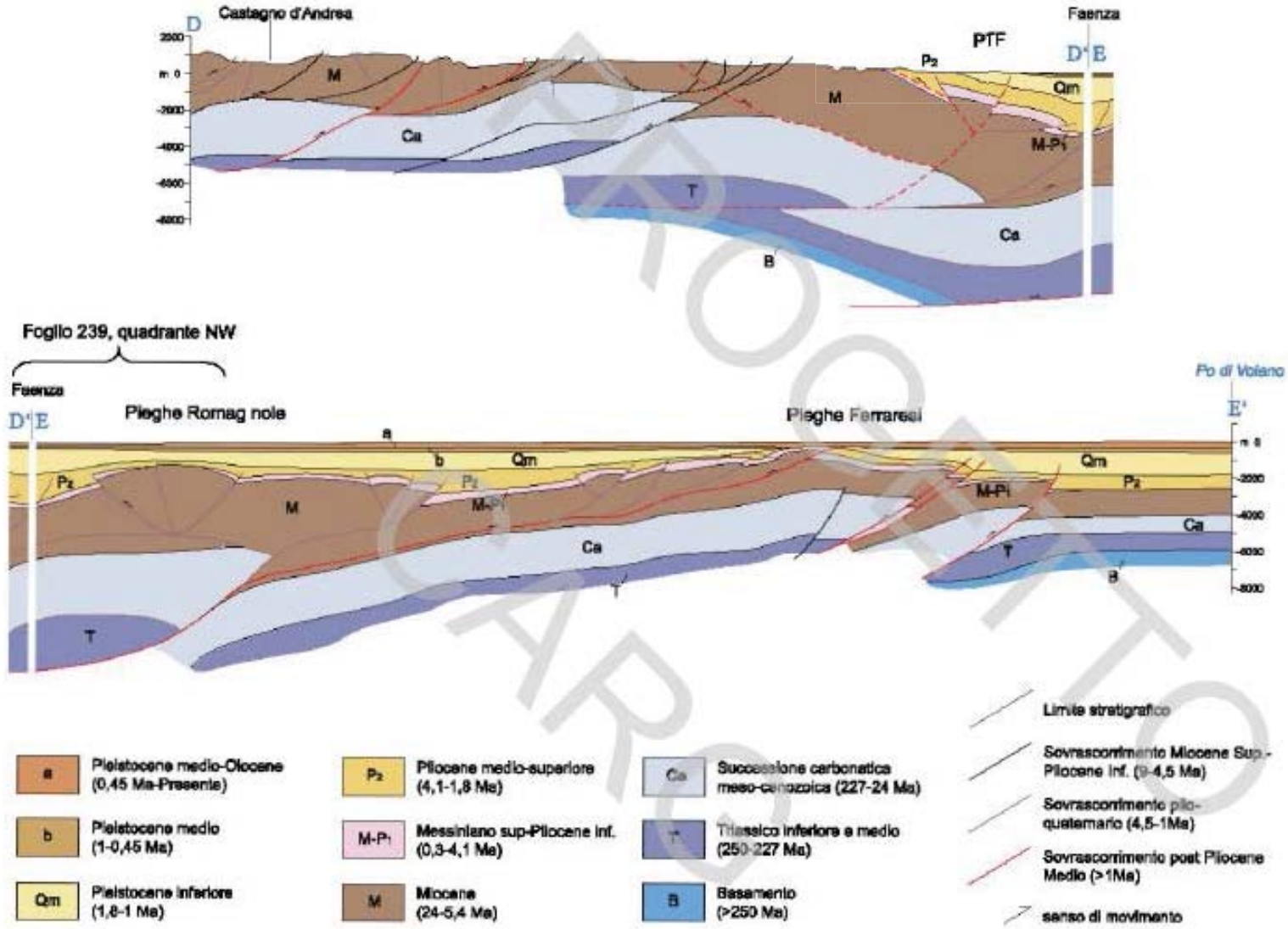


Fig. 2 - *Sezione geologico-strutturale dal crinale dell'Appenino tosco-romagnolo al Po (da* BOCCALETTI *et alii*, 2004*).*

PROGETTO CARG

Arealmente la maggior estensione delle unità appenniniche affioranti è rappresentata dai terreni plio-pleistocenici, mentre la maggiore caratterizzazione dei rilievi è dovuta alla “vena del gesso” messiniana, che per la sua peculiarità lito- logica caratterizza in modo evidente da un lato gli aspetti naturalistici, quali ad esempio geositi e clima, dall’altro gli insediamenti umani e la storia dell’area

Altra particolarità di questo foglio è, per le unità appenniniche, la notevole estensione dei depositi marini pleistocenici, di solito scarsamente rappresentati nei fogli limitrofi.

L’unità stratigrafica affiorante più antica è la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA), di cui il Membro di Dovadola (Tortoniano inferiore) costituisce nel foglio in esame l’unità stratigraficamente più bassa mentre la parte alta è rappresentata dal Membro di Borgo Tossignano (Tortoniano superiore) che rappresenta la fine della sedimentazione torbiditica nell’avanfossa miocenica.

Il passaggio al Messiniano presenta iniziali condizioni di mare aperto (ambiente epibatiale dell’unità Ghioli di Letto, GHL) a cui fa seguito il graduale abbassamento relativo del livello del mare che porta all’instaurarsi di bacini confinati caratterizzati da forte evaporazione, fino ad ambienti di “sabka” in cui si è sedimentata la Formazione della Vena del Gesso (VGS) Dopo la crisi di salinità del Messiniano si instaurano condizioni di lago-mare e laguna, testimoniati dai depositi della Formazione a Colombacci (FCO) (ricci Lucchi et alii, 1982)

Le unità messiniane, tuttavia, sono qui rappresentate da una successione incompleta per la presenza di una superficie inconforme che oblitera di frequente i termini più alti quali la FCO, mentre forti disturbi tettonici in destra del torrente Sintria (un affluente di destra del torrente Senio), alterano il passaggio dai depositi fini appartenenti a GHL e VGS.

Un contatto paraconcordante separa i depositi continentali e di laguna appartenenti a FCO da quelli francamente marini delle Marne di Cella (CEA) e di avanfossa appartenenti alle Argille Azzurre (FAA) di età compresa tra il Pliocene basale, età delle Marne di Cella, e la parte alta del Pleistocene inferiore, tetto delle Argille Azzurre Per tutta la durata del Pliocene si mantengono condizioni di sedimentazione bacinali; tuttavia, nel Pliocene Medio, si depositano anche sedimenti legati a locali condizioni euxiniche (litofacies tripolacea, FAAtr) e depositi clastici organogeni

Dal Pleistocene inferiore si instaura un trend marcatamente regressivo; entro i depositi di FAA si osserva infatti un graduale passaggio da condizioni di scarpata continentale ad ambienti litorali, come evidenziato dalle peliti di Terra del Sole (FAAts) Nell’area del foglio è stato inoltre descritto, per la prima vol- ta, un ulteriore ciclo trasgressivo-regressivo (Arenarie e Argille di Savignano) al tetto di FAA, attribuito alla parte terminale del Pleistocene inferiore (Amorosi et alii, 1998b; Vaiani, 2000) e correlato con le Arenarie e Argille di Savignano (FarabegoLi, 1987), già descritte nel Foglio 256 Rimini (2005) Al di sopra di questi sedimenti con una superficie discordante erosiva su FAAts e localmente sulle Arenarie e Argille di Savignano si hanno le Sabbie di Imola (Amorosi et

alii, 1998a). Si tratta di depositi medio pleistocenici, essenzialmente litorali, che costituiscono le unità marine più alte del margine appenninico.
La successione marina è troncata al tetto dai depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Supersintema Emiliano-Romagnolo di età Pleistocene medio- Olocene. Questi depositi sono presenti in lembi discontinui nelle valli appenniniche, dove corrispondono a depositi di terrazzi intravallivi, mentre occupano interamente il settore di pianura del foglio 239.

3 Stratigrafia

Come descritto nell'inquadramento geologico, il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano. La maggior parte del foglio è costituita dai depositi alluvionali della Pianura Padana che costituiscono il Supersintema Emiliano-Romagnolo; solo nella porzione sud-occidentale, costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo, sono presenti esposizioni in cui è possibile studiare, direttamente in affioramento, le unità geologiche marine che costituiscono il foglio.
Nel settore collinare affiorano soprattutto formazioni marine, costiere, lagunari e transizionali le cui età sono comprese tra il Tortoniano inferiore ed il Pleistocene medio. Nelle valli appenniniche e nel settore del margine catena- pianura tali depositi vengono ricoperti dai depositi alluvionali (Supersintema Emiliano-Romagnolo) che costituiscono la parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico
Nella descrizione delle unità litostratigrafiche si procederà seguendo l'ordine deposizionale, dai termini più antichi ai più recenti.
Come già accennato, per i diversi criteri di riconoscimento, descrizione e cartografia, i terreni continentali e quelli marini saranno descritti separatamente nei due sottocapitoli "settore appenninico" e "settore di pianura"
Per quanto riguarda il settore appenninico si prenderanno inconsiderazione solo le unità della parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quanto sono quelle che interagiscono con i depositi alluvionali della pianure e con le aree di alimentazioni dei pozzi oggetto di quest'indagine.

3.1 Settore Appenninico

3.1.1 - SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE PADANO-ADRIATICO

Questa successione comprende tutti i depositi successivi alla crisi di salinità del Messiniano, costituiti, in questo foglio, dalle Marne di Cella del Pliocene inferiore, dalle Argille azzurre del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, dalle Sabbie di Imola del Pleistocene medio e dai depositi alluvionali del Pleistocene medio-Olocene (Superisintema Emiliano-Romagnolo).

3.1.2 ARGILLE AZZURRE (Faa) (Cfr Ril In 254 E 238)

Rappresentano i due terzi degli affioramenti del territorio collinare, che caratterizzano con estese forme calanchive.

Questi terreni sono rappresentati da argille e argille marnose grigie e grigio - azzurre in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o per nulla visibili per bioturbazione e/o scarsa classazione granulometrica, con rari strati arenacei sottili risedimentati e lamine siltose

Sono stati distinti diversi membri e litozone, descritti di seguito: membro dello Spungone (**fAA3**), la litozona tripolacea (**fAAtr**) la litozona arenacea (**fAAa**) e le peliti di Terra del Sole (**fAAts**)

Nella parte alta sono presenti due lenti di ghiaia spesse alcuni metri ed estese al massimo 150 metri, non distinte in carta, affioranti in località Ca' Creta, nel T Samoggia

Sono sempre presenti i microfossili, mentre i macrofossili tendono a concentrarsi in panchine o appaiono sparsi un po' ovunque.

L'ambiente di sedimentazione è quindi di scarpata continentale con locali passaggi a piattaforma continentale esterna

La potenza totale della formazione affiorante è di circa 1 200 metri

Il limite inferiore è graduale ed eteropico con CEA, oppure netto e discordante o paraconcordante su FCO e VGS

Il limite superiore è netto con SVG e discordante con IMO o con i depositi alluvionali

La microfauna a foraminiferi planctonici e bentonici è generalmente abbondante e diversificata É possibile osservare la presenza dei principali bioeventi plio-pleistocenici riportati in fig 1 Ciò consente di riconoscere la successione di tutte le biozone a foraminiferi planctonici dalla zona *a Globorotalia margaritae* del Pliocene Inferiore alla zona a *Neogloboquadrina pachyderma* sin del Pleistocene inferiore In assenza del marker zonale, l'attribuzione dei sedimenti basali della formazione alla zona a *Sphaeroidinellopsis* spp non è sicura

Le microfaune bentoniche, pur con locali notevoli variazioni entro l'unità, presentano una relativa abbondanza di *Cibicidoides kullenbergi*, *Cibicidoides spp , Brizalina spp , Bulimina spp , Globobulimina spp , Gyroidinoides altiformis, Gyroidinoides soldanii, Gyroidinoides spp , Miliolidae, Planulina arimi- nensis, Sphaeroidina bulloides e Uvigerina spp e sono indicative di un ambiente di scarpata continentale La locale presenza, in particolare nella parte alta della formazione, di elevate*

frequenze di Cassidulina laevigata carinata, Bulimina marginata e Textularia spp sono ritenute indicative di oscillazioni verso batimetrie più superficiali (piattaforma continentale esterna).

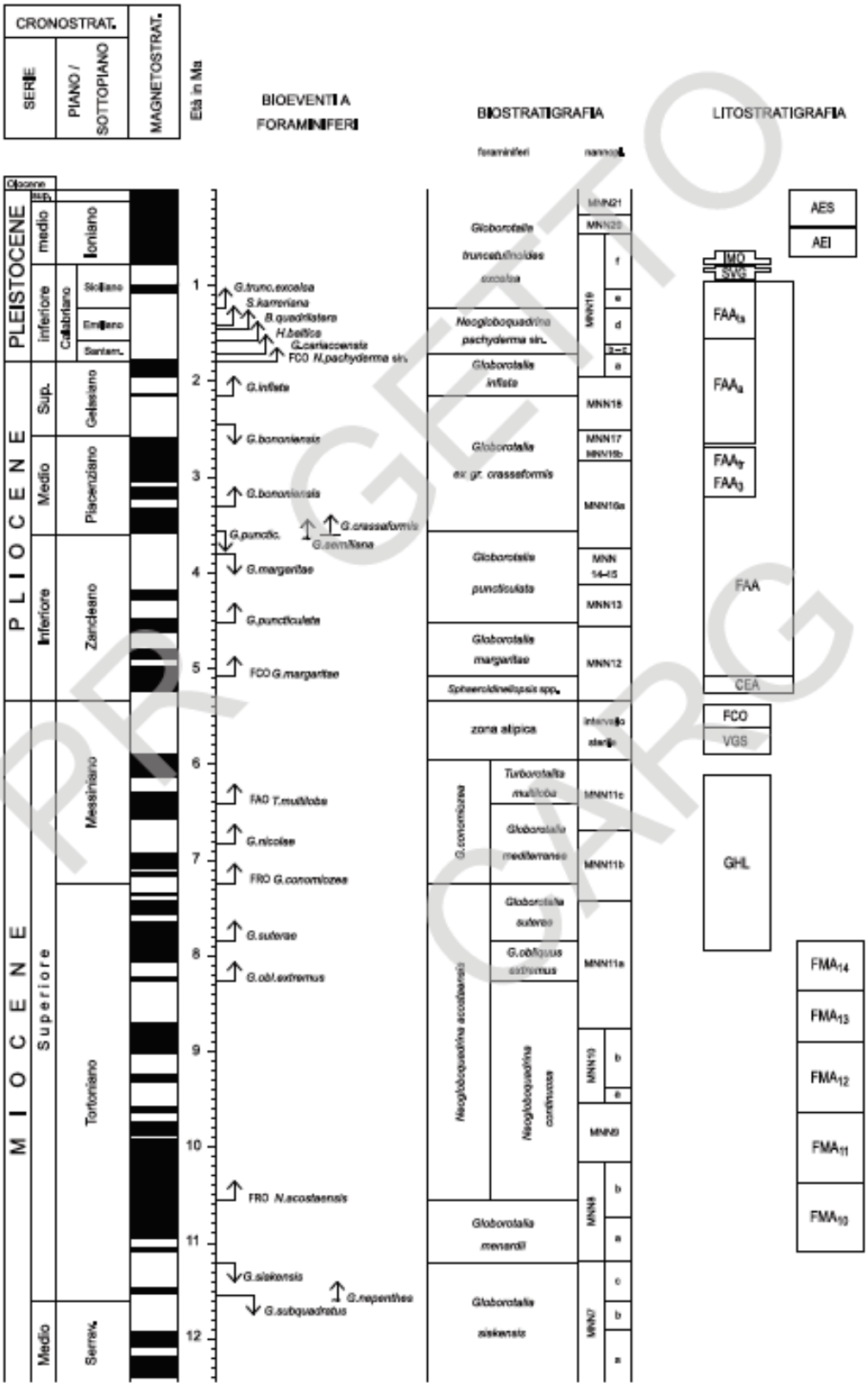


Fig. 1 - *Schema stratigrafico del Foglio 239.*

PROGETTO CARG

3.1.3 SABBIE DI IMOLA (IMO) (cfr Sabbie gialle di Imola, auctt)

L'unità è presente su un ampio settore del margine appenninico a partire dalla destra del fiume Santerno, fino alla sinistra del fiume Montone, essa rappresenta la più recente tra le unità marine dell'Appennino Settentrionale.

Questa unità è stata recentemente oggetto di un dettagliato studio di terreno corredato da numerose analisi biostratigrafiche e petrografiche (Amorosi *et alii*, 1998a) In questo lavoro all'interno delle Sabbie di Imola sono stati riconosciuti due cicli deposizionali: il ciclo inferiore è costituito da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia; il ciclo superiore è formato da una porzione inferiore prevalentemente argillosa di piana alluvionale, alla quale si sovrappongono in trasgressione delle sabbie di spiaggia simili a quelle sottostanti, ma generalmente meno ghiaiose. Il limite tra i cicli è una superficie di discontinuità marcata dal contatto brusco tra le sabbie di spiaggia sottostanti e peliti di piana alluvionale

In Amorosi *et alii* (1998a), a tale suddivisione in cicli deposizionali viene fatta corrispondere una suddivisione in membri e il quadro litostratigrafico proposto è il seguente: IMO1 (membro di Monte Castellaccio), corrispondente alle sabbie e ghiaie del ciclo basale; IMO2 (membro di Fossoveggia), corrispondente alle argille delle parte bassa del secondo ciclo; IMO3 (membro di Castel San Pietro) corrispondente alle sabbie di tetto del secondo ciclo

Nel foglio 239 le Sabbie di Imola sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale o laguna costiera

Il limite basale sulle argille plio-pleistoceniche è un contatto netto con discordanza angolare, che individua una superficie di discontinuità di carattere regionale. Anche il limite superiore è marcato da una discontinuità regionale che sovrappone i depositi quaternari continentali alle Sabbie di Imola

Età: parte inferiore del Pleistocene medio, Ioniano (Amorosi *et alii*, 1998a)

3.1.3.1 Membro di Monte Castellaccio (IMO1)

É costituito da sabbie ed arenarie poco cementate fini finissime e subordinata- mente medie e grossolane di colore giallo in strati amalgamati. Presenti livelli ghiaiosi in strati da sottili a spessi che si rilevano prevalentemente nel settore in destra del torrente Marzeno e sono costituiti da ghiaie poco cementate, prevalentemente fini, frequentemente silicee. Tali livelli ghiaiosi sono generalmente presenti verso la porzione alta di questa unità. Presenti a tratti intercalazioni pelitiche costituite da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui

L'analisi micropaleontologica ha evidenziato associazioni a foraminiferi e ostracodi rimaneggiate da unità antiche o trasportate da ambienti marini più profondi; sono inoltre localmente segnalate

ostracofaune ipoaline alla base del membro (Amorosi *et alii,* 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e delta conoide, lo spessore massimo di poche decine di metri.
Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA

3.1.3.2 Membro di Fossoveggia (IMO2)

L'unità è presente unicamente nel settore in destra del torrente Marzeno, dove si pone geometricamente in posizione intermedia tra i due membri sopra e sottostanti Il membro di Fossoveggia è costituito da limi ed argille prevalenti di colore grigio azzurro e subordinatamente giallastro, a stratificazione mal visibile con subordinate intercalazioni decimetriche di sabbie pelitiche. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali; presenti paleosuoli Le microfaune osservate sono costituite da ostracodi salmastri (*Cyprideis torosa*) e ipoalini, appartenenti principalmente al genere *Candona* (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e palude, lo spessore massimo è di una decina di metri circa
Contatto inferiore netto su IMO1 e FAA

3.1.3.3 Membro di Castel San Pietro (IMO3)

Questa unità è stata riconosciuta solamente in pochi affioramenti posti in destra idrografica del torrente Marzeno Essa è costituita da sabbie ed arenarie poco cementate fini e finissime di colore giallo, in strati amalgamati, alternate a rari livelli pelitici costituiti da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui, strati decimetri di peliti sabbiose A tratti, nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee. Le rare microfaune osservate sono costituite unicamente da foraminiferi e ostracodi rimaneggiati e trasportati (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e di delta conoide
La distinzione tra questa unità e IMO1 è resa possibile grazie alla presenza del livello fine costituito da IMO2 che è sempre presente, anche se in alcuni casi (esempio Monte Vescovado) con uno spessore non cartografabile, e dal fatto che l'unità in questione contiene complessivamente un minor volume di ghiaie.
Lo spessore massimo è di alcune decine di metri Contatto inferiore eteropico su IMO2.

3.2 Settore Di Pianura

L'evoluzione sedimentaria plio-quaternaria del bacino padano registra una generale tendenza "regressiva", identificata al margine appenninico da ricci Lucchi et alii (1982), da depositi marini di ambiente progressivamente meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una chiara superficie d'inconformità di significato regionale da parte di questi autori ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quaternaria affiorante al

margine appenninico, portando all'identificazione di due cicli sedimentari principali (fig. 3), uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). La superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata successivamente identificata da regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) anche nel sottosuolo della Pianura Padana (fig. 2), in corrispondenza del limite tra il Supersintema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di Ricci Lucchi et alii, 1982) e il sovrastante Supersintema Emiliano-Romagnolo (equivalente del ciclo Qc).

La successione quaternaria continentale del pedeappennino emiliano-romagnolo comprende da un lato l'insieme dei depositi alluvionali terrazzati affioranti nelle piane intravallive dei fiumi e torrenti appenninici e, dall'altro, i depositi di conoide e piana alluvionale della pianura antistante. La base della successione è marcata in affioramento da una superficie d'inconformità, associata a una discordanza angolare, che separa i depositi alluvionali del ciclo Qc dai sottostanti depositi marini, i cui termini più recenti sono costituiti da sabbie litorali (Sabbie di Imola o sequenza Qm3b di Amorosi et alii, 1998a).

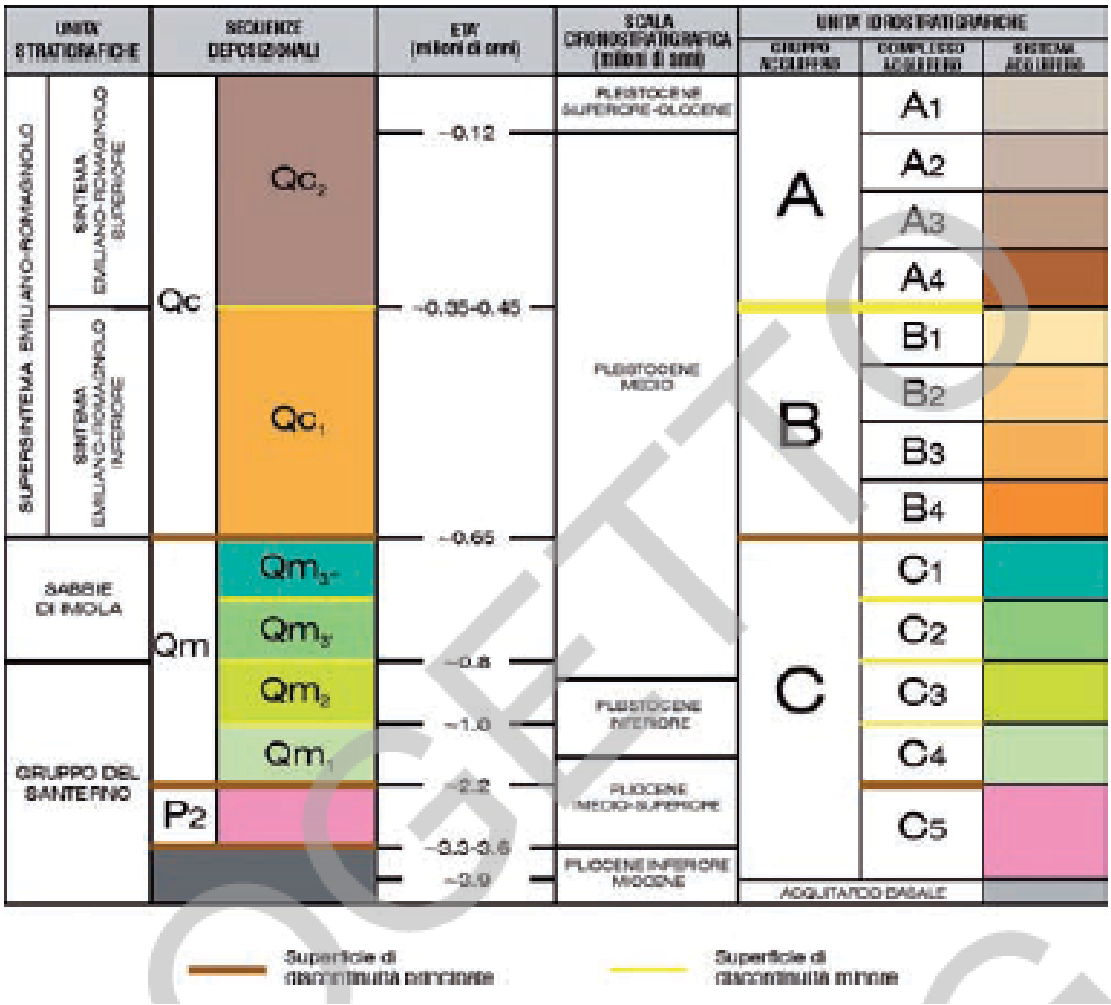


Fig.3 - Schema stratigrafico e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche di figura 2 (da Carta Geologica d'Italia in scala

1:50.000, Foglio 223 - Ravenna, 2002). Si precisa che il Gruppo del Santerno comprende le unità cartografate “Argille Azzurre”, “Formazione di Monte Adone” e “Marne di Cella”.

13

3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura

Nel settore meridionale del Bacino Padano, il limite inferiore dei depositi correlabili al ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii* (1982) è individuabile in sottosuolo sulle linee sismiche dell’AGIP (Pieri & Groppi, 1981; Dondi *et Alii*, 1982; Dondi & D’andrea, 1986; Dalla *et Alii*, 1992; Ori, 1993; Farabegoli *et Alii*, 1997), in coincidenza della base del Supersintema Emiliano-Romagnolo di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Lo spessore massimo di quest’ unità nel sottosuolo del Foglio Bologna, non definibile con precisione sulla base di dati di pozzo (Francavilla & Colombetti, 1980; Amorosi & Farina, 1995), aumenta progressivamente allontanandosi dalla catena, raggiungendo valori massimi superiori ai 500 m nell’area situata a nord dell’allineamento Castel Maggiore-Castenaso-Medicina (regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998 - figura 4).
L’individuazione su base sismica di una superficie di discontinuità all’interno della successione quaternaria continentale ha consentito la suddivisione di questa unità in due parti (unità 1 e 2 di Ori, 1993), definite anche come sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) o sequenze deposizionali (cicli Qc1 e Qc2 di Amorosi *et alii*, 1999c). Allontanandosi dal margine del Bacino Padano, i depositi continentali del Supersintema Emiliano-Romagnolo fanno transizione verso mare a depositi di ambiente deltizio-litorale (Ori, 1993; carta geologica d’Italia in scala 1:50.000, Fogli 223 - Ravenna, 2002 e 256 - Rimini, 2005).

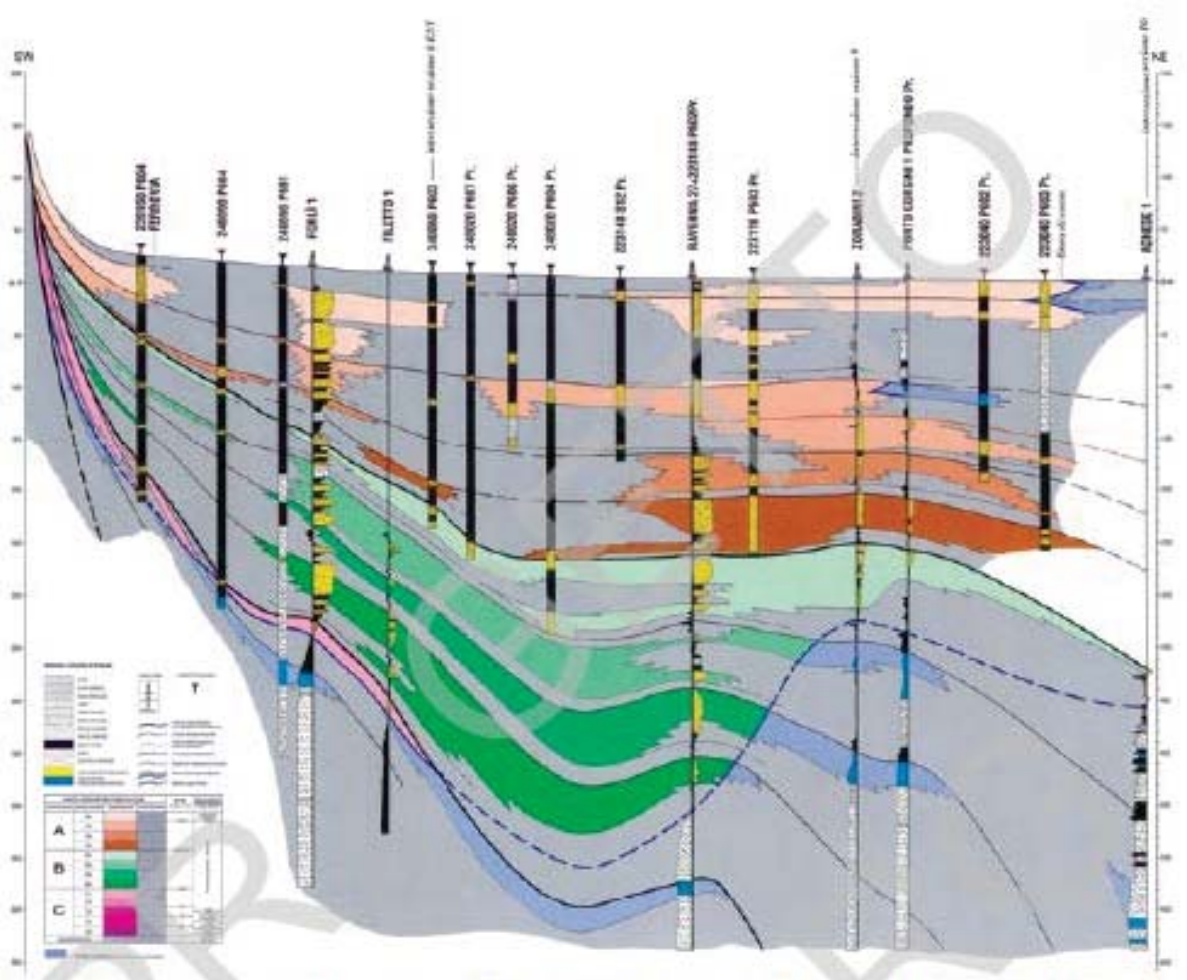


Fig. 3 - *Sezione geologica nel sottosuolo della Pianura Padana, con distinzione delle principali unità idrostratigrafiche all'interno della successione quaternaria (da* REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998*). L'esagerazione verticale è di 50x.*

4 Stratigrafia Delle Unità Quaternarie Continentali

4.1 Supersintema Emiliano-Romagnolo

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersintema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano il Supersintema Emiliano- Romagnolo appoggia in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola (ciclo Qm3 in fig 4) Il limite superiore coincide col piano topografico

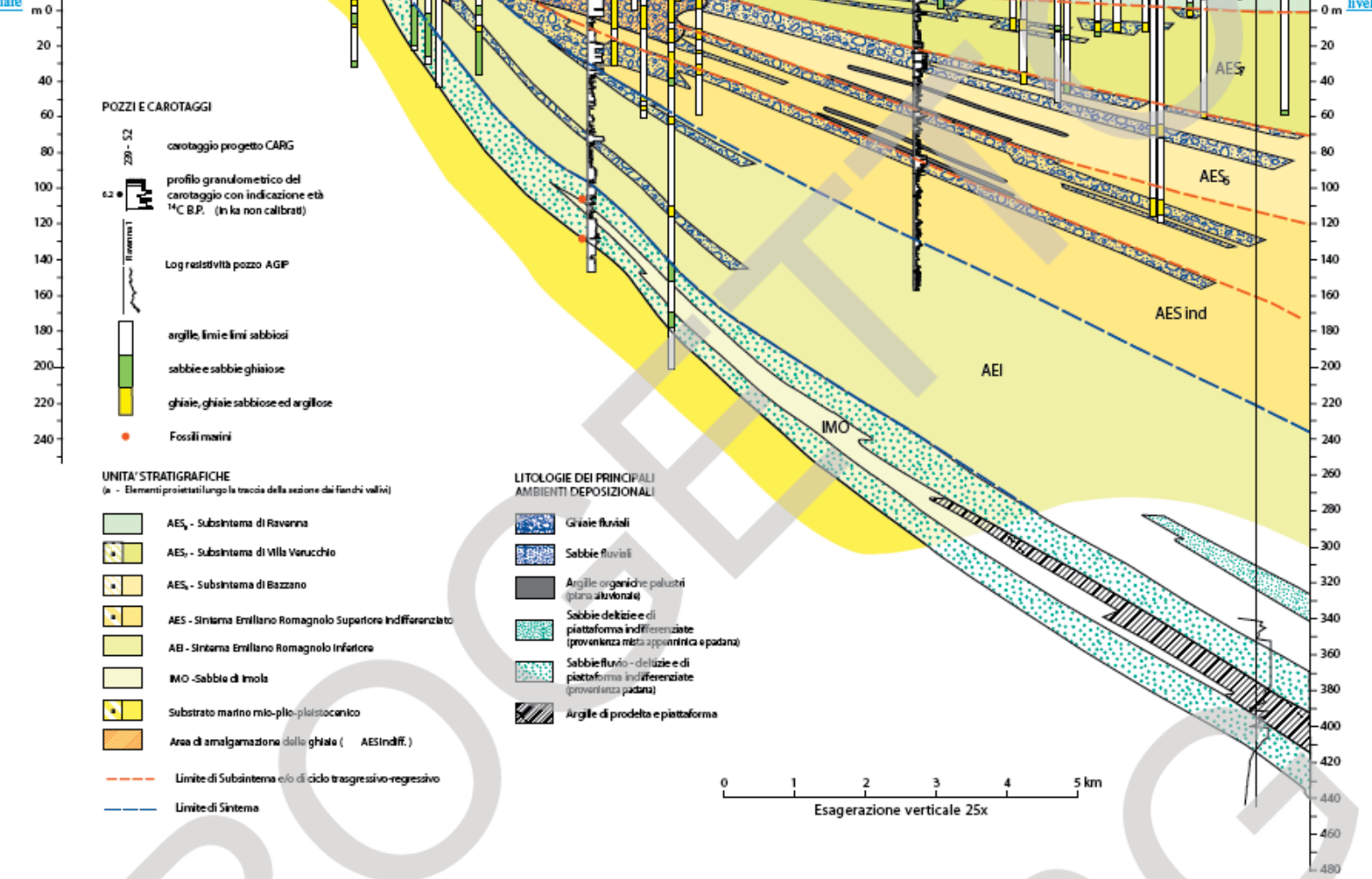
In numerosi fogli della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000, (fogli 199, 219, 240-241, 256, 2005; fogli 180, 220, 221, 238, 255, in stampa) il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura

Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale, ubicata nel settore settentrionale del Foglio (Fig. 12).

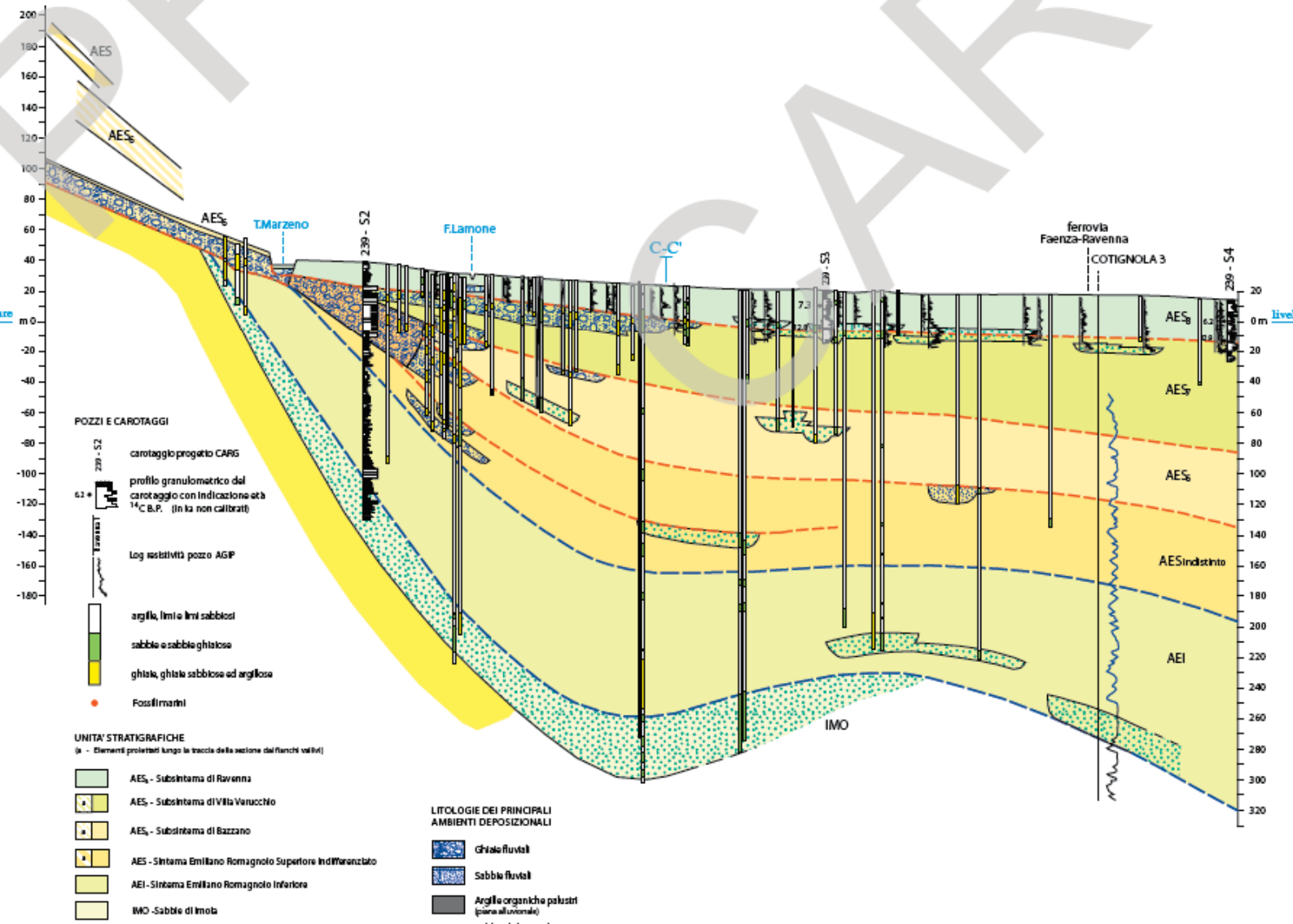
L'età del Supersintema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 700 000 anni B P - Attuale)

4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

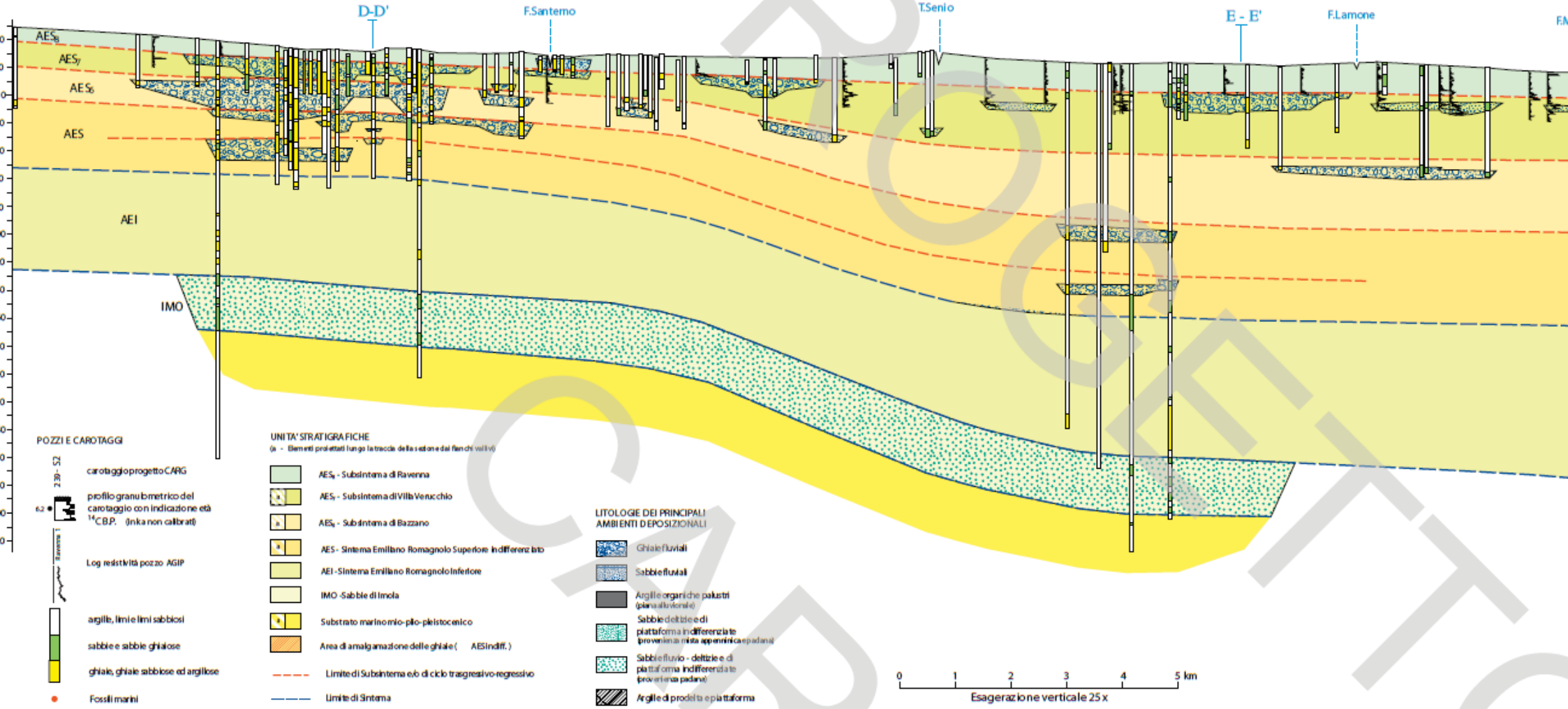
Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersintema Emiliano-Romagnolo Considerata la profondità media- mente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna – vedi figg 12 e 13) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura del Foglio 239, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies.



1 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Santerno.*



PROGETTO CARG



- Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico.

PROGETTO CARG

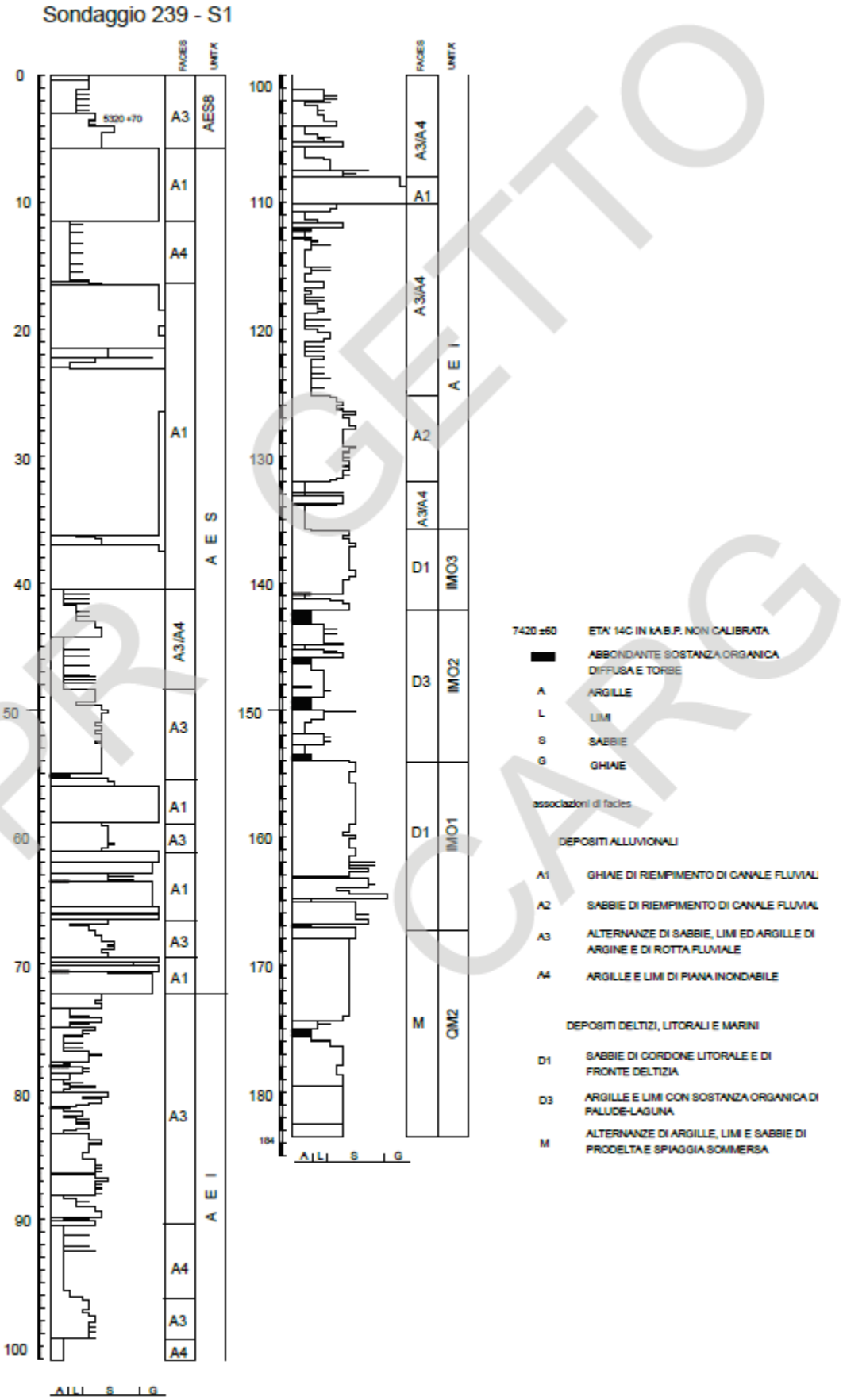


Fig. 14 - *Stratigrafia e facies del sondaggio a carotaggio continuo 239-S1.*

PROGETTO CARG

In corrispondenza del sondaggio 239-S1 (fig. 14), che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a – 140 m dal piano campagna (fig. 11), in accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. Caratteristica di questa unità è la frequente presenza di sequenze granulometriche negative alla scala dei 2-5 metri, associata allo scarso sviluppo di paleosuoli. Orizzonti di argille organiche e concentrazioni di legni sono frequenti a vari livelli stratigrafici. Sequenze positive di canale fluviale, a base erosiva e relativamente elevato contenuto in ghiaia, sono riconoscibili in corrispondenza delle principali aste fluviali sulla base della Banca Dati Geologici della Regione Emilia- Romagna L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale. Informazioni del tutto analoghe si traggono anche dall'osservazione del sondaggio 239 S2, l'altro che attraversa per intero l'unità in questione.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico (figg 11 e 12) Nel sondaggio 239 - S1, dove è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna (figg 11 e 14), AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri É da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Tutti i caratteri sopra descritti sono indicativi di questa unità nel settore più prossimo alla catena appenninica, tuttavia l'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in fig. 12 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri Come si vede dalla sezione tali livelli sabbiosi non proseguono verso il margine appenninico dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, ma al contrario paiono proseguire verso nord. Viste le caratteristiche geometriche, la natura di queste sabbie è probabilmente padana, in analogia con quanto osservato nei fogli più settentrionali e con quanto indicato in Riserve Idriche della Regione Emilia- Romagna (si veda in particolare la carta riportante lo spessore cumulativo dei depositi permeabili del gruppo acquifero B, cui l'unità AEI corrisponde, regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) Tali sabbie rappresenterebbero quindi degli apparati deltizi padani che giungevano sino a questo settore della pianura emiliano-romagnola all'epoca di AEI e trovavano il loro massimo sviluppo nella zona più subsidente posta a nord della anticlinale indicata in fig. 12.

L'età attribuita ad AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka

4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio Faenza Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale (figg 12 e 13) Nel settore occidentale del Foglio (poco a nord di Imola), dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri (figg 11 e 13)

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI (figg. 11 e 12). Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emiliano- romagnolo (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Fogli 240-241, 256, 2005; 220, 238, 255, in stampa; vedi anche Amorosi et alii, 1996 e Sarti et alii, 1997)

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per diversa giacitura e differente grado di evoluzione pedogenetica

Dei diversi subsintemi che compongono AES, cinque (AES4, AES5, AES6, AES7 e AES8) sono chiaramente identificabili nell'area del Foglio Faenza. AES4, AES5, AES6 e AES7 affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES8 affiora in tutta l'area di pianura

Nei settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue (interfluvi) la distinzione di AES in subsintemi non è facilmente eseguibile Qui infatti non sono più ben riconoscibili le scarpate di erosione fluviale che nelle aste vallive maggiori separano i diversi subsintemi Per questo motivo, nei settori di interfluvio si è provveduto a una generica attribuzione dei depositi ad AES In queste aree l'unità è caratterizzata da limi sabbiosi o sabbie limose, con rari livelli più grossolani. Al loro interno questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di paleosuoli con fronte di alterazione spesso fino ad alcuni metri. Anche la superficie topografica presenta depositi intensamente pedogenizzati Qui i suoli (Alfisuoli) sono generalmente policiclici e di spessore fino a cinque-sei

metri. Questi depositi presentano una caratteristica geometria cuneiforme, con spessori che vanno da pochi metri nei settori montani ad alcune decine di metri verso il limite con l'antistante pianura Dal punto di vista stratigrafico, essi generalmente costituiscono l'equivalente laterale indistinto di AES4 e AES5

Nel sottosuolo di pianura del Foglio Faenza, l'interpretazione di profili si smici ha messo in luce il limite localmente discordante tra AES e la sottostante AEI (regione emiLia-romagna & ENI-AGIP, 1998) (fig 3) Il limite superiore di AES corrisponde alla superficie topografica. Tra i pochi i sondaggi di qualità che attraversano interamente AES si segnalano i tre sondaggi 239 S1, 239 S2 e 239 S10 Dalla correlazione di questi è possibile ricostruire nel dettaglio caratteri di facies (fig 14) e stratigrafia (fig 11) del sintema

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE In particolare, in aree prossimali (sottosuolo di Imola e di Faenza) le ghiaie si presentano frequentemente amalgamate in corpi di circa 20 metri (sondaggio 239 – S1 in fig 11) o 30 metri (sondaggio 239 – S2 in fig 12) di spessore.

All'interno dei singoli cicli deposizionali i corpi grossolani passano verso l'alto da geometrie prevalentemente nastriformi, individuabili nella porzione pelitica dei cicli, a geometrie prevalentemente tabulari e tabulari-allungate, caratteristiche delle porzioni prevalentemente grossolane (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi *et alii*, 2003) Il caratteristico *pattern* radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi *et alii*, 1997)

Il lavoro condotto a scala dell'intera pianura emiliano-romagnola nell'ambito della realizzazione del presente progetto di cartografia geologica permette di inserire i cicli sopra descritti in una ciclicità di ordine gerarchico superiore, evidenziata da spessori pluridecametrici composti da depositi fini alla base e grossolani al tetto Questa ciclicità è ben osservabile in figg 11 e 12, dove è ben visibile il carattere di *marker* stratigrafico del tetto dei corpi ghiaiosi a elevata continuità laterale.

Analogamente a quanto operato nei fogli limitrofi, la base dei cicli sedimentari qui definiti come subsintemi è posta convenzionalmente in prossimità del tetto di questi corpi grossolani di canale fluviale. Questa scelta ha un significato essenzialmente operativo, in quanto permette una immediata correlazione con i cicli trasgressivo-regressivi cartografati nel sottosuolo della piana costiera romagnola (vedi anche l'approfondita discussione degli aspetti concettuali in Amorosi & Colalongo, 2005) In quest'ottica, le porzioni argilloso-limose basali dei cicli individuati nel

sottosuolo del Foglio 239 vengono correlate con i depositi marino marginali trasgressivi (TST) e di stazionamento alto (HST) che costituiscono le porzioni basali dei cicli riconosciuti nel sottosuolo della piana costiera, mentre i corpi ghiaiosi di canale fluviale corrisponderebbero ai depositi di caduta del livello marino (FST) e successivi sedimenti di stazionamento basso (LST)

L'architettura dei cicli deposizionali è chiaramente documentata lungo gli assi dei fiumi principali, laddove i contrasti litologici sono più marcati. In aree molto prossimali, dove i corpi ghiaiosi appartenenti a cicli deposizionali distinti sono frequentemente amalgamati, i diversi subsintemi sono virtualmente indistinguibili (figg 11 e 12) All'estremo opposto, in settori scarsamente interessati dall'attività fluviale, dove i depositi grossolani sono scarsi o assenti (aree interfluviali, di interconoide e nei settori più settentrionali), l'assenza di forti contrasti litologici determina problemi concreti nella definizione dei limiti di ciclo

La correlazione tra i subsintemi distinti in affioramento e i cicli deposizionali identificati in sottosuolo è problematica a causa della scarsa preservazione dei depositi alluvionali al margine appenninico, dell'assenza di superfici guida fisicamente tracciabili e di notevoli difficoltà nella datazione di depositi continentali oltre il limite di risoluzione del ^{14}C (Amorosi *et alii*, 1996)

Per quanto riguarda i subsintemi sommitali (AES8 e AES7), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al ^{14}C, forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte I subsintemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998)

L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998)

4.2.1 *Subsintema di Bazzano* (AES6)

L'unità è costituita da depositi di conoide alluvionale terrazzati e da depositi terrazzati di piana intravalliva, che affiorano allo sbocco vallivo delle valli dei fiumi Santerno, Lamone e Montone e del torrente Senio In pianura l'unità non è affiorante, essendo erosa o sepolta all'altezza del margine appenninico dal Subsintema di Villa Verucchio. AES6 presenta un limite inferiore inconforme su depositi marini più antichi.

In affioramento i depositi di AES6 sono generalmente costituiti prevalentemente da ghiaie di canale fluviale, caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa Lo spessore massimo è di una ventina di metri La porzione sommitale delle ghiaie si presenta intensamente pedogenizzata: il suolo (Alfisuolo) ha un fronte di alterazione spesso fino a 5 metri circa e un colore rosso brunastro. Le ghiaie sono generalmente sormontate da depositi fini di piana inondabile e/o eluvio-colluviali, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi. Anche questi depositi fini si presentano intensamente pedogenizzati; sulla superficie topografica affiora un suolo (Alfisuolo) tipicamente bruno giallastro, con fronte di alterazione spesso a 5 metri

Le coperture fini al di sopra delle ghiaie sono più spesse nei settori intravallivi, dove, come nel caso delle valli del Torrente Senio e del Fiume Lamone, possono raggiungere una ventina di metri di spessore (ex in località Pradella e la Mongardina sulla destra idrografica del torrente Senio) Qui al tetto dell'unità è presente un suolo meno evoluto (Inceptisuolo) rispetto a quello presente nelle zone di conoide

In questi settori le coperture fini hanno una natura francamente alluvionale, a testimonianza di un'aggradazione fluviale prolungata anche nei settori intravallivi.

La presenza di forti spessori di depositi fluviali fini in un contesto intravallivo è tentativamente correlata ad un episodio trasgressivo, presumibilmente riferibile alla trasgressione tirreniana

Nella zona di interfluvio tra il Fiume Montone ed il Torrente Marzeno l'unità è invece composta da depositi prevalentemente fini, costituiti da limi più o meno argillosi o sabbiosi con rare ghiaie, e frequenti suoli intercalati. Al tetto è presente un suolo bruno giallastro con fronte di alterazione spesso fino a 5 metri.

Sulla base della correlazione con le aree limitrofe (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna), l'età minima di AES6 si colloca su base archeologica nella parte terminale del Pleistocene medio. Non esistono invece dati relativi all'età della base di questa unità, che dovrebbe comunque collocarsi nella parte alta del Pleistocene medio

I depositi affioranti di AES6 sono tentativamente correlati nel sottosuolo a un ciclo composto da una porzione inferiore prevalentemente argillosa, localmente ricca in materiale organico, ed una sommitale ghiaiosa (figg. 11 e 12); questo ciclo corrisponde al complesso acquifero A2 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Le ghiaie sommitali fanno transizione sottocorrente a depositi prevalente- mente sabbiosi Parallelamente si registra una diminuzione verso NE del rapporto ghiaia/pelite. Lo spessore massimo di AES6, nel sottosuolo, è di circa 50 metri

Sulla base delle relazioni stratigrafiche con l'unità sovrastante (AES7) e dello schema di correlazione con i cicli glacio-eustatici del Quaternario, l'età del complesso acquifero A2 dovrebbe essere compresa tra 230 ka e 130 ka

Età: Pleistocene medio per posizione stratigrafica

4.2.2 Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

Nell'area del Foglio Faenza sono stati attribuiti al Subsintema di Villa Verucchio alcuni depositi terrazzati di piana intravalliva affioranti lungo le valli e agli sbocchi vallivi dei fiumi Santerno, Lamone e del torrente Senio e Sintria. L'unità è inoltre presente nel settore di interlfuvio tra il fiume Montone ed il torrente Marzeno Questi depositi sono correlabili per posizione stratigrafica e tipo di alterazione pedogenetica ai depositi di terrazzo alluvionale attribuiti a AES7 nell'area tipo (Foglio 256, 2005) Il limite inferiore del subsintema affiora lungo le aste vallive sopradette ed è costituito da una superficie di erosione fluviale che mette in contatto i terreni di AES7 con il sottostante substrato marino

Nelle porzioni intravallive l'unità è composta da alcuni ordini di terrazzi, ciascuno dei quali costituiti da corpi ghiaiosi di canale fluviale alla base, generalmente sormontati da sedimenti limoso-argillosi e subordinatamente sabbiosi di piana inondabile e/o eluvio-colluviali Lo spessore massimo dei singoli depositi di terrazzo che compongono l'unità è di una decina di metri.
Nelle porzioni terminali delle valli dei Fiumi Santerno e Lamone è a tratti presente il caratteristico suolo di colore bruno scuro e bruno rossastro (Alfisuolo) sviluppato direttamente sulle ghiaie, con fronte di alterazione di circa 2 m, già descritto da Gasperi *et alii* (1987) per l'unità di Vignola, nel margine appenninico modenese Nelle zone intravallive la pedogenesi si sviluppa invece a carico dei sedimenti fini di copertura delle ghiaie; anche in questi casi il fronte di alterazione è di un paio di metri.
Nella zona di interfluvio tra il Fiume Montone ed il Torrente Marzeno l'unità è invece composta da depositi prevalentemente fini, costituiti da limi più o meno argillosi o sabbiosi con rare ghiaie, e suoli intercalati. Al tetto è presente un suolo bruno con fronte di alterazione spesso 2 metri circa
Nel sottosuolo, AES7 presenta uno spessore massimo di 70 metri ed è caratterizzato nella parte inferiore del ciclo dallo sviluppo di depositi prevalentemente limoso-argillosi di piana alluvionale, sormontati da sedimenti prevalentemente ghiaiosi di conoide alluvionale (fig. 13). La base di AES7 viene posizionata in corrispondenza del brusco passaggio di facies da depositi prevalentemente ghiaiosi di conoide alluvionale (parte sommitale di AES6) a 25-30 m di limi, argille e sabbie di piana alluvionale

Il quadro delle conoscenze regionali (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 223, 2002; Foglio 256 e Foglio 240-241, 2005; Foglio 222 e 255, in stampa) permette di correlare la porzione inferiore, prevalentemente argillosa, di questo ciclo con i depositi marino-marginali, attribuiti alla trasgressione (e successiva fase di stazionamento alto) tirreniana, individuati nel sottosuolo della piana costiera La porzione superiore di AES7 è definita da un intervallo stratigrafico di circa 15 m di spessore, in corrispondenza del quale i depositi di canale fluviale presentano la massima concentrazione ed estensione laterale (figg 11 e 12) Dalla complessa sovrapposizione e giustapposizione di questi corpi lenticolari risulta un corpo sedimentario composito a geometria tabulare, che costituisce la prosecuzione fisica nel sottosuolo dei depositi ghiaiosi di terrazzo alluvionale affioranti lungo il margine appenninico e che rappresenta la fase di massima espansione e coalescenza dei conoidi alluvionali al margine meridionale del bacino padano Questa fase corrisponde all'ultimo acme glaciale ed è datata, grazie alle datazioni ^{14}C effettuate nei fogli limitrofi, intorno a 20-30 ka BP (si veda anche Amorosi *et alii*, 2004b) Granulometria, frequenza e spessore dei depositi di canale diminuiscono sottocorrente, dove è osservabile la transizione da corpi ghiaiosi tabulari a corpi sabbiosi nastriformi (fig. 12).

I depositi ghiaiosi che caratterizzano l'intervallo sommitale di AES7 sono sede della prima importante falda acquifera, ampiamente sfruttata nel territorio di pianura e corrispondente al sistema acquifero A1 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) In essi si concentra la gran parte dei pozzi per acqua raccolti nella Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna Dato il loro particolare interesse dal punto di vista sia stratigrafico che geologico applicativo, sono oggetto specifico della carta riportata nel Foglio allegato alla Carta Geologica

Le datazioni radiometriche ^{14}C eseguite per la realizzazione del presente foglio hanno fornito età (B.P. non calibrate) di 43 ka per la parte inferiore del subsintema, e un'età di 13 ka per la base dei sedimenti basali del sovrastante Subsintema di Ravenna

Nell'area tipo l'età di AES7 è stata attribuita al Pleistocene superiore, tra circa e 18 ka B P (Foglio 256, 2005)

4.2.3 Subsintema di Ravenna (AES8)

É l'elemento sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende la maggior parte dei depositi quaternari affioranti nel Foglio Faenza.

Al tetto di AES8 è stata inoltre distinta e cartografata un'unità di rango inferiore denominata Unità di Modena (AES8a)

Nei settori intravallivi e allo sbocco delle valli appenniniche il Subsintema di Ravenna è costituito da depositi di terrazzo alluvionale I singoli ordini di terrazzo sono separati da scarpate di pochi metri. I depositi di terrazzo sono generalmente costituiti da circa due metri di ghiaie, sovrastati da una copertura limoso-sabbiosa il cui profilo di alterazione pedogenetica può raggiungere circa un metro di spessore

In posizione più distale rispetto allo sbocco delle valli appenniniche, AES8 affiora estesamente e la sua parte sommitale è costituita da depositi sabbioso-limosi di canale, argine e rotta fluviale, organizzati in corpi sedimentari di spessore plurimetrico a geometria prevalentemente nastriforme Questi fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente argillosi e subordinatamente limosi e sabbiosi di piana inondabile (bacino interfluviale). I corpi ghiaiosi sono rari.

Il tetto di AES8, che coincide col piano topografico, presenta suoli a diverso grado di evoluzione, con orizzonte superiore da calcareo (Entisuoli, tipici dell'unità di Modena) a non calcareo (Inceptisuoli)

In prossimità del margine del bacino e nei settori di pianura in cui AES8a non è presente, al tetto di AES8 si rinvengono suoli maggiormente evoluti, non calcarei o scarsamente calcarei, sviluppatisi in un intervallo di tempo superiore a 1500 anni Questi Inceptisuoli presentano un orizzonte superficiale decarbonatato di colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, di spessore variabile tra 0,5 e 1,5 m, al di sotto del quale è presente un orizzonte ad accumulo di carbonato di calcio sotto

forma di concrezioni o concentrazioni soffici Questi suoli sono associati a ritrovamenti di reperti archeologici di età variabile dal Neolitico, al Bronzo e Ferro, fino al Romano

Nel sottosuolo, analogamente a quanto riscontrato nell'area tipo (Amorosi et alii, 1999; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 223 - Ravenna (2002), la base di AES8 è caratterizzata da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di alcune migliaia di anni (la base dell'unità è datata a circa 13 ka BP) A differenza dell'area tipo, però, dove il limite basale di AES8 è marcato da un netto contrasto di facies tra depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di AES7) e sovrastanti depositi di ambiente paralico e marino-marginale riconducibili all'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica, al margine del Bacino Padano la base di AES8 è localizzata all'interno di depositi alluvionali ed è per questo meno facilmente riconoscibile di quanto non avvenga per i settori di piana costiera Tuttavia, la comune presenza nella parte inferiore di AES8 di un orizzonte lateralmente esteso di argille organiche e torbe di ambiente palustre, di colore grigio scuro-nerastro, conferma il legame genetico di questi depositi con la fase trasgressiva olocenica. Ciò anche sulla scorta di quanto documentato nei fogli limitrofi, in cui è fisicamente riconoscibile la transizione laterale di facies tra i depositi marino marginali e le argille organiche alla base AES8

L'orizzonte di argille organiche palustri raggiunge il suo massimo spessore nei settori più distali della pianura (circa 5 metri), mentre tende a chiudersi a cuneo verso il margine appenninico, dove tuttavia è ancora a tratti riconoscibile come un orizzonte di circa 50 centimetri presente nel primo sottosuolo anche qui costituito da limi argillosi nerastri. Orizzonti del tutto analoghi sono presenti anche nelle porzioni intravallive al di sopra delle sequenze di terrazzo fluviale, dove hanno dato età variabili tra circa 10 e 11 ka (si veda la tabella 3 relativa ai dati 14C, affioramento 239090A501, ubicato in destra idrografica del torrente Senio, nei pressi di Riolo Terme)

In pianura, al di sopra dell'orizzonte palustre sono presenti depositi alluvionali I corpi ghiaiosi in questo caso si estendono su una superficie nettamente inferiore rispetto a quella relativa alle ghiaie al tetto di AES7, come documentato dalla cartografia riportata nel foglio allegato alla carta geologica. Al di sopra delle ghiaie, fino alla superficie topografica, sono presenti depositi prevalentemente limoso-sabbiosi di argine e rotta fluviale. Questi, nelle aree più prossime alla catena, sono frequentemente caratterizzati al loro interno da una successione spessa circa 4 metri, costituita da quattro sottili sequenze a gradazione positiva, ciascuna interessata al tetto da un Inceptisuolo variamente arricchito in sostanza organica, al cui interno si ritrovano reperti Neolitici ed Eneolitici sia rimaneggiati che in posto.

Lo spessore massimo del Subsintema di Ravenna nel sottosuolo del Foglio Faenza è di circa 20 m Nei casi in cui la parte sommitale di AES7 non sia contraddistinta da depositi grossolani di canale fluviale, il limite basale di AES8 è definito, analogamente a quanto recentemente documentato per

l'area ravennate (Amorosi & Marchi, 1999), da un orizzonte sovraconsolidato che, oltre che per un limitato incremento di resistenza alla punta, si caratterizza in prove penetrometriche con il piezocono per il brusco incremento di resistenza laterale e per la diminuzione della pressione interstiziale dovuta al passaggio verso il basso da argille molli grigio scure, ricche in legni e frustoli carboniosi, ad sedimenti fini più compatti grigio-nocciola ricchi in concrezioni carbonatiche. Allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, dove la base di AES8 è caratterizzata da depositi ghiaiosi amalgamati con quelli di AES7, il limite tra i due subsintemi è virtualmente indistinguibile. Età: Pleistocene superiore-Olocene (13 ka-Attuale), su base radiometrica.

5 Associazioni Di Facies

Utilizzando come riferimento la normativa per il rilevamento e la cartografia geologica proposta da CNR-CCGG (1992), all'interno dei sintemi descritti al Capitolo 4 è stata eseguita una suddivisione delle unità stratigrafiche sulla base di caratteri litologici e sedimentologici L'area del Foglio 239 - Faenza è composta da depositi quaternari di natura esclusivamente continentale, che possono essere ricondotti a complessi ambientali di piana intravalliva, conoide alluvionale e piana alluvionale In affioramento sono state distinte e cartografate tre associazioni di facies, descritte di seguito ai sottoparagrafi 5 1 1 - 5 1 3 Le associazioni di facies sono contraddistinte sulla carta geologica di superficie mediante sovrassegni che si accompagnano alla tradizionale colorazione delle unità stratigrafiche.

5.1 Depositi alluvionali

5.1.1 Ghiaie di canale fluviale

Affiorano principalmente al margine della pianura e nei settori più interni (aree di terrazzo fluviale e conoidi alluvionali, allo sbocco delle aste fluviali), mentre sono ampiamente sviluppate in sottosuolo. Comprendono ghiaie da fini a molto grossolane, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati, organizzati in corpi sedimentari a geometria nastriforme e tabulare-allungata, di spessore generalmente compreso tra 2 e 5 metri In aree di conoide alluvionale i corpi ghiaiosi sono generalmente amalgamati e raggiungono spessori di 20 m.

La maggior parte dei corpi sedimentari, specie in aree prossimali, rientra nella facies Gms dello schema classificativo di Miall (1978), presentando un grado di cernita estremamente basso, con ciottoli di varia dimensione immersi in una matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa. L'organizzazione interna è molto scarsa e non si osservano in genere tendenze granulometriche verticali di rilievo La dimensione del granulo massimo è di alcuni decimetri Sono tuttavia comunemente riconoscibili corpi ghiaiosi caratterizzati da un'organizzazione interna, definita dalla

presenza di stratificazione orizzontale ed embricazione dei ciottoli (facies Gm) In questo caso la dimensione modale dei ciottoli corrisponde a 3-5 cm (diametro massimo 10-15 cm). Tra le altre facies, tipiche di settori relativamente più distali, si riconoscono ghiaie a stratificazione obliqua di tipo concavo (facies Gt), con spessore dei set fino a 2 m, base erosiva e organizzazione in sequenze positive Localmente è osservabile la presenza di stratificazione diagonale

I corpi sedimentari privi di organizzazione interna e quelli a stratificazione obliqua di tipo concavo sono interpretati come il risultato della migrazione di barre longitudinali all'interno di una rete di canali di tipo intrecciato La presenza di stratificazione obliqua di tipo tabulare all'interno di ghiaie a prevalente stratificazione obliqua di tipo concavo è messa in relazione con l'accrezione di barre diagonali o laterali in fiumi di tipo intrecciato (Ori, 1993). Corpi ghiaiosi clino- stratificati all'interno di intervalli prevalentemente fini sono invece intepretabili come legati alla migrazione di barre di meandro (Ori, 1982)

5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale

Questa associazione di facies affiora quasi ininterrottamente su un'ampia fascia al margine della pianura, lungo la Via Emilia e nel quadrante nord-orientale del Foglio Si tratta di sabbie in genere finissime localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, alternati a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili Il rapporto tra sabbie e limi è complessivamente variabile; con riferimento all'unita AES8a, le prime sono predominanti nei settori più prossimi alle aste fluviali, mentre via via che ci si allontana da esse tendono a dominare le intercalazioni limose I passaggi tra le porzioni a dominanza sabbiosa e quelli a dominanza limosa avvengono in modo graduale

Si riconoscono occasionalmente, alla base di sequenze positive a base erosiva, sabbie medie e grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Queste ultime sono presenti in particolare nelle porzioni in cui i depositi di questa associazione di facies sono confinati entro scarpate di terrazzo fluviali, come ad esempio per unità AES8a il tratto del fiume Santerno tra Imola e Mordano, o del fiume Lamone in prossimità di Faenza

Nei settori più prossimi alle aree di canale, si concentrano i corpi più marcatamente sabbiosi, caratterizzati da stratificazione obliqua concava e tabulare, con *set* generalmente di alcuni dm di spessore Al tetto dei principali corpi sabbiosi e lateralmente ad essi sono tipicamente presenti alternanze di sabbia fine e finissima con limi e argille, in coppie di spessore generalmente inferiore a 10-20 cm

I limi e le argille sono tipicamente bioturbati al tetto. I corpi sabbiosi a tendenza granulometrica positiva sono interpretabili come canali di rotta

I settori laterali ai precedenti sono invece caratterizzati da alternanze di sabbia e limo e rappresentano depositi di argine; essi costituiscono in termini di volume la maggior parte dei depositi di questa associazione di facies.

In corrispondenza degli apparati di canale fluviale relativi al reticolo idrografico secondario è possibile osservare una sensibile riduzione della granulometria dei depositi e della dimensione dei corpi sedimentari, pur rimanendo comparabili le geometrie Il volume dei depositi sabbiosi di canale è in questo caso estremamente subordinato e i singoli riempimenti di canale sono intercettati molto di rado in sottosuolo L'associazione di facies è in questo caso dominata da limi e limi sabbiosi

5.1.3 Limi e argille di piana inondabile

Questa associazione di facies è caratterizzata dall'alternanza di limi prevalenti, argille limose e argille bioturbate, in strati da molto spessi a spessi, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini, in strati da molto sottili a medi, a base netta e caratterizzati da una tipica gradazione positiva Le sabbie presentano al loro interno laminazione obliqua o piano-parallela Accenni di laminazione parallela sono presenti all'interno di limi sabbiosi Le coppie limo-argilla fanno transizione laterale alle coppie sabbia-limo descritte alla sezione precedente Il passaggio verso l'alto da questa associazione di facies a depositi grossolani di canale avviene in genere attraverso un progressivo aumento della granulometria, che definisce caratteristiche sequenze negative. Complessivamente questi depositi formano corpi sedimentari a geometria lenti- colare, tabulare e nastriforme

Carattere diagnostico di questa associazione di facies è la presenza a vari livelli stratigrafici di paleosuoli relativamente poco evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli), costituiti da un orizzonte superficiale scuro totalmente decarbonatato e una porzione inferiore ricca in concrezioni carbonatiche. Amorosi & Marchi (1999) hanno mostrato che questi paleosuoli possono essere riconosciuti, oltre che in carota, anche su base geomeccanica, mediante l'utilizzo di prove penetrometriche con piezocono. Gli elementi che ne consentono il riconoscimento sono: un piccolo incremento verso il basso di resistenza alla punta, associato al rapido incremento di resistenza laterale e alla brusca diminuzione della pressione interstiziale

I depositi di questa associazione di facies, che fanno transizione laterale a depositi relativamente più grossolani di canale, argine e rotta fluviale, si sono formati in aree di piana inondabile La suddivisione verticale in piccole sequenze delimitate a base e a tetto da paleosuoli indica una ciclicità nella sedimentazione, con fasi di apporto terrigeno limitato o nullo che favoriva la pedogenesi.

6 Idrogeologia

I depositi ghiaiosi di canale fluviale che costituiscono le conoidi alluvionali (affioranti e sepolte) dei Fiumi Santerno, Lamone e marginalmente Montone, assieme a quella del torrente Senio, costituiscono le principali emergenze idro- geologiche del Foglio 239. Queste conoidi negli ultimi decenni sono state intensamente sfruttate, per fini idropotabili, agricoli e industriali

Lo sfruttamento a fini idropotabili si è tuttavia fortemente ridotto a seguito dell'utilizzo, a partire dalla metà degli anni '90, delle acque di superficie provenienti dall'invaso di Ridracoli nell'alto Appennino forlivese

Dati relativi alle caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche di queste conoidi sono riportati in vari lavori di carattere regionale, la sintesi più recente è nella "Relazione sullo stato dell'ambiente '99" (regione Emilia-Romagna, 2000)

Dal punto di vista della pianificazione della risorsa idrica di recente è stato realizzato il Piano di Tutela delle Acque (regione Emilia-Romagna, 2004), ai sensi di quanto indicato dal Decreto Legislativo 152/1999 Questo documento contiene anche numerosi approfondimenti tecnici relativi alle acque superficiali e sotterranee di tutta l'Emilia-Romagna

Con riferimento all'area del foglio 239, i lavori citati indicano che sulla base delle variazioni medie annue della piezometria la zona delle conoidi alluvionali risente di una certa tendenza alla diminuzione della risorsa, mentre gli acquiferi dell'antistante pianura alluvionale mostrano invece una tendenza all'aumento

Nonostante questi aumenti di piezometria, la zona della bassa pianura del foglio 239 registra elevati valori di subsidenza (fino a 2,5 circa centimetri all'anno nell'ultimo ventennio, al margine nord orientale del foglio) Tali abbassamenti sono di un ordine di grandezza maggiori a quelli naturali, deducibili dalle datazioni al ^{14}C effettuate nello stesso areale, che indicano nel sondaggio 239 S4 valori del tasso di sedimentazione di circa 2 millimetri all'anno per gli ultimi 13 000 anni .

La subsidenza pare quindi essere dovuta a prelievi idrici pregressi rispetto all'intervallo temporale utilizzato per la misurazione del trend della piezometria É noto infatti che l'interruzione o comunque il calo dei prelievi idrici di sottosuolo produce rapidamente una risalita della superficie piezometrica, mentre la compattazione dei livelli argillosi prossimi agli acquiferi captati permane più a lungo nel tempo, provocando quindi il perdurare del fenomeno della subsidenza

Dal punto di vista della qualità delle acque, la risorsa risulta abbastanza compromessa, essendo presenti nitrati in quantità vicine o anche maggiore rispetto al limite di legge nelle porzioni apicali delle conoidi del foglio 239, specialmente per il fiume Santerno e torrente Senio Le variazioni medie annue dell'andamento dei nitrati in falda mostrano una certa tendenza all'aumento per il Santerno ed il Senio ed una stazionarietà per il settore più orientale.

Gli elaborati prodotti permettono di notare che la porzione meridionale delle conoidi (si veda in particolare la sezione di figg 11 e 12) è costituita da una zona apicale in cui le ghiaie sono amalgamate tra loro e formano un acquifero freatico monostrato. La zona di amalgamazione delle ghiaie è quella in cui si ha la ricarica diretta di tutta la conoide, sia dalle infiltrazioni efficaci, sia dagli alvei; essa quindi costituisce l'areale in cui prestare la massima attenzione ai fini della protezione idrogeologica.

A valle della zona di amalgamazione i diversi lobi di conoide si separano e tra essi si interpongono dei depositi fini di spessore crescente procedendo verso nord (si vedano figg 11 e 12) I diversi acquiferi (acquifero multifalda) sono quindi disconnessi dalla superficie e acquisiscono tutti i caratteri di acquiferi confinati

Secondo quanto riportato nella descrizione stratigrafica delle singole unità si sottolinea come i principali acquiferi, ovvero quelli più spessi e arealmente più continui, corrispondano alle porzioni terminali delle unità riconosciute nel sottosuolo, caratterizzate per l'appunto dallo sviluppo di estesi lobi di conoide alluvionale. Gli acquitardi più estesi corrispondono invece ai depositi prevalentemente argillosi e limosi (talora organici) presenti nella parte inferiore delle unità Questi caratteri degli acquiferi e degli acquitardi del foglio 239 sono del tutto analoghi a quelli riconosciuti e descritti nella gran parte delle conoidi sepolte dei sistemi alluvionali appenninici emiliano-romagnoli (regione Emilia-Romagna & ENI- AGIP, 1998)

Il più superficiale degli acquiferi di cui sono composte le conoidi del foglio 239 corrisponde al lobo di conoide sommitale del Subsintema di Villa Verucchio (AES7); nelle porzioni più prossimali l'acquifero comprende anche la porzione di ghiaie del Subsintema di Ravenna (AES8) laddove esse si amalgamano con le precedenti.

7 Prove pregresse

7.1 Settore a nord della Via Emilia

In questo settore sono presenti i depositi "continentali" prevalentemente portati dai paleo-corsi d'acqua che avevano come recapito finale la depressione padana. Anche se si parla genericamente di depositi del "conoide del fiume Santerno" e si individuano i depositi grossolani (ghiaie) come rappresentativi di situazioni idrauliche di alta energia, e quelli fini (sabbie e limi) di bassa energia, in effetti la situazione stratigrafica profonda è molto più complessa, come evidenziato dai log litologici delle perforazioni per acqua. Da un punto di vista della distribuzione verticale dei livelli grossolani (ghiaie e sabbie) e di quelli prevalentemente fini (limi sabbiosi, limi), è stato possibile individuare delle aree omogenee utilizzate successivamente per le ricostruzioni idrogeologiche, sulla base delle percentuali caratteristiche di ghiaie e sabbie presenti nel sottosuolo entro la profondità di 50 e 70 m dal p.c.

Per questa elaborazione si sono considerate:

- le perforazioni con stratigrafia attendibile,
- lo spessore dei terreni argillosi (impermeabili) sopra il 1° livello di ghiaie e sabbie (permeabile);
- lo spessore totale (e la percentuale) dei livelli grossolani presenti entro i primi 50 m ed entro i primi 70 m dal p.c.;
- la distribuzione areale di queste perforazioni all'interno del territorio comunale e per una fascia NO-SE e parallela all'asse viario della Via Emilia, larga circa 6-8 km.

L'elaborazione dei dati stratigrafici, e i risultati delle indagini geoelettriche eseguite da AMI a partire dal 1978, ha portato alla ricostruzione della "Situazione geologico-stratigrafica dei depositi grossolani e fini per l'area di pianura a nord della Via Emilia". I risultati ottenuti consentono di riconoscere (Figura 2).

- L'area [A] di pianura compresa tra il Torrente Sellustra e la pianura, caratterizzata da forti spessori di terreni argillosi, argillo-sabbiosi superficiali con permeabilità molto bassa; i livelli di ghiaie e sabbie presentano spessori complessivi particolarmente ridotti e non esistono le condizioni per un loro affioramento. La situazione stratigrafica e le difficoltà di una comunicazione di questi livelli con la superficie topografica è ben evidenziata dalle stratigrafie riportate nella figura. L'ambiente ed i meccanismi di deposito sono riferibili a quelli caratteristici degli ambienti di interconoide, fuori dalle aree di deposito dei paleo-corsi d'acqua provenienti dai rilievi a sud: quindi una forte prevalenza dei depositi di materiali fini, mentre i livelli grossolani intercalati sono probabilmente riconducibili anche a ridistribuzioni areali di ghiaie e sabbie provenienti dalle aree marginali delle conoidi attigue.

- L'area [B] rappresenta l'area di prevalente deposito dei materiali alluvionali trasportati dal paleo-Santerno, cioè la conoide principale. I forti spessori di ghiaie rilevati nelle perforazioni AMI del campo di Ponte Santo (70 - 90 m), sono determinati anche da fenomeni di subsidenza che hanno determinato condizioni favorevoli di accumulo. Le stratigrafie di queste aree evidenziano la successione dei livelli che caratterizza il conoide.
- La delimitazione verso nord dei depositi del conoide è basata sulla forte riduzione dei depositi grossolani (ghiaie) rispetto a quelli fini (sabbie limose, limi) ed è rappresentata da una fascia di transizione che riflette le condizioni di più ridotta energia idraulica dei flussi idrici, dei paleo-corsi del fiume.
- Verso sud l'apice del conoide principale si ricollega ai depositi alluvionali presenti nella vallata del fiume, a sud della Via Emilia zona della Pedagna, ma risulta spostata verso est rispetto allo sbocco della vallata attuale. Gli effetti di questa localizzazione sulle valutazioni finali della vulnerabilità sono notevoli.
- Le aree [B1] [B2] ad est del conoide principale rappresentano zone di deposito di materiali grossolani (conoidi secondarie ancora collegabili ai meccanismi di deposito del conoide del Santerno, ma legati ad andamenti diversi (successivi ?) del paleo-Santerno). Le due aree hanno l'origine probabilmente differenziata verso monte, per la presenza di un'area interna [E1] caratterizzata da maggiori depositi di materiali poco permeabili Questa area [E1] separa l'area della conoide principale [B] da quella [B1] almeno nella parte più meridionale, mentre verso nord i depositi grossolani vanno a confluire in quelli della conoide principale. È presente anche un'altra area [E2] a forte sviluppo di depositi fini poco permeabili che separa le due conoidi secondarie [B1] e [B2], ma le correlazioni stratigrafiche non sono sufficienti a definirne i rapporti geometrici profondi.
- A nord, i depositi di pianura [C] sono caratterizzati da maggiori spessori di materiali fini, ma i livelli ghiaioso-sabbiosi intercalati sono difficilmente ricollegabili a quelli di maggior spessore presenti nei depositi di conoide [B] e [B1].

Si allegano le stratigrafie di diversi pozzi perforati da Hera per l'attingimento di acqua per uso idropotabile che testimoniano la presenza di uno spessore molto elevato di materiale alluvionale nell'area figura 3.

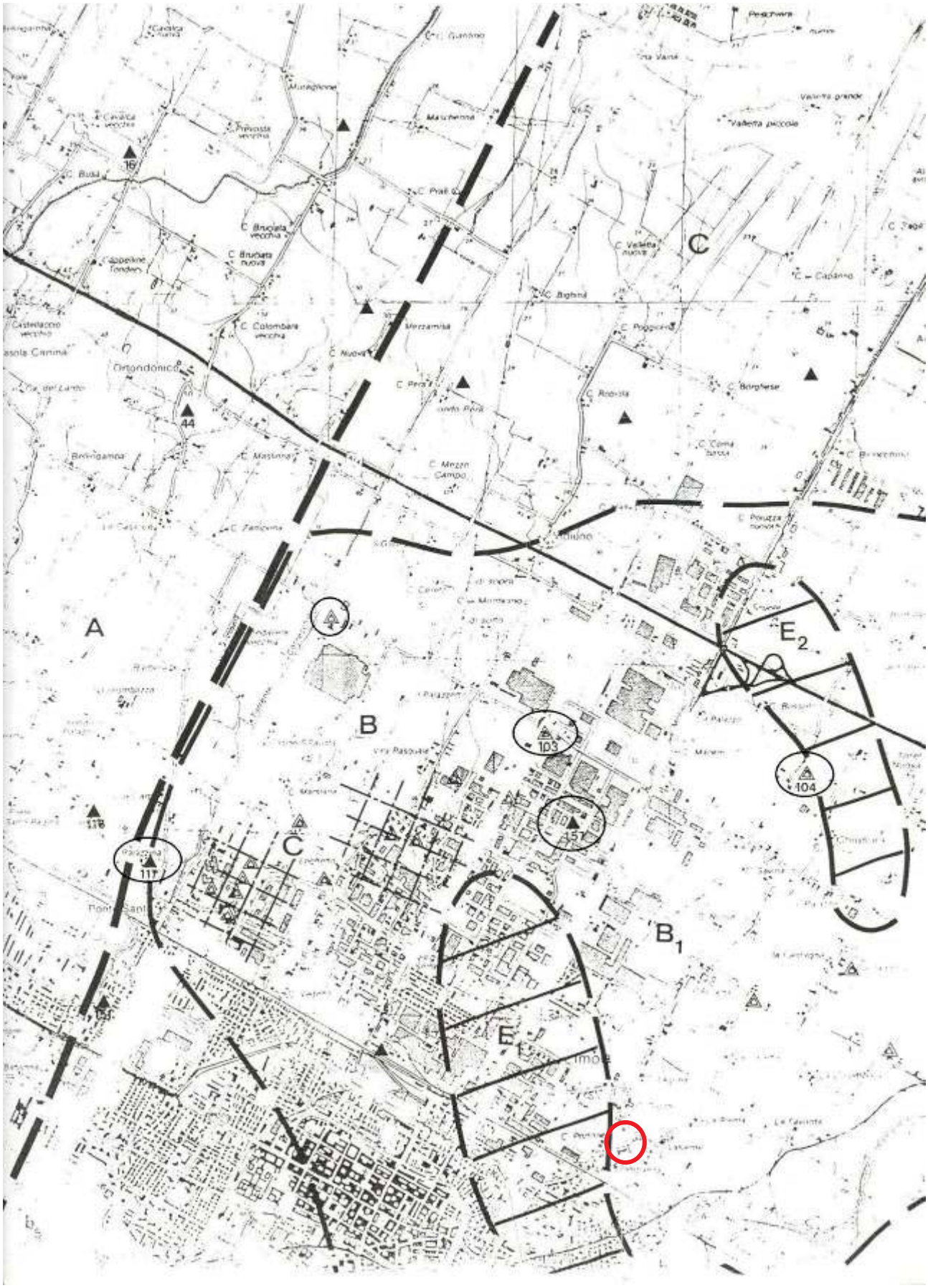


Figura 1: estensione del conoide imolese

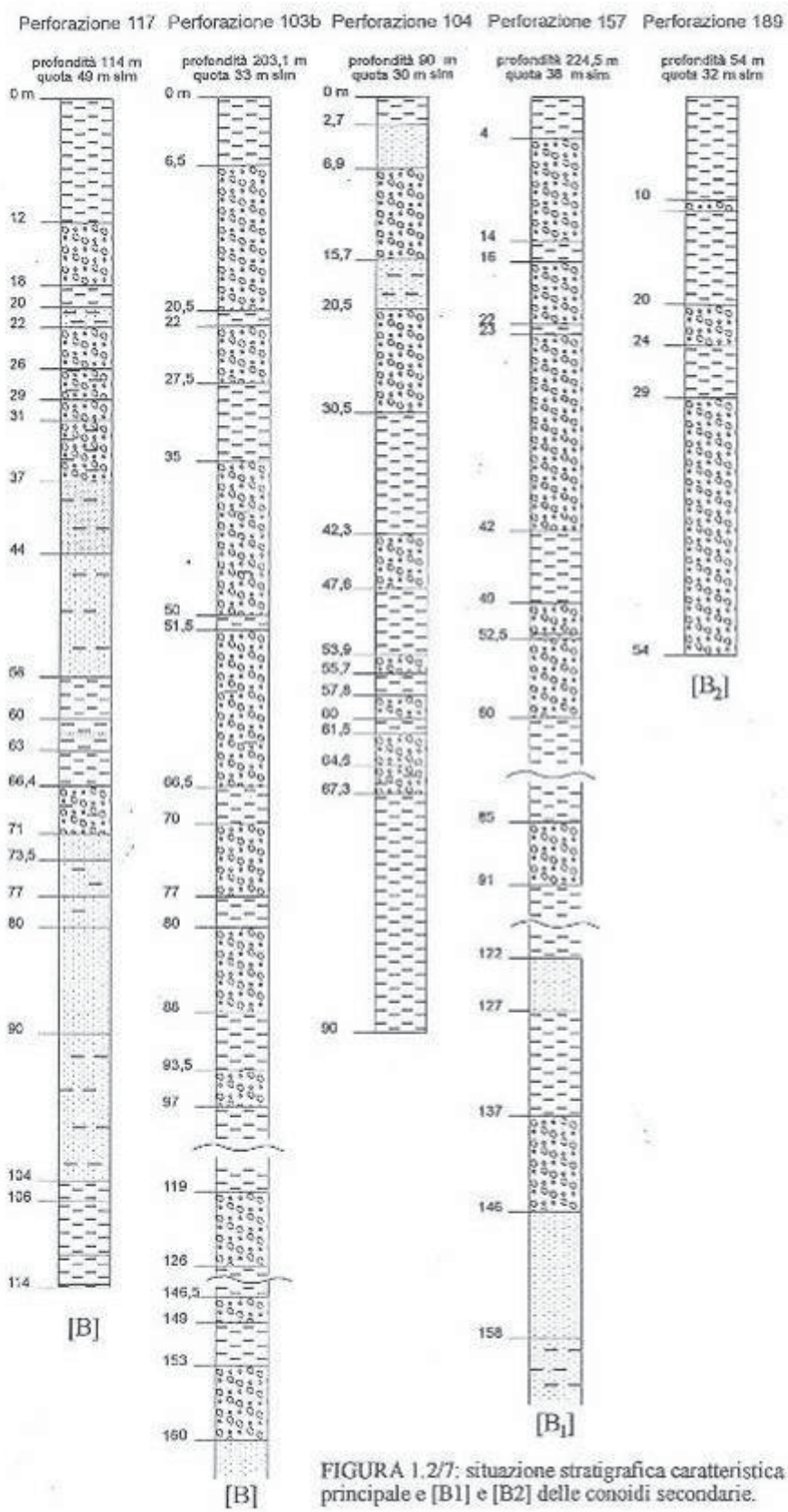


FIGURA 1.2/7: situazione stratigrafica caratteristica dell'area [B] della conoide principale e [B1] e [B2] delle conoidi secondarie.

Figura 2: stratigrafie del conoide imolese

7.2 Indagini geognostiche

L'area è stata indagata nel luglio 2017. In data 31/07/2017 è stato inoltre eseguito un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 15 m dal piano campagna

Sondaggio a carotaggio continuo

SOGEO s.r.l. Indagini Geognostiche ed Ambientali. Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di Lugo (RA). Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com. Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C. Decr. n. 0005754 del 05/07/2010	COMMITTENTE: ZINI ELIO s.r.l.		SOND.N°: S.1 PROF.(m): 15.00
	CANTIERE: Via Valverda - Imola (BO), Lotto 7 - Bifamiliare		QUOTA (m): p.d.c.
	PERFORATRICE: CMV MK900 D1		LATITUDINE (°):
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo		LONGITUDINE (°):
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm		DATA INIZ-FINE: 31/07/2017-31/07/2017
PIEZOMETRO:			SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 173-17	CERTIFICATO N°: C17-064-1	RAPPORTO N°: ------- DATA DI EMISSIONE: 01/08/2017	PAGINA N°: 1 di 1

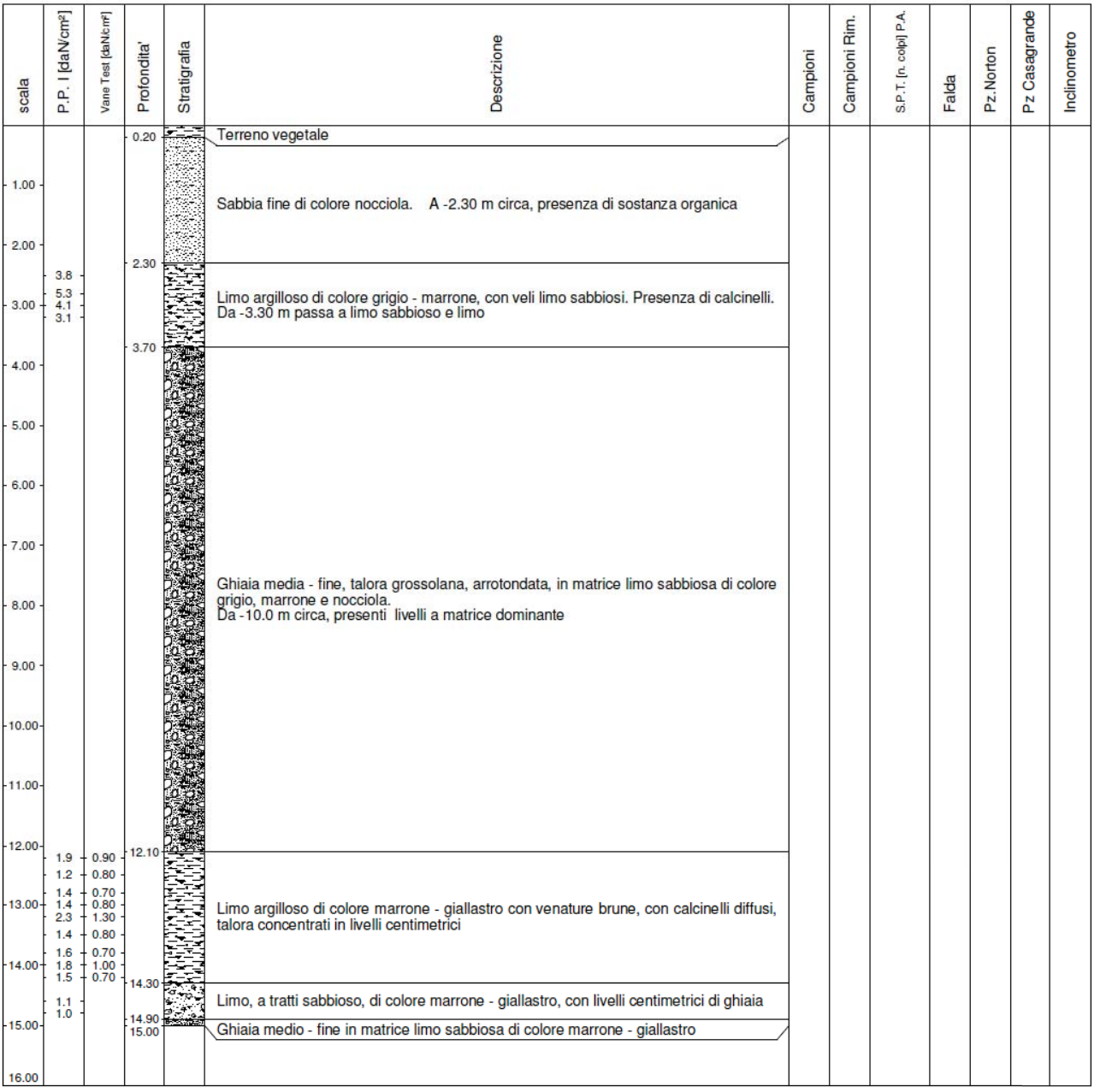


Figura 3: stratigrafia sondaggio S1

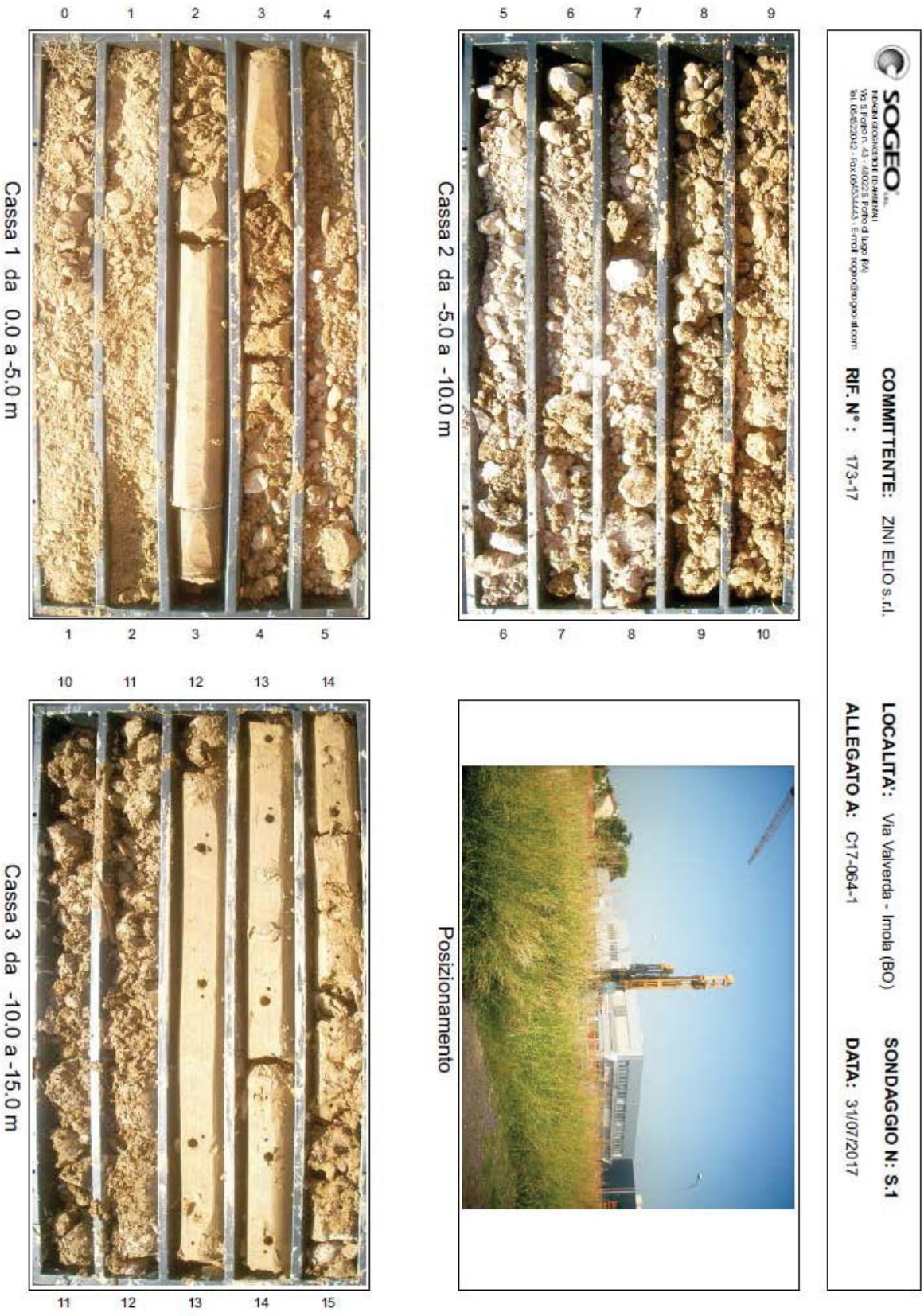
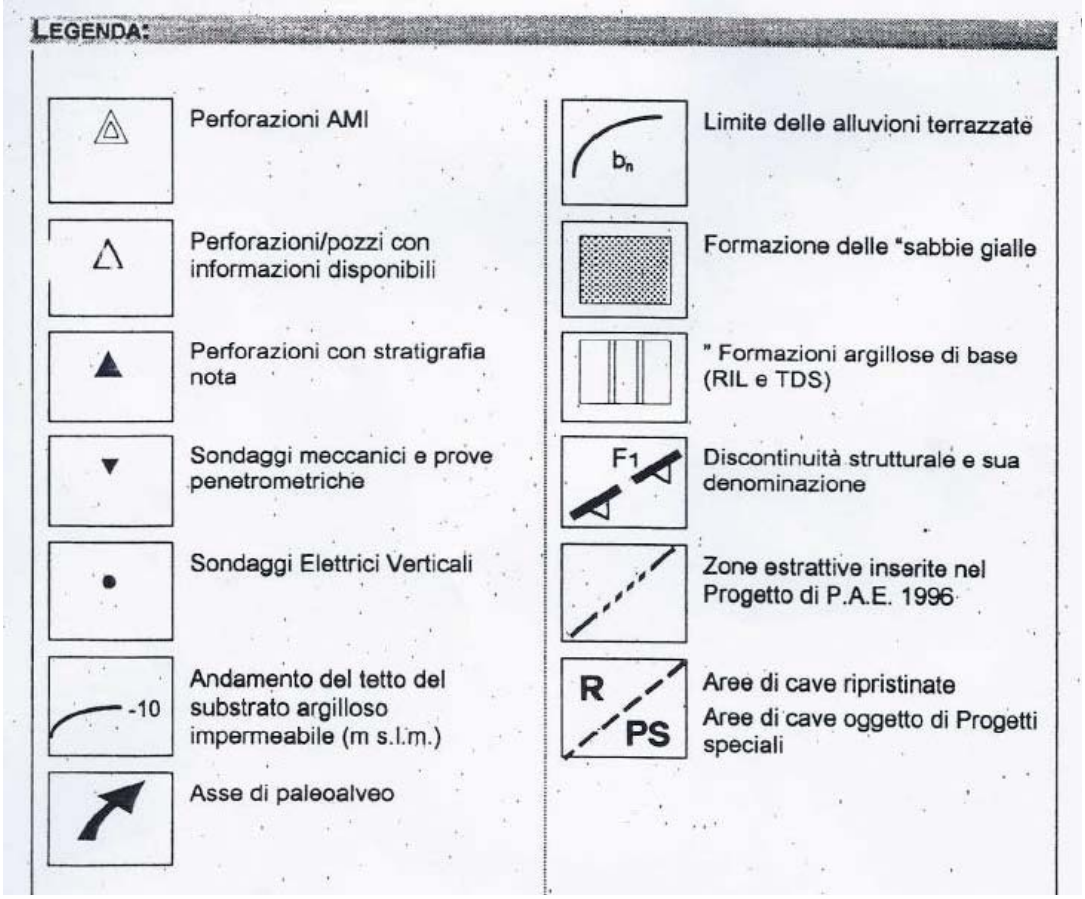
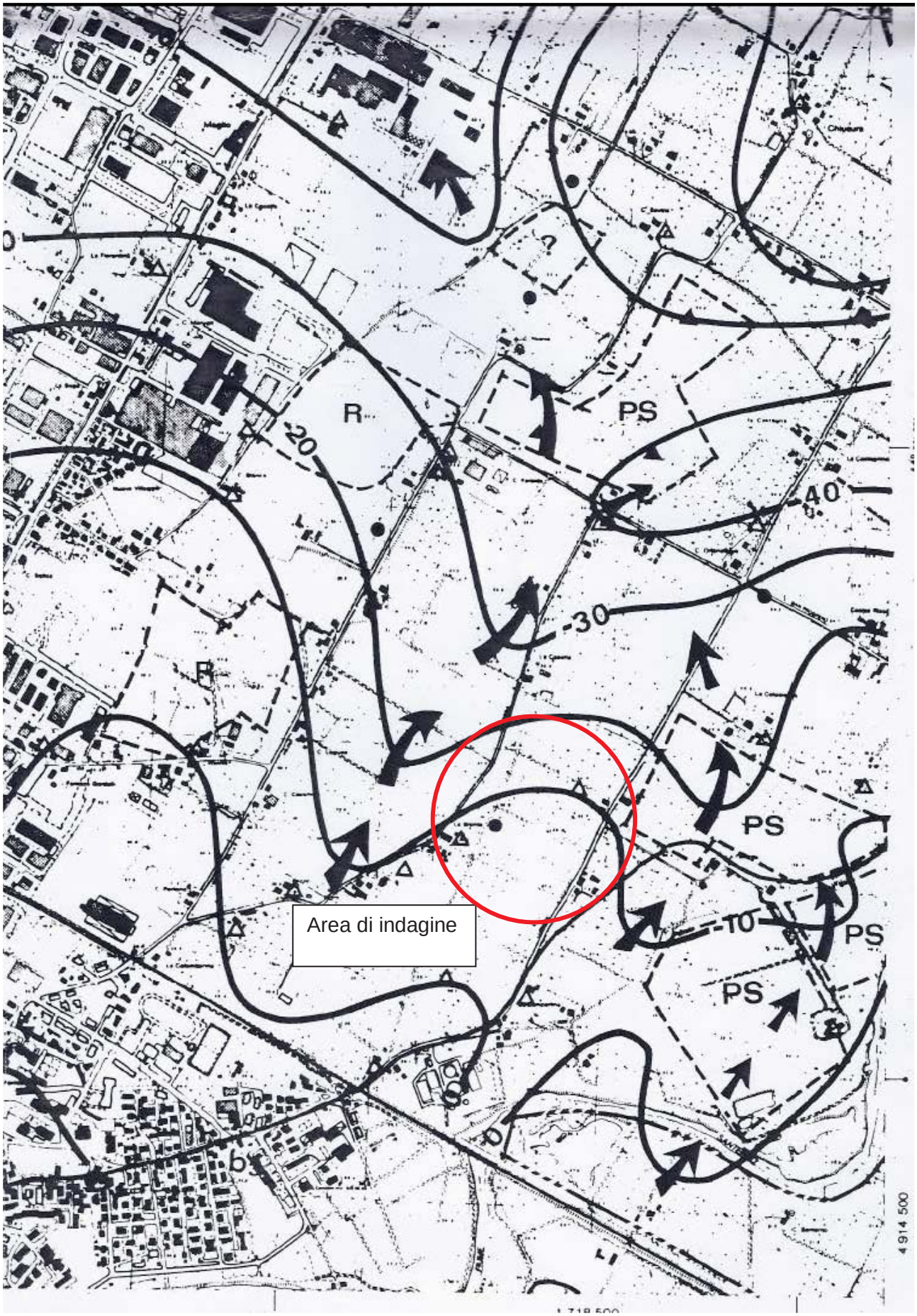


Figura 4: foto sondaggio S1

7.3 Indagini a corredo PRG






R
PS
20
40
30
R
PS
10
PS
PS
Area di indagine
4 914 500

7.4 Geologia di dettaglio

La stratigrafia di questo sondaggio ha confermato nelle linee generali quanto indicato nelle indagini regionali e del PRG ma ha messo in evidenza la presenza di uno strato di limo argilloso di 2.20 m di spessore alla profondità di 12.10 m . Le ghiaie riprendono alla profondità 14.90 dal piano campagna e proseguono fino ad una profondità di circa 38 m.

Sempre il sondaggio ha confermato l'assenza di una falda idrica fino a 15 m dal piano campagna come già evidenziato dalle indagini geologiche si scala più ampia.

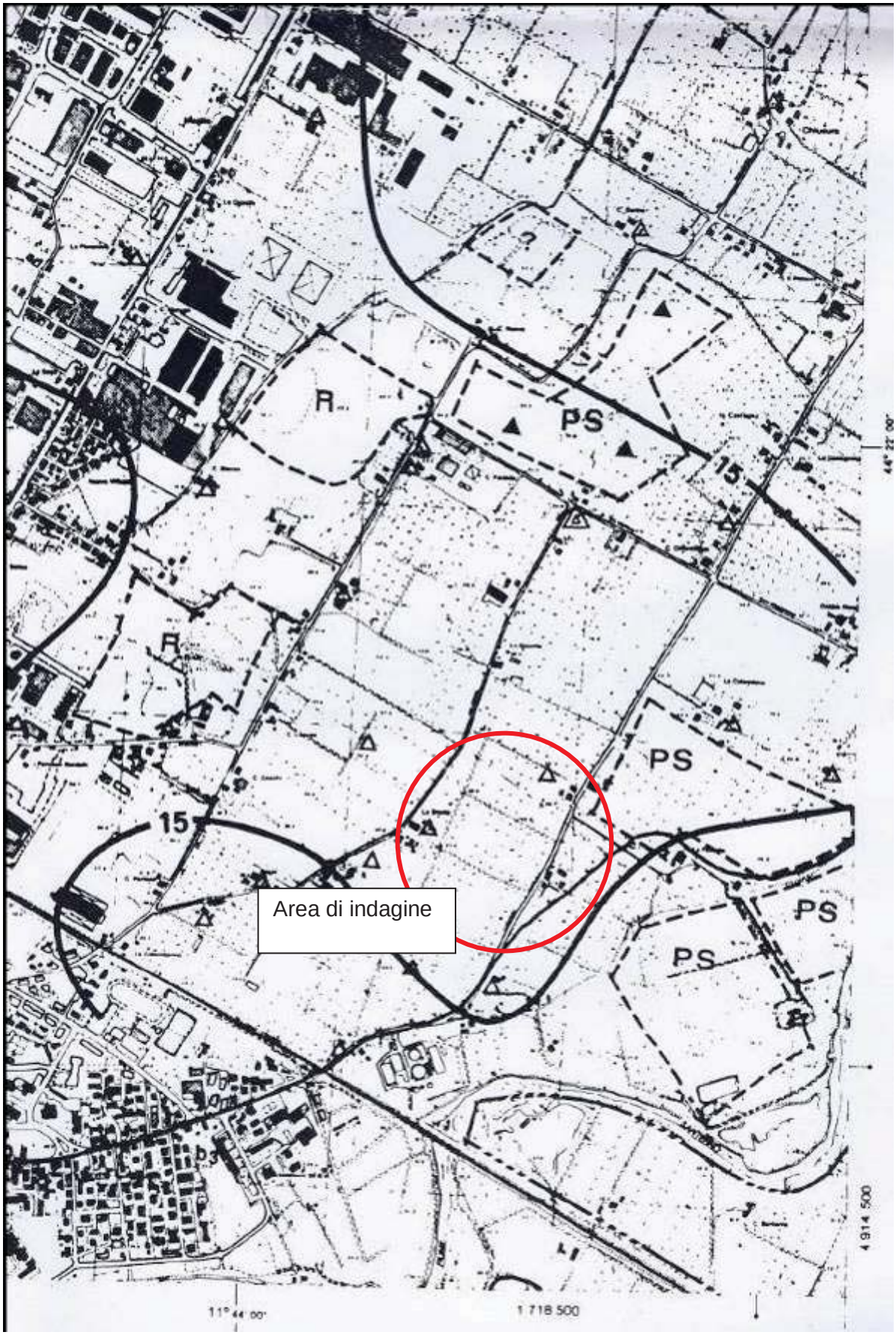
8 Verifica a liquefazione

La composizione litologica nonchè l'assenza delle acque di falda all'interno degli strati limoso sabbiosi e ghiaiosi fino ad almeno 15 dal piano campagna, permette di escludere la liquefazione dei terreni medesimi in presenza di evento sismico. In questo caso anche l'incremento dei cedimenti risulterà ininfluente sulla stabilità del manufatto. Questo cedimento sarà assorbito dalla struttura durante il tempo di costruzione e non si presenteranno problemi costruttivi.
L'indagine di dettaglio anche in questo caso conferma quanto già verificato con le indagini geologiche si scala più ampia.

I dati sopra descritti sono confermati dalla tavole a corredo del PRG in cui nella tavola 3.6 è riportato lo spessore del terreno insaturo pari a 15 m mentre nella tavola 4.6 è riportato il campo di moto della falda e l'altezza della stessa è fra i 20 ed i 22 m sul livello del mare, a fronte di una quota dell'area pari a 38 m s.l.l




Perforazioni AMI
Perforazioni/pozzi con informazioni disponibili
Perforazioni con stratigrafia nota
Sondaggi meccanici e prove penetrometriche
20
Curva di isospessore e suo valore (m)
b_n
Limite delle alluvioni terrazzate
Formazione delle "sabbie gialle"
Formazioni argillose di base (RIL e TDS)
F1
Discontinuità strutturale e sua denominazione
Zone estrattive inserite nel Progetto di P.A.E. 1996
R
PS
Aree di cave ripristinate
Aree di cave oggetto di Progetti speciali


R
PS
15
R
PS
15
Area di indagine
PS
PS
11° 44' 00"
1 718 500
4 914 500



REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI BOLOGNA

COMUNE DI IMOLA

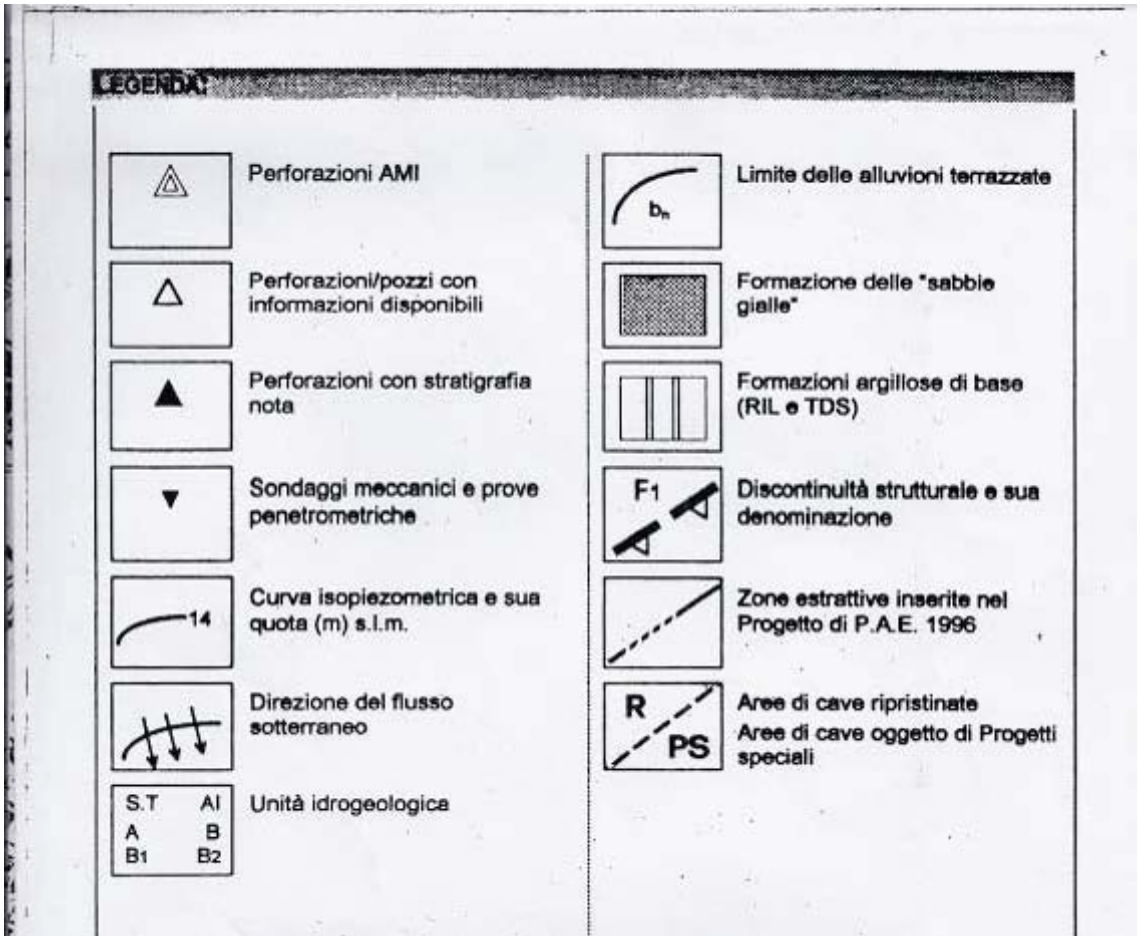
Piano Regolatore Generale

A.M.I. - Azienda Multiservizi Intercomunale
Analisi territoriali a supporto del Nuovo Piano Regolatore Generale

2.1.4. - Campo di moto della falda (dati 1986-93)

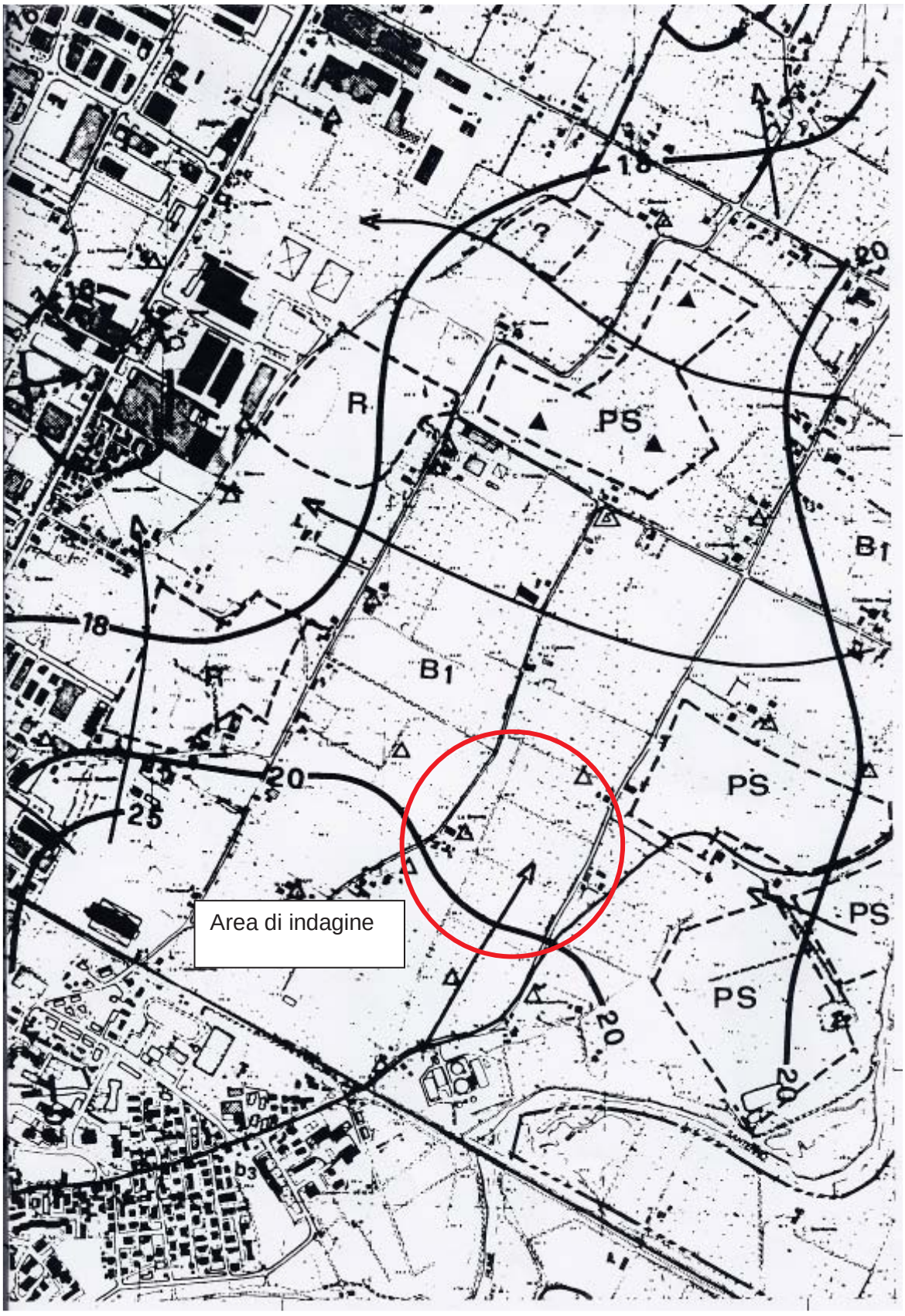
Coordinamento:
Maurizio Corsi - A.M.I.
Responsabile di Settore:
Mariano Didero
Autori:
Mariano Didero
con la collaborazione di:
M. L. Arcaci
L. Didero

239010 IMOLA scala 1: 10.000
Tavola: 4.6



LEGENDA

- Perforazioni AMI
- Perforazioni/pozzi con informazioni disponibili
- Perforazioni con stratigrafia nota
- Sondaggi meccanici e prove penetrometriche
- 14 — Curva isopiezometrica e sua quota (m) s.l.m.
- Direzione del flusso sotterraneo
- S.T / A / B1 — Al / B / B2 — Unità idrogeologica
- b_n — Limite delle alluvioni terrazzate
- Formazione delle "sabbie gialle"
- Formazioni argillose di base (RIL e TDS)
- F1 — Discontinuità strutturale e sua denominazione
- Zone estrattive inserite nel Progetto di P.A.E. 1996
- R — Aree di cave ripristinate
- PS — Aree di cave oggetto di Progetti speciali


R
PS
B1
B1
PS
PS
PS
18
20
25
20
20
20
Area di indagine

9 Area di studio e indagini effettuate

L'area di studio è situata nel comune di Imola in prossimità del fiume Santerno all'interno del Sintema AES8 del descritto in precedenza costituito da un rilevante spessore di terreni ghiaioso sabbiosi cui sottostanno le Sabbie Gialle di Imola (IMO).
L'area in oggetto è situata tra via Valverda e via Lughese.

Diversi studi effettuati sull'area, fra cui anche le analisi geologiche a corredo del Piano Infraregionale delle Attività Estrattive testimoniano che nell'area al di sotto delle alluvioni del fiume Santerno sono presenti le Sabbie di Imola e che queste si estendono in profondità almeno fino a 70 m dal piano campagna.

I terreni in posto non sono visibili direttamente, se n'è quindi ricavata la natura e le caratteristiche, in particolare la velocità sismica, mediante le prove MASW e HVSR. È stata acquisita una prova MASW, tramite uno stendi mento di lunghezza 69 metri, lungo il lato nord dell'area in oggetto, e sono state acquisite due prove HVSR: una a metà dello stendi mento sismico e l'altra al centro dell'area.
Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'interpolazione dei dati ricavati da bibliografia, dalle prove pregresse effettuate nei dintorni dell'area e dalle analisi sismiche effettuate a maggio 2018.

Nella zona indagata sono individuabili dall'alto verso il basso i seguenti orizzonti stratigrafici:

- Uno strato di limi sabbioso argillosi fino circa 5,0 m dal piano campagna,
- Uno strato di sabbie e ghiaie spesso da 5 m a 12 m dal piano campagna proveniente dai depositi grossolani del fiume Santerno ubicato ad est dell'area.
- la presenza di uno strato di limo argilloso di 2.20 m di spessore alla profondità di 12.10 m .
- Le ghiaie riprendono alla profondità 14.90 dal piano campagna e proseguono fino ad una profondità di circa 38 m.

Si precisa però che gli spessori possono non essere omogenei all'interno dell'area, a causa della genesi alluvionale dei terreni indagati.

Morfologicamente la zona interessata dall'intervento si presenta orizzontale. L'idrologia superficiale è regimata da una rete di fossi lato strada e agrari che drenano le acque superficiali al fiume Santerno.

Si riporta di seguito la Carta geologica dell'area elaborata dal Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia Romagna; in rosso è indicata la prova MASW e in giallo le prove HVSR.

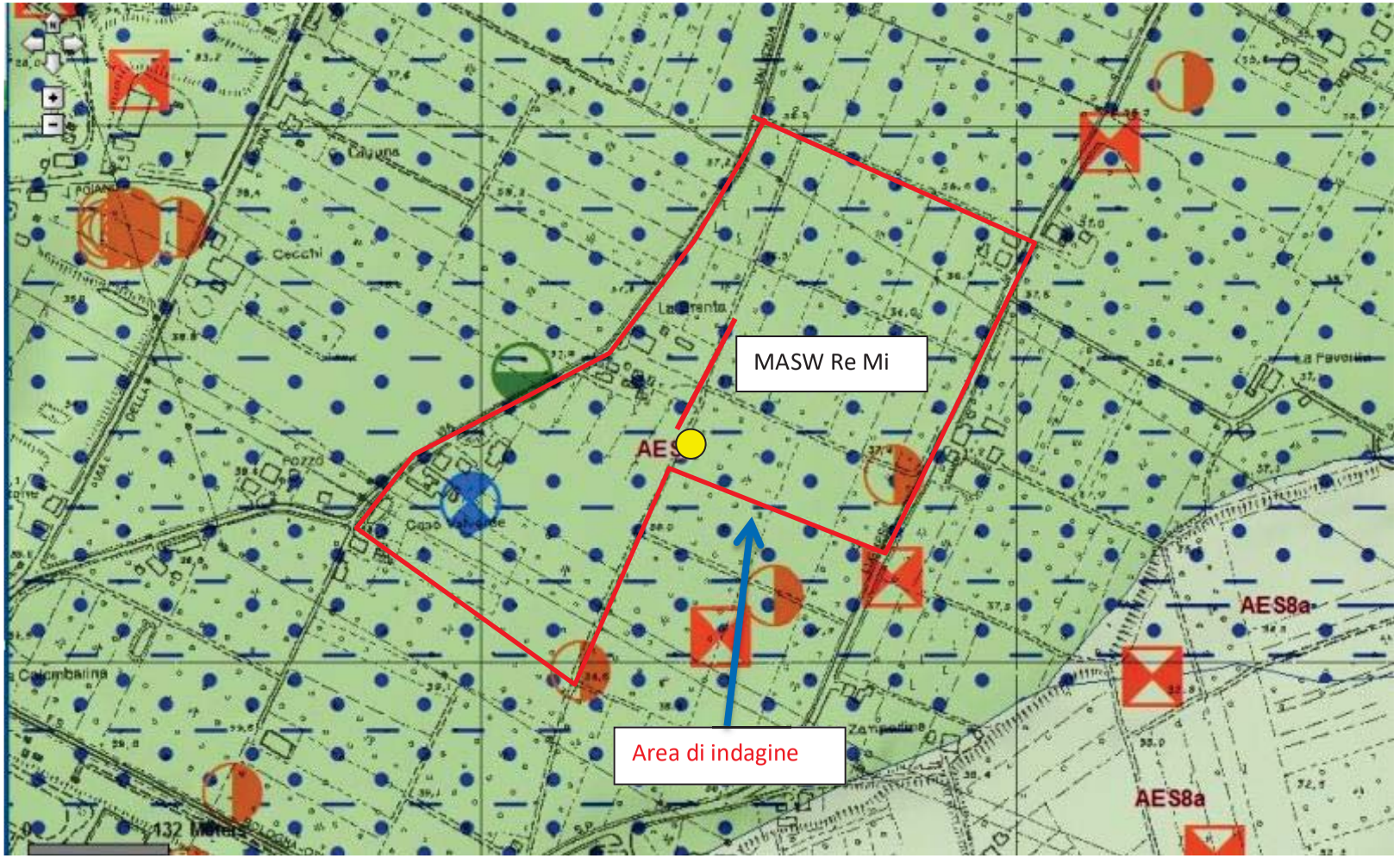


Fig. 12: Ubicazione delle Prove MASW e HVSR

Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio scheda d'ambito PSC Imola e foto <<Google Earth>>)



Imm. 1 e 2: ubicazione MASW e HVSR

10 Sismicità dell'area

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Imola, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

In riferimento a tale bozza il Comune di Imola ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Imola è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

hi spessore dell'i-esimo strato;

- *VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;*
- *N numero di strati;*
- *H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.*

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla categoria ***C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.***

10.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è

possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità Vs, compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a 32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 25 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

10.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale "TrominoR" in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto perio- do. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l'analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Iga- rashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L'elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo

*fr = Vs/4*H con H = spessore dello strato*

In questo modo, le misure tromografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un'indagine non invasiva e l'acquisizione avviene tramite l'utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d'indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita vie- ne elaborata tramite l'utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario "smoothing" (lisciamento) del segnale, poi la rappresenta- zione grafica dell'amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tromografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell'acquisizione di 20 minuti. L'elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per le prove espletate, la registrazioni hanno necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 17% e al 12% delle tracce acquisite.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

10.3 Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017)

Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alla frequenza di circa 8,5 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata

Vs30 a partire dal suolo pari circa a 336,3 m/s.

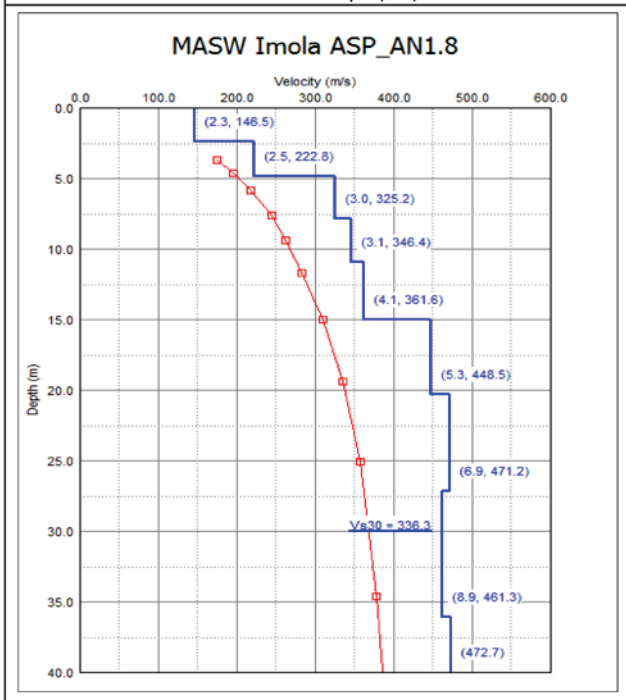
Sulla base dei dati geofisici si fornisce di seguito l'aggiornamento della caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2015. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della
DAL 112/2007.

L'area di studio è classificabile nel macro contesto denominato <<*Margine appenninico di tipo B: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, caratterizzato da spessore di terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato geologico*>>.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 1,6;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 1,7;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 2,1;
- FA SI (0.5s-1.5s) = 2.2.

ordinata il tempo (ms).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_S (m/s)
1	2.3	2.3	146.5
2	4.8	2.5	222.8
3	7.8	3.0	325.2
4	10.9	3.1	346.4
5	15.0	4.1	361.6
6	20.3	5.3	448.5
7	27.2	6.9	471.2
8	36.1	8.9	461.3
9	∞	∞	472.7

V_{S30} = 336.3 ± 10% [m/s]

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

11 Microzonizzazione Sismica

Il Comune di Imola ha approvato la Microzonazione sismica individuando le aree suscettibili di effetti locali e costruendo una carta di Sintesi tavola 10 in cui sono riportate le aree oggetto di approfondimento di secondo o terzo livello.

Il lotto oggetto di studio ricade all'interno delle aree oggetto di secondo livello di approfondimento. Le indagini effettuate hanno permesso di verificare tutti i fattori possibili di amplificazione:

- massima accelerazione PGA (Peak Gravitational Acceleration)
- Fattori di amplificazione SI di Housner nell'intervallo di periodi 0,1÷0,5 sec –
- Fattori di amplificazione SI di Housner nell'intervallo di periodi 0,5÷1,0 sec.

I risultati dell'analisi effettuata non hanno evidenziato fattori di rischio aggiuntivi ed i valori di amplificazione sono risultati coerenti con quanto determinato dalla microzonazione sismica.

Di seguito si riportano degli estratti delle tavole della Microzonazione sismica.

Carta di Sintesi Tavola 10



Legenda

- Ambiti del territorio urbanizzato e urbanizzabile
- Aree oggetto di approfondimento di secondo livello
- Aree oggetto di approfondimento di terzo livello

Carta di analisi - Potenziale liquefazione nelle aree di pianura

Tavola 2



Analisi liquefazione banca dati Regione Emilia-Romagna

Negativo

Positivo

Carta di analisi - Potenziali cedimenti post-sismici nelle aree di pianura

Tavola 3



Pianura analisi cedimenti

Area con ininfluente presenza di depositi coesivi molto soffici

Area con depositi coesivi molto soffici (Cu<70 KPa)

Analisi cedimenti banca dati Regione Emilia-Romagna

Cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con Cu<70KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Potenziali cedimenti post-sismici per presenza di spessori comulati compresi tra 3 e 10 m di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Analisi cedimenti banca dati Circondario Imolese

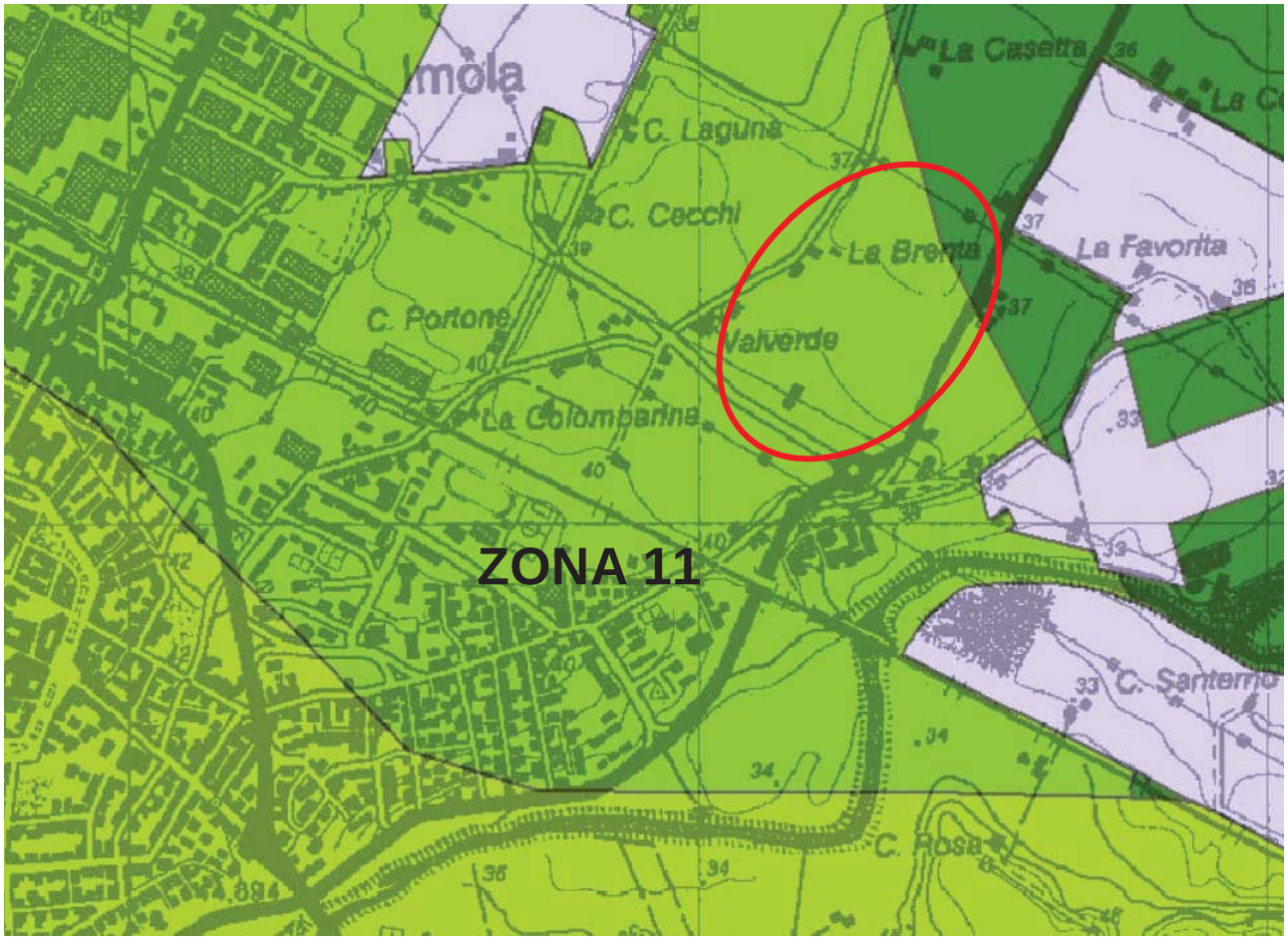
Cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con Cu<70KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Potenziali cedimenti post-sismici per presenza di spessori cumulati compresi tra 3 e 10 m di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Carta di analisi - Modelli geologici nelle aree di pianura

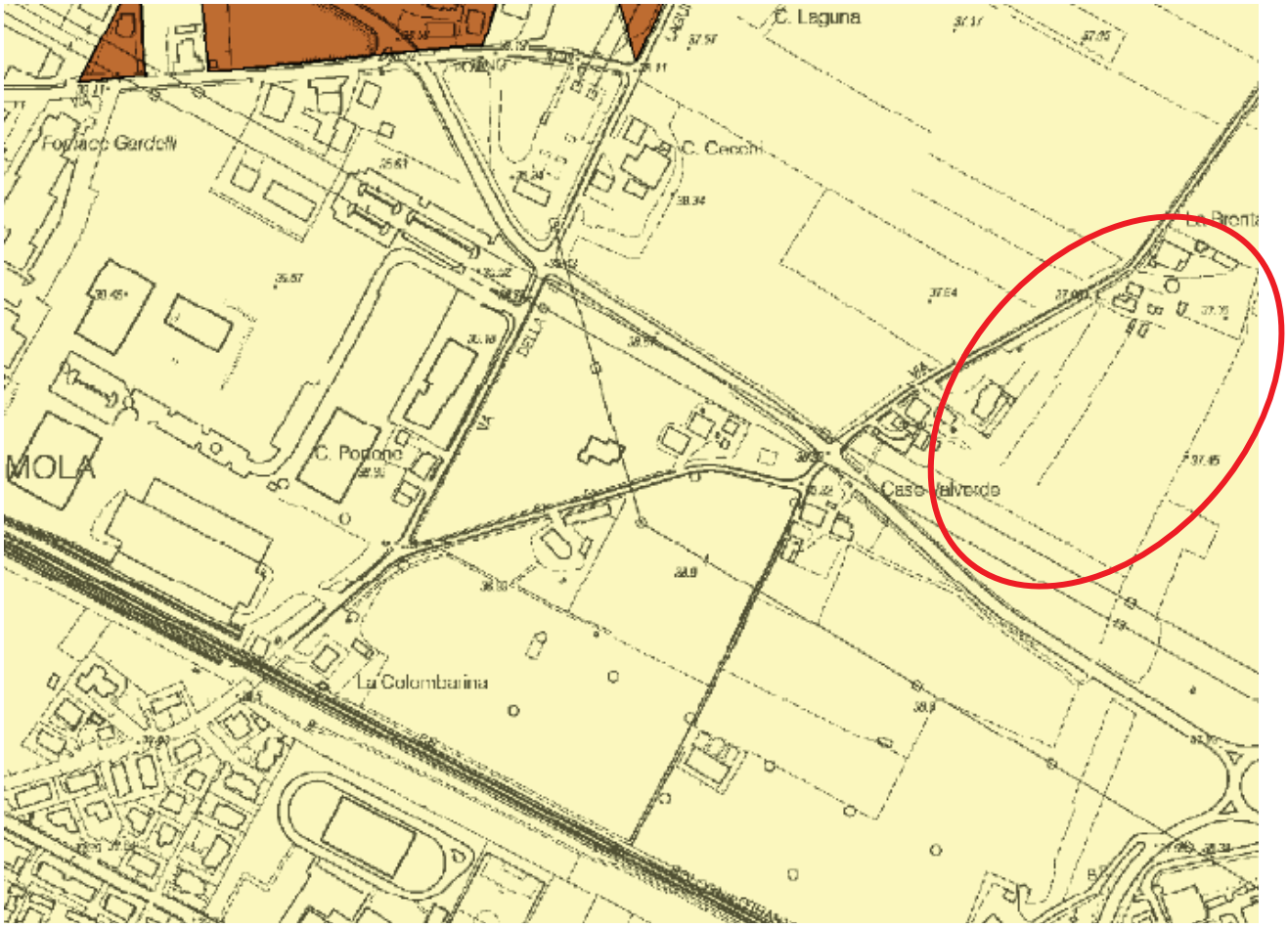
Tavola 4



Zona 11		
	Descrizione litologico-tessiturale	Note
Unità 1	Depositi di copertura prevalentemetne limosi (con argille più raramente sabbie) di spessore limitato a pochi metri (massimo 5-6)	Conoide del Santerno. Localmente (estremità settore a NO della Zona) nell'Unità 1 possono essere presenti strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili
Unità 2	Depositi prevalentemente ghiaiosi pluridecametrici derivanti dall'amalgamazione di orizzonti grossolani riferibili a unità stratigrafiche diverse. Sono presenti intercalazioni sporadiche (1-2m) di peliti e/o sabbie limose	

Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali

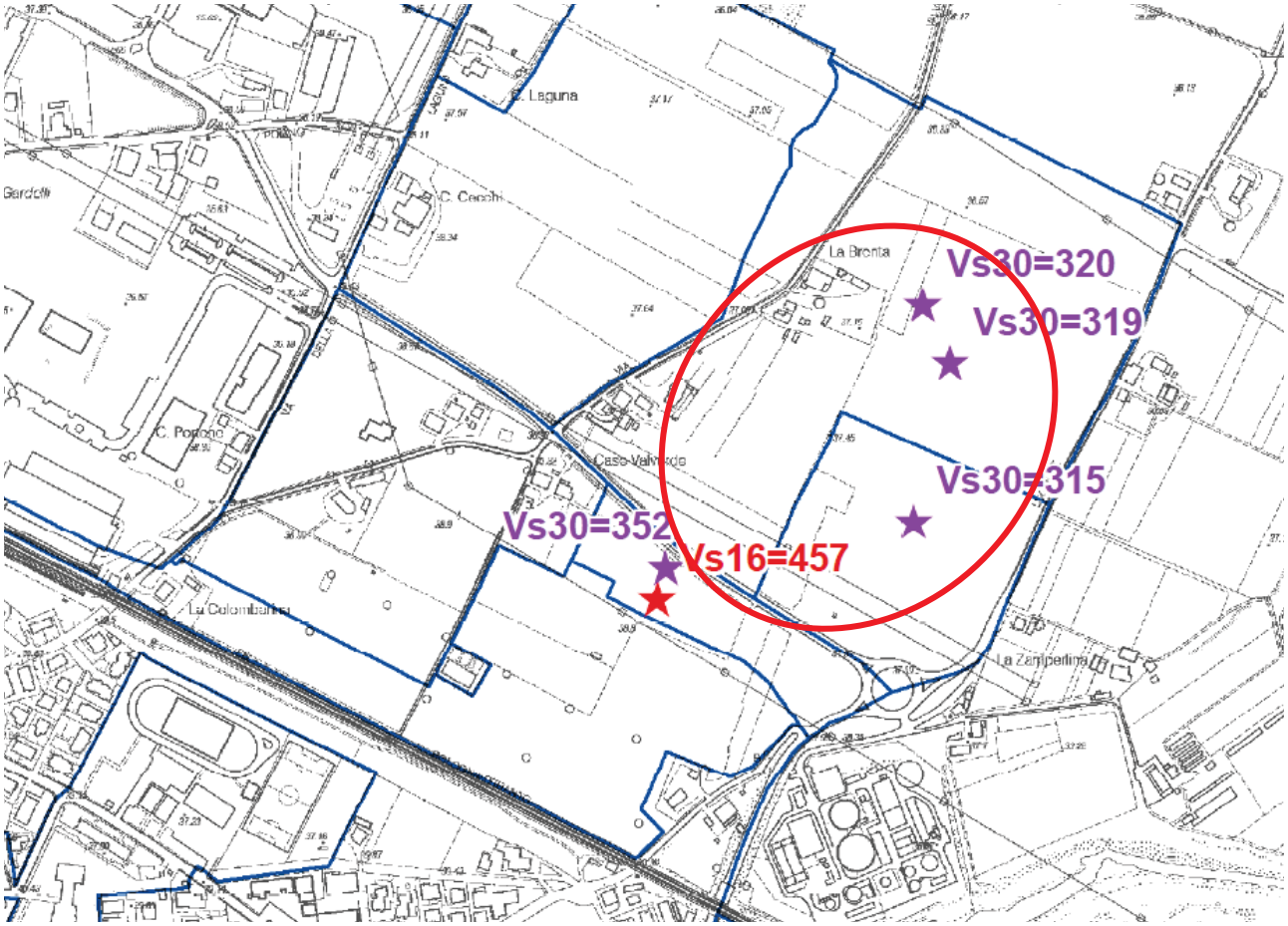
(Analisi di I livello) Tavola 5



A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
Studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico.
Microzonazione sismica di secondo livello

Microzonazione Sismica

Carta delle velocità Tavola 6



Legenda

Confini comunali

Ambiti del territorio urbanizzato e urbanizzabile

Velocità

Vs30 [Vs30 = 315 (m/s)]

Vsh [Vs16 (m) = 457 (m/s)]

Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione PGA (Analisi di II livello) Tavola 7



Fattore di amplificazione PGA

	1,3		1,8
	1,4		1,9
	1,5		2,0
	1,6		2,1
	1,7		

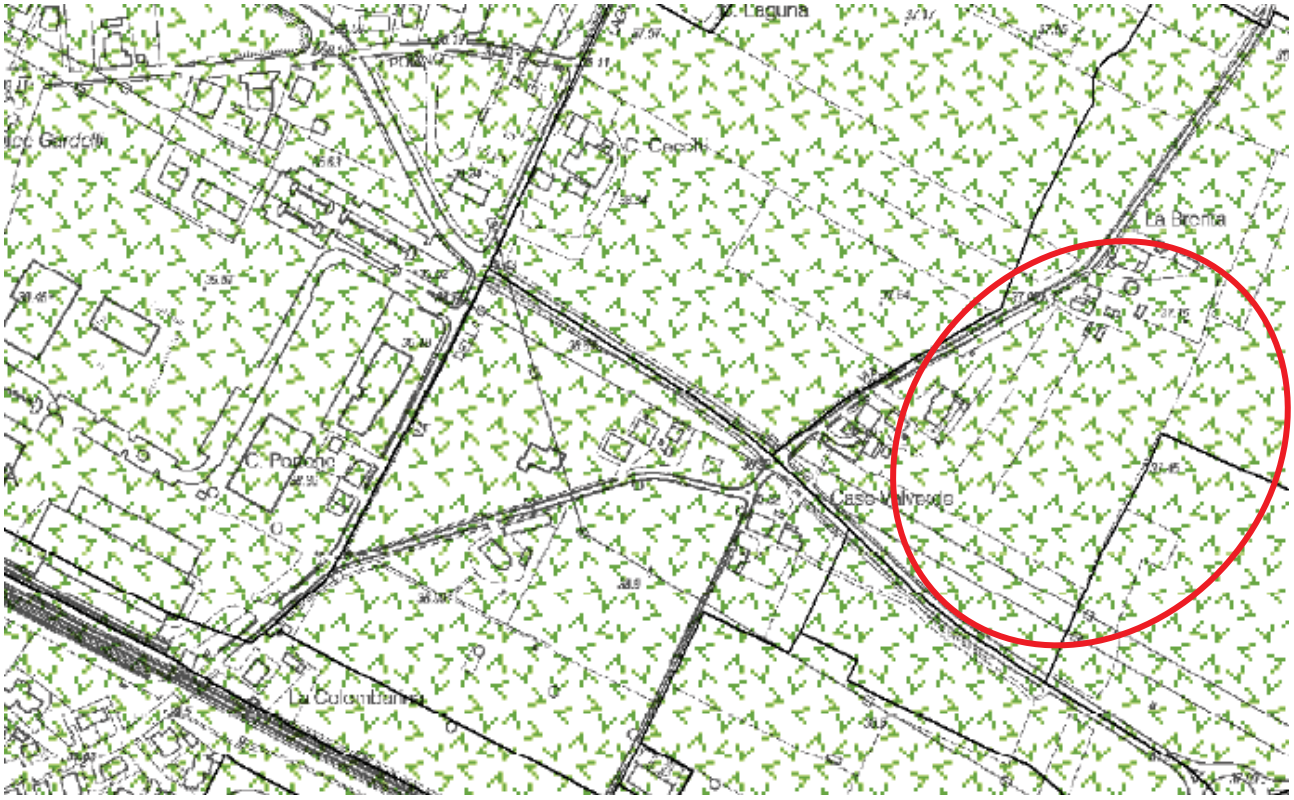
Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi) (Analisi di II livello) Tavola 8



Fattore di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi)

	1,3		2,0
	1,5		2,1
	1,6		2,2
	1,7		2,3
	1,8		2,4
	1,9		

Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione SI (0.5-1.0 secondi) (Analisi di II livello) Tavola 9



Fattore di amplificazione SI (0.5-1.0 secondi)

	1,0		1,9
	1,1		2,0
	1,2		2,1
	1,3		2,3
	1,4		2,4
	1,5		2,5
	1,6		2,6
	1,7		2,8
	1,8		

12 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- I terreni sono omogenei nell'area infatti. Nella zona indagata sono individuabili dall'alto verso il basso i seguenti orizzonti stratigrafici:

- Uno strato di limi sabbioso argillosi fino circa 5,0 m dal piano campagna,
- Uno strato di sabbie e ghiaie spesso da 5 m a 12 m dal piano campagna proveniente dai depositi grossolani del fiume Santerno ubicato ad est dell'area.
- la presenza di uno strato di limo argilloso di 2.20 m di spessore alla profondità di 12.10 m .
- Le ghiaie riprendono alla profondità 14.90 dal piano campagna e proseguono fino ad una profondità di circa 38 m.

- Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito (MASW riportata in allegato 2) si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)**
- Le caratteristiche di consistenza dei terreni, l'assenza di falda idrica ed i calcoli effettuati assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alla frequenza di circa 8,5 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).
- Il fattori di amplificazione derivanti dalla microzonazione sismica regionale come da D.G.R. 2193/2015 riportati sono da interpretare come un supporto alla pianificazione individuando aree in cui il fenomeno dell'amplificazione sismica si può verificare.
- Dalle indagini effettuate nell'area che sarà oggetto di costruzione, non si sono evidenziate condizioni che possano provocare effetti di amplificazione del fenomeno sismico e, pertanto, è possibile calcolare le strutture con le strutture applicando quando indicato dalle N.T.C. 2008

Imola 09 maggio 2018



Allegato 1
Ubicazione intervento



Allegato 2

Indagine Sismica

Studio Samuel Sangiorgi
Geologia Applicata

Via Valsellustra 32
40060 Dozza - BOLOGNA

Comune: COMUNE DI IMOLA (BO)

Oggetto:

Indagine geofisica di superficie mediante tecnica combinata MASW/Re.Mi. e registrazioni HVSR in via Valverda, Ambito ASP_AN1.8, Comune di Imola (BO)

RELAZIONE GEOFISICA (DGR 2193/2015)

Stesura: Maggio 2018

Elaborazione: Dott. Geol. Antonio Milioto



Committente: Dott. Geol. Maurizio Castellari

tel/fax 0542 640279 mail info@studiosamuelsangiorgi.eu
www.studiosamuelsangiorgi.eu

1. Premessa

Lo Studio scrivente è stato incaricato dal dott. geol. Maurizio Castellari di eseguire un'indagine finalizzata alla stima delle velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni di un'area da inserire all'interno del POC del Comune di Imola (BO). L'area di studio è localizzata in via Valverda, all'interno dell'Ambito ASP_AN1.8, in Comune di Imola (Figura 1).

Le Vs sono state valutate sulla base di uno stendimento sismico attivo/passivo tipo MASW/Re.Mi. e di una prova sismica speditiva di acquisizione passiva del rumore sismico ambientale, effettuata con strumento tromografico portatile ad alta risoluzione.

Si fornisce infine la stima delle velocità equivalenti di legge (VsH; Vs_{30}) ai sensi della DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna.

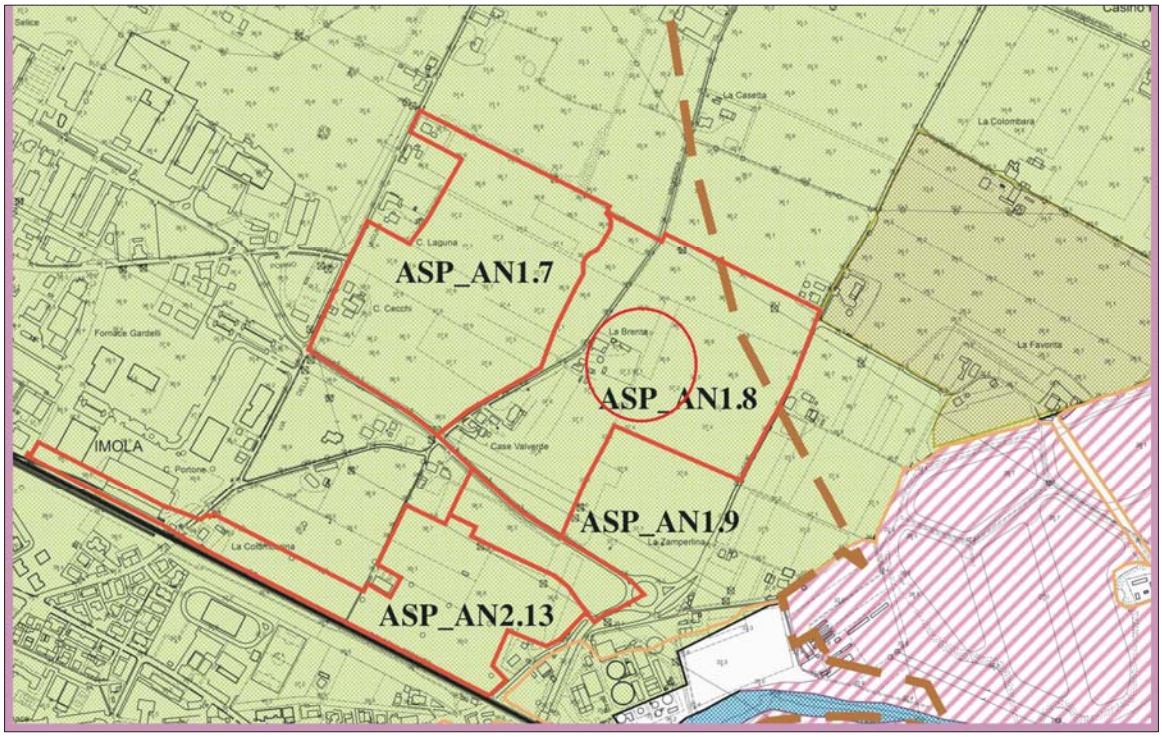




Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio scheda d'ambito PSC Imola e foto <<Google Earth>>)

2. Modalità d'indagine

2.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità Vs, compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a 32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 15 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 2 - Stendimento sismico MASW/Re.Mi.

2.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale “TrominoR” in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto periodo. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l’analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L’elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo

$$fr = Vs/4*H \quad con \quad H = spessore\ dello\ strato$$

In questo modo, le misure tromografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un’indagine non invasiva e l’acquisizione avviene tramite l’utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d’indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita viene elaborata tramite l’utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario “smoothing” (lisciamento) del segnale, poi la rappresentazione grafica dell’amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tromografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell’acquisizione di 20 minuti. L’elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per la prova espletata, la registrazione ha necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 25% della traccia acquisita.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 3 – Registrazione HVSR

3. Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2015)

Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alla frequenza di circa 8,5 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata una Vs30 a partire dal suolo pari circa a 336,3 m/s.

Sulla base dei dati geofisici si fornisce di seguito l'aggiornamento della caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2015. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della DAL 112/2007.

L'area di studio è classificabile nel macro contesto denominato <<*Margine appenninico di tipo B: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, caratterizzato da spessore di terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato geologico*>>.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 1,6;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 1,7;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 2,1;
- FA SI (0.5s-1.5s) = 2.2.

Elaborazione: dott. geol. Antonio Milioto

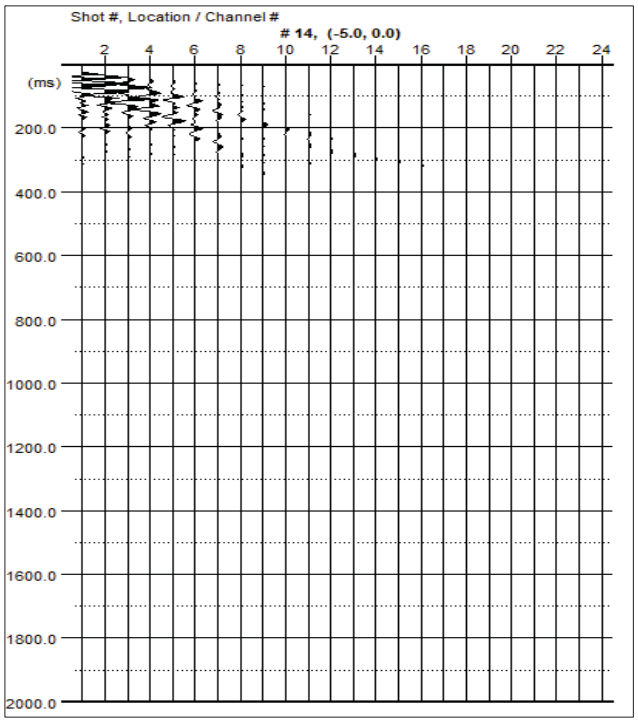


PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA ATTIVA MASW/PASSIVA MASW/Re.Mi.

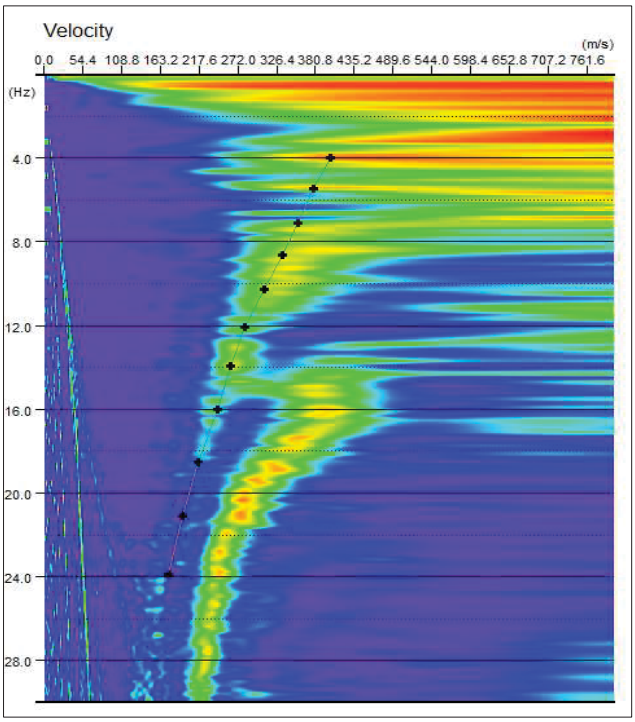
Ambito ASP_AN1.8, via Valverda – Comune di Imola (BO)

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
15	3,0	69,0	0,5/2,0	2,0/32,0

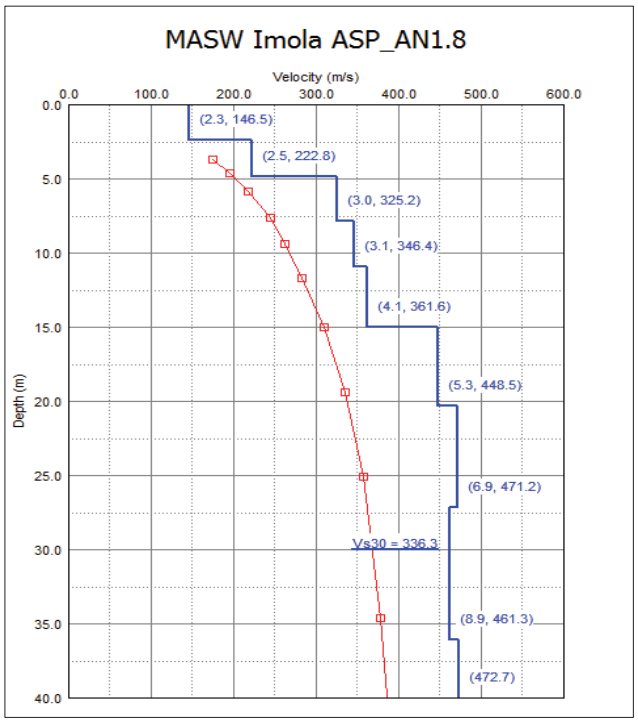
Δx: interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt: passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio *f-v* e Picking della curva sperimentali delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_S (m/s)
1	2.3	2.3	146.5
2	4.8	2.5	222.8
3	7.8	3.0	325.2
4	10.9	3.1	346.4
5	15.0	4.1	361.6
6	20.3	5.3	448.5
7	27.2	6.9	471.2
8	36.1	8.9	461.3
9	∞	∞	472.7

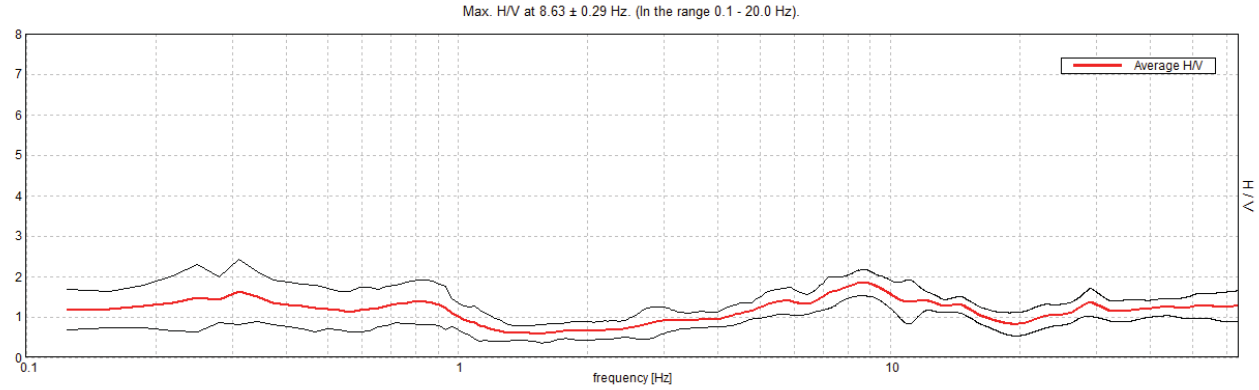
V_{S30} = 336.3 ± 10% [m/s]

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

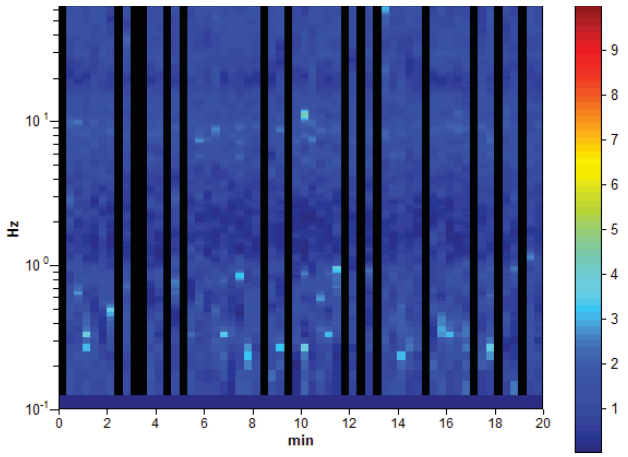
IMOLA - ASP_N1.8, via Valverda, TR1

Instrument: TRZ-0108/01-10
Start recording: 30/04/18 12:28:20 End recording: 30/04/18 12:48:21
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h20'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

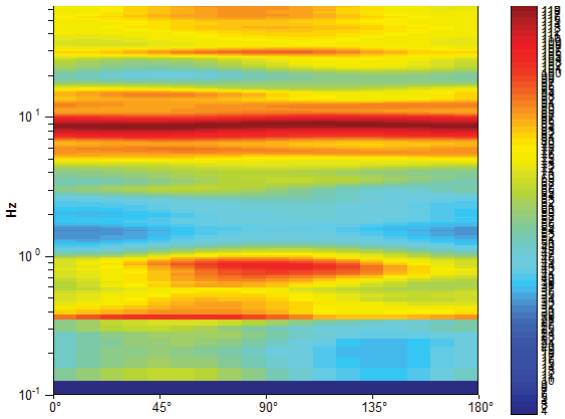
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



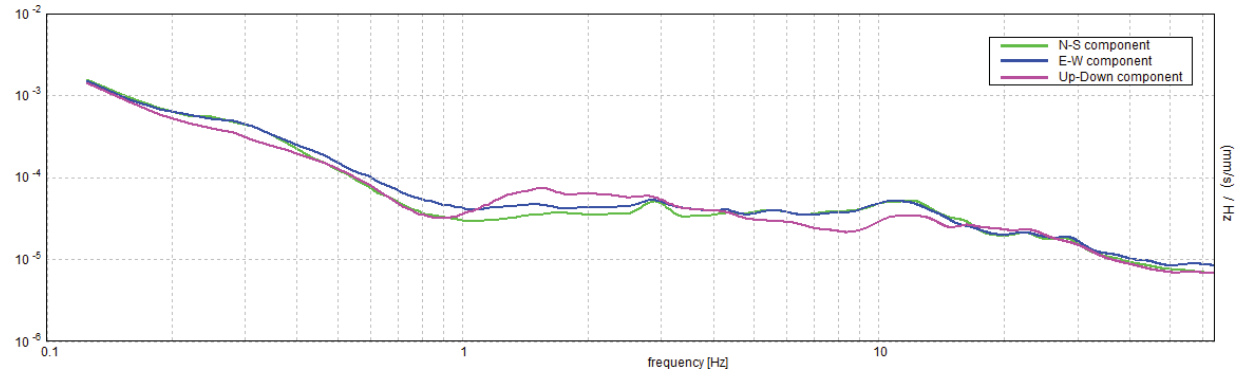
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 8.63 ± 0.29 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7762.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 415 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.84 > 2		NO
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.01643| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.14175 < 0.43125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.158 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

STUDIO GEOLOGICO AMBIENTALE
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
Via P Mascagni 3 40026 Imola BO
Tel. 0542/684648 cell. 334/2075125
Indagini Geologiche e Ambientali

CITTA' DI IMOLA
PERMESSO DI COSTRUIRE N° 25 DEL 29/6/17
Termine per l'inizio lavori: un anno dalla data del permesso
Termine per l'ultimazione: tre anni dalla data del permesso

IL DIRIGENTE
Servizio Pianificazione,
Edilizia Privata e Ambiente
Arch. Michele Zanelli

CITTA' DI IMOLA
ARRIVO
- 5 LUG. 2016
SERVIZIO EDILIZIA PRIVATA
E AMBIENTE

RELAZIONE SULL'INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA ESEGUITA PER L'AMBITO URBANO CONSOLIDATO AUC_B COMPARTO N127: CA' NOVA BELVEDERE VIA ASCARI - IMOLA

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA-ROMAGNA
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
GEOLOGO SEZ.A
N. 564 ALBO P.*

Committenti:
Sig. Tampieri Claudio
Sig ra Baldazzi Maria
Via Galvano della Volpe 2
Imola

Imola 03 marzo 2016

COMUNE DI IMOLA

OPERE DI URBANIZZAZIONE
in area AUC_B
Ambito N127 - CA' NOVA BELVEDERE
Via Alberto Ascari, Via Dei Colli - Imola
PERMESSO DI COSTRUIRE CONVENZIONATO

Codici: **2016**	**Elab. n.** DG07
Data: **30 Giugno 2016**	**Revisione:** A

Dott. Maurizio Castellari Via P Mascagni 3 40026 Imola (BO) Tel 334 2075125 - 0542 684648
mail: castellari.geo@gmail.com P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

Sommario

1 Premessa 3
2 Inquadramento geologico regionale 5
2.1 Inquadramento geologico strutturale 5
2.2 Inquadramento geologico 7
3 Stratigrafia 10
3.1 Settore appenninico 10
3.1.1 –Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico 10
3.1.2 Argille azzurre (fAA) (cfr ril in 254 e 238) 11
3.1.3 Sabbie di Imola (IMO) (cfr sabbie gialle di Imola, auctt) 13
3.2 Settore di pianura 15
3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura 16
4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali 18
4.1 Supersintema emiliano-romagnolo 18
4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI) 18
4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES) 24
4.2.1 Subsintema di Bazzano (AES6) 26
5 Associazioni di facies 28
5.1 Depositi alluvionali 28
5.1.1 Ghiaie di canale fluviale 28
5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale 29
5.1.3 Limi e argille di piana inondabile 29
6 Inquadramento geologico 30
7 Prove penetrometriche 33
8 Litologia e caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni 34
9 PROGETTAZIONE GEOTECNICA 34
9.1 Approccio 2 37
10 CARATTERISTICHE EDIFICATORIE 41
11 CALCOLO DEI CEDIMENTI 42
12 SISMICITA' DELL' AREA 43
12.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HTMR 45
13 CONCLUSIONI 53

1 Premessa

Su incarico dei Sig.ri Tampieri Claudio Baldazzi Maria residenti in Via Galvano della Volpe 2 in Comune di Imola , è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica per l'Ambito Urbano Consolidato AUC_B Comparto n127: Ca' Nova Belvedere in via Ascari, in Comune di Imola, come da planimetria allegata, intesa ad accertare alcune caratteristiche geomeccaniche dei terreni su cui dovranno effettuarsi gli interventi come da progetto.

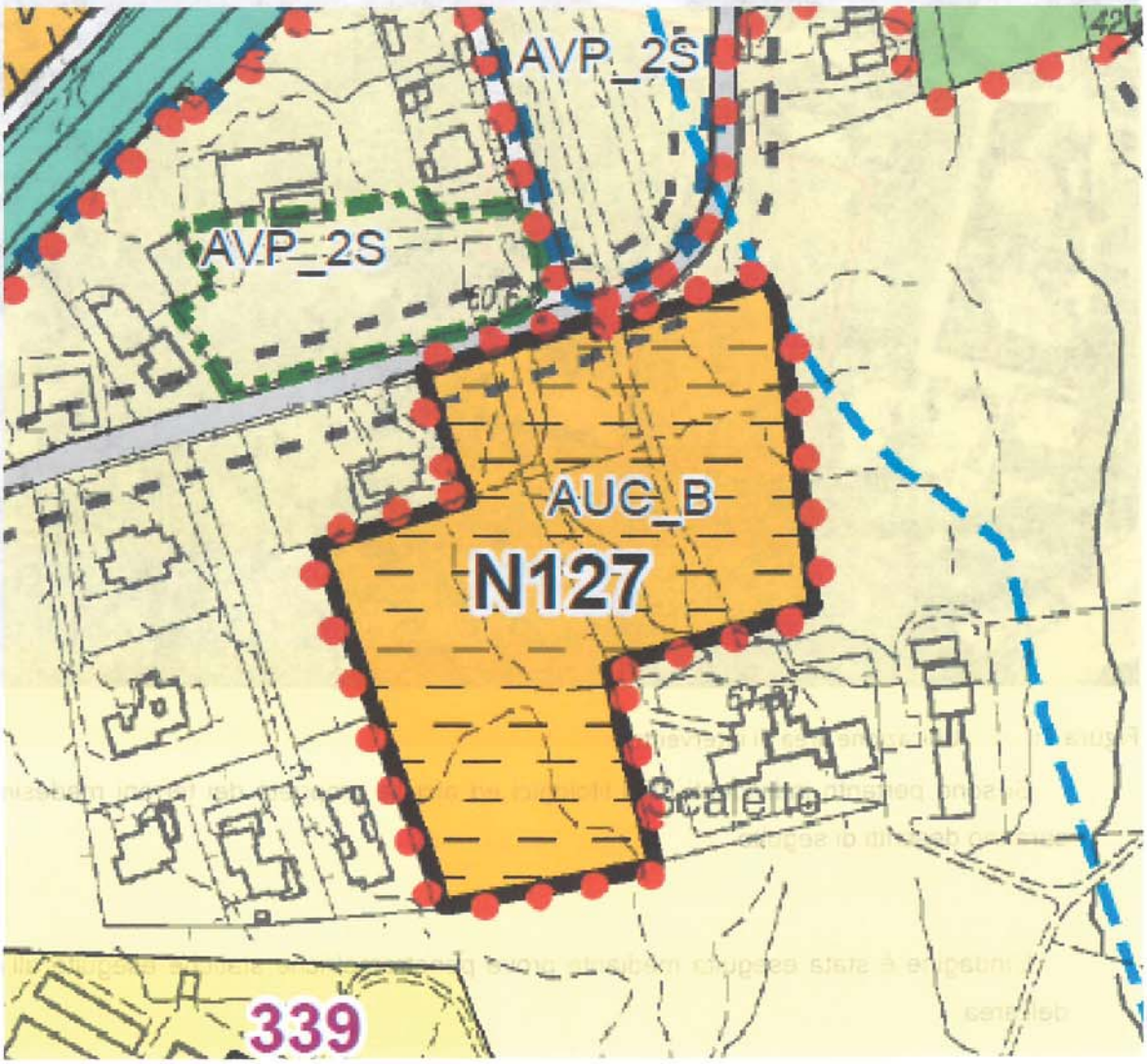


Figura 1: Planimetria dell'area estratta dal RUE



Figura 2: Ubicazione area di intervento

Si sono pertanto individuati i tipi litologici ed alcune proprietà dei terreni medesimi, che saranno descritti di seguito.

L'indagine è stata eseguita mediante prove penetrometriche statiche eseguite all'interno dell'area.

In planimetria (Allegato 1.) è indicata l'area di intervento.

In Allegato 2. sono indicati i punti d'esecuzione delle prove penetrometriche.

In Allegato 3. sono riportati i diagrammi di resistenza dei terreni.

2 Inquadramento geologico regionale

2.1 Inquadramento geologico strutturale

Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedeapenninic Thrust Front o PTF (Boccaletti et al., 1985). Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985), separa la catena in via di sollevamento a sud da un'area fortemente subsidente a nord.

Le ricerche condotte dall'AGIP nel corso degli ultimi decenni hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano mediante l'interpretazione di profili sismici (Pieri & Groppi, 1981; Dondi et al., 1982; Castellarin et al., 1985; Dondi & D'Andrea, 1986; Dalla et al., 1992). Recentemente, sulla base di criteri stratigrafico-sequenziali, Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Regione Lombardia & ENI-Divisione Agip (2000) hanno suddiviso il Bacino Padano in sette sequenze deposizionali, delimitate a base e a tetto da superfici di inconformità e da superfici correlative di continuità stratigrafica (figura 1). Queste sequenze, i cui limiti marcano importanti fasi di ristrutturazione del bacino nel corso dell'orogenesi, con denudamento delle aree marginali e incremento della subsidenza in quelle centrali, mostrano un grado di deformazione progressivamente decrescente dal basso verso l'alto, con valori minimi in corrispondenza della successione medio e tardoquaternaria.

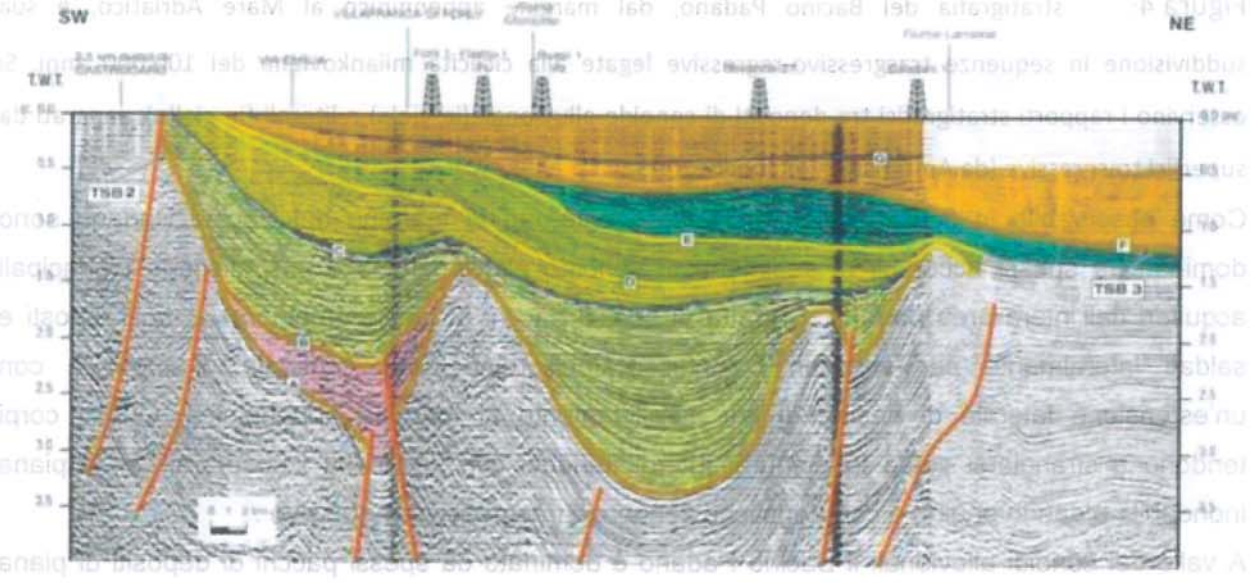


Figura 3: sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità "G" in figura 1) consente una buona preservazione dei rapporti originari

tra facies all'interno dei depositi datati agli ultimi 400.000 anni. Ricostruzioni stratigrafiche e sedimentologiche di dettaglio all'interno di questa sequenza, basate sullo studio di sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 200m, hanno messo in luce come una ciclicità deposizionale alla scala milankoviana, definita dall'alternanza di cicli glaciale/interglaciale di circa 100.000 anni di durata, rappresenti il principale elemento di controllo dell'architettura stratigrafica (Amorosi et al., 2004; Amorosi & Colalongo, 2005), permettendo l'attribuzione delle superfici trasgressive a successivi episodi interglaciali (stadi isotopici dell'ossigeno 1, 5e, 7, 9 e 11 in Fig. 2 - Amorosi & Colalongo, 2005).

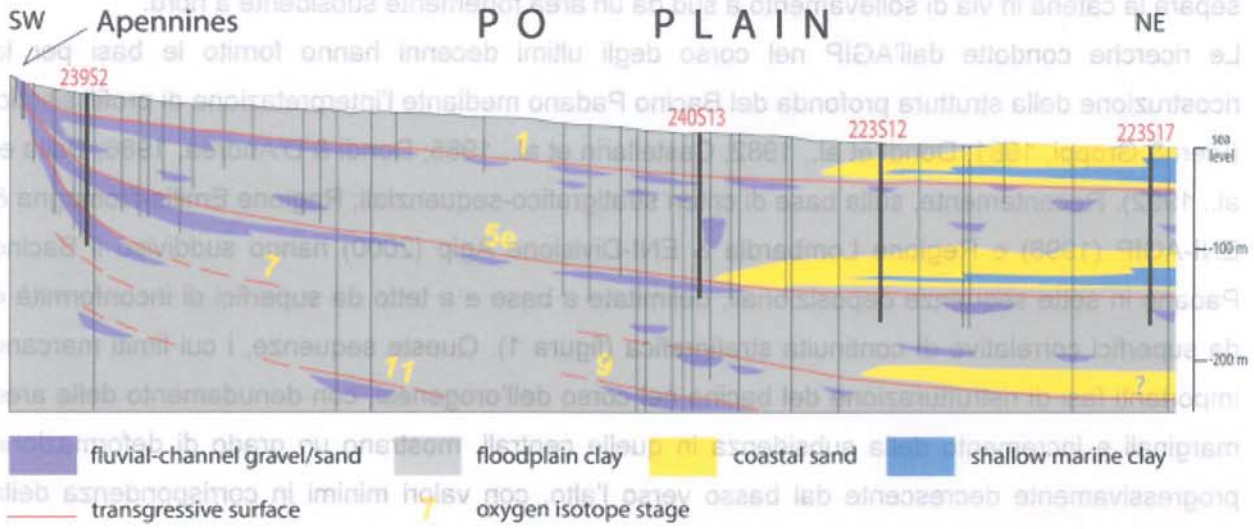


Figura 4: stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale(in viola) e litorali (in giallo), separati da superfici trasgressive (da Amorosi & Colalongo, 2005).

Come osservabile in figura 2, i depositi tardoquaternari al margine del Bacino Padano sono dominati da spessi accumuli di sedimenti di conoide alluvionale, che costituiscono i principali acquiferi dell'intera area padana. Si tratta di spessi pacchi di ghiaie amalgamate, sovrapposti e saldati lateralmente per spessori complessivi dell'ordine delle centinaia di metri e con un'estensione laterale di decine di km parallelamente al margine appenninico. Questi corpi tendono a sfrangiarsi verso la pianura, interdigitandosi con sedimenti limoso-argillosi di piana inondabile e dando origine a caratteristiche sequenze trasgressivo-regressive .

A valle dei conoidi alluvionali il Bacino Padano è dominato da spessi pacchi di depositi di piana inondabile, che si interpongono tra i corpi di conoide alluvionale ed un secondo sistema di acquiferi, legato all'attività del Fiume Po. La piana costiera, infine, presenta caratteristici corpi sabbiosi cuneiformi di spiaggia, derivanti dalla migrazione della linea di costa verso terra durante le

maggiori pulsazioni trasgressive, seguita dalla progradazione dei sistemi costieri (delta e spiagge) durante le successive fasi di stazionamento alto del livello del mare (figura. 2).

2.2 Inquadramento geologico

Il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano; la porzione sud-occidentale, pari a circa il 40%, è costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo mentre la maggior parte del foglio, nord-orientale, appartiene alla Pianura Padana

Le unità geologiche affioranti nel settore appenninico appartengono alla Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola (da qui in avanti UMR), alla Successione evaporitica messiniana e alla Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Si tratta di successioni che non hanno subito importanti traslazioni orizzontali e perciò ritenute autoctone. Le successioni affioranti si immergono a monoclinale, piuttosto regolarmente, verso nord-est e in pianura sono ricoperte dai depositi alluvionali padani (fig. 2).

Per la regolare immersione verso nord-est, l'età delle formazioni affioranti è sempre più giovane procedendo da sud-ovest verso nord-est.

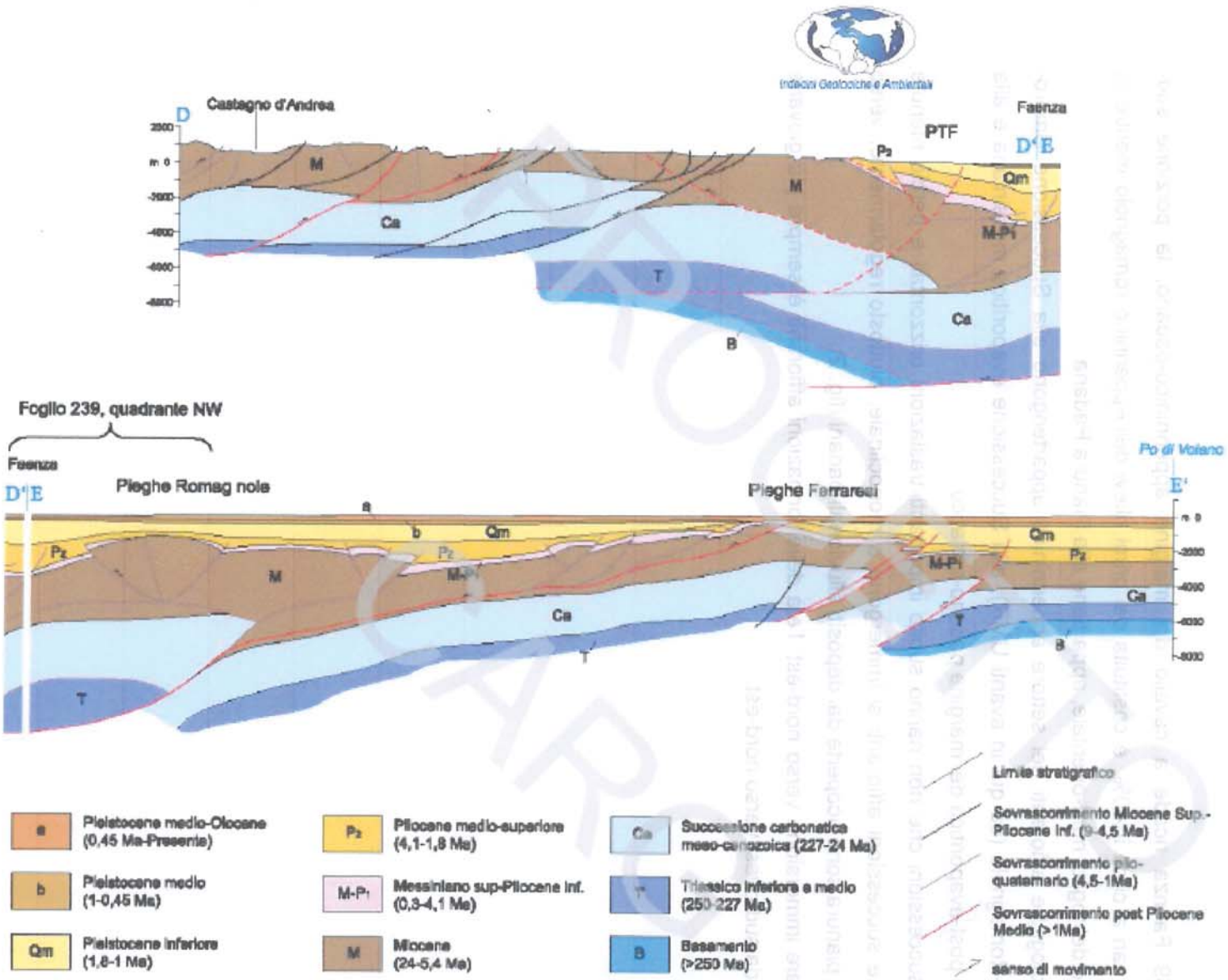


Fig. 2 - *Sezione geologico-strutturale dal crinale dell'Appenino tosco-romagnolo al Po (da* BOCCALETTI *et alii*, 2004).

Arealmente la maggior estensione delle unità appenniniche affioranti è rappresentata dai terreni plio-pleistocenici, mentre la maggiore caratterizzazione dei rilievi è dovuta alla "vena del gesso" messiniana, che per la sua peculiarità lito- logica caratterizza in modo evidente da un lato gli aspetti naturalistici, quali ad esempio geositi e clima, dall'altro gli insediamenti umani e la storia dell'area

Altra particolarità di questo foglio è, per le unità appenniniche, la notevole estensione dei depositi marini pleistocenici, di solito scarsamente rappresentati nei fogli limitrofi.

L'unità stratigrafica affiorante più antica è la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA), di cui il Membro di Dovadola (Tortoniano inferiore) costituisce nel foglio in esame l'unità stratigraficamente più bassa mentre la parte alta è rappresentata dal Membro di Borgo Tossignano (Tortoniano superiore) che rappresenta la fine della sedimentazione torbiditica nell'avanfossa miocenica.

Il passaggio al Messiniano presenta iniziali condizioni di mare aperto (ambiente epibatiale dell'unità Ghioli di Letto, GHL) a cui fa seguito il graduale abbassamento relativo del livello del mare che porta all'instaurarsi di bacini confinati caratterizzati da forte evaporazione, fino ad ambienti di "sabka" in cui si è sedimentata la Formazione della Vena del Gesso (VGS) Dopo la crisi di salinità del Messiniano si instaurano condizioni di lago-mare e laguna, testimoniati dai depositi della Formazione a Colombacci (FCO) (ricci Lucchi et alii, 1982)

Le unità messiniane, tuttavia, sono qui rappresentate da una successione incompleta per la presenza di una superficie inconforme che oblitera di frequente i termini più alti quali la FCO, mentre forti disturbi tettonici in destra del torrente Sintria (un affluente di destra del torrente Senio), alterano il passaggio dai depositi fini appartenenti a GHL e VGS.

Un contatto paraconcordante separa i depositi continentali e di laguna appartenenti a FCO da quelli francamente marini delle Marne di Cella (CEA) e di avanfossa appartenenti alle Argille Azzurre (FAA) di età compresa tra il Pliocene basale, età delle Marne di Cella, e la parte alta del Pleistocene inferiore, tetto delle Argille Azzurre Per tutta la durata del Pliocene si mantengono condizioni di sedimentazione bacinali; tuttavia, nel Pliocene Medio, si depositano anche sedimenti legati a locali condizioni euxiniche (litofacies tripolacea, FAAtr) e depositi clastici organogeni

Dal Pleistocene inferiore si instaura un trend marcatamente regressivo; entro i depositi di FAA si osserva infatti un graduale passaggio da condizioni di scarpata continentale ad ambienti litorali, come evidenziato dalle peliti di Terra del Sole (FAAts) Nell'area del foglio è stato inoltre descritto, per la prima vol- ta, un ulteriore ciclo trasgressivo-regressivo (Arenarie e Argille di Savignano) al tetto di FAA, attribuito alla parte terminale del Pleistocene inferiore (Amorosi et alii, 1998b; Vaiani, 2000) e correlato con le Arenarie e Argille di Savignano (FarabegoLi, 1987), già descritte nel Foglio 256 Rimini (2005) Al di sopra di questi sedimenti con una superficie discordante erosiva su FAAts e localmente sulle Arenarie e Argille di Savignano si hanno le Sabbie di Imola (Amorosi et

alii, 1998a). Si tratta di depositi medio pleistocenici, essenzialmente litorali, che costituiscono le unità marine più alte del margine appenninico.

La successione marina è troncata al tetto dai depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Supersintema Emiliano-Romagnolo di età Pleistocene medio- Olocene. Questi depositi sono presenti in lembi discontinui nelle valli appenniniche, dove corrispondono a depositi di terrazzi intravallivi, mentre occupano interamente il settore di pianura del foglio 239.

3 Stratigrafia

Come descritto nell'inquadramento geologico, il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano. La maggior parte del foglio è costituita dai depositi alluvionali della Pianura Padana che costituiscono il Supersintema Emiliano-Romagnolo; solo nella porzione sud-occidentale, costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo, sono presenti esposizioni in cui è possibile studiare, direttamente in affioramento, le unità geologiche marine che costituiscono il foglio.

Nel settore collinare affiorano soprattutto formazioni marine, costiere, lagunari e transizionali le cui età sono comprese tra il Tortoniano inferiore ed il Pleistocene medio. Nelle valli appenniniche e nel settore del margine catena- pianura tali depositi vengono ricoperti dai depositi alluvionali (Supersintema Emiliano-Romagnolo) che costituiscono la parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Nella descrizione delle unità litostratigrafiche si procederà seguendo l'ordine deposizionale, dai termini più antichi ai più recenti.

Come già accennato, per i diversi criteri di riconoscimento, descrizione e cartografia, i terreni continentali e quelli marini saranno descritti separatamente nei due sottocapitoli "settore appenninico" e "settore di pianura"

Per quanto riguarda il settore appenninico si prenderanno inconsiderazione solo le unità della parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quanto sono quelle che interagiscono con i depositi alluvionali della pianure e con le aree di alimentazioni dei pozzi oggetto di quest'indagine.

3.1 Settore appenninico

3.1.1 –Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Questa successione comprende tutti i depositi successivi alla crisi di salinità del Messiniano, costituiti, in questo foglio, dalle Marne di Cella del Pliocene inferiore, dalle Argille azzurre del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, dalle Sabbie di Imola del Pleistocene medio e dai depositi alluvionali del Pleistocene medio-Olocene (Superisintema Emiliano-Romagnolo).

3.1.2 Argille azzurre (fAA) (cfr ril in 254 e 238)

Rappresentano i due terzi degli affioramenti del territorio collinare, che caratterizzano con estese forme calanchive.

Questi terreni sono rappresentati da argille e argille marnose grigie e grigio - azzurre in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o per nulla visibili per bioturbazione e/o scarsa classazione granulometrica, con rari strati arenacei sottili risedimentati e lamine siltose

Sono stati distinti diversi membri e litozone, descritti di seguito: membro dello Spungone (**fAA3**), la litozona tripolacea (**fAAtr**) la litozona arenacea (**fAAa**) e le peliti di Terra del Sole (**fAAts**)

Nella parte alta sono presenti due lenti di ghiaia spesse alcuni metri ed estese al massimo 150 metri, non distinte in carta, affioranti in località Ca' Creta, nel T Samoggia

Sono sempre presenti i microfossili, mentre i macrofossili tendono a concentrarsi in panchine o appaiono sparsi un po' ovunque.

L'ambiente di sedimentazione è quindi di scarpata continentale con locali passaggi a piattaforma continentale esterna

La potenza totale della formazione affiorante è di circa 1 200 metri

Il limite inferiore è graduale ed eteropico con CEA, oppure netto e discordante o paraconcordante su FCO e VGS

Il limite superiore è netto con SVG e discordante con IMO o con i depositi alluvionali

La microfauna a foraminiferi planctonici e bentonici è generalmente abbondante e diversificata É possibile osservare la presenza dei principali bioeventi plio-pleistocenici riportati in fig 1 Ciò consente di riconoscere la successione di tutte le biozone a foraminiferi planctonici dalla zona *a Globorotalia margaritae* del Pliocene Inferiore alla zona a *Neogloboquadrina pachyderma* sin del Pleistocene inferiore In assenza del marker zonale, l'attribuzione dei sedimenti basali della formazione alla zona a *Sphaeroidinellopsis* spp non è sicura

Le microfaune bentoniche, pur con locali notevoli variazioni entro l'unità, presentano una relativa abbondanza di *Cibicidoides kullenbergi*, *Cibicidoides spp* , *Brizalina spp* , *Bulimina spp* , *Globobulimina spp* , *Gyroidinoides altiformis, Gyroidinoides soldanii, Gyroidinoides spp* , *Miliolidae, Planulina arimi- nensis, Sphaeroidina bulloides e Uvigerina spp e sono indicative di un ambiente di scarpata continentale La locale presenza, in particolare nella parte alta della formazione, di elevate frequenze di Cassidulina laevigata carinata, Bulimina marginata e Textularia spp sono ritenute indicative di oscillazioni verso batimetrie più superficiali (piattaforma continentale esterna).*

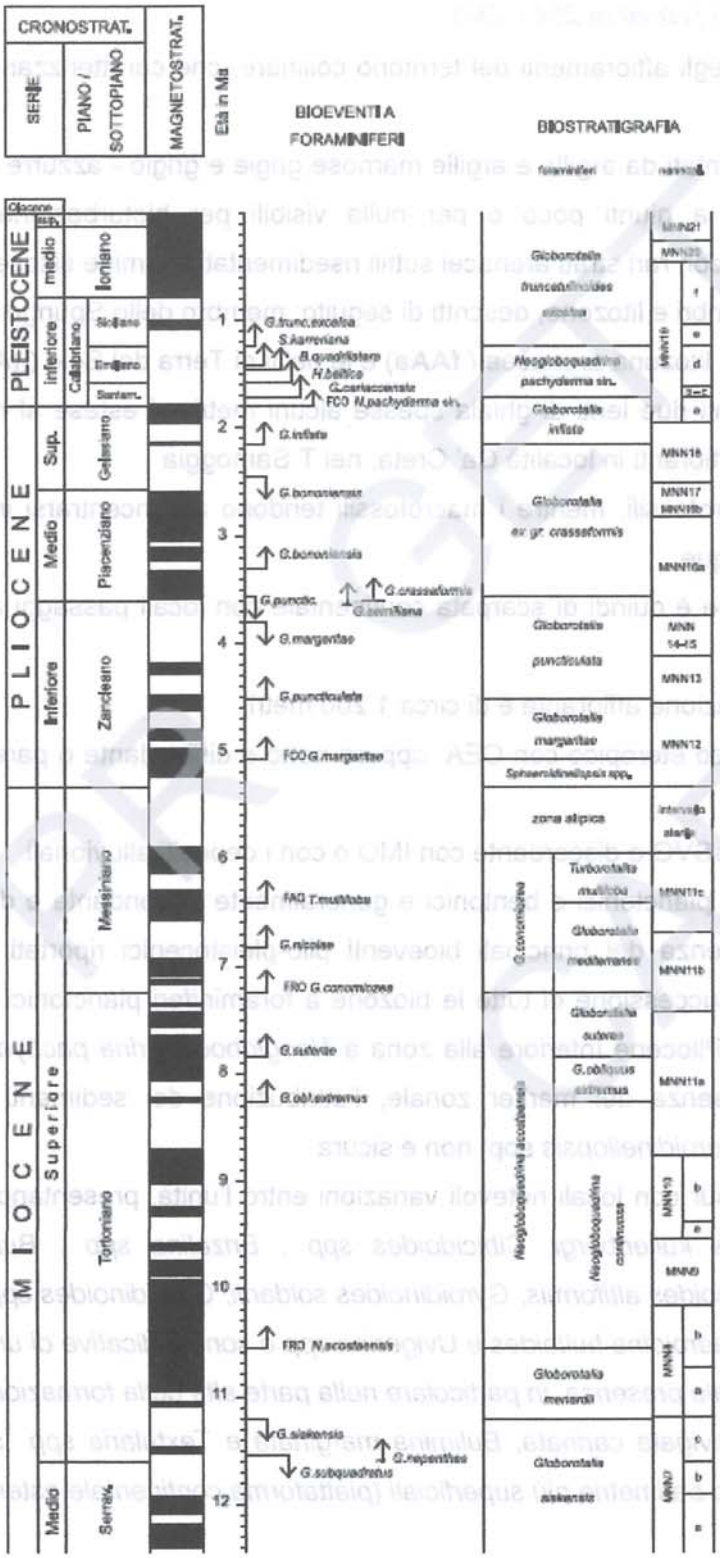


Fig. 1 - *Schema stratigrafico del Foglio 239.*

3.1.3 *Sabbie di Imola (IMO) (cfr sabbie gialle di Imola, auctt)*

L'unità è presente su un ampio settore del margine appenninico a partire dalla destra del fiume Santerno, fino alla sinistra del fiume Montone, essa rappresenta la più recente tra le unità marine dell'Appennino Settentrionale.

Questa unità è stata recentemente oggetto di un dettagliato studio di terreno corredato da numerose analisi biostratigrafiche e petrografiche (Amorosi *et alii*, 1998a) In questo lavoro all'interno delle Sabbie di Imola sono stati riconosciuti due cicli deposizionali: il ciclo inferiore è costituito da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia; il ciclo superiore è formato da una porzione inferiore prevalentemente argillosa di piana alluvionale, alla quale si sovrappongono in trasgressione delle sabbie di spiaggia simili a quelle sottostanti, ma generalmente meno ghiaiose. Il limite tra i cicli è una superficie di discontinuità marcata dal contatto brusco tra le sabbie di spiaggia sottostanti e peliti di piana alluvionale

In Amorosi *et alii* (1998a), a tale suddivisione in cicli deposizionali viene fatta corrispondere una suddivisione in membri e il quadro litostratigrafico proposto è il seguente: IMO1 (membro di Monte Castellaccio), corrispondente alle sabbie e ghiaie del ciclo basale; IMO2 (membro di Fossoveggia), corrispondente alle argille delle parte bassa del secondo ciclo; IMO3 (membro di Castel San Pietro) corrispondente alle sabbie di tetto del secondo ciclo

Nel foglio 239 le Sabbie di Imola sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale o laguna costiera

Il limite basale sulle argille plio-pleistoceniche è un contatto netto con discordanza angolare, che individua una superficie di discontinuità di carattere regionale. Anche il limite superiore è marcato da una discontinuità regionale che sovrappone i depositi quaternari continentali alle Sabbie di Imola

Età: parte inferiore del Pleistocene medio, Ioniano (Amorosi *et alii*, 1998a)

3.1.3.1 *Membro di Monte Castellaccio (IMO1)*

É costituito da sabbie ed arenarie poco cementate fini finissime e subordinata- mente medie e grossolane di colore giallo in strati amalgamati. Presenti livelli ghiaiosi in strati da sottili a spessi che si rilevano prevalentemente nel settore in destra del torrente Marzeno e sono costituiti da ghiaie poco cementate, prevalentemente fini, frequentemente silicee. Tali livelli ghiaiosi sono generalmente presenti verso la porzione alta di questa unità. Presenti a tratti intercalazioni pelitiche costituite da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui

L'analisi micropaleontologica ha evidenziato associazioni a foraminiferi e ostracodi rimaneggiate da unità antiche o trasportate da ambienti marini più profondi; sono inoltre localmente segnalate ostracofaune ipoaline alla base del membro (Amorosi *et alii,* 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e delta conoide, lo spessore massimo di poche decine di metri.
Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA

3.1.3.2 Membro di Fossoveggia (IMO2)

L'unità è presente unicamente nel settore in destra del torrente Marzeno, dove si pone geometricamente in posizione intermedia tra i due membri sopra e sottostanti Il membro di Fossoveggia è costituito da limi ed argille prevalenti di colore grigio azzurro e subordinatamente giallastro, a stratificazione mal visibile con subordinate intercalazioni decimetriche di sabbie pelitiche. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali; presenti paleosuoli Le microfaune osservate sono costituite da ostracodi salmastri (*Cyprideis torosa*) e ipoalini, appartenenti principalmente al genere *Candona* (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e palude, lo spessore massimo è di una decina di metri circa
Contatto inferiore netto su IMO1 e FAA

3.1.3.3 Membro di Castel San Pietro (IMO3)

Questa unità è stata riconosciuta solamente in pochi affioramenti posti in destra idrografica del torrente Marzeno Essa è costituita da sabbie ed arenarie poco cementate fini e finissime di colore giallo, in strati amalgamati, alternate a rari livelli pelitici costituiti da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui, strati decimetri di peliti sabbiose A tratti, nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee. Le rare microfaune osservate sono costituite unicamente da foraminiferi e ostracodi rimaneggiati e trasportati (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e di delta conoide
La distinzione tra questa unità e IMO1 è resa possibile grazie alla presenza del livello fine costituito da IMO2 che è sempre presente, anche se in alcuni casi (esempio Monte Vescovado) con uno spessore non cartografabile, e dal fatto che l'unità in questione contiene complessivamente un minor volume di ghiaie.
Lo spessore massimo è di alcune decine di metri Contatto inferiore eteropico su IMO2.

3.2 Settore di pianura

L'evoluzione sedimentaria plio-quaternaria del bacino padano registra una generale tendenza "regressiva", identificata al margine appenninico da ricci Lucchi et alii (1982), da depositi marini di ambiente progressivamente meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una chiara superficie d'inconformità di significato regionale da parte di questi autori ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quaternaria affiorante al margine appenninico, portando all'identificazione di due cicli sedimentari principali (fig. 3), uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). La superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata successivamente identificata da regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) anche nel sottosuolo della Pianura Padana (fig. 2), in corrispondenza del limite tra il Supersintema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di Ricci Lucchi et alii, 1982) e il sovrastante Supersintema Emiliano-Romagnolo (equivalente del ciclo Qc).

La successione quaternaria continentale del pedeappennino emiliano-romagnolo comprende da un lato l'insieme dei depositi alluvionali terrazzati affioranti nelle piane intravallive dei fiumi e torrenti appenninici e, dall'altro, i depositi di conoide e piana alluvionale della pianura antistante. La base della successione è marcata in affioramento da una superficie d'inconformità, associata a una discordanza angolare, che separa i depositi alluvionali del ciclo Qc dai sottostanti depositi marini, i cui termini più recenti sono costituiti da sabbie litorali (Sabbie di Imola o sequenza Qm3b di Amorosi et alii, 1998a).

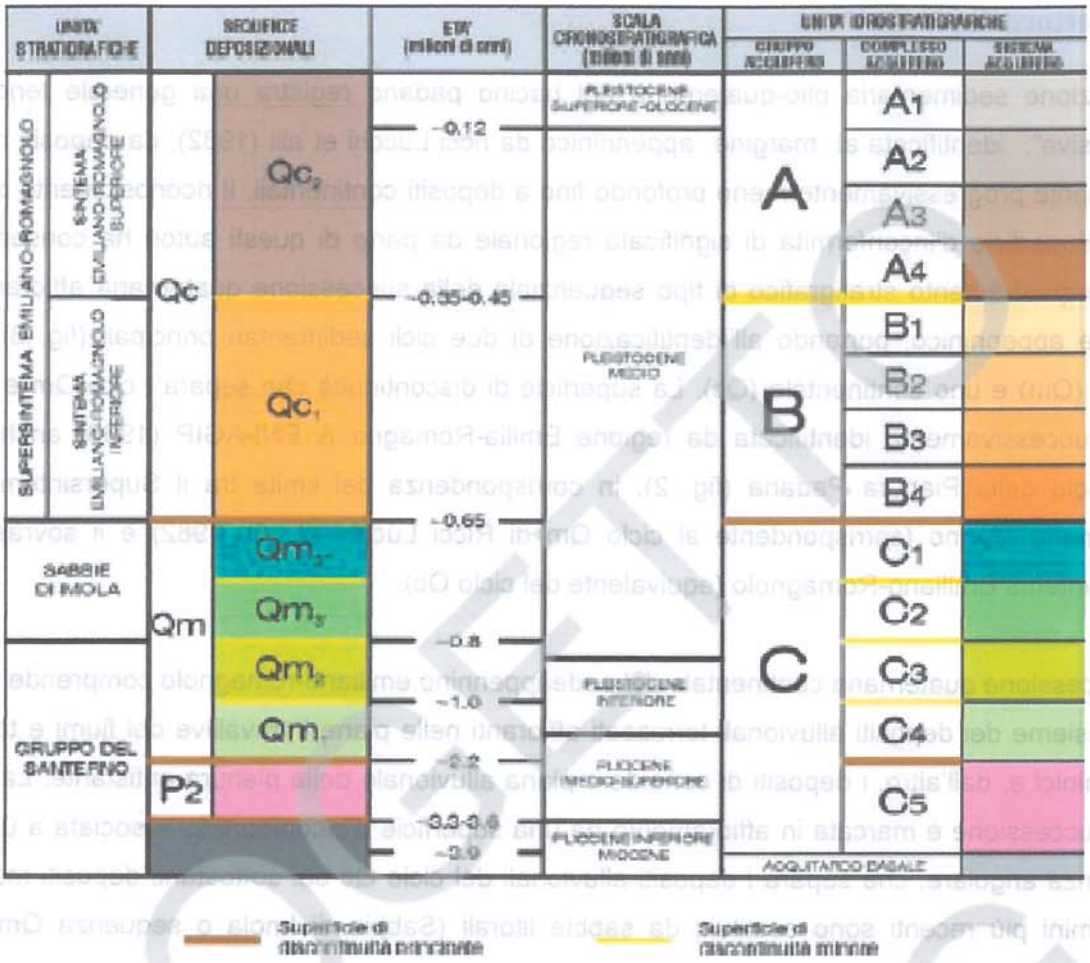


Figura 5:- Schema stratigrafico e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche di figura 2 (da Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna, 2002). Si precisa che il Gruppo del Santerno comprende le unità cartografate "Argille Azzurre", "Formazione di Monte Adone" e "Marne di Cella".

13

3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura

Nel settore meridionale del Bacino Padano, il limite inferiore dei depositi correlabili al ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii* (1982) è individuabile in sottosuolo sulle linee sismiche dell'AGIP (Pieri & Groppi, 1981; Dondi *et Alii*, 1982; Dondi & D'andrea, 1986; Dalla *et Alii*, 1992; Ori, 1993; Farabegoli *et Alii*, 1997), in coincidenza della base del Supersintema Emiliano-Romagnolo di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Lo spessore massimo di quest' unità nel sottosuolo del Foglio Bologna, non definibile con precisione sulla base di dati di pozzo (Francavilla & Colombetti, 1980; Amorosi & Farina, 1995), aumenta progressivamente allontanandosi dalla catena, raggiungendo valori massimi superiori ai 500 m nell'area situata a nord dell'allineamento Castel Maggiore-Castenaso-Medicina (regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998 - figura 4).

L'individuazione su base sismica di una superficie di discontinuità all'interno della successione quaternaria continentale ha consentito la suddivisione di questa unità in due parti (unità 1 e 2 di Ori, 1993), definite anche come sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) o sequenze deposizionali (cicli Qc1 e Qc2 di Amorosi *et alii*, 1999c). Allontanandosi dal margine del Bacino Padano, i depositi continentali del Supersintema Emiliano-Romagnolo fanno transizione verso mare a depositi di ambiente deltizio-litorale (Ori, 1993; carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, Fogli 223 - Ravenna, 2002 e 256 - Rimini, 2005).

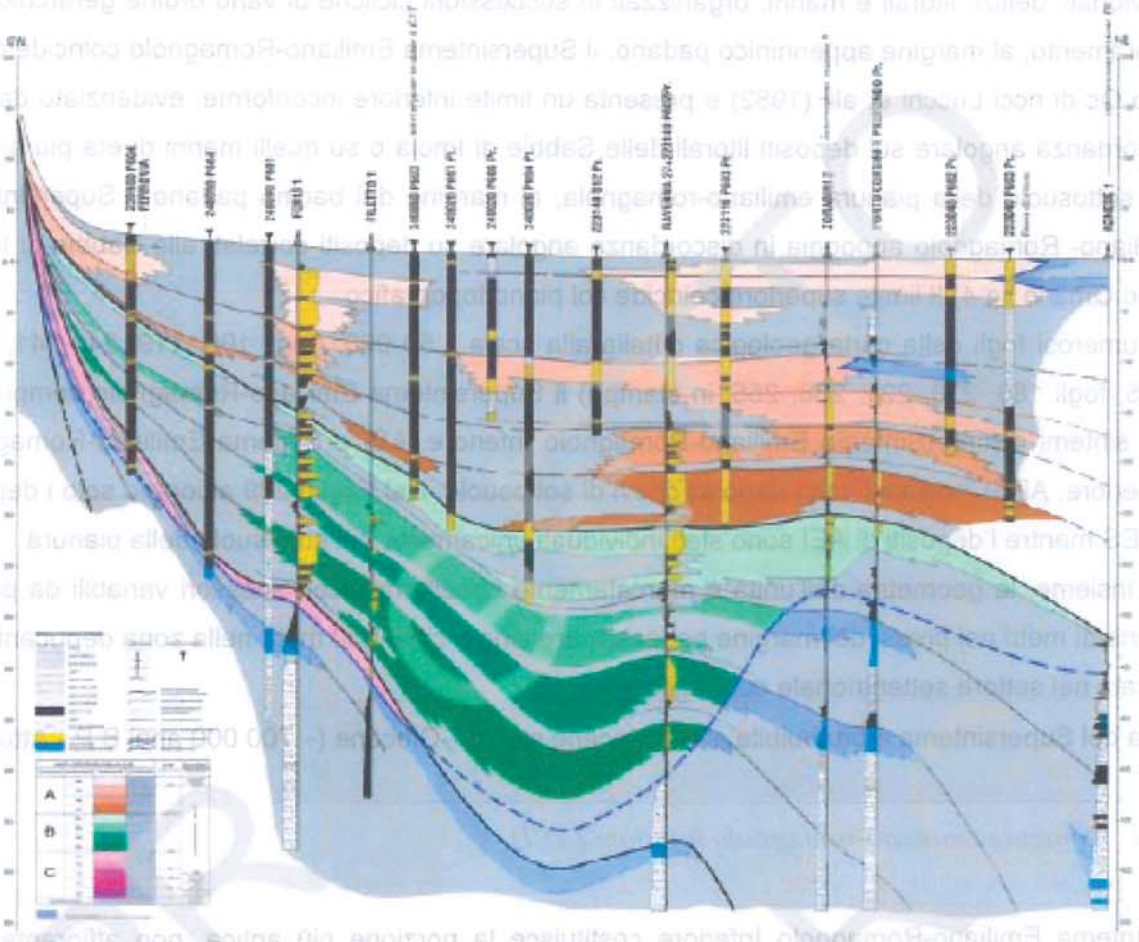


Fig. 3 - Sezione geologica nel sottosuolo della Pianura Padana, con distinzione delle principali unità idrostratigrafiche all'interno della successione quaternaria (da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998*). L'esagerazione verticale è di 50x.*

4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali

4.1 Supersintema emiliano-romagnolo

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersintema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano il Supersintema Emiliano- Romagnolo appoggia in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola (ciclo Qm3 in fig 4) Il limite superiore coincide col piano topografico

In numerosi fogli della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000, (fogli 199, 219, 240-241, 256, 2005; fogli 180, 220, 221, 238, 255, in stampa) il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura

Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale, ubicata nel settore settentrionale del Foglio (Fig. 12).

L'età del Supersintema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 700 000 anni B P - Attuale)

4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersintema Emiliano-Romagnolo Considerata la profondità media- mente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna – vedi figg 12 e 13) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura del Foglio 239, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies.

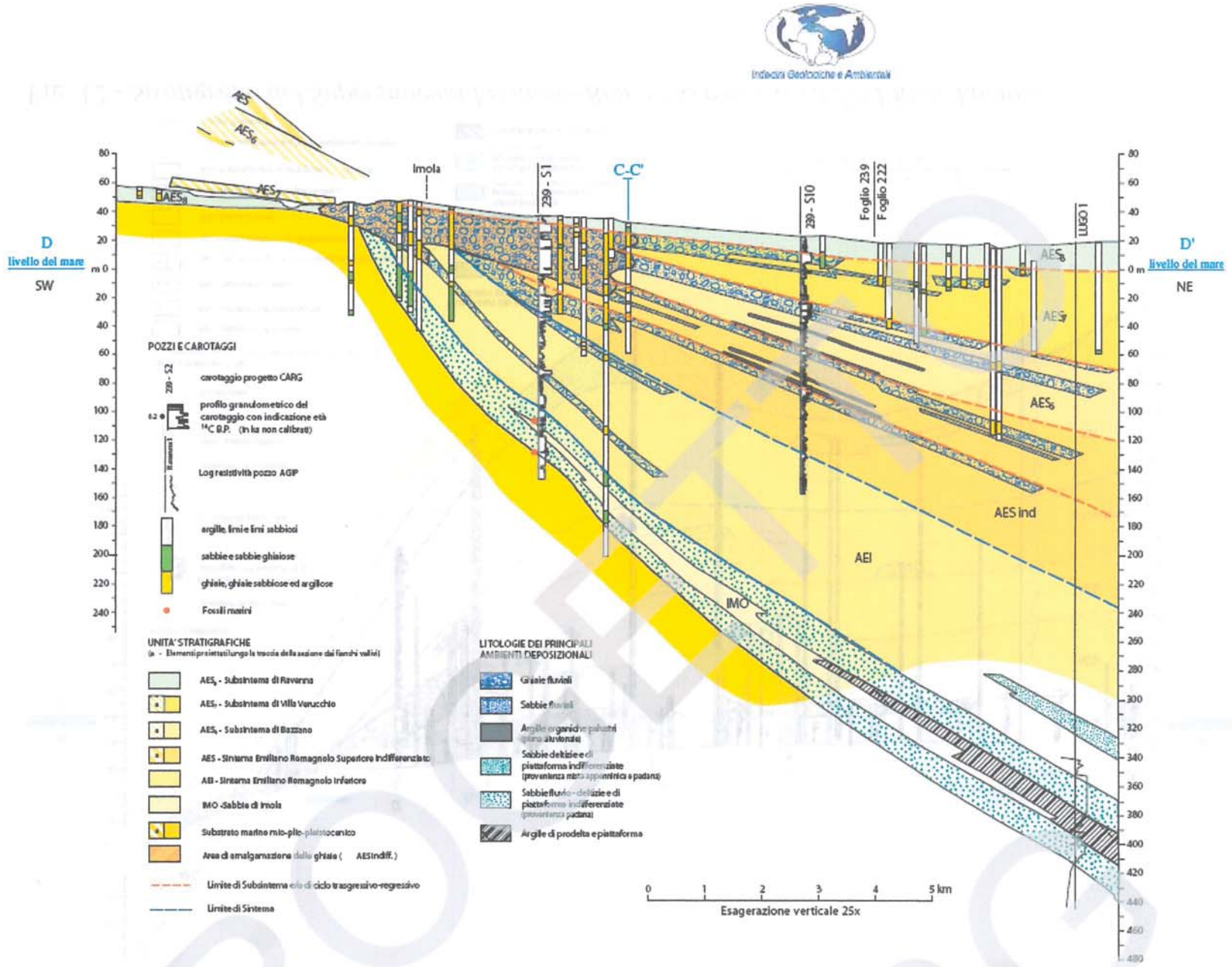


Fig. 11 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Santerno.*

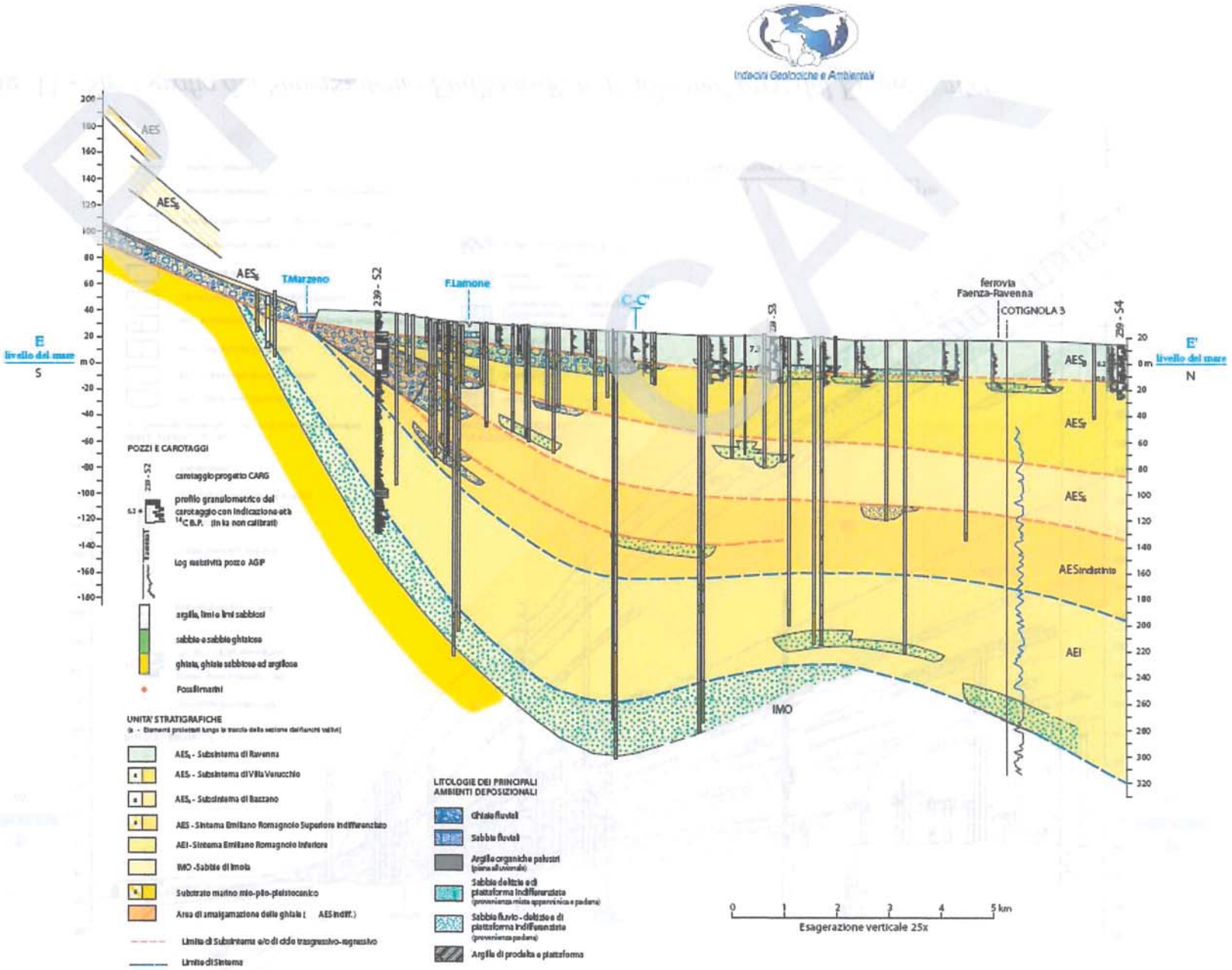


Fig. 12 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Lamone.*

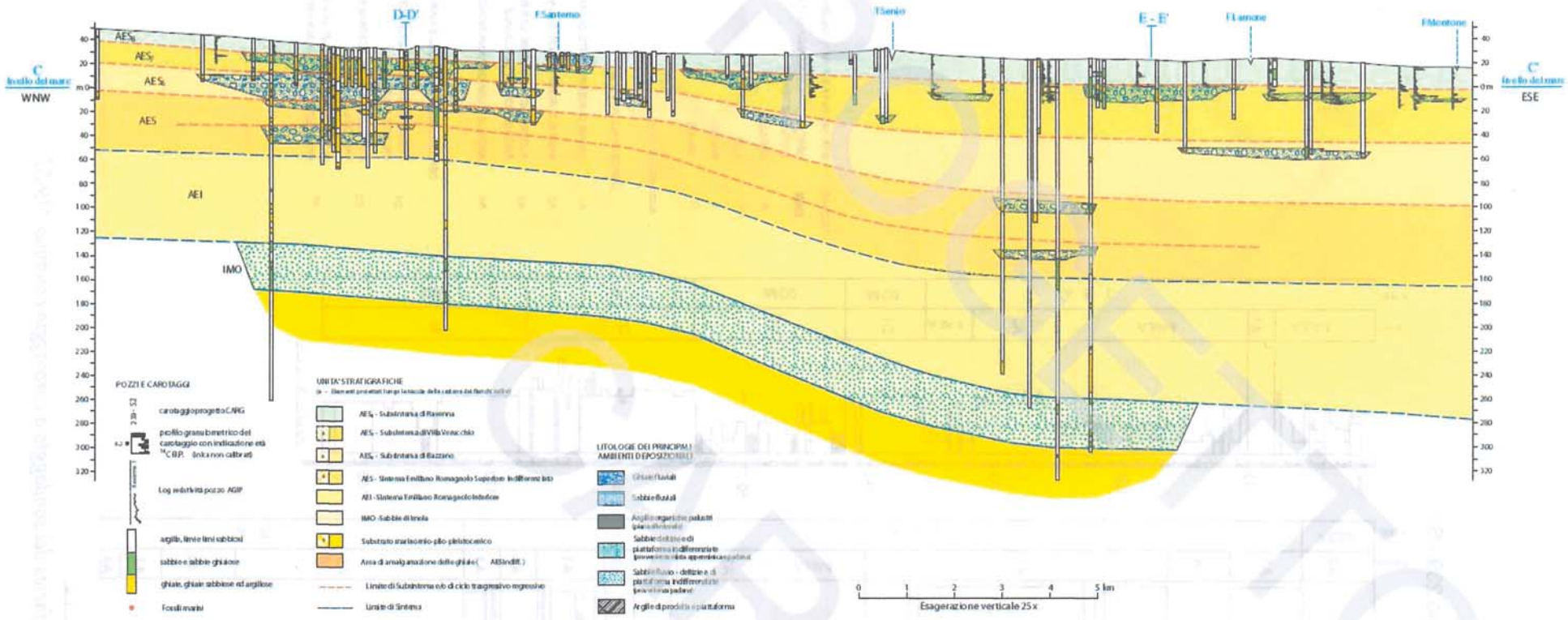


Fig. 13 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico.*

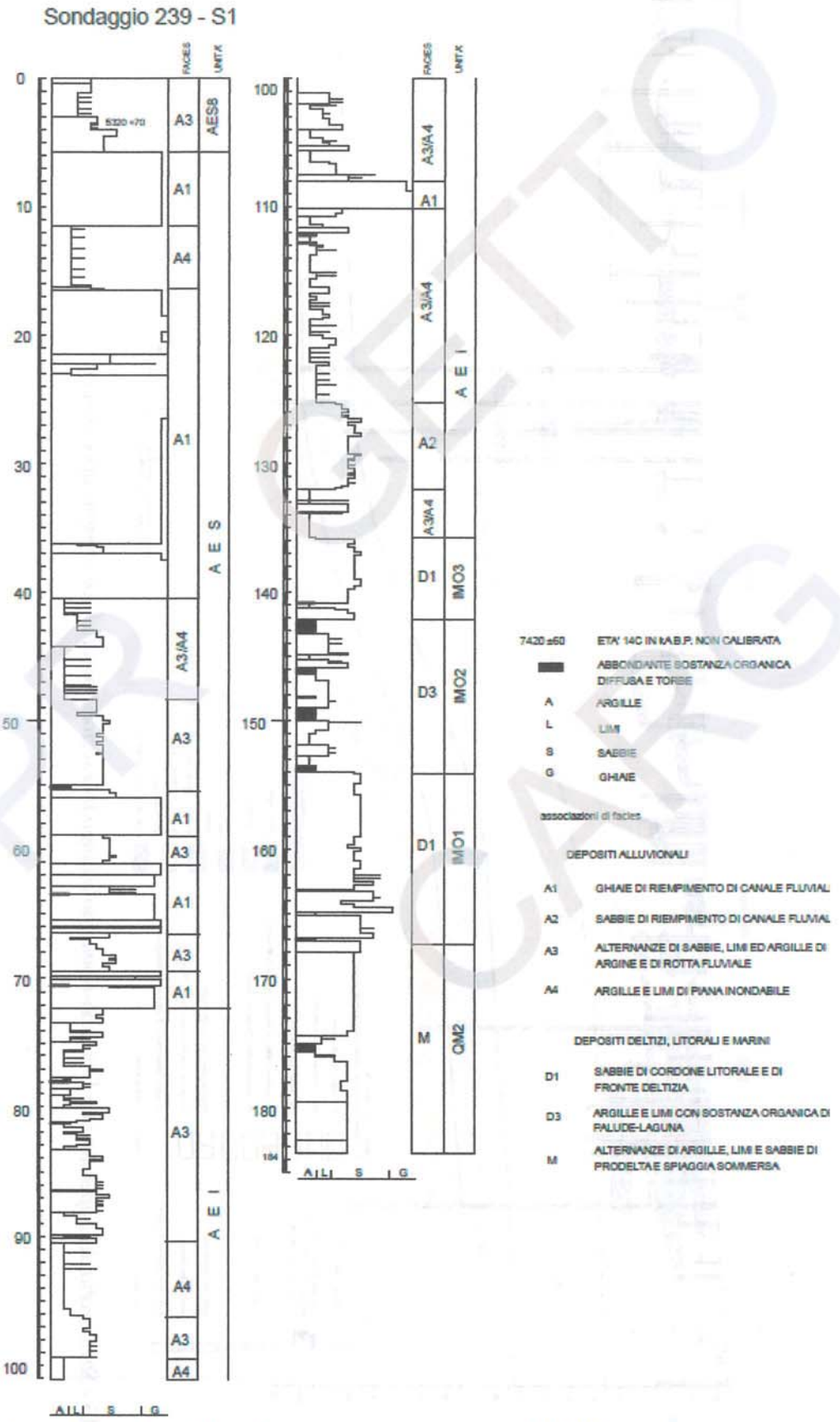


Fig. 14 - *Stratigrafia e facies del sondaggio a carotaggio continuo 239-S1.*

In corrispondenza del sondaggio 239-S1 (fig. 14), che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a – 140 m dal piano campagna (fig. 11), in accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. Caratteristica di questa unità è la frequente presenza di sequenze granulometriche negative alla scala dei 2-5 metri, associata allo scarso sviluppo di paleosuoli. Orizzonti di argille organiche e concentrazioni di legni sono frequenti a vari livelli stratigrafici. Sequenze positive di canale fluviale, a base erosiva e relativamente elevato contenuto in ghiaia, sono riconoscibili in corrispondenza delle principali aste fluviali sulla base della Banca Dati Geologici della Regione Emilia- Romagna L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale. Informazioni del tutto analoghe si traggono anche dall'osservazione del sondaggio 239 S2, l'altro che attraversa per intero l'unità in questione.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico (figg 11 e 12) Nel sondaggio 239 - S1, dove è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna (figg 11 e 14), AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri É da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Tutti i caratteri sopra descritti sono indicativi di questa unità nel settore più prossimo alla catena appenninica, tuttavia l'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in fig. 12 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri Come si vede dalla sezione tali livelli sabbiosi non proseguono verso il margine appenninico dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, ma al contrario paiono proseguire verso nord. Viste le caratteristiche geometriche, la natura di queste sabbie è probabilmente padana, in analogia con quanto osservato nei fogli più settentrionali e con quanto indicato in Riserve Idriche della Regione Emilia- Romagna (si veda in particolare la carta riportante lo spessore cumulativo dei depositi permeabili del gruppo acquifero B, cui l'unità AEI corrisponde, regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) Tali sabbie rappresenterebbero quindi degli apparati deltizi padani che giungevano sino a questo settore della pianura emiliano-romagnola all'epoca di AEI e trovavano il loro massimo sviluppo nella zona più subsidente posta a nord della anticlinale indicata in fig. 12.

L'età attribuita ad AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka

4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio Faenza Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale (figg 12 e 13) Nel settore occidentale del Foglio (poco a nord di Imola), dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri (figg 11 e 13)

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI (figg. 11 e 12). Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emiliano- romagnolo (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Fogli 240-241, 256, 2005; 220, 238, 255, in stampa; vedi anche Amorosi et alii, 1996 e Sarti et alii, 1997)

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per diversa giacitura e differente grado di evoluzione pedogenetica

Dei diversi subsintemi che compongono AES, cinque (AES4, AES5, AES6, AES7 e AES8) sono chiaramente identificabili nell'area del Foglio Faenza. AES4, AES5, AES6 e AES7 affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES8 affiora in tutta l'area di pianura

Nei settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue (interfluvi) la distinzione di AES in subsintemi non è facilmente eseguibile Qui infatti non sono più ben riconoscibili le scarpate di erosione fluviale che nelle aste vallive maggiori separano i diversi subsintemi Per questo motivo, nei settori di interfluvio si è provveduto a una generica attribuzione dei depositi ad AES In queste aree l'unità è caratterizzata da limi sabbiosi o sabbie limose, con rari livelli più grossolani. Al loro interno questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di paleosuoli con fronte di alterazione spesso fino ad alcuni metri. Anche la superficie topografica presenta depositi intensamente pedogenizzati Qui i suoli (Alfisuoli) sono generalmente policiclici e di spessore fino a cinque-sei

metri. Questi depositi presentano una caratteristica geometria cuneiforme, con spessori che vanno da pochi metri nei settori montani ad alcune decine di metri verso il limite con l'antistante pianura Dal punto di vista stratigrafico, essi generalmente costituiscono l'equivalente laterale indistinto di AES4 e AES5

Nel sottosuolo di pianura del Foglio Faenza, l'interpretazione di profili si smici ha messo in luce il limite localmente discordante tra AES e la sottostante AEI (regione emiLia-romagna & ENI-AGIP, 1998) (fig 3) Il limite superiore di AES corrisponde alla superficie topografica. Tra i pochi i sondaggi di qualità che attraversano interamente AES si segnalano i tre sondaggi 239 S1, 239 S2 e 239 S10 Dalla correlazione di questi è possibile ricostruire nel dettaglio caratteri di facies (fig 14) e stratigrafia (fig 11) del sintema

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE In particolare, in aree prossimali (sottosuolo di Imola e di Faenza) le ghiaie si presentano frequentemente amalgamate in corpi di circa 20 metri (sondaggio 239 – S1 in fig 11) o 30 metri (sondaggio 239 – S2 in fig 12) di spessore.

All'interno dei singoli cicli deposizionali i corpi grossolani passano verso l'alto da geometrie prevalentemente nastriformi, individuabili nella porzione pelitica dei cicli, a geometrie prevalentemente tabulari e tabulari-allungate, caratteristiche delle porzioni prevalentemente grossolane (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi *et alii*, 2003) Il caratteristico *pattern* radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi *et alii*, 1997)

Il lavoro condotto a scala dell'intera pianura emiliano-romagnola nell'ambito della realizzazione del presente progetto di cartografia geologica permette di inserire i cicli sopra descritti in una ciclicità di ordine gerarchico superiore, evidenziata da spessori pluridecametrici composti da depositi fini alla base e grossolani al tetto Questa ciclicità è ben osservabile in figg 11 e 12, dove è ben visibile il carattere di *marker* stratigrafico del tetto dei corpi ghiaiosi a elevata continuità laterale.

Analogamente a quanto operato nei fogli limitrofi, la base dei cicli sedimentari qui definiti come subsintemi è posta convenzionalmente in prossimità del tetto di questi corpi grossolani di canale fluviale. Questa scelta ha un significato essenzialmente operativo, in quanto permette una immediata correlazione con i cicli trasgressivo-regressivi cartografati nel sottosuolo della piana costiera romagnola (vedi anche l'approfondita discussione degli aspetti concettuali in Amorosi & Colalongo, 2005) In quest'ottica, le porzioni argilloso-limose basali dei cicli individuati nel

sottosuolo del Foglio 239 vengono correlate con i depositi marino marginali trasgressivi (TST) e di stazionamento alto (HST) che costituiscono le porzioni basali dei cicli riconosciuti nel sottosuolo della piana costiera, mentre i corpi ghiaiosi di canale fluviale corrisponderebbero ai depositi di caduta del livello marino (FST) e successivi sedimenti di stazionamento basso (LST)

L'architettura dei cicli deposizionali è chiaramente documentata lungo gli assi dei fiumi principali, laddove i contrasti litologici sono più marcati. In aree molto prossimali, dove i corpi ghiaiosi appartenenti a cicli deposizionali distinti sono frequentemente amalgamati, i diversi subsintemi sono virtualmente indistinguibili (figg 11 e 12) All'estremo opposto, in settori scarsamente interessati dall'attività fluviale, dove i depositi grossolani sono scarsi o assenti (aree interfluviali, di interconoide e nei settori più settentrionali), l'assenza di forti contrasti litologici determina problemi concreti nella definizione dei limiti di ciclo

La correlazione tra i subsintemi distinti in affioramento e i cicli deposizionali identificati in sottosuolo è problematica a causa della scarsa preservazione dei depositi alluvionali al margine appenninico, dell'assenza di superfici guida fisicamente tracciabili e di notevoli difficoltà nella datazione di depositi continentali oltre il limite di risoluzione del ^{14}C (Amorosi *et alii*, 1996)

Per quanto riguarda i subsintemi sommitali (AES8 e AES7), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al ^{14}C, forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte I subsintemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998)

L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998)

4.2.1 Subsintema di Bazzano (AES6)

I depositi di AES6 sono costituiti prevalentemente da ghiaie di canale fluviale, caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa. Lo spessore massimo è di una decina di metri, il contatto inferiore è erosivo e discordante su IMO. La successione si presenta intensamente pedogenizzata: il suolo (Alfisuolo) ha un fronte di decarbonatazione di 7 metri circa ed un colore rosso brunastro (2,5 - 5 YR della Munsell soil color charts). All'interno di queste ghiaie sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici rimaneggiati di tecnica clactoniana e protolevallois (Lenzi & Nenzioni, 1996). Le ghiaie sono sormontate da depositi fini di piana inondabile, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi e da sabbie; lo spessore massimo di questa copertura fine è di una ventina di metri (parte di questi depositi sono stati interpretati da alcuni autori come loess, (Cremaschi, 1978; Farabegoli & Onorevoli, 1991). Anche questi depositi si presentano intensamente pedogenizzati; sulla superficie topografica affiora un suolo (alfisuolo) tipicamente bruno giallastro (2,5 Y - 10 YR della Munsell soil color charts), spesso alcuni metri,

sviluppato prevalentemente in argille. Nella porzione sommitale sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici in posto di tecnica levallois (Lenzi & nenzioni, 1996).

Il suolo presente al tetto della porzione inferiore grossolana rappresenta sicuramente, in considerazione del suo rilevante spessore, una discontinuità stratigrafica di significato importante. Questa discontinuità è stata enfatizzata in letteratura attraverso l'individuazione di due unità stratigrafiche distinte, denominate unità di Villa del Bosco 1 e Villa del Bosco 2 (Nenzioni & Vannelli, 1982). Dal punto di vista della suddivisione in sintemi qui adottata, non risulta chiaro se la suddetta discontinuità sia interna a AES6 o se invece debba essere intesa come la superficie di separazione di due diversi subsintemi. In quest'ultimo caso i depositi fini al di sopra del suolo rosso brunastro sarebbero già da attribuire a AES7. Il limitato areale di affioramento di questi depositi, la mancanza di continuità fisica tra essi e l'antistante pianura e, soprattutto, la difficoltà di una loro datazione, rende problematica la scelta tra l'una o l'altra ipotesi. In questa sede si è scelto di interpretare i terreni fini presenti al di sopra del suolo rosso brunastro come appartenenti ad AES6, che quindi risulterebbe suddiviso in almeno due unità di rango inferiore, non distinte in carta. La presenza di distinzioni interne a AES6 è peraltro ben documentata in altre valli appenniniche, dove all'interno del subsintema sono chiaramente distinguibili più ordini di terrazzo fluviale; ciò avviene ad esempio nel Fiume Reno, immediatamente ad ovest del foglio 221, o nel fiume Ronco, poco a monte della città di Forlì (carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 220–Casalecchio di Reno, in stampa e Foglio 255-Cesena, in stampa).

L'età minima di AES6, in relazione ai manufatti litici presenti, si colloca nella parte terminale del Pleistocene medio. Non esistono invece dati relativi all'età della base di questa unità, che dovrebbe comunque collocarsi nella parte alta del Pleistocene medio.

I depositi affioranti di AES6 sono tentativamente correlati nel sottosuolo a un ciclo, localizzato in corrispondenza del sondaggio 221050 - P515 tra le quote -101 m e - 54,5 m dal p.c. (fig. 6), composto da una porzione inferiore fine ed una sommitale grossolana (fig. 5); questo ciclo corrisponde al complesso acquifero A2 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Di Dio & Caporale (1998). Questi depositi sono costituiti da ghiaie e sabbie prevalenti nelle porzioni più prossimali e da argille e limi prevalenti alternati a sabbie nelle zone distali. Lo spessore massimo di questi depositi nel sottosuolo è di 80 metri circa. Sulla base di quanto sopra indicato lo spessore in affioramento è invece di circa 30 metri.

Sulla base delle relazioni stratigrafiche con l'unità sovrastante (AES7) e dello schema di correlazione con i cicli glacio-eustatici del Quaternario, l'età del complesso acquifero A2 dovrebbe essere compresa tra 230 ka e 130 ka.

5 Associazioni di facies

Utilizzando come riferimento la normativa per il rilevamento e la cartografia geologica proposta da CNR-CCGG (1992), all'interno dei sintemi descritti al Capitolo 3 stata eseguita una suddivisione delle unità stratigrafiche sulla base di caratteri litologici e sedimentologici L'area del Foglio 239 - Faenza è composta da depositi quaternari di natura esclusivamente continentale, che possono essere ricondotti a complessi ambientali di piana intravalliva, conoide alluvionale e piana alluvionale In affioramento sono state distinte e cartografate tre associazioni di facies, descritte di seguito ai sottoparagrafi 4 1 1 - 4 1 3 Le associazioni di facies sono contraddistinte sulla carta geologica di superficie mediante sovrassegni che si accompagnano alla tradizionale colorazione delle unità stratigrafiche.

5.1 Depositi alluvionali

5.1.1 Ghiaie di canale fluviale

Affiorano principalmente al margine della pianura e nei settori più interni (aree di terrazzo fluviale e conoidi alluvionali, allo sbocco delle aste fluviali), mentre sono ampiamente sviluppate in sottosuolo. Comprendono ghiaie da fini a molto grossolane, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati, organizzati in corpi sedimentari a geometria nastriforme e tabulare-allungata, di spessore generalmente compreso tra 2 e 5 metri In aree di conoide alluvionale i corpi ghiaiosi sono generalmente amalgamati e raggiungono spessori di 20 m.

La maggior parte dei corpi sedimentari, specie in aree prossimali, rientra nella facies Gms dello schema classificativo di Miall (1978), presentando un grado di cernita estremamente basso, con ciottoli di varia dimensione immersi in una matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa. L'organizzazione interna è molto scarsa e non si osservano in genere tendenze granulometriche verticali di rilievo La dimensione del granulo massimo è di alcuni decimetri Sono tuttavia comunemente riconoscibili corpi ghiaiosi caratterizzati da un'organizzazione interna, definita dalla presenza di stratificazione orizzontale ed embricazione dei ciottoli (facies Gm) In questo caso la dimensione modale dei ciottoli corrisponde a 3-5 cm (diametro massimo 10-15 cm). Tra le altre facies, tipiche di settori relativamente più distali, si riconoscono ghiaie a stratificazione obliqua di tipo concavo (facies Gt), con spessore dei set fino a 2 m, base erosiva e organizzazione in sequenze positive Localmente è osservabile la presenza di stratificazione diagonale

I corpi sedimentari privi di organizzazione interna e quelli a stratificazione obliqua di tipo concavo sono interpretati come il risultato della migrazione di barre longitudinali all'interno di una rete di canali di tipo intrecciato La presenza di stratificazione obliqua di tipo tabulare all'interno di ghiaie a prevalente stratificazione obliqua di tipo concavo è messa in relazione con l'accrezione di barre diagonali o laterali in fiumi di tipo intrecciato (Ori, 1993). Corpi ghiaiosi clino- stratificati all'interno di

intervalli prevalentemente fini sono invece intepretabili come legati alla migrazione di barre di meandro (Ori, 1982)

5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale

Questa associazione di facies affiora quasi ininterrottamente su un'ampia fascia al margine della pianura, lungo la Via Emilia e nel quadrante nord-orientale del Foglio Si tratta di sabbie in genere finissime localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, alternati a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili Il rapporto tra sabbie e limi è complessivamente variabile; con riferimento all'unita AES8a, le prime sono predominanti nei settori più prossimi alle aste fluviali, mentre via via che ci si allontana da esse tendono a dominare le intercalazioni limose I passaggi tra le porzioni a dominanza sabbiosa e quelli a dominanza limosa avvengono in modo graduale

Si riconoscono occasionalmente, alla base di sequenze positive a base erosiva, sabbie medie e grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Queste ultime sono presenti in particolare nelle porzioni in cui i depositi di questa associazione di facies sono confinati entro scarpate di terrazzo fluviali, come ad esempio per unità AES8a il tratto del fiume Santerno tra Imola e Mordano, o del fiume Lamone in prossimità di Faenza

Nei settori più prossimi alle aree di canale, si concentrano i corpi più marcatamente sabbiosi, caratterizzati da stratificazione obliqua concava e tabulare, con *set* generalmente di alcuni dm di spessore Al tetto dei principali corpi sabbiosi e lateralmente ad essi sono tipicamente presenti alternanze di sabbia fine e finissima con limi e argille, in coppie di spessore generalmente inferiore a 10-20 cm

I limi e le argille sono tipicamente bioturbati al tetto. I corpi sabbiosi a tendenza granulometrica positiva sono interpretabili come canali di rotta

I settori laterali ai precedenti sono invece caratterizzati da alternanze di sabbia e limo e rappresentano depositi di argine; essi costituiscono in termini di volume la maggior parte dei depositi di questa associazione di facies.

In corrispondenza degli apparati di canale fluviale relativi al reticolo idrografico secondario è possibile osservare una sensibile riduzione della granulometria dei depositi e della dimensione dei corpi sedimentari, pur rimanendo comparabili le geometrie Il volume dei depositi sabbiosi di canale è in questo caso estremamente subordinato e i singoli riempimenti di canale sono intercettati molto di rado in sottosuolo L'associazione di facies è in questo caso dominata da limi e limi sabbiosi

5.1.3 Limi e argille di piana inondabile

Questa associazione di facies è caratterizzata dall'alternanza di limi prevalenti, argille limose e argille bioturbate, in strati da molto spessi a spessi, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini, in strati da molto sottili a medi, a base netta e caratterizzati da una tipica gradazione positiva Le sabbie presentano al loro interno laminazione obliqua o piano-parallela

Accenni di laminazione parallela sono presenti all'interno di limi sabbiosi Le coppie limo-argilla fanno transizione laterale alle coppie sabbia-limo descritte alla sezione precedente Il passaggio verso l'alto da questa associazione di facies a depositi grossolani di canale avviene in genere attraverso un progressivo aumento della granulometria, che definisce caratteristiche sequenze negative. Complessivamente questi depositi formano corpi sedimentari a geometria lenti- colare, tabulare e nastriforme

Carattere diagnostico di questa associazione di facies è la presenza a vari livelli stratigrafici di paleosuoli relativamente poco evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli), costituiti da un orizzonte superficiale scuro totalmente decarbonatato e una porzione inferiore ricca in concrezioni carbonatiche. Amorosi & Marchi (1999) hanno mostrato che questi paleosuoli possono essere riconosciuti, oltre che in carota, anche su base geomeccanica, mediante l'utilizzo di prove penetrometriche con piezocono. Gli elementi che ne consentono il riconoscimento sono: un piccolo incremento verso il basso di resistenza alla punta, associato al rapido incremento di resistenza laterale e alla brusca diminuzione della pressione interstiziale

I depositi di questa associazione di facies, che fanno transizione laterale a depositi relativamente più grossolani di canale, argine e rotta fluviale, si sono formati in aree di piana inondabile La suddivisione verticale in piccole sequenze delimitate a base e a tetto da paleosuoli indica una ciclicità nella sedimentazione, con fasi di apporto terrigeno limitato o nullo che favoriva la pedogenesi.

6 Inquadramento geologico

La zona si trova ad est dell'abitato di Imola sulle prime quinte collinari che fiancheggiano la città (allegato 1).

Il substrato dell'area in cui deve essere eseguito l'intervento è costituito dal livello più alto ed antico delle alluvioni terrazzate pleistoceniche. (AE6)

I depositi di AES6 sono costituiti prevalentemente da ghiaie di canale fluviale, caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa. Lo spessore massimo è di una decina di metri, il contatto inferiore è erosivo e discordante su IMO. La successione si presenta intensamente pedogenizzata: il suolo (Alfisuolo) ha un fronte di decarbonatazione di 7 metri circa ed un colore rosso brunastro (2,5 - 5 YR della Munsell soil color charts). All'interno di queste ghiaie sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici rimaneggiati di tecnica clactoniana e protolevallois (Lenzi & Nenzioni, 1996). Le ghiaie sono sormontate da depositi fini di piana inondabile, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi e da sabbie; lo spessore massimo di questa copertura fine è di una ventina di metri (parte di questi depositi sono stati interpretati da alcuni

autori come loess, (Cremaschi, 1978; Farabegoli & Onorevoli, 1991). Anche questi depositi si presentano intensamente pedogenizzati; sulla superficie topografica affiora un suolo (alfisuolo) tipicamente bruno giallastro (2,5 Y - 10 YR della Munsell soil color charts), spesso alcuni metri, sviluppato prevalentemente in argille. Nella porzione sommitale sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici in posto di tecnica levallois (Lenzi & nenzioni, 1996).

In superficie i terreni in posto sono prevalentemente limosi sabbiosi, di colore rossastro, con concrezioni calcaree denominate localmente "calcinelli", ascrivibili al livello più alto ed antico delle alluvioni terrazzate pleistoceniche, con livelli di ghiaie e strati argilloso - limosi. Questi livelli sovrastano la Formazione delle "Sabbie Gialle" affiorante più a sud lungo e presente nel sottosuolo al di sotto delle alluvioni, come appurato in occasione di un rilevamento geologico eseguito per tutta l'area delle colline imolesi.

Morfologicamente la zona interessata dall'intervento si con una leggera pendenza verso nord ed è ubicata ad est del rio della Rivazza.

Non si sono evidenziati segni d'instabilità passata o presente per cui si può giudicare la zona stabile.

L'idrologia superficiale è regimata da fossi di campagna che drenano le acque meteoriche agli scoli principali e tramite questi al rio della Rivazza.

Per quanto riguarda gli acquiferi sotterranei nel corso dell'esecuzione delle prove, non si è rinvenuta la presenza di acquiferi superficiali.

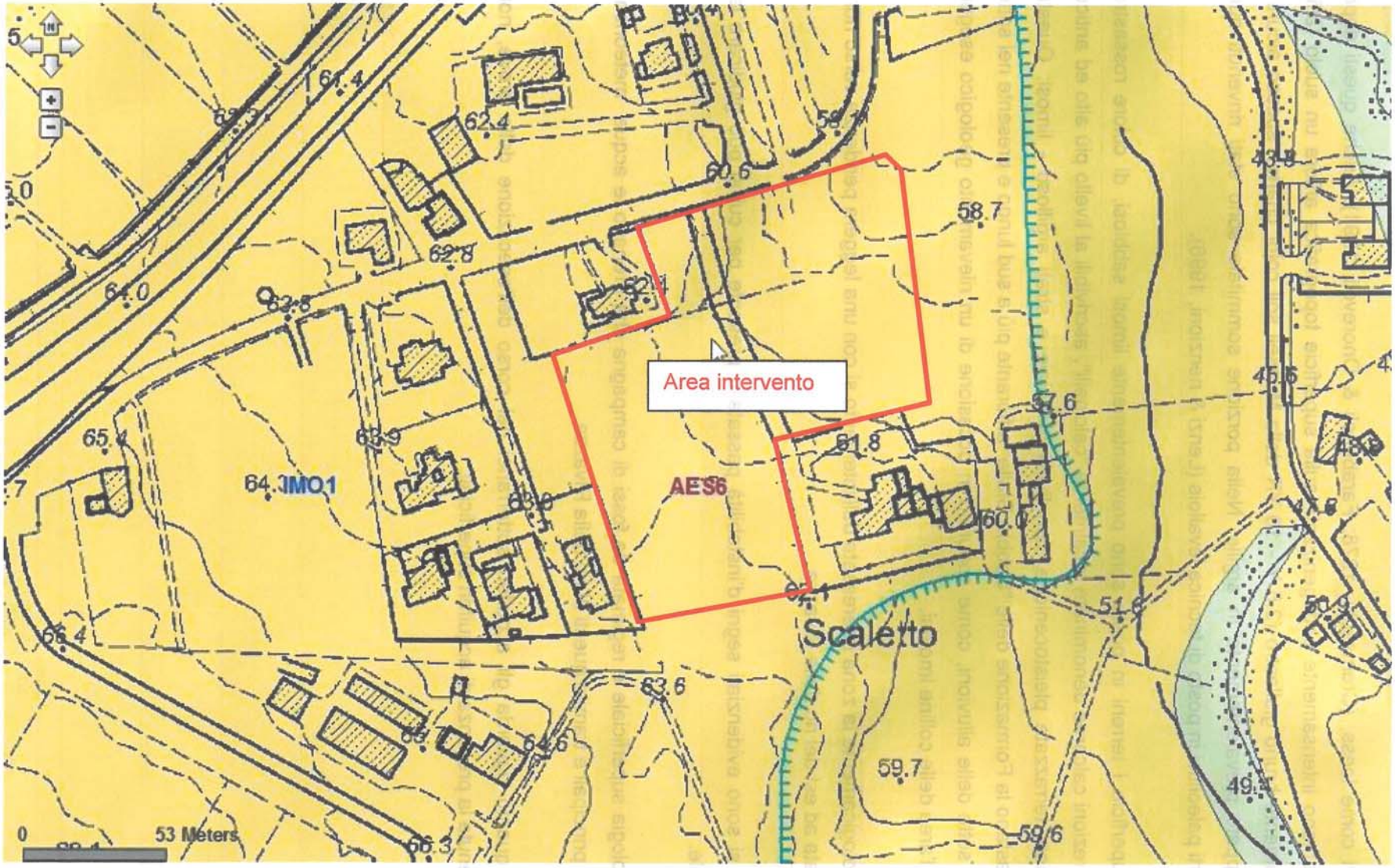


Figura 6:– Carta Geologica del Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia Romagna scala 1:5.000

7 Prove penetrometriche

Date le presumibili caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, già indagato in zone contermini, sull'area sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche statiche atte a porre in evidenza alcune caratteristiche meccaniche dei terreni e la presenza e profondità della falda freatica.

Le quote sono riferite al piano di campagna e l'ubicazione della prova viene riportata nella planimetria allegata ed indicata con un cerchio pieno e numerazione progressiva.

Per le prove statiche si è utilizzato un penetrometro statico tipo Gouda da 20 t costruita secondo le dimensioni standard europee:

- Punta conica con area pari a cm^2 10 ed angolo di 60°
- manicotto friction con area di cm^2 150.

Le misurazioni avvengono direttamente nella zona di punta. La lettura è continua sia di Rp che di Rl e la punta è dotata di un sensore inclinometrico per controllare la deviazione delle aste dalla verticale.

Al di sotto dell'orizzonte superficiale costituito da terreno agrario fino alla profondità di circa 1 m, si presentano terreni prevalentemente limoso argillosi variamente interdigitati con lenti e livelli più sabbiosi con un grado di addensamento buono e si presentano omogenei fino alla profondità di circa 9 m dal piano campagna. Al disotto inizia un banco di sabbie e ghiaie e sabbie addensate.

Durante l'esecuzione delle prove non si è rinvenuta la presenza di una falda idrica che è presente all'interno delle ghiaie sottostanti.

Dall'osservazione dei diagrammi delle prove penetrometriche si rileva un'uniformità del comportamento meccanico del terreno fra le prova a nord quelle a sud dell'area.

8 Litologia e caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni

La litologia dell'area in esame è stata ricostruita tramite i risultati, delle prove eseguite (teoria di Begemann) ed osservazioni eseguite sul terreno. Essa consiste in:

- Terreno agrario fino alla profondità di circa 0.8 m.
- Terreni limoso argillosi con livelli limoso sabbiosi, con buoni valori di Rp fino alla profondità di 8 – 9 m
- Ghiaie alla profondità di 8 – 9 m dal p.c.

All'interno dello spessore indagato (10 metri) non è stata rilevata la presenza di alcuna falda acquifera.

Dall'osservazione dei diagrammi delle prove penetrometriche si rileva una sostanziale uniformità del comportamento meccanico del terreno fra le prove ubicate a sud ed a nord della strada che porta alla località Scaletto(vedi fig 5).

9 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Estratto dal D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni"

6.1.2 PRESCRIZIONI GENERALI

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali.

I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, di cui al § 6.2.1. devono essere esposti in una specifica relazione geologica. Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini e prove che il progettista deve definire in base alle scelte tipologiche dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, di cui al § 6.2.2, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.

6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio. In funzione del tipo di opera o di intervento e della complessità del contesto geologico, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle

indagini geotecniche. Metodi e risultati delle indagini devono essere esaurientemente esposti e commentati in una relazione geologica.

6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo di cui al § 3.2.2, e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico.

È responsabilità del progettista la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica.

.....

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

6.2.3 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure seguenti.

6.2.3.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione

$$Ed \leq Rd \qquad (6.2.1)$$

dove Ed è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E\left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d\right] \qquad (6.2.2a)$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E \cdot E\left[F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]. \qquad (6.2.2b)$$

con gE = gF, e dove Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R\left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]. \qquad (6.2.3)$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto gFFk, dei parametri di progetto Xk/gM e della geometria di progetto ad. L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come Ed=Ek×gE. Nella formulazione della resistenza Rd, compare esplicitamente un coefficiente gR che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Nei calcoli effettuati per stabilire la portanza del terreno sono stati presi in considerazione i valori delle prove 3 e 4 non influenzate dai fenomeni di sovra essicazione sopra indicati.

9.1 Approccio 2

DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Zona	Imola
Lat./ Long. [WGS84]	44,340883/11,723499
Larghezza fondazione	8,0 m
Lunghezza fondazione	15,0 m
Profondità piano di posa	3,5 m
Altezza di incastro	3,5 m

SISMA

Accelerazione massima (ag/g)	0,099
Effetto sismico secondo	NTC(C7.11.5.3.1)
Fattore di struttura [q]	1,5
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0,39
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0,0199
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0,2386

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,65	2,4	0,26
S.L.D.	50,0	0,83	2,39	0,27
S.L.V.	475,0	2,01	2,45	0,3
S.L.C.	975,0	2,52	2,51	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,975	0,2	0,0199	0,0099
S.L.D.	1,245	0,2	0,0254	0,0127
S.L.V.	2,8114	0,28	0,0803	0,0401
S.L.C.	3,3087	0,28	0,0945	0,0472

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]	Poisson	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
6,2	20,59	21,57	25,0	29,42	147,1	6900,0	7845,32	0,4	0,006	0,002	sabbia con limo
2,0	17,65	18,63	25,0	9,81	78,45	0,0	7354,99	0,5	0,003	0,005	argilla sabbiosa
3,5	19,12	20,59	36,0	0,0	0,0	49033,25	0,0	0,25	0,0	0,0	ghiaia

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Capacità portante orizzontale
1	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	Si	1	1	1	1	1	1	1
4	Si	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3
Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult]	577,46 kN/m²
Resistenza di progetto[Rd]	251,07 kN/m²
Tensione [Ed]	192,49 kN/m²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3,0
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)
Costante di Winkler 23098,29 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,11
Fattore profondità [Dc]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	577,46 kN/m²
Resistenza di progetto	251,07 kN/m²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

Sisma

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,11
Fattore profondità [Dc]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	577,46 kN/m²
Resistenza di progetto	251,07 kN/m²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

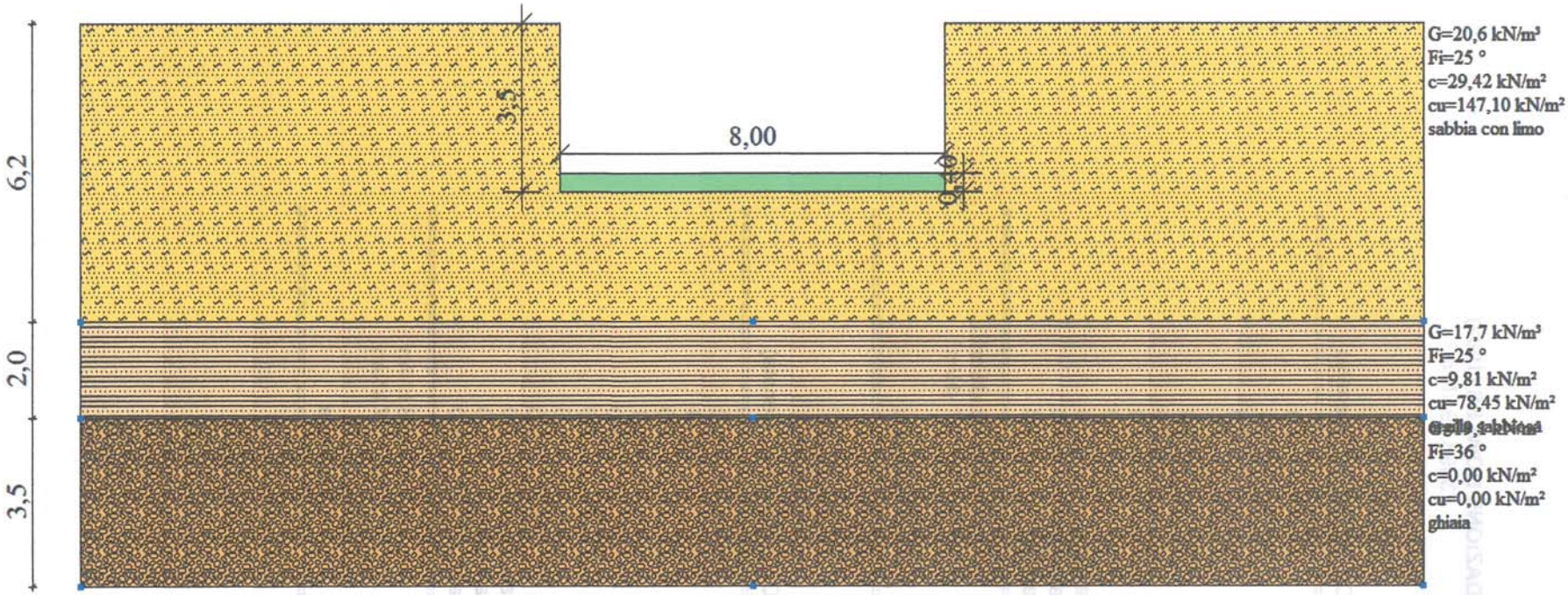


Figura 6:– Stratigrafia dell'area

10 CARATTERISTICHE EDIFICATORIE

Sulla base di quanto sopra riportato, tenendo conto delle ipotesi di progetto previste per l'Ambito Urbano Consolidato AUC_B Comparto N127: Ca' Nova Belvedere in via Ascari, si può affermare che l'area idonea all'edificazione in quanto i terreni ivi presenti presentano buone caratteristiche geotecniche.

Sulla base di quanto sopra riportato, dei calcoli effettuati per le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e della natura dei terreni, il terreno sottostante le future abitazioni può sopportare una tensione normale di progetto secondo l'approccio 2 di 2.5 d.a.N./cm^2 utilizzando una fondazione a platea posizionata a -3.00 - 3.50 m dal piano di campagna.

La composizione litologica unita al facile drenaggio delle acque attraverso lo strato ghiaioso sottostante, permette di escludere la liquefazione dei terreni medesimi in presenza di evento sismico. In questo caso anche l'incremento dei cedimenti risulterà ininfluente sulla stabilità del manufatto. Questo cedimento sarà assorbito dalla struttura durante il tempo di costruzione e non si presenteranno problemi costruttivi.

11 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Pur avendo calcolato una tensione normale di progetto che nell'approccio 2 è di 192,49 kN/m² per contenere i cedimenti entro un limite accettabile dalla struttura si è ridotta la pressione normale di progetto a 140 kN/m² e sono eseguiti i calcoli con una tensione normale di progetto non fattorizzata pari a 100 kN/m² secondo quanto riportato di seguito, con un cedimento massimo di 0.94 cm che sarà assorbito dalla struttura in fase di costruzione.

***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	100,0 kN/m²
Cedimento dopo T anni	10,0
Cedimento totale	0,94 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws:Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m²)	Dp (kN/m²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	4,85	99,862	25,175	Edometrico	0,87	--	0,87
2	7,2	145,308	0	Edometrico	0	--	0
3	9,95	0	0	Schmertmann	0,05	0,02	0,07

Decorso cedimenti nel tempo Strato..1 Wt=0,87 cm

Cedimento [cm]	% Ced	Tempo giorni
0,087	10	5,709645
0,174	20	23,28349
0,261	30	52,42492
0,348	40	93,43055
0,435	50	145,3364
0,522	60	212,0725
0,609	70	298,8294
0,696	80	420,4374
0,783	90	628,8024
0,87	100	741,5123

12 SISMICITA' DELL' AREA

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Imola, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

In riferimento a tale bozza il Comune di Imola ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Imola è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni"

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle nostre verifiche geotecniche consideriamo la classificazione ora vigente che definisce l'area di studio appartenente alla classe di sismicità 2, pertanto il grado di sismicità è pari a S = 9.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **categoria C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi**

tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

12.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HTMR

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica è stata eseguita con apparecchio tromografico digitale TROMINO, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/, fornisce una valutazione diretta della Vs30 in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

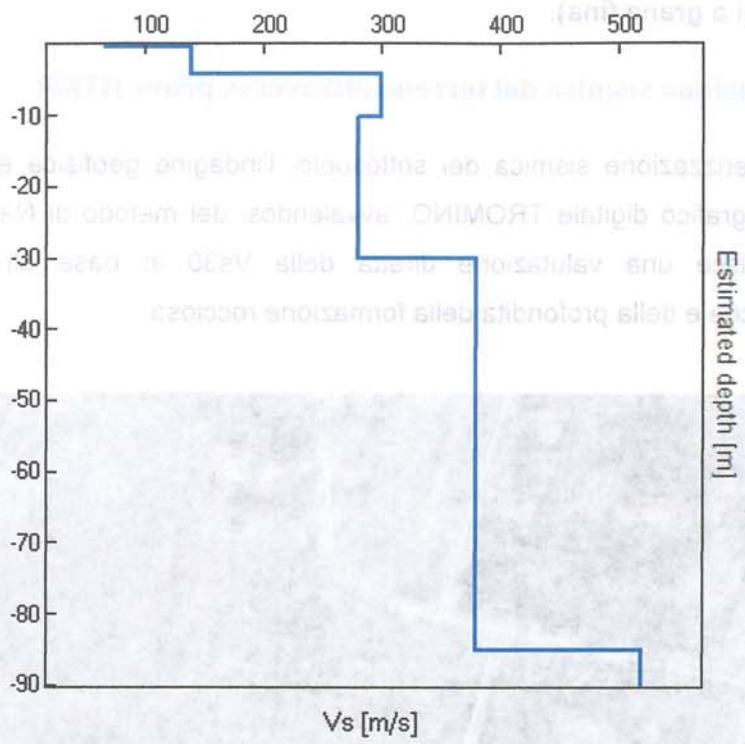


Figura 7:– Ubicazione indagini: • tromino - • CPT

A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	67
4.20	3.70	140
10.20	6.00	300
30.20	20.00	280
85.20	55.00	380

inf.	inf.	520



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

Vs_{30}=239m/s ± 30m/s

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 8.75 ± 0.11 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14350.0 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 421 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.65 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00603| < 0.05	OK	
$s_f < e(f_0)$	0.05274 < 0.4375	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.0619 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \sigma(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

VALUTAZIONE EFFETTO DOPPIA RISONANZA

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova lottizzazione, si procede ad una valutazione della risonanza in previsione della costruzione di nuovi edifici. La frequenza di un edificio dipende dall'altezza ossia dal numero dei piani e può essere calcolata approssimativamente secondo la formula:

$$\text{Freq. edificio} \cong 10 \text{ Hz} / \text{n.piani}$$

La coincidenza di risonanza tra terreno e struttura può dar luogo a fenomeni di doppia risonanza sull'edificio pericolosa in quanto provoca la massima amplificazione.

Con ogni probabilità saranno realizzati edifici di civile abitazione a due piani, per cui la frequenza è pari a circa 5 Hz, dall'indagine geofisica si osserva che a circa 10-15 m di profondità dove la frequenza registrata è di circa 5 Hz si osserva un cambio litologico, passando sa limi argillosi a ghiaie al di sotto delle quali sono presenti le sabbie gialle, la frequenza caratteristica è di circa 8 Hz corrispondente ad una profondità di 5-10 m, in linea di massima si tende ad escludere fenomeni di doppia risonanza sugli edifici tuttavia siamo in una situazione al limite per cui si consiglia di tenere presente che il banco di ghiaia a cira 9-10 di profondità potrebbe dare luogo a tali fenomeni di risonanza.

PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Latitudine: 44,342483 °

Longitudine: 11,724889 °

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1	17623	44,3209	11,6737	4721,733
Sito 2	17624	44,3220	11,7436	2721,712
Sito 3	17402	44,3720	11,7421	3553,793
Sito 4	17401	44,3709	11,6722	5248,465

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

Parametri sismici:

	P_{VR} %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,066	2,404	0,260
Danno SLD	63	50	0,085	2,393	0,268
Salvaguardia vita SLV	10	475	0,205	2,451	0,300
Prevenzione collasso	5	975	0,257	2,506	0.313

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

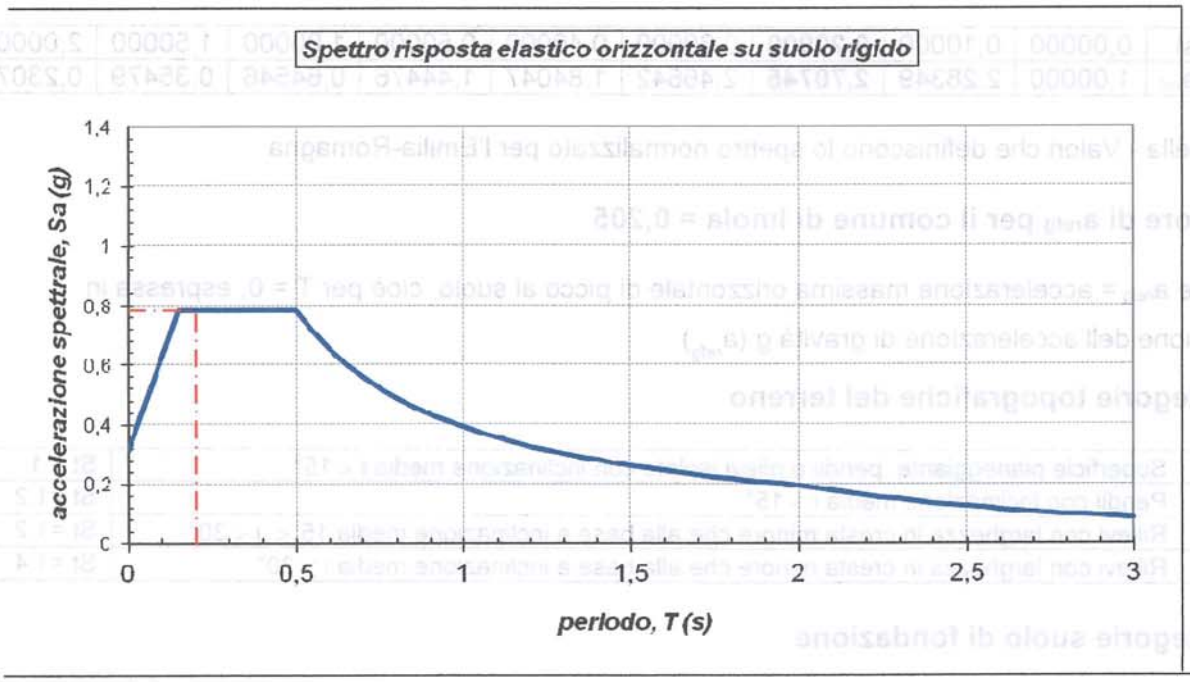
	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,978	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,026	0,013	1,251	0,200
SLV	**1,400**	1,560	**1,000**	0,080	0,040	**2,818**	0,280
SLC	1,310	1,540	1,000	0,094	0,047	3,300	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica

Spettri di risposta



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
Margine app	C	0.25	1.25	0.15	0.5	2	2	0,2	0,78125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di a_{refg} di ogni comune ,lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

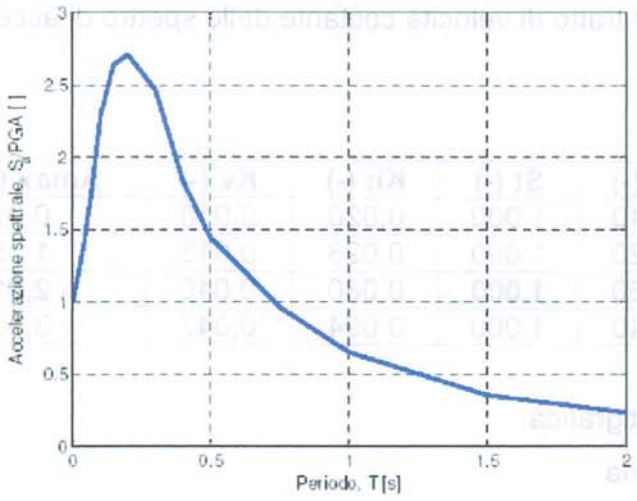


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00000	0,10000	**0,20000**	0,30000	0,40000	0,50000	1,00000	1,50000	2,00000
Sa/a_{ref}	1,00000	2,28349	**2,70745**	2,46642	1,84047	1,44476	0,64546	0,35479	0,23070

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

Valore di a_{refg} per il comune di Imola = 0,205

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media i < 15°	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	St =1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media 15°< i < 30°	St =1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media i > 30°	St =1.4

Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)	NSPT	Cu (kPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (15 < N_{SPT} < 50, 70 < c_u < 250 kPa)	180 – 360	15 – 50	70 – 250

Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

L'area di intervento è collocata tra la pianura e il primo appennino imolese, in base alla nuova classificazione è morfologicamente definito come margine appenninico-padano caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido), in particolare abbiamo Margine tipo A caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico; le prove penetrometriche e la modellazione sismica evidenziano la presenza di depositi alluvionali fini sovrastanti il substrato non rigido collocabile a circa 10 m di profondità, si procede quindi al calcolo della VsH, in questo caso Vs10 per entrambi i siti:

Vs10 = 10 / ((0.7/70)+(3,3/140)+(6/250)) = 173 m/s sito 1

Vs10 = 10 / ((0.5/67)+(3,7/140)+(6/300)) = 185 m/s sito 2

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 200 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

MARGINE APPENNINICO-PADANO: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido); questo settore è suddiviso in:

MARGINE di tipo A: caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.2**	2.0	1.8		

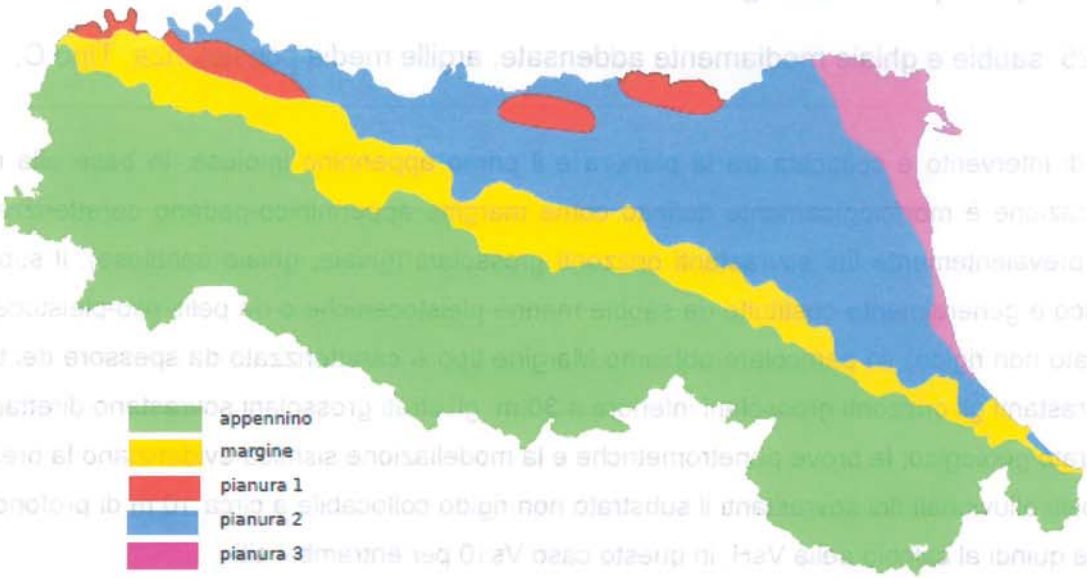
Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.6	**2.4**	2.0	1.8		

Fattori di Amplificazione **SI1** (0.1*s* ≤*T*0≤0.5*s*). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.0**	1.8	1.7		

Fattori di Amplificazione **SI2** (0.1*s* ≤*T*0≤0.5*s*). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici

13 CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- L'esame dei grafici evidenzia un'uniformità di risposta dei terreni alle sollecitazioni verticali. Nel dettaglio si è evidenziato che sotto il terreno agrario sono presenti limi sabbiosi argillosi.
- Al di sotto di questi terreni è presente un orizzonte ghiaioso a circa 8-9 m dal piano campagna attuale.
- Sulla base delle prove effettuate, dei calcoli effettuati per le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e della natura dei terreni, il terreno a – 3.0 – 3.5 m dal piano campagna, ha la seguente tensione di progetto:
  - Approccio 2 (A1 + M1 +R3): qd = 192,49 kN./m^2
- Avendo calcolato una tensione normale di progetto che nell'approccio 2 è di 192,49 kN/m^2 si sono eseguiti i calcoli riducendo la tensione normale di progetto risultante dai calcoli a 140 kN/m^2 con un cedimento massimo di 0.69 cm.
- Sulla base dei dati calcolati per la Cu_{30} la categoria del sottosuolo individuata è la **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)**
- Attualmente nello strato di terreno analizzato non insiste nessuna falda freatica.
- Le caratteristiche di consistenza dei terreni, e l'assenza di falda idrica assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- Sulla base di osservazioni effettuate su abitazione situate in zone contermini, che hanno subito dei cedimenti differenziali dovuti ad un eccessivo essiccamento del terreno, chiamato in gergo "sovraconsolidamento", si consiglia di non piantumare alberi ad alto fusto ad una distanza inferiore a 5 m dai futuri fabbricati.

- Essendo la presente una relazione geologica per un intero ambito, al momento della costruzione dei singoli fabbricati, sarà necessario approfondire le indagini geologiche con opportuni studi finalizzati al tipo di costruzione progettata.

Dal punto di vista sismico:

- Il terreno indagato e classificabile come sito **C**;
- La Vs30 stimata è pari a 211 m/s per il sito 1 e 239 m/s per il sito 2 con una velocità media dell'area pari a 225 m/s;
- I manufatti previsti sono classificati come classe d'uso II;
- Non è da escludere il rischio di risonanza sugli edifici;
- L'accelerazione di gravita del sito è ag = 0,205 (SLV);
- L'accelerazione massima è Amax = 2,818 (SLV);
- L' accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per il comune di Imola è 0,205;
- La categoria topografica è T1;
- L'area è classificabile come margine appenninico padano con substrato marino caratterizzato da Vs30 < 800m/s;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica quelli relativi alla fascia di velocità pari a 200 m/s;
- Il coefficiente di amplificazione sismica F.A. P.G.A è **1.9**, F.A: I.S. per l'intervallo 0.1s<To<0.5s è **2,2**, F.A. I.S. per l'intervallo 0.5s<To<1.0s è **2,8.**

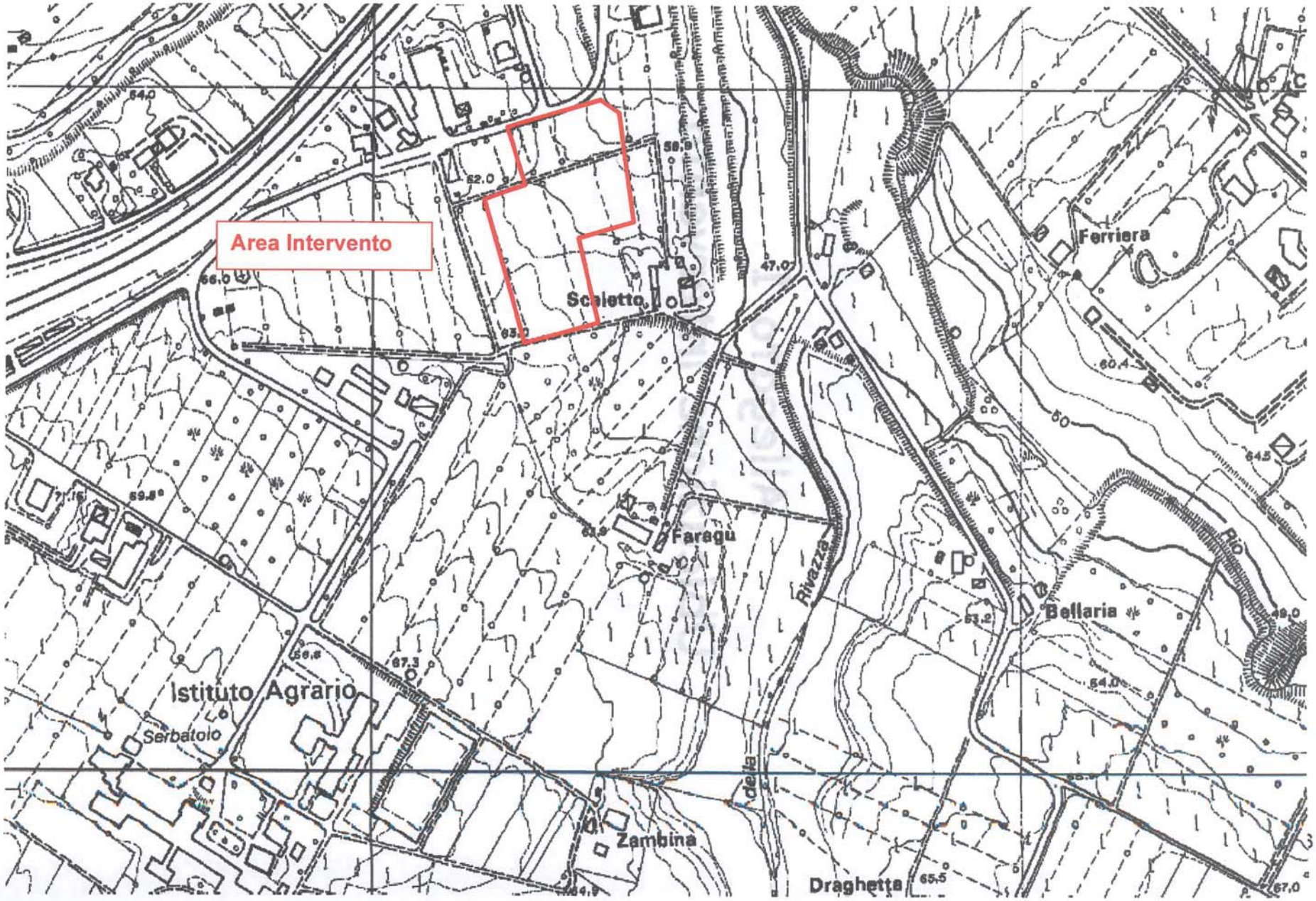
Imola 03 marzo 2016

Il geologo

Dott. Maurizio Castellari

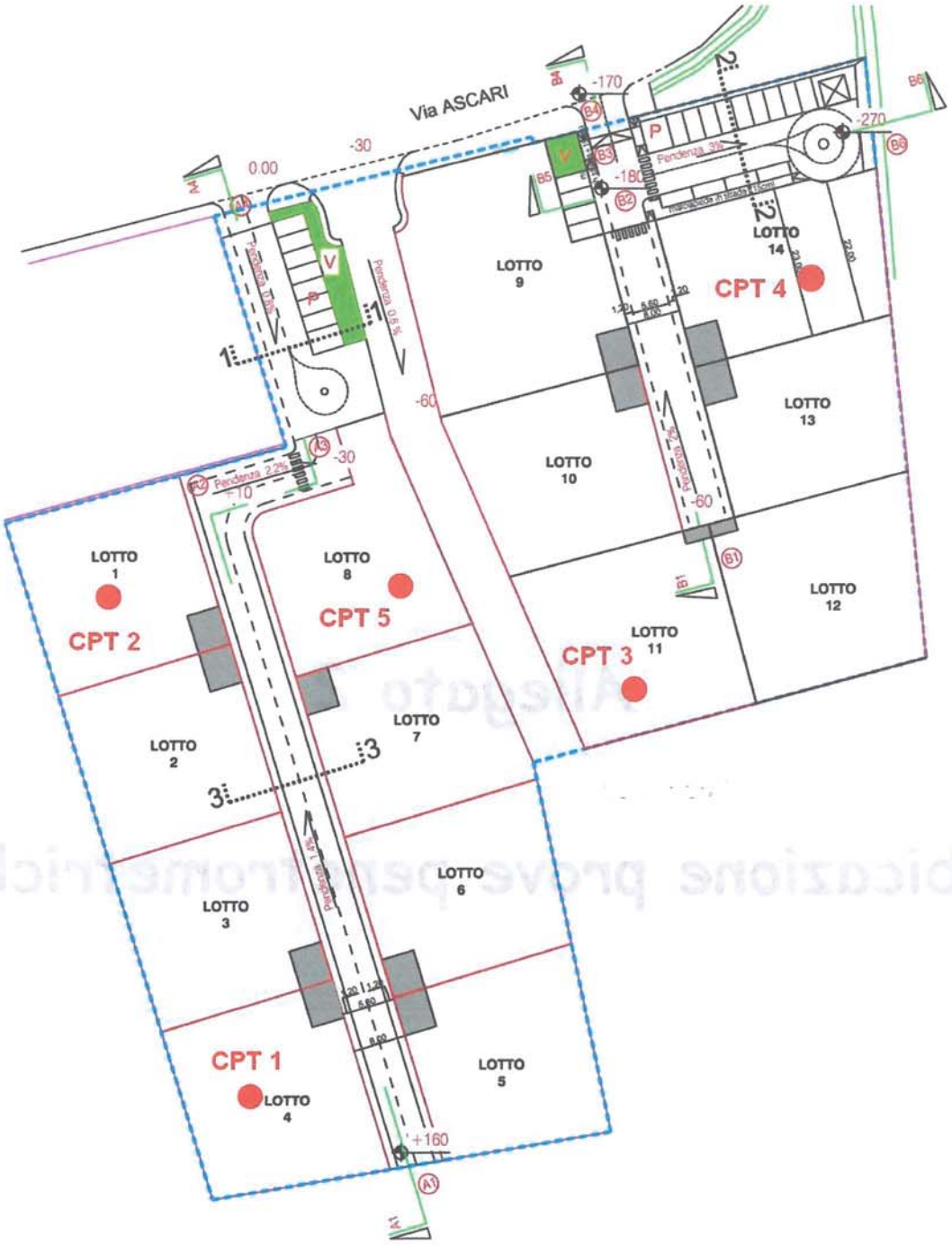
Allegato 1
Ubicazione intervento

Indagini Geologiche e Ambientali



Allegato 2

Ubicazione prove penetrometriche


Via ASCARI
0.00
-30
-60
-170
-180
-270
+10
+160
Pendenza 2,2%
Pendenza 0,6 %
Pendenza 3%
LOTTO 1
LOTTO 2
LOTTO 3
LOTTO 4
LOTTO 5
LOTTO 6
LOTTO 7
LOTTO 8
LOTTO 9
LOTTO 10
LOTTO 11
LOTTO 12
LOTTO 13
LOTTO 14
CPT 1
CPT 2
CPT 3
CPT 4
CPT 5

Allegato 3

Grafici prove penetrometriche

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

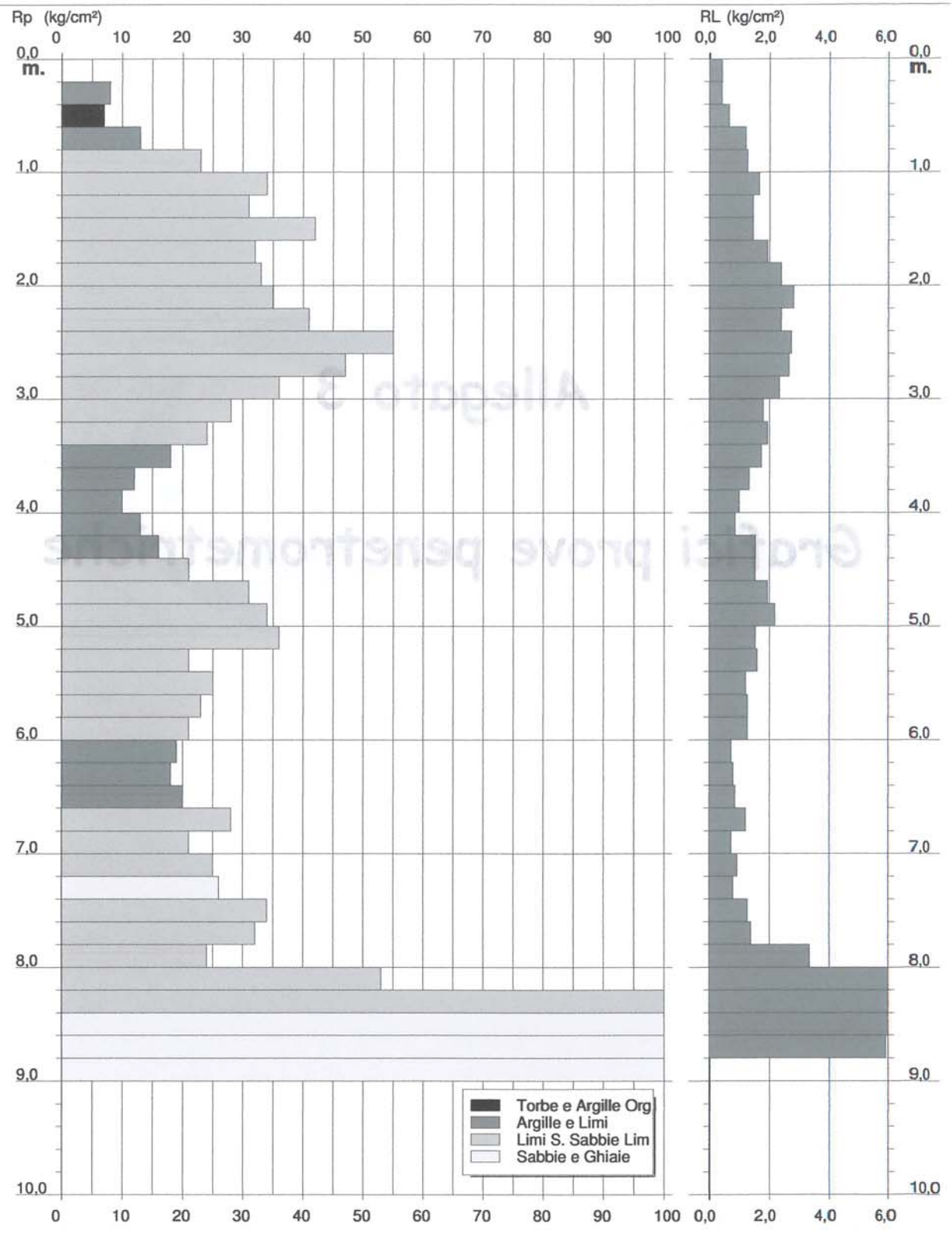
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

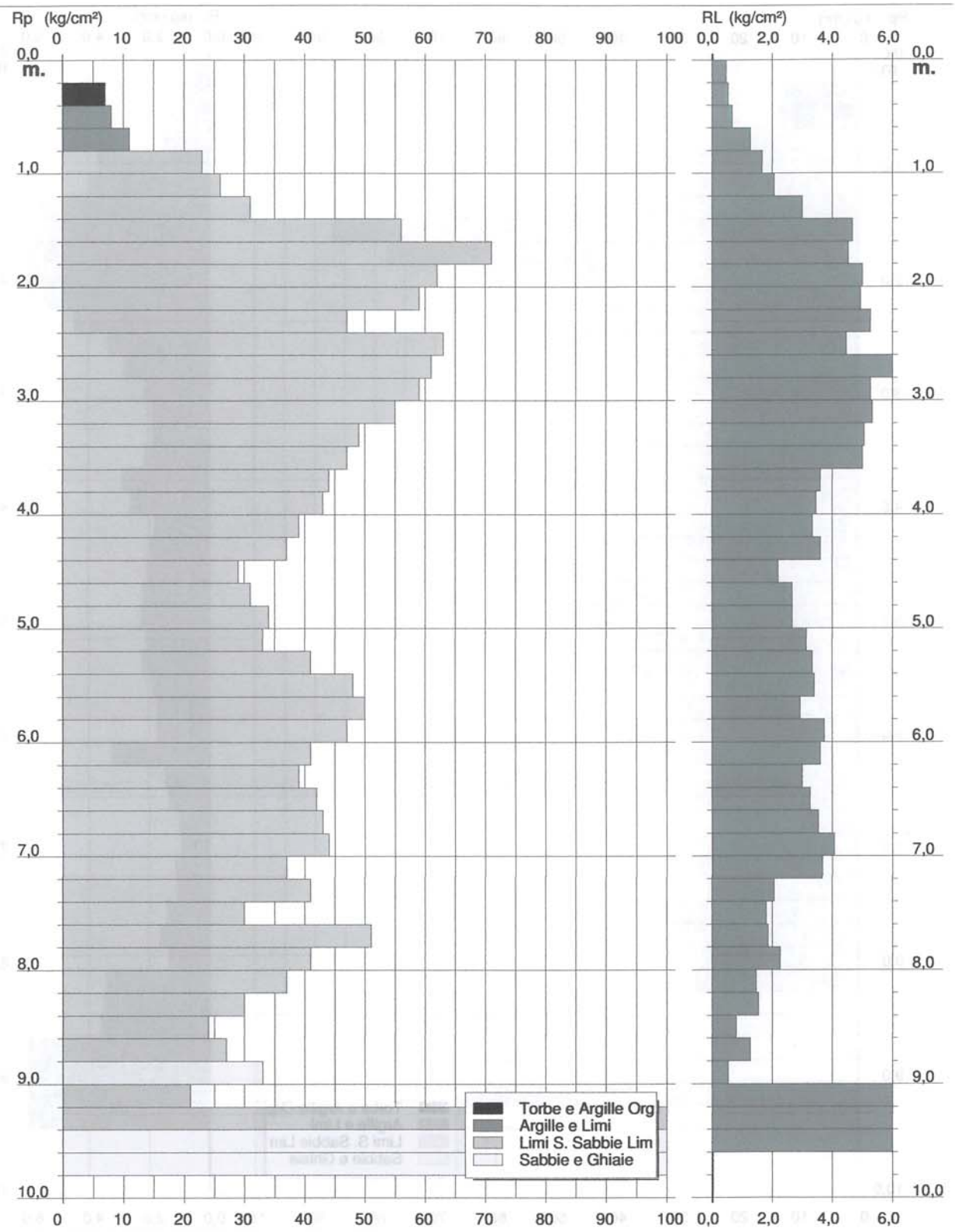
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

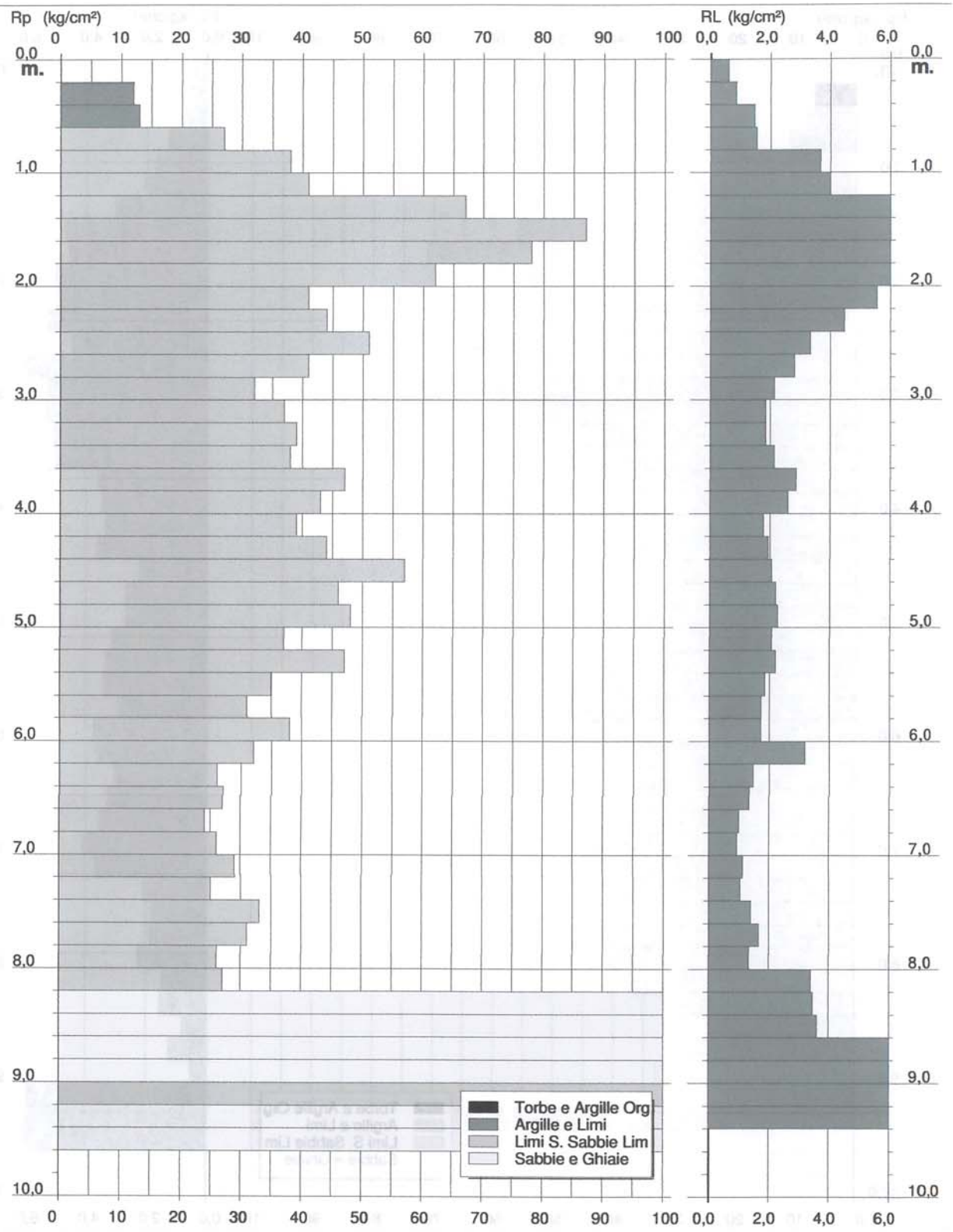
Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 3
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

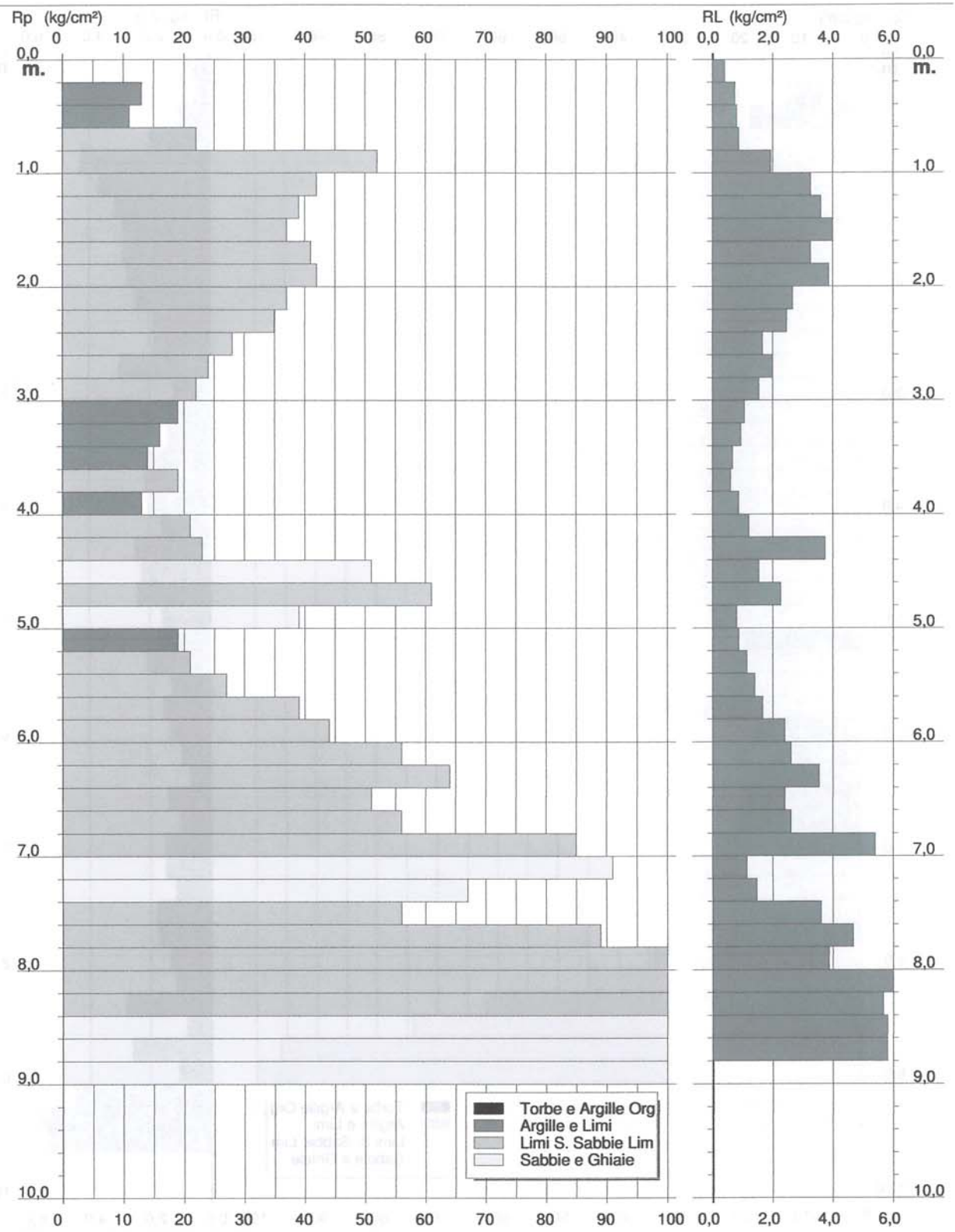
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 4
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

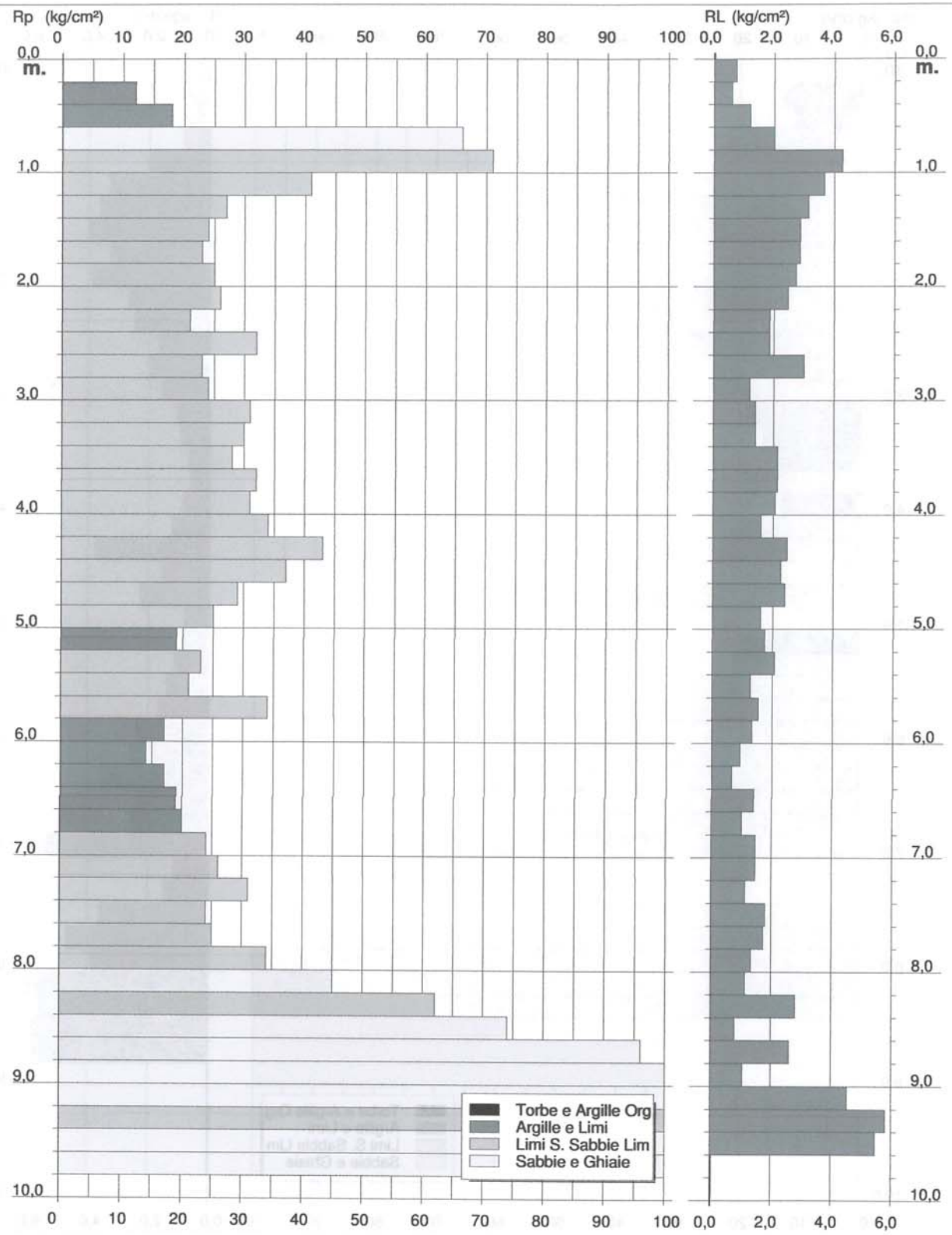
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

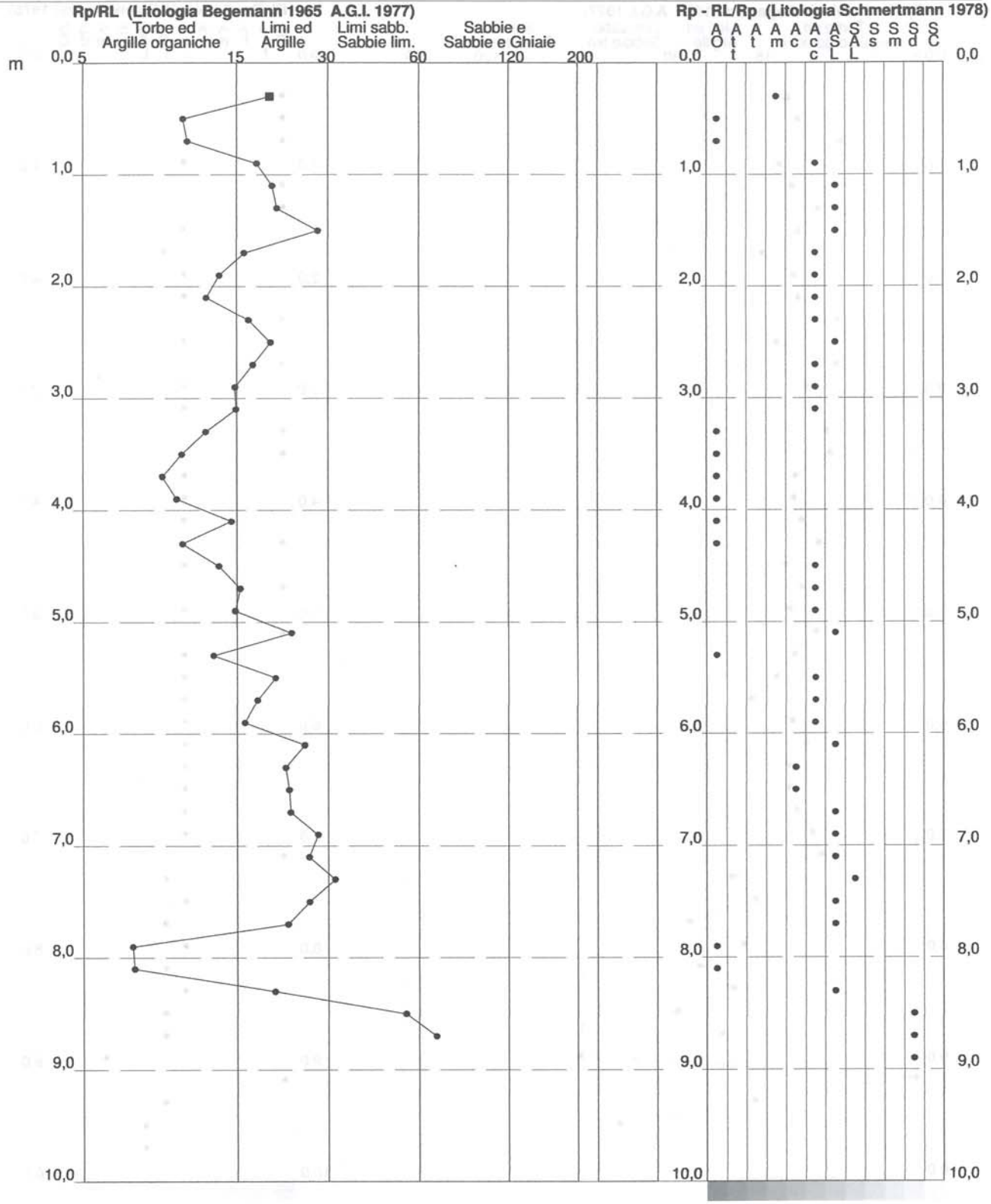
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

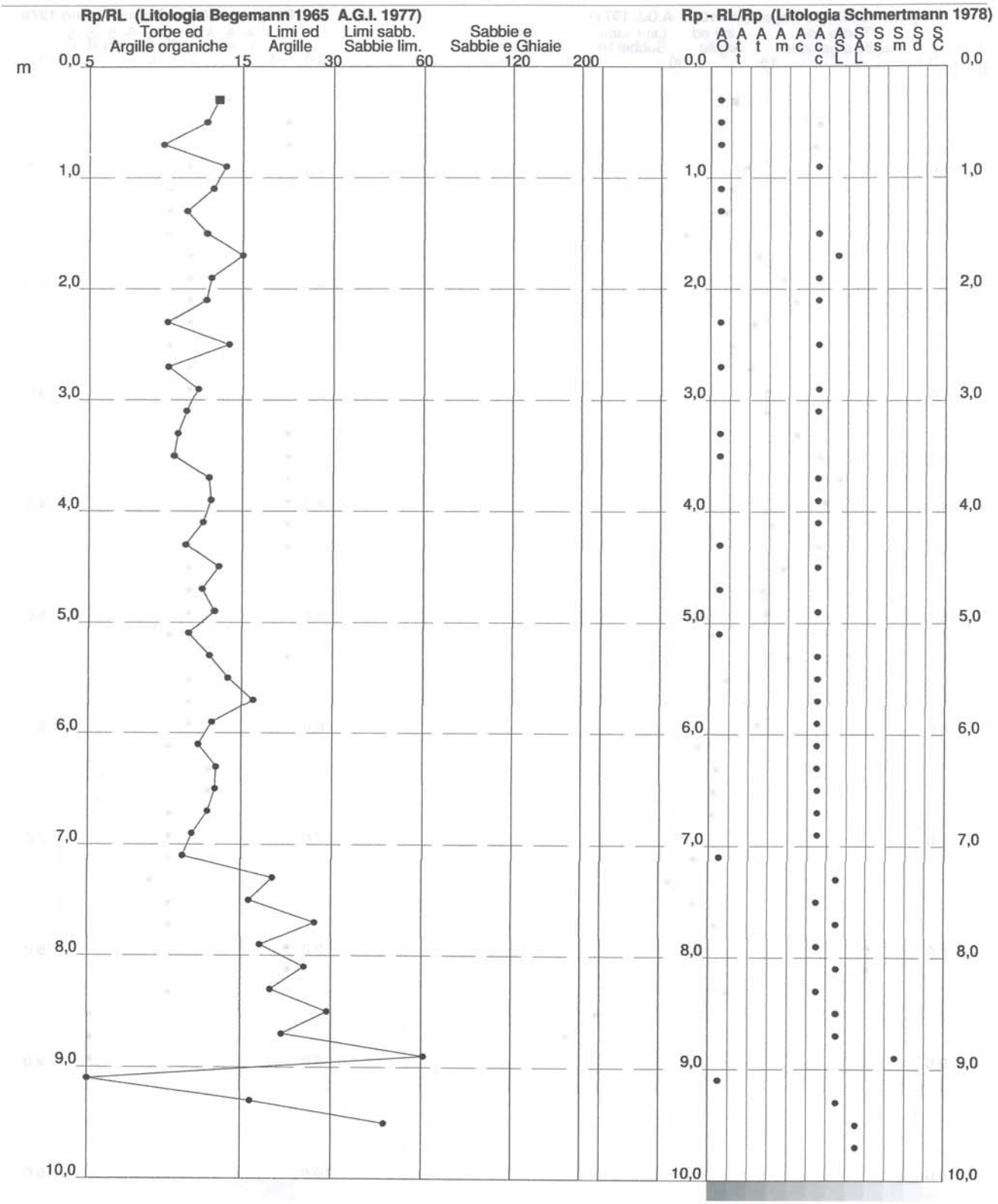
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

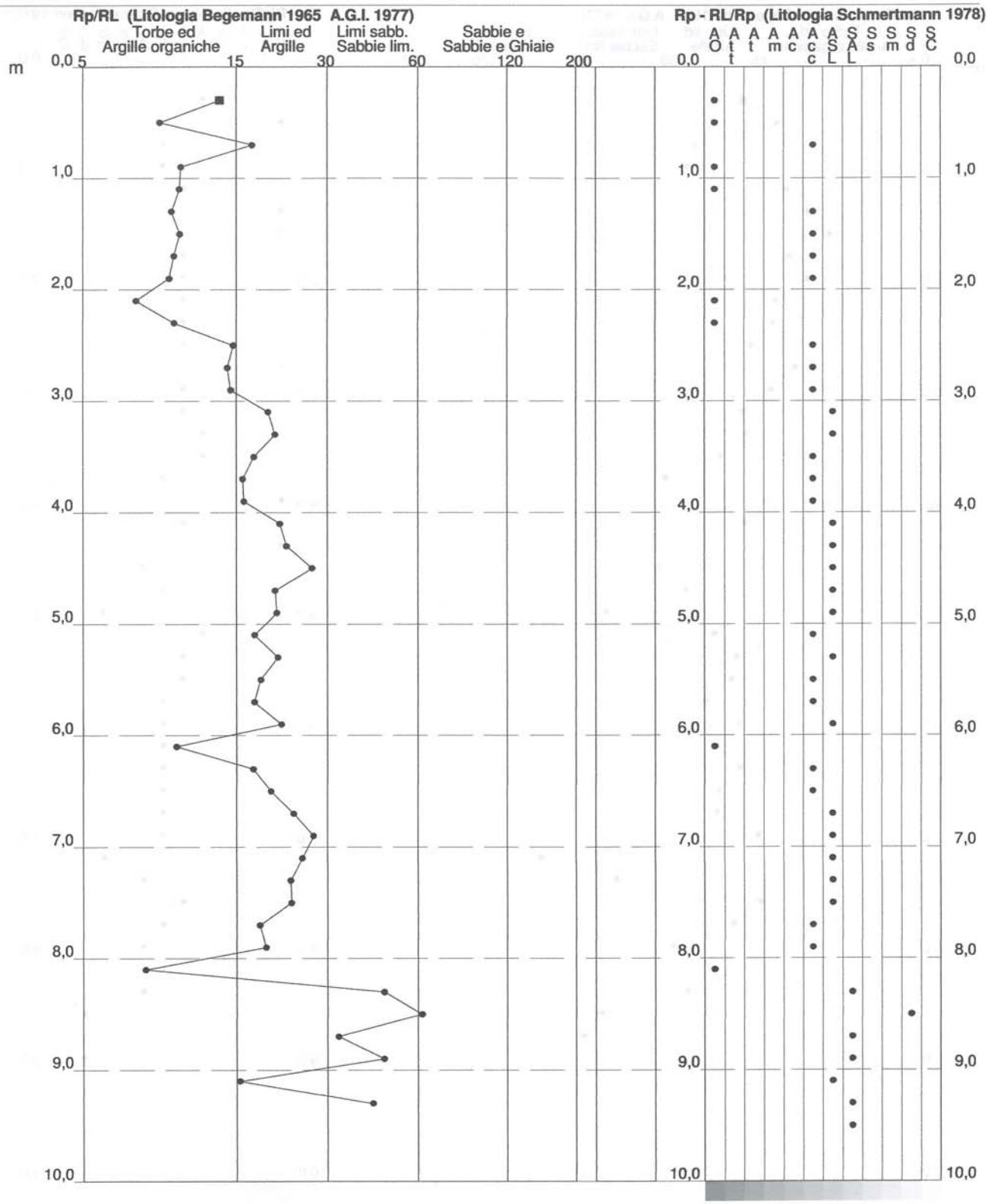
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 3
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

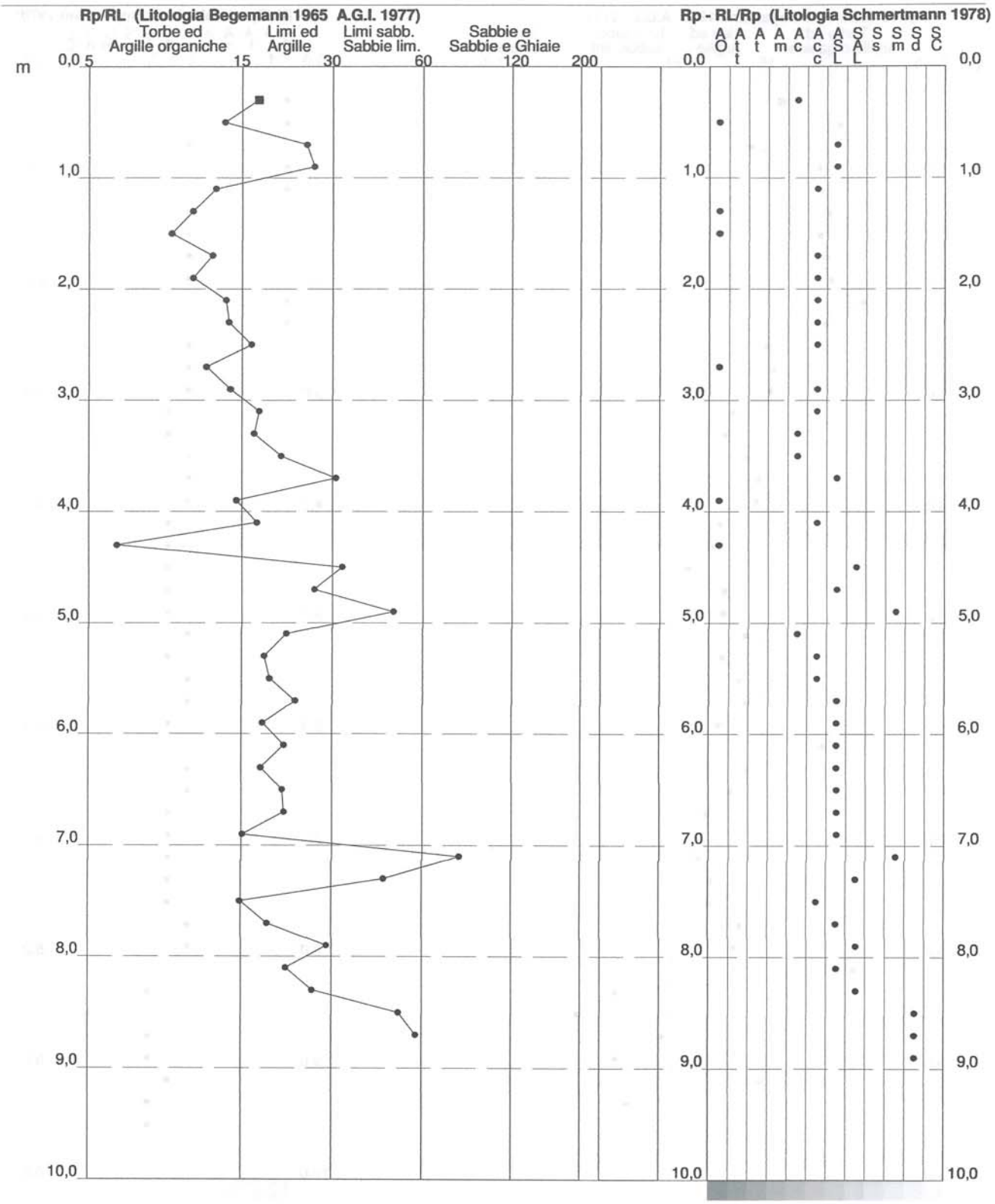
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 4
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

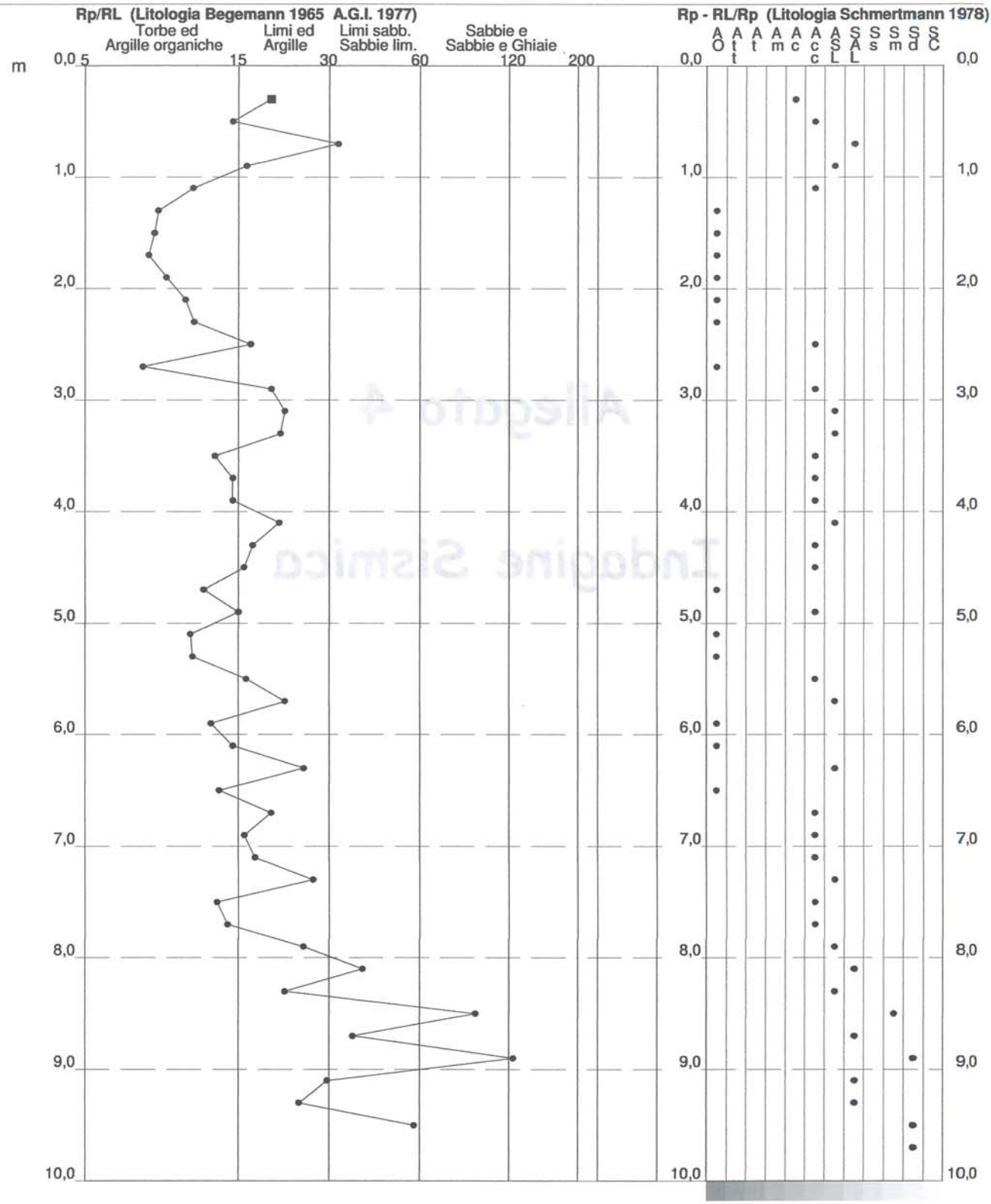
PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Allegato 4

Indagine Sismica

Dr. Bruno Gardegni – Geologo - Via Fadina 22 – 48018 Faenza (RA)
e-mail: brunogard@libero.it – cell.: 3294053135



INDAGINE SISMICA mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a stazione singola eseguita con tromografo digitale TROMINO-Micromed ed elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed

CANTIERE: via Ascari, Imola (BO)

COMMITTENTE: dr.geol. Castellari Maurizio

LAVORO: nuova lottizzazione

Faenza, Gennaio 2016

Dr. Geol. Bruno Gardegni

Dr. Bruno Gardegni – Geologo - Via Fadina 22 – 48018 Faenza (RA)
e-mail: brunogard@libero.it – cell.: 3294053135

UBICAZIONE INDAGINE

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione sismica di un area ubicata nel Comune di Imola in via Ascari dove è prevista una nuova lottizzazione, pertanto è stata redatta una relazione geologica a cui verrà allegata la presente relazione sismica, inoltre sono state eseguite 5 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità di circa 10 m, tali prove sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica, vista l'estensione dell'area sono state eseguite due tromografie sismiche.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed, lo strumento è stato posizionato tra le prove penetrometriche eseguite.

L'area è inquadrata nella carta topografica 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna all'interno del quadrante 239 NO Imola, nel C.T.R. 1:10.000 nella sezione 239050 Serra e nel C.T.R. 1:5.000 risulta inquadrato nell'elemento 239051 Imola Sud.



Ubicazione indagini: • tromino - • CPT

INDAGINE GEOFISICA e INTERPRETAZIONE

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tromografico digitale **TROMINO,** avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/, fornisce una valutazione diretta della Vs_{30} in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La Vs_{30} viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtremori, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma; il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come ad esempio dalle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, e il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica. Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME.

Nel presente studio, che sfrutta la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V = 1) con quello misurato in superficie, la frequenza di risonanza del terreno è regolata dalla formula:

$$f = Vs / 4H$$

dove f è la frequenza e H lo spessore dello strato sismico.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:

Traccia 1

Start recording: 18/01/16 09:27:23 End recording: 18/01/16 09:57:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h30'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

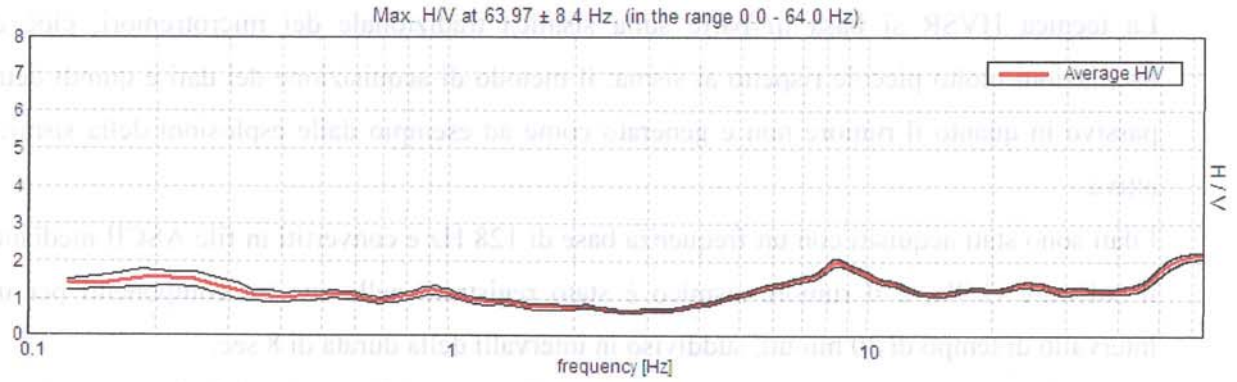
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

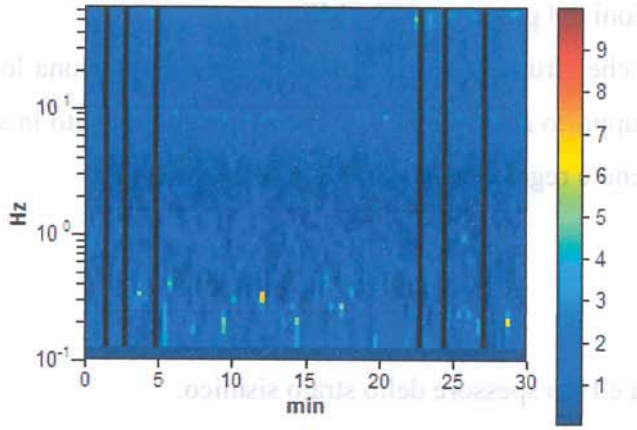
Smoothing: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

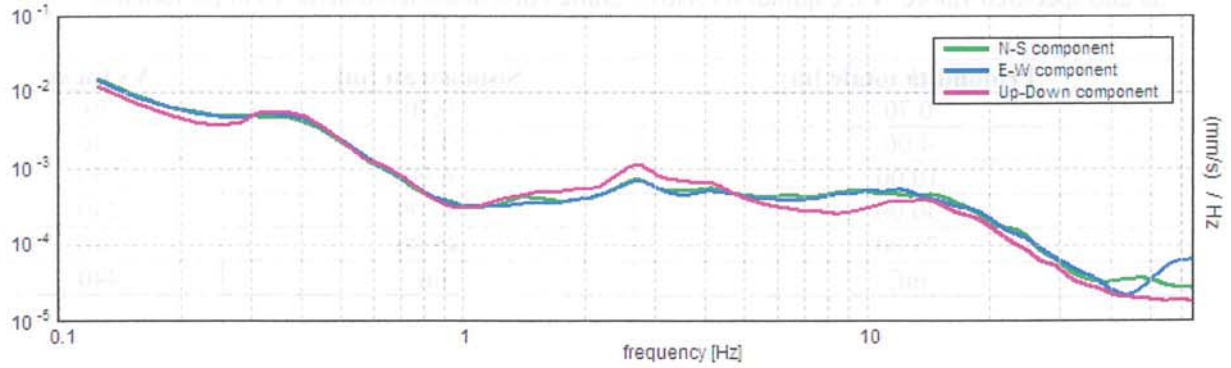


H/V TIME HISTORY

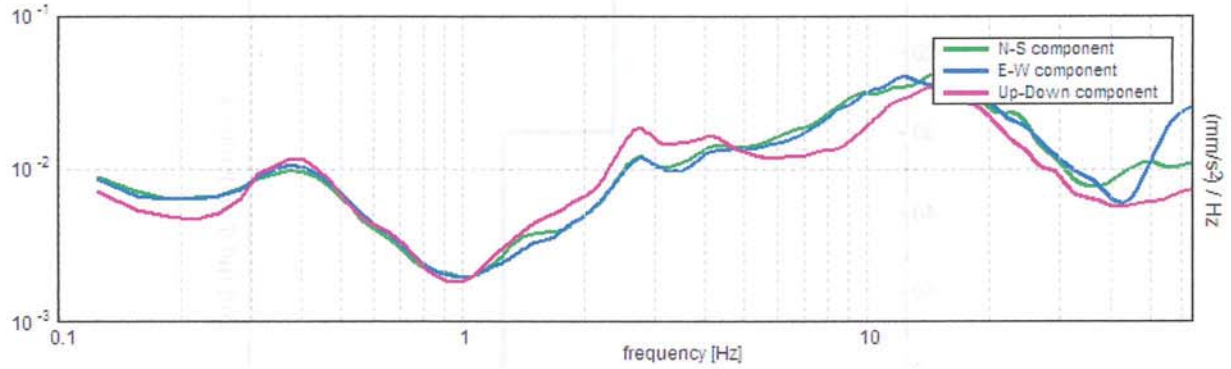


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

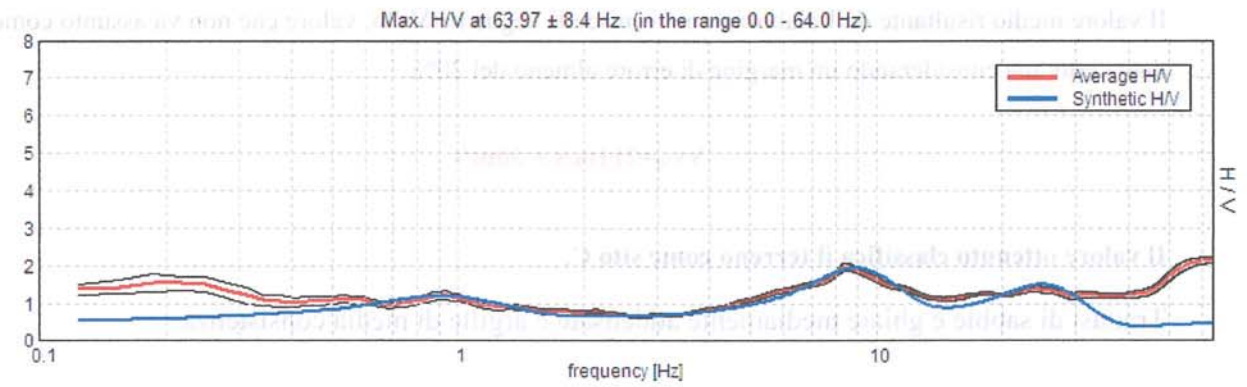


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



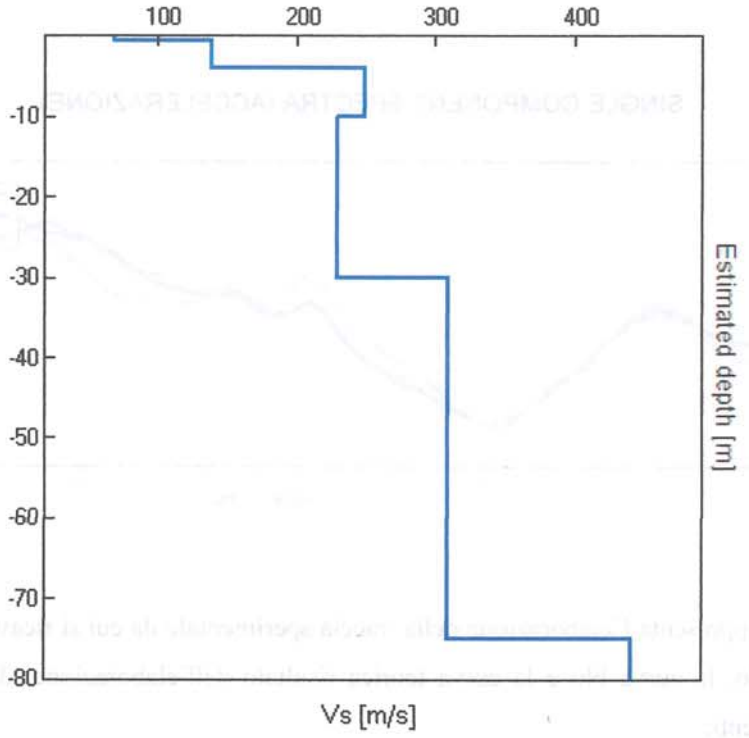
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC Hh/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	70
4.00	3.30	140
10.00	6.00	250
30.00	20.00	230
75.00	45.00	310
inf.	inf.	440



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

Vs_{30}=211m/s ± 30m/s

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 63.97 ± 8.4 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	107467.5 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.514 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.679 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.16 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.0456| < 0.05	OK	
$s_f < e(f_0)$	2.19653 < 3.19844	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.0426 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $\square_f < \square(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\square_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $\square_A(f) < \square(f_0)$

Threshold values for $\square_f$ and $\square_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Traccia 2

Start recording: 18/01/16 10:42:52 End recording: 18/01/16 11:12:53

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h30'00". Analyzed 92% trace (automatic window selection)

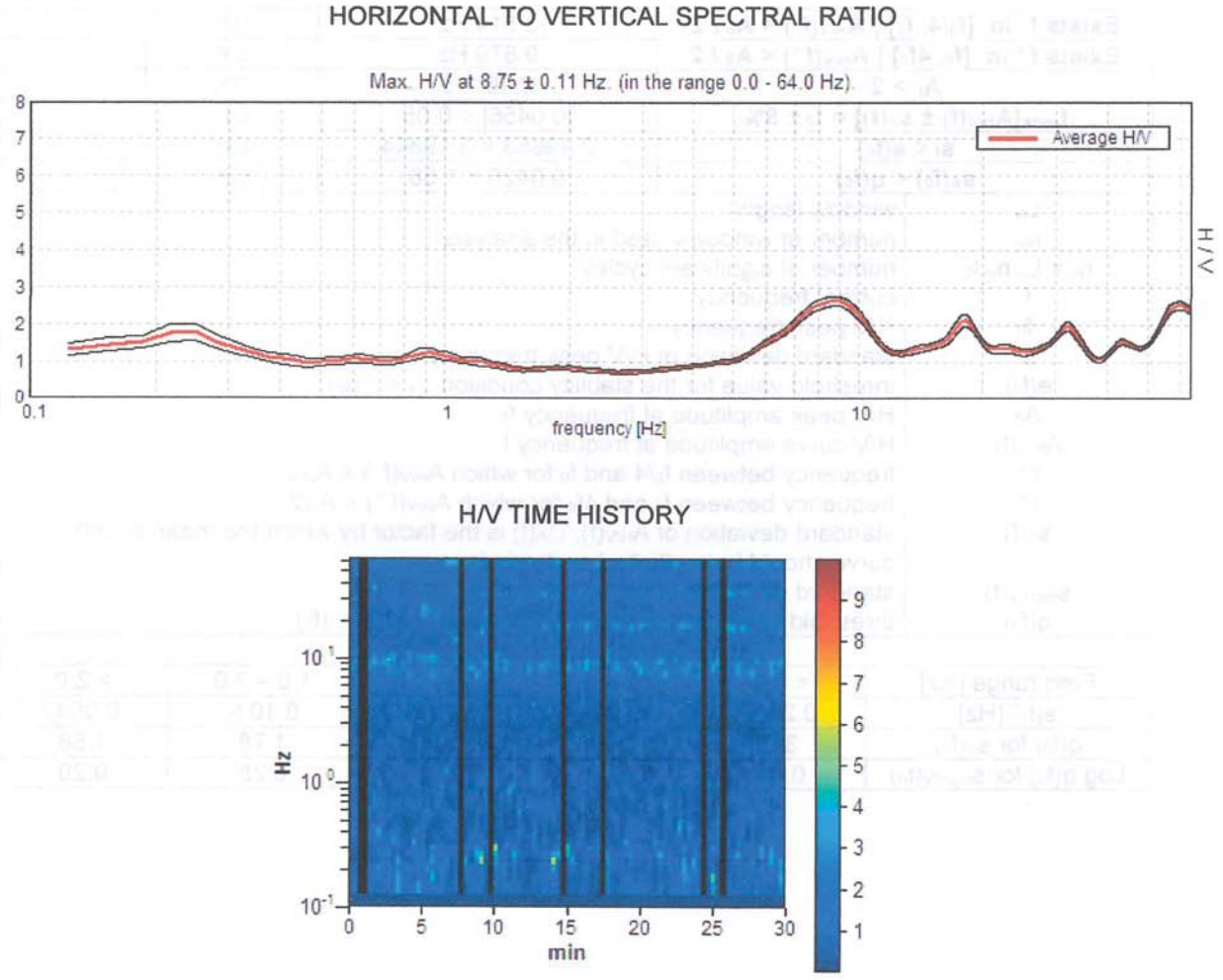
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

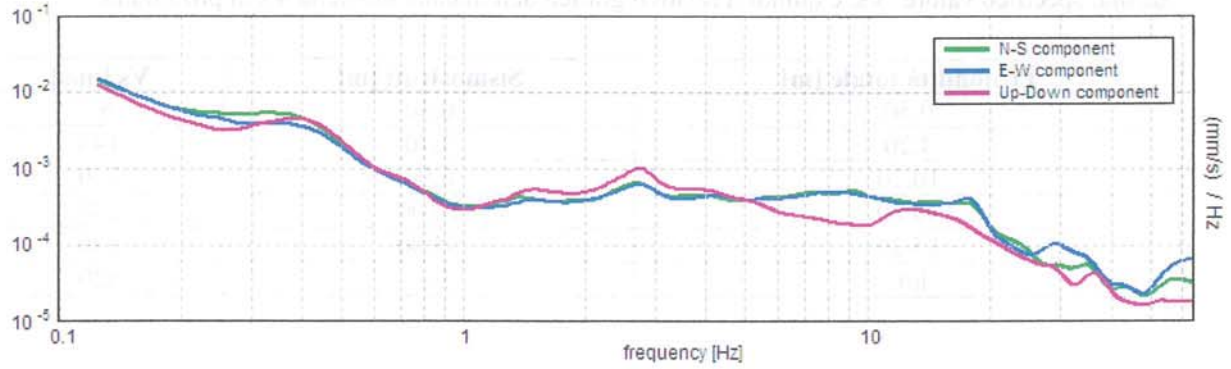
Smoothing: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

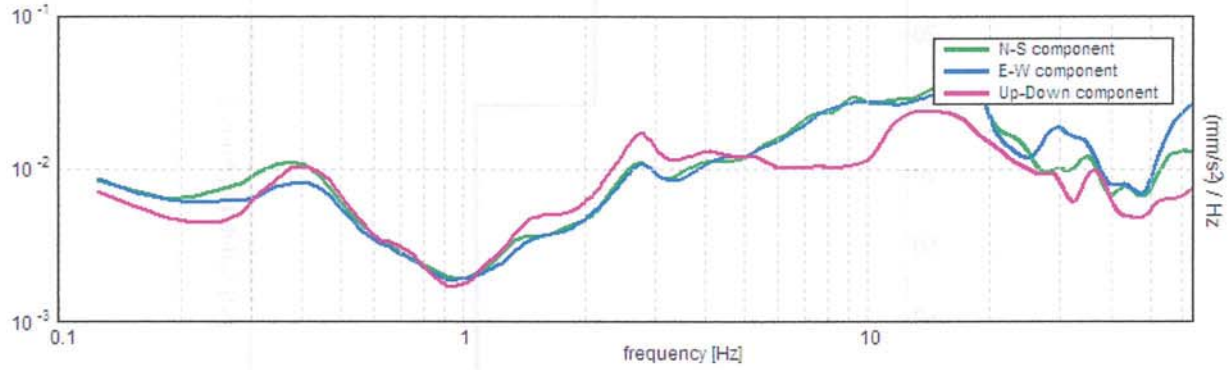


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

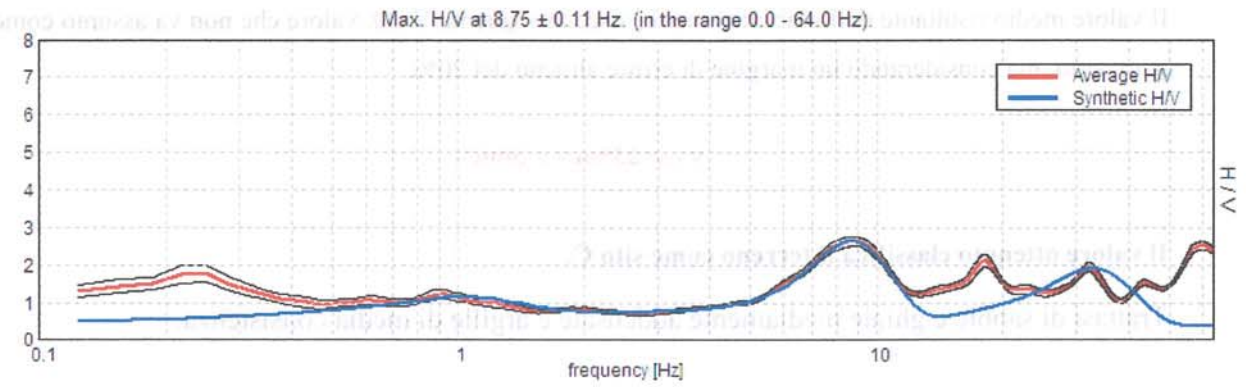


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



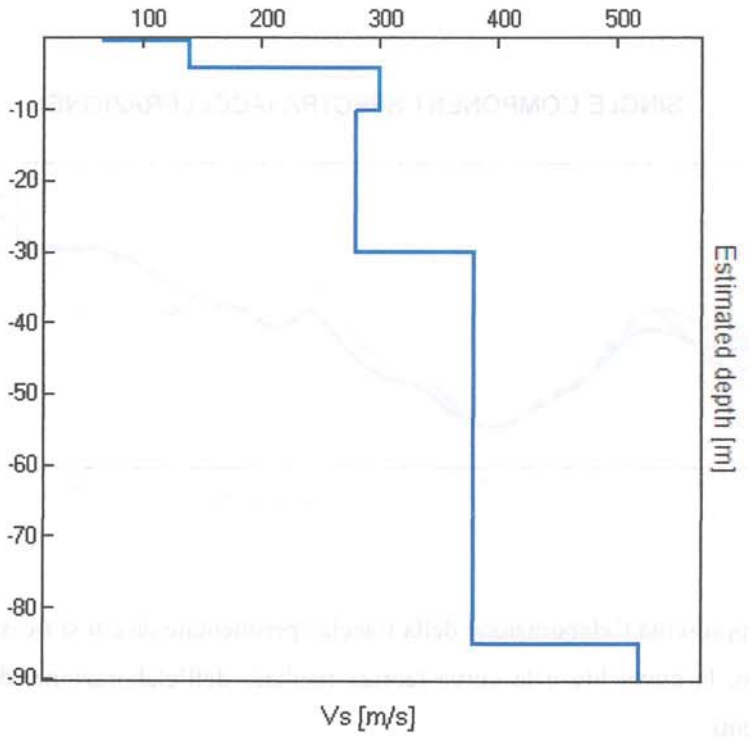
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC Hh/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	67
4.20	3.70	140
10.20	6.00	300
30.20	20.00	280
85.20	55.00	380
inf.	inf.	520



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

Vs_{30}=239m/s ± 30m/s

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 8.75 ± 0.11 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14350.0 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 421 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.65 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00603| < 0.05	OK	
$s_f < e(f_0)$	0.05274 < 0.4375	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.0619 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \sigma(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

VALUTAZIONE EFFETTO DOPPIA RISONANZA

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova lottizzazione, si procede ad una valutazione della risonanza in previsione della costruzione di nuovi edifici. La frequenza di un edificio dipende dall'altezza ossia dal numero dei piani e può essere calcolata approssimativamente secondo la formula:

$$\text{Freq. edificio} \cong 10 \text{ Hz} / \text{n.piani}$$

La coincidenza di risonanza tra terreno e struttura può dar luogo a fenomeni di doppia risonanza sull'edificio pericolosa in quanto provoca la massima amplificazione.

Con ogni probabilità saranno realizzati edifici di civile abitazione a due piani, per cui la frequenza è pari a circa 5 Hz, dall'indagine geofisica si osserva che a circa 10-15 m di profondità dove la frequenza registrata è di circa 5 Hz si osserva un cambio litologico, passando sa limi argillosi a ghiaie al di sotto delle quali sono presenti le sabbie gialle, la frequenza caratteristica è di circa 8 Hz corrispondente ad una profondità di 5-10 m, in linea di massima si tende ad escludere fenomeni di doppia risonanza sugli edifici tuttavia siamo in una situazione al limite per cui si consiglia di tenere presente che il banco di ghiaia a cira 9-10 di profondità potrebbe dare luogo a tali fenomeni di risonanza.

PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Latitudine: 44,342483 °

Longitudine: 11,724889 °

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1	17623	44,3209	11,6737	4721,733
Sito 2	17624	44,3220	11,7436	2721,712
Sito 3	17402	44,3720	11,7421	3553,793
Sito 4	17401	44,3709	11,6722	5248,465

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

Parametri sismici:

	P_{VR} %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,066	2,404	0,260
Danno SLD	63	50	0,085	2,393	0,268
Salvaguardia vita SLV	10	475	**0,205**	2,451	0,300
Prevenzione collasso SLC	5	975	0,257	2,506	0.313

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

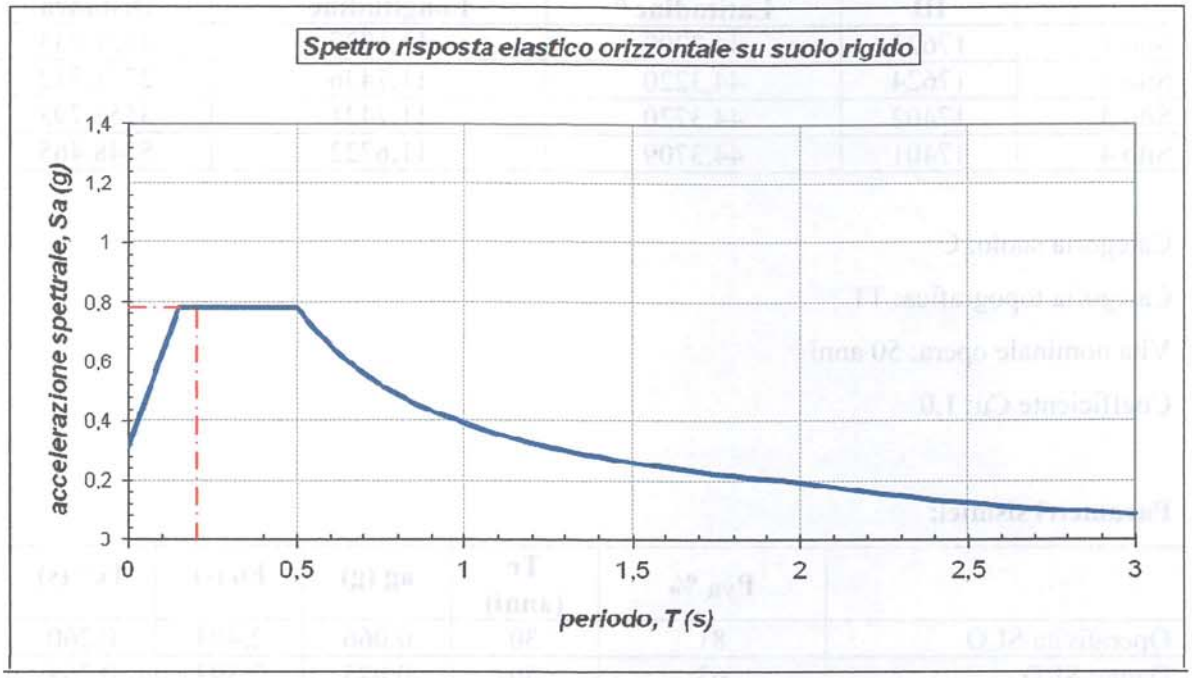
	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,978	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,026	0,013	1,251	0,200
SLV	**1,400**	1,560	**1,000**	0,080	0,040	**2,818**	0,280
SLC	1,310	1,540	1,000	0,094	0,047	3,300	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica

Spettri di risposta



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
Margine app A	C	0.25	1.25	0.15	0.5	2	2	0,2	0,78125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di a_{refg} di ogni comune ,lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

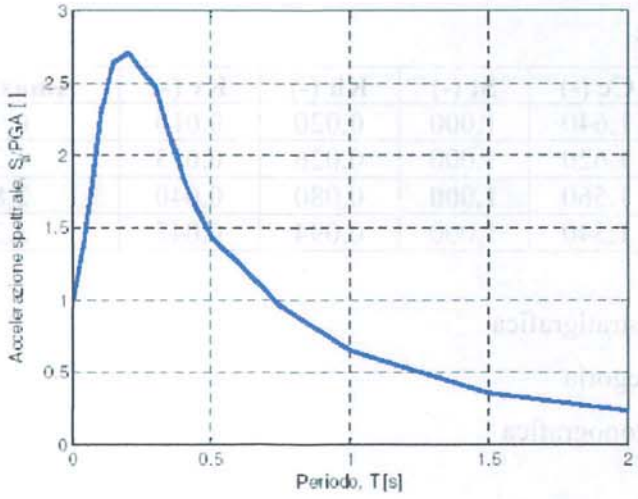


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00000	0,10000	**0,20000**	0,30000	0,40000	0,50000	1,00000	1,50000	2,00000
Sa/a_{ref}	1,00000	2,28349	**2,70745**	2,46642	1,84047	1,44476	0,64546	0,35479	0,23070

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

Valore di a_{refg} per il comune di Imola = 0,2064

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media i < 15°	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	St =1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media 15°< i < 30°	St =1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media i > 30°	St =1.4

Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	**V_{s30} (m/s)**	**NSPT**	**Cu (kPa)**
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)	180 – 360	15 – 50	70 – 250

Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

L'area di intervento è collocata tra la pianura e il primo appennino imolese, in base alla nuova classificazione è morfologicamente definito come margine appenninico-padano caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido), in particolare abbiamo Margine tipo A caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico; le prove penetrometriche e la modellazione sismica evidenziano la presenza di depositi alluvionali fini sovrastanti il substrato non rigido collocabile a circa 10 m di profondità, si procede quindi al calcolo della VsH, in questo caso Vs10 per entrambi i siti:

Vs10 = 10 / ((0.7/70)+(3,3/140)+(6/250)) = 173 m/s sito 1

Vs10 = 10 / ((0.5/67)+(3,7/140)+(6/300)) = 185 m/s sito 2

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 200 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

MARGINE APPENNINICO-PADANO: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido); questo settore è suddiviso in:

MARGINE di tipo A: caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.2**	2.0	1.8		

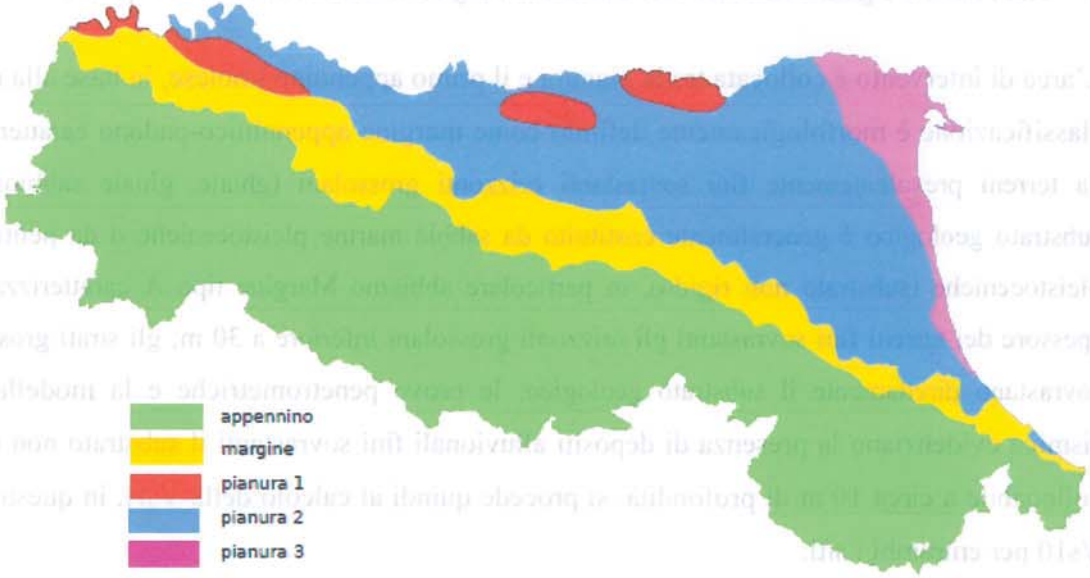
Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.6	**2.4**	2.0	1.8		

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.0**	1.8	1.7		

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici

CONCLUSIONI

- Il terreno indagato e classificabile come sito **C**;
- La Vs30 stimata è pari a 211 m/s per il sito 1 e 239 m/s per il sito 2 con una velocità media dell'area pari a 225 m/s;
- I manufatti previsti sono classificati come classe d'uso II;
- Non è da escludere il rischio di risonanza sugli edifici;
- L'accelerazione di gravita del sito è ag = 0,205 (SLV);
- L'accelerazione massima è Amax = 2,818 (SLV);
- L' accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per il comune di Imola è 0,2064;
- La categoria topografica è T1;
- L'area è classificabile come margine appenninico padano tipo A;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica quelli relativi alla fascia di velocità pari a 200 m/s;
- La VsH calcolata è relativa allo spessore di 10 m di depositi fini sovrastanti il substrato non rigido pertanto abbiamo Vs10 pari a 173 m/s per il sito 1 e 185 m/s per il sito 2 con una velocità media dell'area pari a 179 m/s;
- I coefficienti di amplificazione sismica F.A. sono:

  P.G.A = **2,2**

  I.S. per l'intervallo 0.1s<To<0.5s = **2,4**

  I.S. per l'intervallo 0.5s<To<1.0s = **2,0.**

Faenza, Febbraio 2016

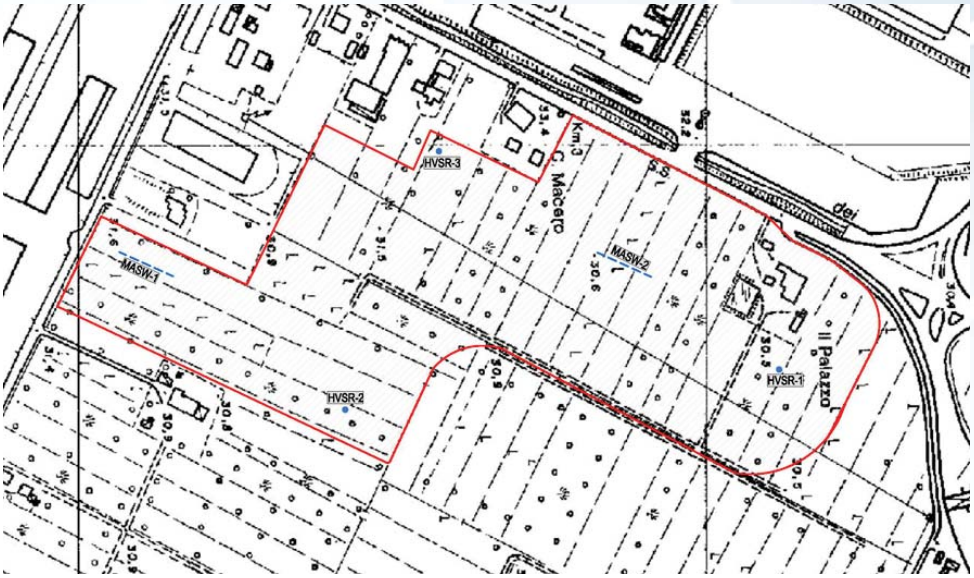
Dr. Geol. Bruno Gardegni



COMUNE DI IMOLA (BO)

INDAGINE GEOFISICA SUI TERRENI DEL COMPARTO N24 SITUATI IN VIA LASIE, VIA SELICE

INTEGRAZIONE ALLA RELAZIONE GEOLOGICA



DATA : FEBBRAIO 2011

COMMITTENTE: GRUPPO BASSO S.P.A.

INT: 069.11

Spazio riservato per timbro
e firma degli Enti Competenti

dott. geol. GABRIELE CESARI
(n. 824 Ordine Geologi Emilia Romagna)

dott. geol. TIZIANO RIGHINI
(n. 1038 Ordine Geologi Emilia Romagna)

dott. geol. CARLO BERTI CERONI
(n. 1241 Ordine Geologi Emilia Romagna)

GEO-NET
GEOLOGIA & AMBIENTE - GEOTERMIA

INDICE

1 Premessa 2

2 Considerazioni relative a quanto previsto dagli strumenti di pianificazione 2

3 Prima fase di analisi

(Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000) 4

3.1 Caratteri stratigrafici, litologici e morfologici 4

3.2 Idrologia e Idrogeologia 6

3.3 Caratteristiche tettonico-strutturali del territorio 6

3.3.1 Storia sismica del territorio 7

3.4 Potenzialità di amplificazione stratigrafica e topografica 9

4 Seconda fase di analisi

(Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000) 10

4.1 Indagine geofisica MASW 10

4.2 Indagine geofisica HVSR con Tromografo 11

4.3 Risultati delle indagini geofisiche 12

4.4 Determinazione dei fattori di amplificazione sismica 14

4.4.1 Determinazione della profondità del substrato (bedrock) e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (VsH) 14

4.4.2 Valutazione dei fattori di amplificazione sismica 16

4.4.3 Effetti della topografia 17

5 Caratterizzazione sismica ai sensi del D.M. 14/01/2008 ..... *18*

5.1 Valutazione delle categoria di sottosuolo ai sensi del D.M. 14/01/2008 18

5.2 Amplificazione stratigrafica e topografica 21

6 Conclusioni 22

ELENCO ALLEGATI:

- ESTRATTO C.T.R. IN SCALA 1:5.000
- ESTRATTO CARTA GEOLITOLOGICA DI PIANURA IN SCALA 1:25.000
- UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SCALA 1:2.000
- INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE CON METODOLOGIA MASW: RELAZIONE TECNICA
- INDAGINI GEOFISICHE REALIZZATE CON METODOLOGIA HVSR: RELAZIONE TECNICA

1 Premessa

Su incarico della società GRUPPO BASSO S.p.A. è stato redatto il presente documento, allo scopo di soddisfare la richiesta, inoltrata dalla Provincia di Bologna, che ha richiesto "l'analisi di *risposta sismica locale"* - secondo quanto previsto dalla Delibera Regionale 112/2007 – ed un giudizio di fattibilità geologica degli interventi previsti sui terreni del Comparto N24 del Comune di Imola.

Per completare il quadro della caratterizzazione sismica dell'area è stata inoltre condotta una valutazione della categoria di suolo ai sensi del D.M. 14/01/2008 e si sono fornite indicazioni in merito alle caratteristiche della risposta sismica del sottosuolo, le quali potranno essere considerate nelle successive fasi di progettazione esecutiva degli interventi.

L'area interessata dal presente studio è ubicata lungo la via Selice, immediatamente a N dell'intersezione tra tale asse viario e la via Lasie, in Comune di Imola (BO). Si riporta in allegato un estratto della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000, e della Carta Geologica in scala 1:25.000; in entrambe è indicata l'ubicazione dell'area interessata dalla presente indagine.

Il presente documento costituisce un'integrazione della relazione geologico-tecnica, redatta nel mese di ottobre 2000 e della sua successiva integrazione redatta il 17/01/2011, entrambe a firma del dott. geol. Luigi Bernardi, relative all'area in oggetto. Tali perizie riportavano i risultati di una campagna di indagine a suo tempo articolatasi nell'esecuzione di n. 35 prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPT). Per i dettagli si rimanda direttamente alla visione dei succitati documenti.

Ad integrazione dell'originaria campagna di indagine, nel mese di febbraio 2011, i sottoscritti geologi hanno effettuato apposite indagini geofisiche, finalizzate all'acquisizione di dati necessari alla caratterizzazione della risposta sismica dei terreni, secondo quanto previsto dalla Delibera 112/2007: in particolare, sono state condotte due prove geofisiche con metodologia integrata MASW-HVSR, e tre ulteriori prove eseguite con metodologia HVSR a stazione singola.

Infine è stato espresso un giudizio di fattibilità sotto il profilo geologico.

2 Considerazioni relative a quanto previsto dagli strumenti di pianificazione

La Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/05/2007 ha sancito l'adozione, in ambito regionale, dell'"Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000" denominato "*Indirizzi per gli studi di microzonazione*

sismica in Emilia Romagna, per la pianificazione territoriale e urbanistica". Tale documento e gli indirizzi in esso contenuti fornscono "*i criteri per la valutazione della risposta sismica locale e per la microzonazione sismica del territorio*" osservati dalle Amministrazioni Provinciali e Comunali nell'elaborazione della propria strumentazione territoriale e urbanistica, ai sensi dei punti 1 e 2 della succitata delibera regionale 112/2007.

Come riportato al §1 del succitato Atto di Indirizzo, "*gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione del rischio sismico […] attraverso analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione urbanistica, ed orientano le proprie scelte localizzative, i possibili processi di trasformazione urbana e la realizzazione delle opere di interesse pubblico verso scenari di prevenzione e mitigazione del rischio sismico*".

Tali obiettivi vengono perseguiti attraverso la redazione di appositi Studi di Risposta Sismica Locale e Microzonazione Sisismica, la cui realizzazione è regolata dalle linee guida riportate al §2 dell'Atto di Indirizzo – "Disposizioni Generali". Tali linee guida prevedono l'esecuzione di un'analisi in due fasi, ciascuna delle quali condotta con diversi possibili livelli di approfondimento, determinati sulla base delle caratteristiche del sito in oggetto.

1. La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè a identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno ecc.), sulla base dei dati disponibili.

2. La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato, da svolgere secondo due livelli di approfondimento:

2a "*nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività i<15° in cui il deposito ha spessore costante*" la microzonazione può essere redatta in base al **secondo livello di approfondimento**

2b "*nelle aree soggette a liquefazione e densificazione, nelle aree instabili e potenzialmente instabili, nelle aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti, e nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico*" è invece richiesta un'analisi condotta in base al **terzo livello di approfondimento**

La seconda fase è richiesta per la predisposizione e l'approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale.

Il sito in oggetto è stato fatto oggetto di un'analisi articolata in due fasi, la seconda delle quali conforme al **secondo livello di approfondimento**. L'area di interesse si presenta infatti sostanzialmente pianeggiante, e le indagini geognostiche condotte in loco hanno evidenziato una notevole uniformità dell'assetto litostratigrafico del primo sottosuolo.

- Nella prima fase è stato redatto un inquadramento geomorfologico, geolitologico, stratigrafico, idrografico ed idrogeologico dell'area in esame, sulla base di conoscenze acquisite nell'ambito di studi condotti in aree limitrofe a quella in oggetto e sulla base di dati bibliografici. Una descrizione dettagliata dell'assetto litostratigrafico dei terreni presenti nel primo sottosuolo del sito stesso è stata mutuata dalla già citata relazione geologica redatta nel mese di ottobre 2000 a firma del dott. geol. Luigi Bernardi, e dalla relativa campagna di indagine.

- Nell'ambito della seconda fase sono state calcolati i fattori di amplificazione sismica, ottenuti impiegando le tabelle e le formule di cui all'allegato A2 (§A2.1 e §A2.2) della Delibera 112/2007. I dati di origine (impiegati per la determinazione delle Vs) sono stati ottenuti mediante l'esecuzione di due indagini geofisiche realizzate con metodologia integrata MASW-HVSR: tali dati hanno inoltre consentito di determinare la categoria di suolo dei terreni indagati, ai sensi del D.M. 14/01/2008

- Sono stati infine valutati gli effetti sismici della topografia, secondo i criteri specificati nell'Allegato A2 (§A2.2) alla delibera regionale 112/2007. La stessa valutazione è stata inoltre condotta ai sensi del D.M. 14/01/2008.

3 Prima fase di analisi

(Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000)

3.1 Caratteri stratigrafici, litologici e morfologici

Il sito in oggetto è ubicato lungo la SP610 "Selice-Montanara", in Comune di Imola (BO): in particolare, l'area si trova in adiacenza al tratto di tale asse viario compreso tra le intersezioni con la via Lasie (che delimita il margine SW dell'area stessa) e con l'autostrada A14 (che ne individua il confine NE). La quota assoluta della superficie topografica, desunta dall'estratto della Carta Tecnica Regionale riportato in allegato al presente scritto, risulta compresa tra m. 31,5 e m. 30,0 s.l.m., con una debole immersione in direzione NNE verso la Pianura Padana.

Dal punto di vista topografico, l'area di interesse è caratterizzata da una notevole uniformità, salvo la presenza del terrapieno sulla quale si colloca la sede stradale della SP610, che delimita il margine W del sito in oggetto. Poiché il sito stesso è ubicato in un'area sostanzialmente pianeggiante, esso è da ritenersi esente da problematiche legate a fenomeni di dissesto gravitativo.

L'esame della Carta Geolitologica dell'Emilia Romagna, un estratto della quale è riportato in allegato al presente documento (in scala 1:25.000), evidenzia la presenza, nel sottosuolo del sito in oggetto, di depositi sedimentari continentali di origine alluvionale, riferibili alla conoide del Fiume Santerno.

Tale corpo sedimentario, caratterizzato dalla classica forma a ventaglio, deriva dall'accumulo dei sedimenti trasportati dal fiume in corrispondenza del suo sbocco nella Pianura Padana: In corrispondenza di tale sbocco, il brusco calo del gradiente morfologico e l'espansione della corrente fluviale, non più incanalata nella vallata, determinavano infatti una diminuzione della capacità di trasporto della corrente stessa, che rilasciava quindi i materiali trasportati, depositandoli con una gradazione decrescente verso valle: l'alternanza tra episodi di "alta energia" (durante le piene) e di "bassa energia" (durante le magre/morbide) del fiume determinava poi la deposizione di materiali grossolani (ghiaie e sabbie) e fini (limi e argille) in orizzonti alternati dando luogo alla tipica configurazione stratigrafica della conoide.

In particolare, la cartografia tematica consultata evidenzia come il sito in oggetto insista su "*depositi di conoide e di terrazzo*", costituiti da "*sabbie, limi sabbiosi e limi prevalenti*".

L'area in esame è stata fatta oggetto di una caratterizzazione geologica, contenuta nella già citata perizia geologica-geotecnica redatta ad opera del dott. geol. Luigi Bernardi nel mese di ottobre 2000, basata sui dati desunti da una campagna di indagini articolatasi nell'esecuzione di n. 35 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT). I dati desunti da tali indagini hanno permesso di delineare l'assetto stratigrafico del primo sottosuolo, il quale descrive le caratteristiche dei terreni riscontrati a partire dalla quota del piano di campagna presente al momento delle indagini.

Le penetrometrie realizzate hanno rilevato la presenza di litotipi incoerenti di natura prevalentemente ghiaiosa, attribuibili ai depositi di conoide, sormontati da una copertura coesiva scarsamente permeabile composta da terreni argillosi e/o argilloso-limosi.

In particolare, è stata riscontrata la presenza di un primo intervallo, di spessore pari a m. 1,6-3,2 in corrispondenza delle diverse verticali di indagine, costituito da terreni coesivi di natura argillosa. Al di sotto di questo primo intervallo, sono stati individuati litotipi coesivi di natura argilloso-limosa a medio grado di consistenza: questo secondo intervallo si protrae nel sottosuolo fino a m. 4,6-7,2 dal locale piano campagna, in corrispondenza delle varie verticali di indagine.

Infine, fino alle massime profondità indagate (pari a m. 5,2-8,0 in corrispondenza delle diverse verticali di indagine), è stata riscontrata la presenza di terreni incoerenti costituiti da ghiaie addensate in matrice sabbiosa.

3.2 Idrologia e Idrogeologia

La deposizione dei sedimenti alluvionali su cui insiste il sito in oggetto è attribuibile al Fiume Santerno. Attualmente, questo corso d'acqua scorre in direzione SW-NE con andamento sinuoso circa m. 2000,0 a SSE del sito stesso. Tale assetto è il risultato di una progressiva migrazione dell'asta fluviale in direzione E causata da attività neotettoniche esplicatesi lungo le discontinuità strutturali presenti in corrispondenza dello sbocco della vallata.

Non vi sono altri elementi idrologici sufficientemente vicini da poter influenzare la dinamica dell'idrografia dell'area in esame, con l'eccezione del Canale dei Molini di Imola, di origine artificiale, che fluisce parallelamente alla SP610 circa m. 20,0 a E del sito: la regimazione delle acque superficiali nell'intorno dell'area in oggetto è affidata alla rete fognaria urbana, mentre, in corrispondenza della superficie dell'area stessa sono ancora presenti alcuni fossi, di presumibile origine agricola.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea, si sottolinea come, nell'ambito dell'originaria campagna di indagine, non sia stata rilevata alcuna evidenza della presenza di una falda nel primo sottosuolo, per lo meno fino alle massime profondità indagate: sulla base di esperienze pregresse acquisite in aree attigue, la prima falda idrica permanente soggiace infatti ad una profondità di m. 15,0-20,0 dal locale piano campagna.

Non si può tuttavia escludere che, nell'ambito di periodi caratterizzati da importanti precipitazioni, possano rinvenirsi nel primo sottosuolo acque di infiltrazione percolate dalla superficie.

3.3 Caratteristiche tettonico-strutturali del territorio

L'attività sismica del territorio in esame risulta connessa all' attività orogenetica appenninica e definita nell'ambito di specifiche zone sismogenetiche nelle quali gli eventi possono ritenersi circoscritti o definiti in relazione all'assetto tettonico del territorio. Recenti studi hanno messo in luce il legame sismogenetico tra la Pianura Padana e il fronte della catena appenninica.

La struttura tettonica dell'Appennino prosegue sepolta al di sotto dei sedimenti che costituiscono la pianura alluvionale, per circa quaranta km fino a nord di Ferrara ed è costituita da un sistema di grandi faglie inverse (accavallamenti) con superfici di sovrascorrimento a basso angolo (circa 30°), immerse verso S-SO e con trasporto verso N-NE. Questi sovrascorrimenti

hanno determinato un sistema a grandi pieghe superficiali che si sono sviluppate durante le traslazioni degli elementi appenninici verso N-NE entro l'area padana.

Grandi pieghe sinclinaliche sono interposte fra più strette pieghe anticlinaliche che formano rilievi e creste sepolti associati ai fronti di sovrascorrimento. Le aree sinclinaliche sono state sedi di imponenti accumuli di sedimenti marini del Pliocene-Pleistocene inferiore, con spessori fino a 3-4 km nella pianura adiacente al margine appenninico del Bolognese. I grandi depositi, in gran parte marini, con spessori fino a 2 km. che seguono quelli del Pleistocene inferiore, estendendosi regolarmente al di sopra dei rilievi (anticlinalici) generalmente con giaciture tabulari, documentano che l'attività tettonica traslativa si era notevolmente attenuata alla fine del Pliocene superiore e del Pleistocene inferiore. Nel Quaternario si svilupparono ingenti movimenti di abbassamento (subsidenza) dell'area padana, che persistono tuttora. Il sistema di sovrascorrimenti della Pianura Padana, ha determinato pronunciate deformazioni e intense traslazioni, con raccorciamenti nelle coperture sedimentarie dell'ordine di una trentina di km tra il margine pedemontano del bolognese orientale e il fronte ferrarese più esterno. Inoltre è interessante notare come l'attività tettonica più intensa e prolungata nel tempo, ampiamente estesa anche entro il Pleistocene medio-superiore, si sia sviluppata lungo la fascia pedeappenninica più interna, mentre i fronti settentrionali più esterni risultino in prevalenza disattivati con la fine del Pliocene inferiore o al massimo col Pliocene medio.

3.3.1 Storia sismica del territorio

Il territorio in esame è stato più volte interessato da fenomeni sismici; la ricostruzione di una storia sismica del Comune di Imola è stata realizzata a partire dai dati ottenuti dal "*database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 – DBMI04* " (Stucchi et alii*; Quaderni di Geofisica*, Vol 49, pp.38.; 2007), disponibile ondine all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/.

La tabella seguente riporta l'elenco degli eventi sismici storici che hanno interessato l'area in esame, indicandone l'intensità al sito, l'anno in cui tale evento si è verificato e la denominazione dell'evento stesso.

Storia sismica di Imola

[44.353, 11.714]

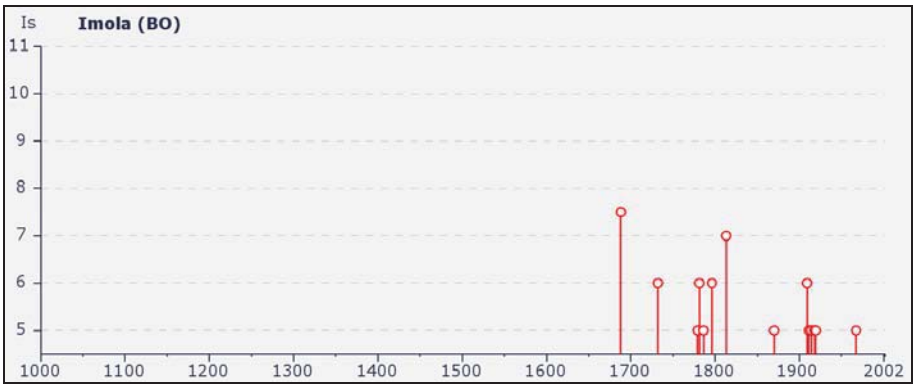
Numero di eventi: 43

Effetti	In occasione del terremoto del:				
Is	**Anno Me Gi Or Mi**	**Area epicentrale**	**Np**	**Ix**	**Mw**
4	1661 03 22 12 45	Appennino romagnolo	58	9	5.83
4	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.60
7-8	1688 04 11 11 30	ROMAGNA	36	9	5.88
F	1725 10 28	FAENTINO	17	7	5.26

6	1732 08 09	FAENZA	3	6	4.83
5	1779 06 04 07	Bolognese	12	7	4.97
6	1781 07 17 09 40	Romagna	33	8	5.53
5	1786 12 25 01	Riminese	91	8	5.67
6	1796 10 22 04	Emilia orientale	26	7	5.63
7	1813 09 21 07 45	Romagna centrale	12	7	5.32
F	1828 10 08 22 30	Romagna meridionale	8	6	4.63
5	1870 10 30	MELDOLA	27	8	5.59
3	1873 09 17	LIGURIA ORIENTALE	68	6-7	5.52
3	1874 10 07	IMOLESE	60	7	4.99
3-4	1887 09 30 15 52	FAENZA	11	6-7	4.83
3	1889 03 08 02 47	BOLOGNA	32	6	4.83
2-3	1897 12 18 07 24	Appennino umbro-march.	132	7-8	5.18
2	1898 01 16 12 10	Romagna settent.	73	7	5.03
2	1899 06 26 23 17	Valle del Bisenzio	134	7	5.09
6	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
5	1911 02 19 07 18	Romagna meridionale	185	7	5.38
NF	1911 09 13 22 29	CHIANTI	103	7-8	5.14
3-4	1913 07 21 22 35	VALLE DEL LAMONE	43	6	5.07
NF	1913 11 25 20 55	VAL DI TARO	73	5	4.85
5	1914 10 27 09 22	GARFAGNANA	618	7	5.79
NF	1915 01 13 06 52	AVEZZANO	1040	11	6.99
2-3	1916 05 17 12 50	Alto Adriatico	130	8	5.85
2-3	1917 12 02 17 39	GALEATA	32	6-7	5.20
5	1918 11 10 15 12	Appennino romagnolo	95	8	5.79
5	1919 06 29 15 06	Mugello	267	9	6.18
3	1929 07 18 21 02	MUGELLO	56	7	5.07
2	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	263	8-9	5.94
3	1931 04 05 13 34	FAENTINO	14	6-7	5.10
2-3	1931 09 05 01 26	FIRENZUOLA	24	7	5.09
3	1951 05 15 22 54	LODIGIANO	126	6	5.24
NF	1957 08 27 11 54	ZOCCA	58	6	5.06
NF	1960 10 29 00 09	MUGELLO	37	7	4.93
5	1967 12 30 04 19	BASSA PADANA	40	6	5.36
3	1980 11 23 18 34	Irpinia-Basilicata	1317	10	6.89
3-4	1983 11 09 16 29	Parmense	835	7	5.10
NF	1984 04 29 05 02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.68
2-3	1986 12 06 17 07	BONDENO	604	6	4.56
NF	1989 09 13 21 53	PASUBIO	779	6-7	4.96

Il diagramma riportato di seguito, proveniente dalla stessa fonte bibliografica, riporta invece la collocazione temporale (in ascissa) e l'intensità al sito in corrispondenza dell'area oggetto del

presente studio (in ordinata) degli eventi sismici sopra descritti, limitatamente a quelli con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5.



3.4 Potenzialità di amplificazione stratigrafica e topografica

Sulla base di quanto fin qui riportato, in merito alle caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche e idrografiche e strutturali dell'area di interesse si può affermare che:

- il sito è ubicato in un area pianeggiante, e la superficie topografica è sostanzialmente uniforme. Si esclude quindi l'eventualità di dissesti o di fenomeni di instabilità gravitativa.

- Per quanto riguarda l'assetto litostratigrafico dell'area in esame, le indagini effettuate mese di ottobre 2000 a cura del dott. geol. Luigi Bernardi hanno evidenziato una sostanziale uniformità dei litotipi che compongono il primo sottosuolo del sito in oggetto. In particolare, con riferimento al rischio di liquefazione dei terreni, sulla base dei risultati derivanti dall'indagine effettuata, si può stabilire che la natura granulometrica dei terreni (che non presentano strati di sabbia granulometricamente uniforme per spessori superiori a m. 1,0 immersi in falda) permette di **escludere il rischio di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico**. Tale fenomeno è tipico, infatti, di terreni granulari fini (sabbie fini) debolmente addensati e immersi in falda per spessori rilevanti e senza variazioni significative di litologia.

Inoltre, la profondità di soggiacenza della prima falda permanente, desunta sulla base di esperienze pregresse acquisite in aree limitrofe a quella indagata, è pari o superiore a m. 15,0-20,0 dal piano campagna attuale. **Non si ritiene pertanto necessario effettuare ulteriori verifiche o approfondimenti in merito ai fenomeni di liquefazione in caso di sisma**

4 Seconda fase di analisi

(Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000)

Il presente documento è stato redatto allo scopo di determinare la pericolosità sismica di base del sito in oggetto e di verificarne la compatibilità con le previsioni urbanistiche. In osservanza di quanto contenuto nella delibera 112/2007 dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna, tale determinazione è stata realizzata secondo le linee guida contenute nell'apposito "Atto di Indirizzo" allegato alla delibera stessa.

Ai sensi del §4 del succitato atto di indirizzo, si è quindi proceduto a una valutazione della risposta sismica locale, condotta secondo la **metodologia semplificata relativa al secondo livello di approfondimento** (§4.1 "Analisi della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio").

Per la valutazione della risposta sismica locale condotta sul sito in oggetto, sono state realizzate n. 2 indagini geofisiche condotte con metodologia integrata MASW-HVSR, realizzate dallo società ENVIA sas: inoltre, sono state realizzate n. 3 indagini tromografiche a stazione singola con metodologia HVSR, allo scopo di verificare l'uniformità della risposta sismica dei terreni alla scala dell'intera area in esame e per ricavare dati utili alla formulazione di stime delle frequenze proprie di risonanza del sottosuolo del sito in oggetto.

L'ubicazione dei punti di esecuzione delle indagini è segnalata nell'apposita planimetria, riportata in allegato al presente scritto.

4.1 Indagine geofisica MASW

Per mezzo della tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999), e quindi dello studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale), è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S. L'idea su cui si fonda il metodo MASW, come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, è quella di utilizzare il fenomeno della dispersione per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obbiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale *velocità di fase – frequenza* (c_f -*f*), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda; nel

presente studio è applicata un procedimento che prevede una trasformata *tempo di ritardo – slowness* (τ-*p*) e una trasformata di Fourier dal dominio τ a quello della frequenza. Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-*slowness* o frequenza-velocità di fase (la *slowness* è infatti il reciproco della velocità).

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stato utilizzato un sismografo Echo 24 /2002 seismic unit, a 24 canali prodotto da Ambrogeo (Piacenza) connesso a 24 geofoni con frequenza propria pari a 4,5 Hz, interspaziati tra loro di m 2,0 per un totale di m 46,0. La sorgente sismica utilizzata è una mazza di peso pari a kg 8,0 battente su una piastra di acciaio inossidabile posta ad una distanza di m. 6,0 dal geofono 24.

4.2 Indagine geofisica HVSR con Tromografo

Al fine di valutare alcune caratteristiche di risposta sismica dei terreni in oggetto sono state eseguite, direttamente sull'area in esame, tre specifiche indagini geofisiche HVSR, realizzate mediante l'utilizzo di un'apparecchiatura tromografica digitale "Tromino ENGY", prodotta dalla Micromed S.p.A.

Questo strumento dispone di tre sensori sismometrici, ciascuno associato a un canale velocimetrico (N-S, E-W e Up-Down), atti a registrare il microtremore sismico ambientale in corrispondenza dell'intervallo di frequenza compreso tra 0,1 e 1.024 Hz.

Il microtremore sismico (altrimenti definito "rumore sismico di fondo") è presente ovunque sulla crosta terrestre, ed è generato da fenomeni quali i moti oceanici, i fenomeni atmosferici, a cui possono contribuire fonti locali derivanti da attività antropiche. Inoltre, i microtremori possono essere in parte costituiti da onde di volume, quali onde P, S e superficiali: le onde superficiali esprimono velocità prossime a quelle delle onde S (Lachet e Bard, 1994) il che ne fa un utile strumento per la determinazione delle velocità di queste ultime.

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) si basa sull'analisi dei rapporti tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto (H/V): numerosi studi (Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chavez-Garcia, 1994; Ibs-von Seht and Wohlenberg, 1999) hanno evidenziato come questi rapporti forniscano stime affidabili delle frequenze proprie di risonanza del sottosuolo, perlomeno in presenza di un modello semplice e unidimensionale del sottosuolo stesso, con una strato "soffice" posto al di sopra di uno strato rigido ("bedrock" o "bedrock-like"). In presenza di simili circostanze si può osservare come un'onda che viaggia attraverso lo strato "soffice", venga parzialmente riflessa dall'interfaccia con il bedrock: l'onda riflessa interferisce con i treni d'onda incidenti, sommandosi e raggiungendo la massima ampiezza quando la lunghezza dell'onda incidente stessa è pari a 4 volte lo spessore dello strato interessato (H). Di conseguenza:

$$f = Vs/4H$$

dove Vs è la velocità delle onde S all'interno dello strato di spessore H, la cui frequenza di risonanza propria è pari a (f).

Per quanto le condizioni reali siano di rado così lineari (in quanto spesso ci si trova in presenza di più strati, di una topografia articolata o di disturbi di vario genere), l'analisi della curva descritta dall'andamento del rapporto H/V(f) consente di risalire alle informazioni relative alle frequenze di risonanza proprie degli strati del sottosuolo e, di conseguenza, al loro spessore.

E' quindi possibile derivare dalla curva H/V un profilo del sottosuolo, in termini di frequenze proprie e di spessori degli strati attraversati, mettendo a confronto la curva sperimentale con una curva "sintetica", in presenza di adeguati "vincoli" ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche. (Fäh et al., 2001; Mulargia, et al., 2007).

Una volta effettuato tale confronto è possibile inoltre effettuare una stima indicativa del valore del parametro Vs30.

Sul piano esecutivo, l'indagine tromografica richiede la collocazione dello strumento sul terreno, avendo cura di posizionarlo orizzontalmente (mediante apposita bolla) e di renderlo solidale al suolo tramite appositi "piedi" d'appoggio: la procedura di acquisizione del "rumore" sismico richiede tempi di registrazione di circa 20 minuti, e viene eseguita ad una frequenza di campionamento di 128 Hz. L'elaborazione dei dati registrati avviene per mezzo del software Grilla® (Micromed S.p.A.), opportunamente settato (i parametri del setting sono riportati nell'apposito report, allegato alla presente relazione).

4.3 Risultati delle indagini geofisiche

Nel corso della realizzazione di indagini MASW e più in generale di indagini in array attive, una delle più classiche problematiche è legata alla presenza di un contrasto di impedenza acustica significativo (Bonnefoy et al., 2008): infatti, in questa tipologia di situazione, una porzione rilevante dell'energia prodotta da una sorgente convenzionale può rimanere confinata attraverso lo strato tenero superficiale. Nello specifico dell'indagine realizzata, tale condizione è riprodotta dalla presenza di una interfaccia ghiaiosa a ridotta profondità che funge da strato rigido rispetto al livello sovrastante: per ovviare a tale difficoltà si è proceduto all'esecuzione delle succitate indagini con metodologia integrata MASW-HVSR.

Tali prove sono state realizzate installando, in posizione attigua a ciascuno dei profili MASW eseguiti, un tromografo digitale "Tromino ENGY", analogo a quello impiegato per l'esecuzione delle indagini HVSR a stazione singola: la procedura di acquisizione dati è stata compiuta in base alle stesse specifiche illustrate nel paragrafo precedente (cfr. § 4.2).

Nell'ambito dell'approccio misto fin qui descritto, la tecnica in array ha consentito di stimare le velocità dello strato tenero superficiale: i dati così ottenuti sono stati successivamente utilizzati

per vincolare il fit della curva H/V ottenuta dalle indagini HVSR, permettendo di ottenere profili di velocità fino a profondità maggiori rispetto a quanto ottenibile con un approccio singolo.

Per quanto riguarda i dettagli dei risultati ottenuti dalle indagini si rimanda alla relazione sismica (dello società ENVIA sas) allegata al presente documento, dalla quale si evince che l'indagine sismica realizzata con metodologia MASW ha evidenziato:

- per il **profilo sismico 1**, il valore del parametro Vs 30 è stato stimato pari a **341 m/s**
- per il **profilo sismico 2,** il valore del parametro Vs 30 è stato stimato pari a **354 m/s**

Come già accennato (cfr. § 4.2), sull'area in esame sono state inoltre eseguite tre indagini tromografiche a stazione singola con metodologia HVSR, finalizzate ad ottenere una stima della frequenza principale di risonanza del sottosuolo del sito in oggetto, che costituisce uno dei parametri fondamentali per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale.

Gli effetti sismici di sito sono causati prevalentemente da amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche o topografiche: in particolare, qualora un'onda sismica incidente funga da funzione di eccitazione dei terreni presenti nel primo sottosuolo di un sito, tali terreni possono essere indotti a vibrare alla loro frequenza propria, con un'ampiezza limitata solo dal fattore di dissipazione intrinseca (Mulargia, et al., 2007). Se la frequenza di risonanza del suolo viene a coincidere con quella delle strutture su di esso edificate, può prodursi il fenomeno della doppia risonanza che si traduce in un'amplificazione delle onde sismiche e nell'induzione di sollecitazioni con forte potere distruttivo.

Le indagini tromografiche (HVSR) realizzate sul sito in oggetto hanno evidenziato la presenza di picchi di risonanza all'interno dell'ambito proprio delle frequenze di interesse ingegneristico (0,1-20 Hz). In particolare:

- in corrispondenza del punto di esecuzione dell'indagine HVSR-1, è stato rilevato un picco di risonanza a 5,6 Hz. Il picco caratterizzato dal massimo valore di H/V è invece situato in corrispondenza dell'intervallo di frequenza 23,44 ± 1,18 Hz.

- in corrispondenza del punto di esecuzione dell'indagine HVSR-2, sono stati rilevati picchi di risonanza a 0,6 Hz e a 7,8 Hz: inoltre, è stato considerato il picco osservato in corrispondenza di 38,52 Hz. Il picco caratterizzato dal massimo valore di H/V è invece situato in corrispondenza dell'intervallo di frequenza 55,0 ± 4,44 Hz.

- in corrispondenza del punto di esecuzione dell'indagine HVSR-3, sono stati rilevati picchi di risonanza a 4,6 Hz e a 14,9 Hz: il picco caratterizzato dal massimo valore di H/V è invece situato in corrispondenza dell'intervallo di frequenza 41,88 ± 2,64 Hz.

I picchi rilevati sono indicativi delle frequenze fondamentali di risonanza dei terreni presenti nel sottosuolo del sito in oggetto.

4.4 Determinazione dei fattori di amplificazione sismica

Ai sensi del §4.1.1 dell'"Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, comma 1, della L.R. 20/2000", riportato in allegato alla Delibera n. 112/2007 dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna, l'analisi della risposta sismica locale, condotta con le modalità del secondo livello di approfondimento, deve contemplare la determinazione dei fattori di amplificazione sismica, "*ottenuti impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (§A2.1 e §A2.2)*" alla già citata delibera.

4.4.1 Determinazione della profondità del substrato (bedrock) e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (Vs_H)

Secondo quanto riportato nell'Allegato 2 (§A2.1) alla già citata delibera, "*per il calcolo dei fattori di amplificazione devono essere realizzate indagini geotecniche che permettono la definizione dello spessore del deposito di copertura e della profondità del bedrock (H) e della velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (Vs_H)*", secondo la formula di seguito riportata:

$$Vs_H = H / \Sigma(h_i/Vs_i)$$

In corrispondenza del sito in oggetto, la profondità del substrato non è nota con precisione, ma è sicuramente superiore alla profondità raggiungibile dalle indagini geognostiche realizzate direttamente in sito nel 2000. Secondo quanto prescritto al §4.1.2 della delibera 112/2007, si è provveduto a estrapolare "*il profilo di Vs in profondità fino a valori Vs=800 m/s mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale*", effettuando quindi una stima della profondità alla quale la velocità delle onde di taglio raggiunge il valore di 800 m/s.

Tale stima è stata condotta a partire dai risultati delle indagini MASW: sulla base dei valori medi di velocità rilevati in corrispondenza degli ultimi due intervalli indagati è stato ricostruito il gradiente di velocità.

Inserendo i dati delle velocità rilevate e delle relative profondità in un grafico che riporta, le prime in ascissa e le seconde in ordinata, è possibile ottenere una retta con pendenza (Δ):

$$\Delta = (Y_B-Y_A)/(X_B-X_A)$$

Tale retta è rappresentativa dell'incremento di velocità all'aumentare della profondità, e, se estrapolata fino all'ascissa corrispondente a una velocità di 800,0 m/s, fornisce una stima della profondità (H) alla quale le prestazioni dei terreni considerati possono essere assimilate ad un *bedrock*, secondo la formula:

$$H = (800-X_B)*\Delta+Y_B$$

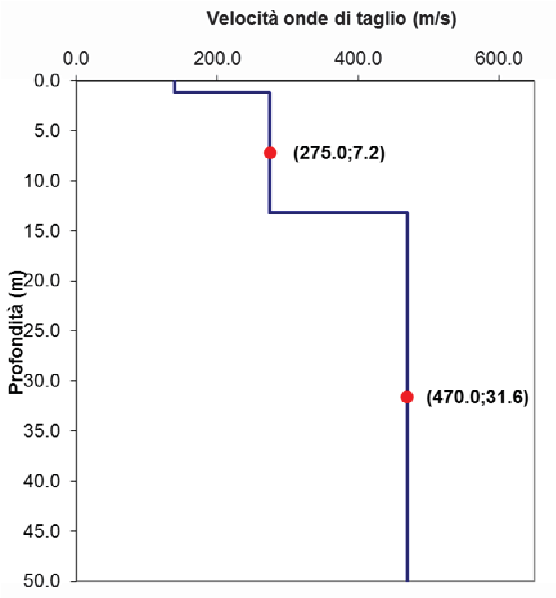
Applicando questa metodologia ai dati ottenuti dalle due indagini geofisiche MASW realizzate si ottiene:

Profilo sismico 1

$\Delta=(Y_B-Y_A)/(X_B-X_A)=0.125$

$H=(800-X_B)*\Delta+Y_B=72,8m$

$Vs_H=473,8$ m/s

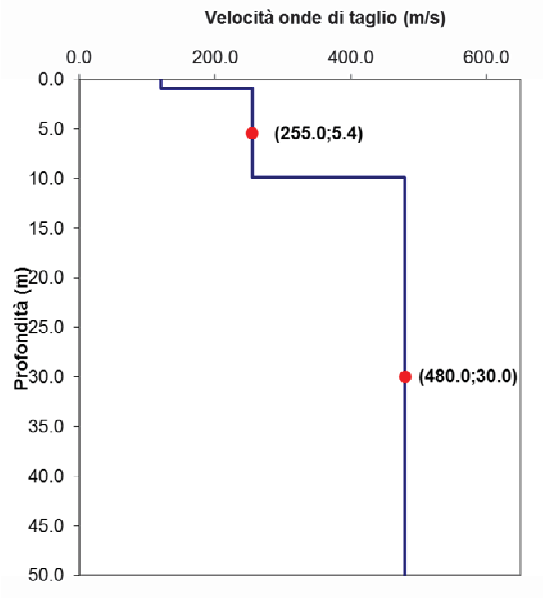


Profilo sismico 2

$\Delta=(Y_B-Y_A)/(X_B-X_A)=0.109$

$H=(800-X_B)*\Delta+Y_B=64,9m$

$Vs_H=475.1$ m/s



4.4.2 Valutazione dei fattori di amplificazione sismica

La determinazione dei fattori di amplificazione sismica, è stata effettuata sulla base degli abachi riportati al § A2.1.2 dell'Allegato A2 alla già citata delibera.

Per citare la suddetta normativa, "*In ambito di pianura, caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.) (PIANURA 1), si devono usare le seguenti tabelle*":

- Per la determinazione del fattore di amplificazione sismica dell'accelerazione massima orizzontale (P.G.A.):

F.A. P.G.A.

Vs_{30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	1,0

- Per la determinazione del fattore di amplificazione dell'intensità spettrale, con $0,1s<T_0<0,5s$:

F.A. intensità spettrale. $0,1s<T_0<0,5s$

Vs_{30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	1,0

- Per la determinazione del fattore di amplificazione dell'intensità spettrale, con $0,5s<T_0<1,0s$:

F.A. intensità spettrale. $0,5s<T_0<1,0s$

Vs_{30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2,6	2,5	2,4	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,1	1,0

Sulla base dei valori di Vs_{30} rilevati mediante le indagini geofisiche MASW, si può stabilire che i valori dei parametri di amplificazione, in corrispondenza del sito in oggetto, sono:

- F.A. P.G.A. = 1,6

- F.A. intensità spettrale ($0,1s<T_0<0,5s$) = 1,8

- F.A. intensità spettrale ($0,5s<T_0<1,0s$) = 2,1

4.4.3 Effetti della topografia

Secondo quanto riportato nel §2 della già citata delibera 112/2007, nel secondo livello di approfondimento "*devono essere valutati gli effetti della topografia con i criteri specificati nell'allegato A2 (punto A2.2)*". Tuttavia, ai sensi di tale allegato "*gli effetti topografici possono essere trascurati per pendii con inclinazione media inferiore a 15°*". Poiché **il sito in oggetto è ubicato in un'area pianeggiante, gli effetti di amplificazione legati alla topografia dell'area possono pertanto essere trascurati.**

5 Caratterizzazione sismica ai sensi del D.M. 14/01/2008

5.1 Valutazione delle categoria di sottosuolo ai sensi del D.M. 14/01/2008

La normativa in materia di Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) prevede che "*ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi come indicato al § 7.11.3"* della medesima normativa.

In assenza delle suddette analisi si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento come riportato nella seguente tabella.

	Descrizione del profilo stratigrafico	***Parametri***		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (colpi/30 cm)	C_u (kPa)
A	*Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800	-	-
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$>50 nei terreni a grana grossa e $c_{u,30}$>250 kPa nei terreni a grana fina)	360 - 800	> 50	> 250
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero 15<$N_{SPT,30}$<50 nei terreni a grana grossa e 70<$c_{u,30}$<250 kPa nei terreni a grana fina)	180 – 360	15 - 50	70 – 250
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,*con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$<15 nei terreni a grana grossa e $c_{u,30}$<70 kPa nei terreni a grana fina)	< 180	< 15	< 70
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (*con $V_{s,30}$ >800 m/s)			

La normativa suddetta prevede inoltre che "*per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 indicate nella successiva tabella è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno".*

	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (colpi/30 cm)	C_u (kPa)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori $V_{s,30}$ <100 m/s (ovvero 10<c_u<20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 metri di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure includono almeno 3 metri di torba o di argille altamente organiche.	< 100	-	10- 20
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso) la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs_{30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità. Essa viene calcolata con la seguente relazione:

$$\mathbf{V_{S30} = 30/\sum h_i/Vs_i} \quad \text{(m/sec)} \quad \text{con i=1,N}$$

Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile la classificazione può essere effettuata in base al numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) nei terreni a prevalente grana grossa e della resistenza non drenata equivalente nei terreni a prevalente grana fine. Di seguito sono riportate le rispettive formule:

$$N_{SPT30} = \sum h_i / \sum h_i/N_{SPTi} \quad \text{con i=1, M}$$

$$Cu_{30} = \sum h_i / \sum h_i/Cu_i \quad \text{con i=1, K}$$

Come si evince dai risultati derivanti dalle indagini geofisiche effettuate con metodologia MASW:
- in corrispondenza del primo profilo sismico, il valore del parametro Vs30 calcolato ha fornito valori di Vs30 pari a **341 m/s**.
- in corrispondenza del secondo profilo sismico, il valore del parametro Vs30 calcolato ha fornito valori di Vs30 pari a **354 m/s**.

La rilevazione di valori di Vs30 simili in corrispondenza dei due diversi profili sismici realizzati suggerisce una sostanziale uniformità della risposta sismica locale, alla scala dell'area in esame.

Tale uniformità si accorda con quanto desumibile dall'originaria campagna di indagini geognostiche (cfr. § 3.1), la quale non aveva riscontrato significative variazioni dell'assetto litostratigrafico del primo sottosuolo del sito in oggetto.

Alla luce di quanto riportato, **il suolo di interesse può essere classificato come suolo C (ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 14/01/2008)**: tale attribuzione si conforma a quanto noto da esperienze pregresse condotte in aree limitrofe e con caratteristiche analoghe a quella in esame.

In ogni caso, il progettista, definite le condizioni specifiche del sito e delle strutture, potrà valutare se approfondire l'indagine per la definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica mediante studi specifici sulla risposta sismica locale, come indicato all'art. 7.11.3 del D.M. 14/01/2008. Un eventuale approfondimento dell'indagine qui riportata dovrà poi essere valutato in ragione della tipologia e della profondità delle strutture di fondazione previste.

Va infine ricordato che la vigente normativa (cfr. § 3.2.2, D.M. 14/01/2008) riferisce i primi 30 metri di profondità a cui ricondurre le Vs30 "*per le fondazioni superficiali…al piano di imposta delle stesse*" e "*per le fondazioni su pali…alla testa dei pali*": tuttavia, non essendo disponibili, al momento dell'esecuzione dell'indagine, informazioni riguardo all'effettiva profondità di imposta delle fondazioni, il calcolo delle Vs30 è stato in questo caso riferito al locale piano campagna.

Come già accennato (cfr. pag. 18), quanto fin qui esposto costituisce un approccio semplificato, e, come tale, non offre alcuna indicazione relativa alla frequenza principale di risonanza del sottosuolo del sito in oggetto, che costituisce uno dei parametri fondamentali per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale.

Le indagini tromografiche con metodologia HVSR realizzate sul sito in oggetto hanno rilevato picchi di risonanza in corrispondenza di svariati intervalli di frequenza: i picchi riscontrati sono legati alla presenza di discontinuità sismiche nel sottosuolo del sito in oggetto e sono indicativi delle frequenze di risonanza dei terreni presenti, per quanto non siano ad esse riconducibili in modo semplice (Mulargia, et al., 2007).

Nell'ambito del range di frequenze campionato (0.1-128 Hz) si può osservare come i picchi caratterizzati dal massimo rapporto di H/V (situati nell'intervallo 41-55 Hz) siano presumibilmente riconducibili ad alterazioni del segnale sismico legate a caratteri lito-stratigrafici estremamente superficiali: analogamente possono essere intesi i picchi situati in corrispondenza degli intervalli di frequenza 14-25 Hz.

La fascia di frequenze situata tra 4,6 Hz e 7,8 Hz è invece potenzialmente attribuibile a modalità vibratorie locali di maggiore profondità, forse correlate alla presenza dell'interfaccia tra i litotipi incoerenti (ghiaie) addensati e i sovrastanti spessori di terreni fini (argille e limi superficiali).

Le limitate dimensioni in ampiezza dei picchi stessi non costituiscono un motivo per trascurare quanto fin qui esposto, in quanto è noto che "*l'ampiezza del picco H/V […] non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice*" (Mulargia, et al., 2007).

Data la pericolosità intrinseca nell'eventuale coincidenza di risonanza tra i suoli di fondazione e le strutture in progetto, il progettista dovrà quindi tenere conto dei dati risultanti dall'indagine HVSR, con particolare riferimento alle frequenze fondamentali di risonanza dei terreni di fondazione.

5.2 Amplificazione stratigrafica e topografica

Per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nel paragrafo precedente, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico $\mathbf{S_S}$ e il coefficiente topografico $\mathbf{S_T}$ come riportato nelle sottostanti tabelle: in ragione della categoria di sottosuolo risultante dalla specifica indagine si definisce quindi un coefficiente S_s che quantifica l'amplificazione stratigrafica.

Categoria di suolo	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40\text{-}0.40\ F_0\ ag/g \leq 1.20$	$1.10\ (T^*_c)^{-0,20}$
C	$1.00 \leq 1.70\text{-}0.60\ F_0\ ag/g \leq 1.50$	$1.10\ (T^*_c)^{-0,33}$
D	$0.90 \leq 2.40\text{-}1.50\ F_0\ ag/g \leq 1.80$	$1.05\ (T^*_c)^{-0,50}$
E	$1.00 \leq 2.00\text{-}1.10\ F_0\ ag/g \leq 1.60$	$1.15\ (T^*_c)^{-0,40}$

Alla categoria di suolo C, determinata per il sito oggetto del presente studio corrisponde la seguente formulazione del coefficiente S_S:

$$S_S = 1.00 \leq 1.70\text{-}0.60\ F_0\ ag/g \leq 1.50$$
$$C_c = 1.10\ (T^*_c)^{-0,33}$$

La stessa valutazione, effettuata ai sensi del D.M. 14/01/2008, per configurazioni superficiali semplici può essere condotta adottando la classificazione riportata nella seguente tabella. "*Le categorie topografiche riportate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bi-dimensionali, creste o dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri*". In ragione della categoria individuata e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento in progetto la normativa associa un relativo coefficiente di amplificazione topografica (S_T).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°	1,0
T2	Pendii con inclinazione media i>15°	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media 15°≤i≤ 30°	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i>30°	1,4

La superficie su cui è previsto il progetto risulta pianeggiante, e quindi riferibile alla categoria T1; pertanto ai fini della caratterizzazione delle azioni indotte dal sisma si potrà adottare un coefficiente S_T=1,0

Una volta definiti i parametri che determinano gli effetti di amplificazione secondo quanto sopra si determina il valore del **coefficiente S, necessario alla definizione dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali**, secondo la formula:

$$S= S_s * S_T$$

6 Conclusioni

Sulla base delle risultanze ottenute nel corso dell'indagine eseguita sull'area interessata, si può stabilire quanto segue:

1. Sul sito in oggetto sono state condotte due indagini geofisiche con metodologia intergrata MASW-HVSR, volte alla determinazione dei valori delle Vs30. Tali indagini hanno fornito i seguenti risultati:

- per il **profilo sismico 1**, il valore del parametro Vs 30 è stato stimato pari a **341 m/s**
- per il **profilo sismico 2,** il valore del parametro Vs 30 è stato stimato pari a **354 m/s**

2. Sul sito in oggetto sono state condotte tre indagini geofisiche tromografiche, realizzate con metodologia HVSR a stazione singola: i dati ricavati hanno permesso di evidenziare gli intervalli di frequenza maggiormente suscettibili di eccitazione in caso di sisma.

3. La determinazione dei fattori di amplificazione sismica, condotta sulla base di quanto prescritto al § A2.1.2 dell'Allegato A2 alla delibera 112/2007 ha fornito i seguenti risultati:

- **F.A. P.G.A. = 1,6**
- **F.A. intensità spettrale (0,1s<T_0<0,5s) = 1,8**

- **F.A. intensità spettrale (0,5s< T_0<1,0s) = 2,1**
- **Vs_H=473,8m/s (per il primo profilo sismico)**
- **Vs_H=475,1 m/s (per il secondo profilo sismico)**

4. I valori di velocità delle onde di taglio nel primo sottosuolo (Vs30) rilevati tramite l'esecuzione delle due indagini geofisiche realizzate mediante metodologia MASW hanno permesso di attribuire i terreni che costituiscono il primo sottosuolo del sito in oggetto alla **Categoria C**, ai sensi del D.M. 14/01/2008.

5. Poiché il sito in oggetto è collocato in corrispondenza di un'area sostanzialmente pianeggiante, **gli eventuali effetti di amplificazione sismica legati alla topografia possono essere trascurati**, ai sensi del punto A2.2 dell'Allegato A2 alla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112/2007.

La stessa verifica, condotta ai sensi del D.M. 14/01/2008, ha permesso di attribuire il sito in oggetto alla categoria topografica T1.

6. Le indagini geognostiche condotte in sito hanno rilevato la presenza di spessori plurimetrici di litotipi incoerenti di natura ghiaiosa e sabbiosa. Tuttavia, il grado di addensamento mostrato da tali litologie e l'assenza di una falda idrica residente nel primo sottosuolo consentono di **escludere il rischio di liquefazione dei terreni in presenza di eventi sismici**.

In conclusione **sulla base di quanto riportato nel presente scritto, si esprime parere positivo riguardo la compatibilità geologica del sito in oggetto con le previsioni degli strumenti urbanistici**, fatto salvo il rispetto delle indicazioni e delle prescrizioni contenute nel presente documento.

Imola, febbraio 2011

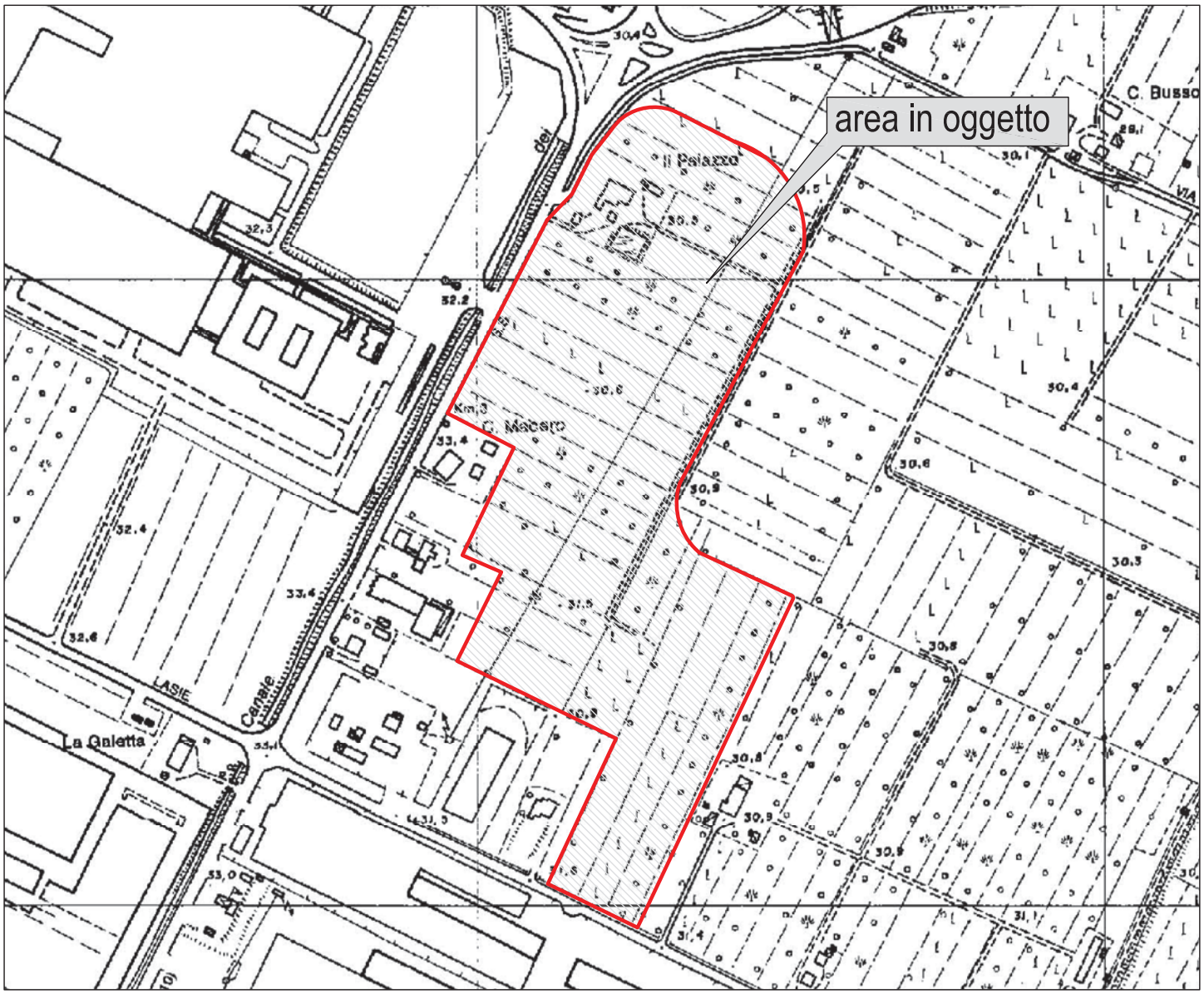
Dott. Geol. Gabriele Cesari *Dott. Geol. Tiziano Righini*

_____ _____

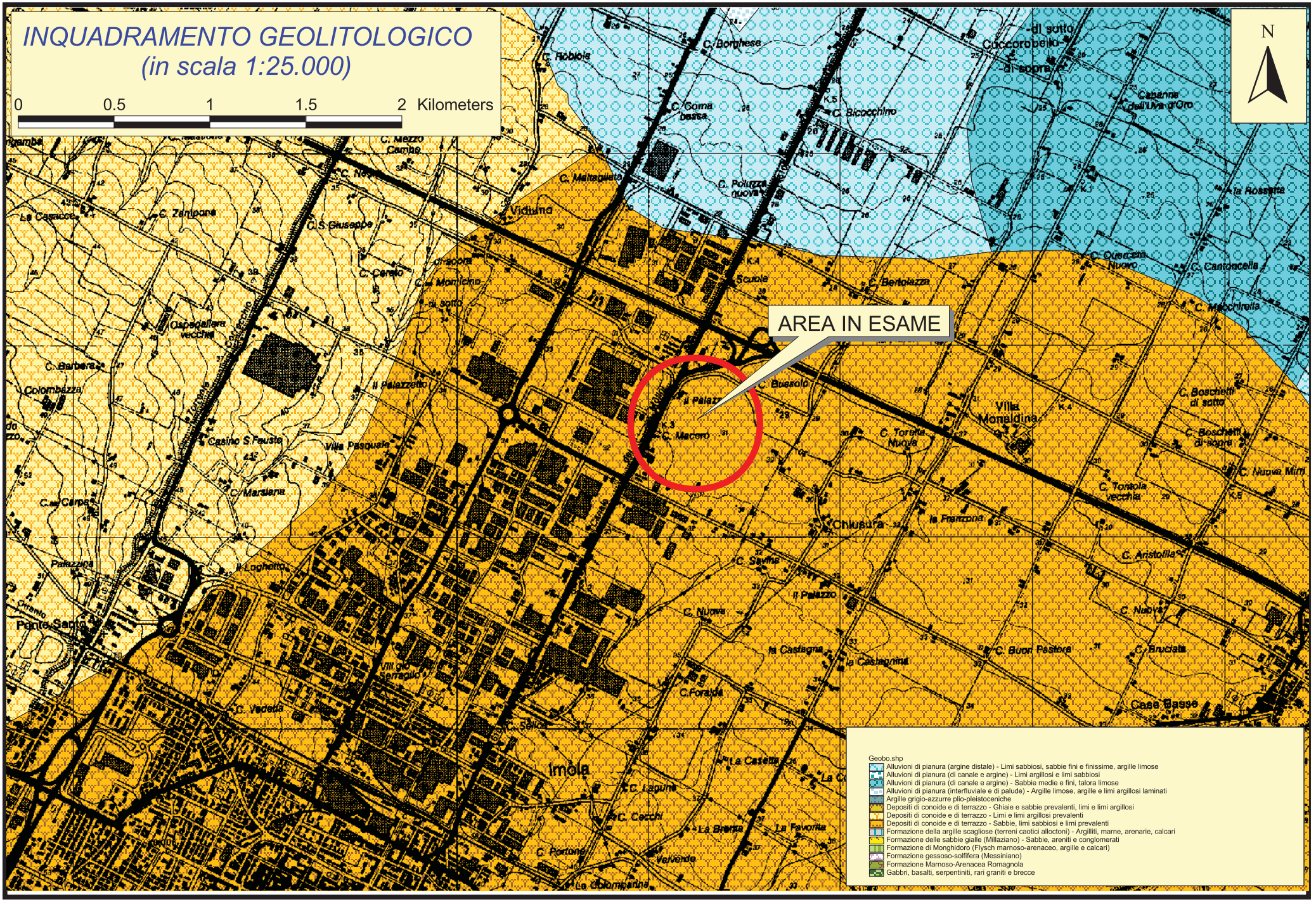
Dott. Geol. Carlo Berti Ceroni

_____

ESTRATTO CTR - scala 1:5.000



GEO-NET s.r.l.
via Grieco 9/b - 40026 Imola (BO)
Tel.: 0542 628479 Fax: 0542 643370
E-mail: info@geo-net.it web: www.geo-net.it


INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO
(in scala 1:25.000)
0 0.5 1 1.5 2 Kilometers
N
AREA IN ESAME
Imola
Geobo.shp
Alluvioni di pianura (argine distale) - Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose
Alluvioni di pianura (di canale e argine) - Limi argillosi e limi sabbiosi
Alluvioni di pianura (di canale e argine) - Sabbie medie e fini, talora limose
Alluvioni di pianura (interfluviale e di palude) - Argille limose, argille e limi argillosi laminati
Argille grigio-azzurre plio-pleistoceniche
Depositi di conoide e di terrazzo - Ghiaie e sabbie prevalenti, limi e limi argillosi
Depositi di conoide e di terrazzo - Limi e limi argillosi prevalenti
Depositi di conoide e di terrazzo - Sabbie, limi sabbiosi e limi prevalenti
Formazione della argille scagliose (terreni caotici alloctoni) - Argilliti, marne, arenarie, calcari
Formazione delle sabbie gialle (Millaziano) - Sabbie, areniti e conglomerati
Formazione di Monghidoro (Flysch marnoso-arenaceo, argille e calcari)
Formazione gessoso-solfifera (Messiniano)
Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola
Gabbri, basalti, serpentiniti, rari graniti e brecce

HVSR-1
HVSR-2
HVSR-3
MASW-1
MASW-2

PROVINCIA DI BOLOGNA

COMUNE DI IMOLA
via Lasie

COMMITTENTE:
Spett.Le Geo-net s.r.l.
Via Grieco, 9/B
40026 Imola (BO)

PROGETTO:
Indagine sismica integrata per la stima del parametro Vs30
DM 14/01/2008



RELAZIONE GEOFISICA

dott. geol. Paolo Durante
Ordine dei Geologi della Regione Abruzzo n.511

dott. geol. Giulio Dal Forno
Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna n.1294

Envia Studio Associato di Geologia e Geofisica
di Durante, Dal Forno e Rispoli
via F. Enriques 8/a - 40139 Bologna
www.envia.it

Data:18/02/2011 | Rif. Commessa:C035-2011 | Ed.: Finale

TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI - Questo documento è di proprietà esclusiva di ENVIA Studio Associato, non può essere copiato, riprodotto o divulgato ad altri senza autorizzazione

INDICE

1. Premessa 2
2. Normativa di riferimento 2
3. Il metodo *MASW* 4
4. Il metodo *HVSR* 5
5. Risultati dell'indagine sismica integrata 6
6. Bibliografia 8

ELENCO ALLEGATI

Allegato 1, 5 Documentazione fotografica

Allegato 2, 6 Sismogrammi indagine *MASW*

Allegato 3, 7 Spettro di dispersione e curva *H/V*

Allegato 4, 8 Velocità onde S in funzione della profondità

1. Premessa

Su richiesta della Società Geo-net s.r.l., sono state effettuate due indagini sismiche integrate (*MASW + HVSR*) presso un'area ubicata in via Lasie nel Comune di Imola (BO), al fine di stimare il parametro *Vs30* caratteristico dell'area, ovvero la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di profondità rispetto alla quota di imposta della fondazione, come prescritto dall'art. 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008.

2. Normativa di riferimento

Il D.M. 14 gennaio 2008 prevede che, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si renda necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (art. 7.11.3). In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (cfr. Tabelle 1-2). Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente *Vs30* di propagazione delle onde di taglio *S* entro i primi 30 metri di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per i muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. La stima della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, il sito può essere classificato sulla base dei valori di N_{SPT} o della C_u. Le tabelle sotto riportate, oltre a una breve descrizione delle classi di sottosuolo, indicano gli intervalli dei tre parametri che individuano ciascuna di esse.

	Descrizione del profilo stratigrafico	***Parametri***		
		Vs30 (m/s)	$N_{SPT,30}$ (colpi/30 cm)	$C_{u,30}$ (kPa)
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di *Vs30* superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	> 800	-	-
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di *Vs30* compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$>50 nei terreni a grana grossa e $cu_{,30}$>250 kPa nei terreni a grana fina)	360-800	> 50	> 250

C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di *Vs30* compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero 15<$N_{SPT,30}$<50 nei terreni a grana grossa e 70<$cu_{,30}$<250 kPa nei terreni a grana fina)	180–360	15-50	70–250
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di *Vs30* inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30}$<15 nei terreni a grana grossa e $cu_{,30}$<70 kPa nei terreni a grana fina)	< 180	< 15	< 70
E	*Terreni dei sottosuoli tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con Vs> 800m/s)			

***Tabella 1** – Classificazione dei suoli secondo il D.M. 14 gennaio 2008 (Tabella 3.2.II).*

	Descrizione del profilo stratigrafico	***Parametri***		
		Vs30 (m/s)	$N_{SPT,30}$ (colpi/30 cm)	$C_{u,30}$ (kPa)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10< $cu_{,30}$<20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100	-	10-20
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o di qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.			

***Tabella 2** – Categorie aggiuntive di sottosuolo (Tabella 3.2.III - D.M. 14 gennaio 2008).*

Il valore del parametro *Vs30*, secondo la normativa, è calcolato mediante la seguente espressione:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} h_i / v_i} \quad m/s \qquad (1)$$

Dove h_i e v_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato *i*-esimo per un totale di *n* strati presenti nei 30 metri al di sotto del piano fondale. Tale velocità equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo equivalente, di spessore pari a 30 m, e nel terreno stratificato in esame, di spessore complessivo ancora pari a 30 m. Essa assume quindi valori differenti da quelli ottenuti dalla media delle velocità dei singoli strati pesata sui relativi spessori, soprattutto in presenza di strati molto deformabili di limitato spessore. Lo scopo della definizione è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili (C3.2.2 Cir. Min. 617 del 2 febbraio 2009).

3. Il metodo *MASW*

Per mezzo della tecnica *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves)*, Park et al., (1999), e quindi dello studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale), è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S.

Le onde superficiali sono onde sismiche che si propagano parallelamente alla superficie del terreno, la cui ampiezza diminuisce esponenzialmente con la profondità e la cui energia si propaga in una fascia superficiale corrispondente a circa una lunghezza d'onda λ. In un mezzo reale, caratterizzato da proprietà meccaniche variabili con la profondità, le onde superficiali, in funzione di λ, penetrano strati con diverse caratteristiche e quindi la loro propagazione ne risulta influenzata in termini di velocità e tempi di arrivo: onde con λ differente si propagano a velocità di fase *cf* differente e pertanto si separano lungo il loro tragitto. Tale fenomeno è noto come dispersione.

L'idea su cui si fonda il metodo *MASW*, come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, è quella di utilizzare il fenomeno della dispersione per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obbiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza (*cf* -*f*), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda (trasformata tempo di ritardo-*slowness* τ-*p,* trasformata *f*-*k*). Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-*slowness* o frequenza-velocità di fase (la *slowness* è infatti il reciproco della velocità). Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse. Dall'estrazione delle coppie frequenza-velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate. Un miglioramento nell'interpretazione degli spettri può essere ottenuto dalla comparazione tra spettro osservato e, in sovrapposizione, le curve di dispersione teoriche per i diversi modi di un modello ritenuto plausibile per l'area in esame (Dal Moro, 2008). Generalmente

quando la rigidezza degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale risulta predominante a tutte le frequenze. Tuttavia esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidezza con la profondità, in cui i modi superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza (Roma, 2006). Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle proprietà fisiche del sottosuolo.

4. Il metodo *HVSR*

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (*H*) e verticale (*V*) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei *μm/s*). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). Esiste un consenso generale sull'efficacia del metodo *HVSR* di fornire stime sulla frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, almeno nel caso di un modello semplice unidimensionale con strato soffice al di sopra di uno strato rigido (Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chavez-Garcia, 1994; Ibs-von Seht and Wohlenberg, 1999). In questo caso semplice, tale frequenza f_0 è legata allo spessore h dello strato soffice attraverso la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{Vs}{4h} \quad Hz \qquad (2)$$

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve *H/V* sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve *H/V* sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001; Castellaro and Mulargia, 2009).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con

elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

5. Risultati dell'indagine sismica integrata

Le indagini *MASW* sono state realizzate con sismografo "*Echo 24/2002*" a 24 canali prodotto da *Ambrogeo* (Piacenza) connesso a 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz, interspaziati tra loro di 2 m per un totale di 46 m (vedi documentazione fotografica negli allegati 1 e 5). I dati sono stati acquisiti e salvati da un PC portatile alimentato a batteria. La sorgente sismica utilizzata è una mazza battente di 8 kg, posta ad una distanza di 6 m dal geofono 24.

Le misure di rumore sismico sono state effettuate ad una distanza ridotta dai due profili *MASW* per un tempo di registrazione pari a 20 minuti. La strumentazione utilizzata è un tromografo digitale "*Tromino Engy*" della *Micromed* S.p.A.

Nel corso della realizzazione di indagini MASW e più in generale di indagini in *array* attive, una delle più classiche problematiche è legata alla presenza di un contrasto di impedenza acustica significativo (Bonnefoy et al., 2008): infatti, in questa tipologia di situazione, una porzione rilevante dell'energia prodotta da una sorgente convenzionale può rimanere confinata attraverso lo strato tenero superficiale. Nello specifico dell'indagine realizzata, tale condizione è riprodotta dalla presenza di una interfaccia ghiaiosa a ridotta profondità, come indicato dalla Committenza, che funge da strato rigido rispetto al livello sovrastante. In questi casi l'approccio misto di tecniche sismiche in array e a stazione singola è ideale in quanto la tecnica in *array* consente di stimare le velocità dello strato tenero superficiale che vengono successivamente utilizzate per vincolare il fit della curva H/V, permettendo di ottenere profili di velocità fino a profondità maggiori rispetto alla singola tecnica.

In allegato 2 e in allegato 6 sono riportati i sismogrammi registrati da ognuno dei geofoni durante rispettivamente la prima e la seconda indagine MASW.

Lo spettro frequenza-velocità di fase, ottenuto attraverso il *software Grilla (Micromed Spa)*, è riportato in allegato 3 (prima indagine) ed in allegato 7 (seconda indagine) assieme alle curve *H/V* e ai grafici delle componenti dei canali velocimetrici relativi alla misura di rumore sismico, elaborati con il *software Grilla* (*Micromed* S.p.A.). Agli spettri frequenza-velocità di fase sono sovrimposte le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi) per il modello statisticamente migliore ottenuto dall'inversione. Questo modello, per ciascuna delle due indagini è il risultato dell' adattamento della curva HV sperimentale, vincolato attraverso la velocità delle onde di taglio ottenuta mediante la tecnica MASW.

In allegato 4 ed in allegato 8 sono riportati i grafici dell'andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità, le tabelle con i valori numerici e i grafici della variazione del parametro *Vs30* in funzione della profondità del piano di fondazione della struttura in progetto.

Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto è stato stimato il parametro *Vs30* rispetto all'attuale piano campagna, pari a **341 m/s** per la prima indagine; per la seconda, invece, il valore di Vs30 è pari a **354 m/s**.

Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 14/01/2008, unicamente sulla base del parametro *Vs30* relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade, considerando entrambe le indagini realizzate, in **categoria C**. Tuttavia il geologo incaricato sulla base della conoscenza stratigrafica dell'area, derivata dalla sua esperienza professionale e dalle indagini geognostiche condotte nel sito in oggetto, nonché considerando le caratteristiche dell'opera in progetto e la tipologia di fondazioni, è tenuto a validare l'attribuzione alla suddetta categoria e valutare se approfondire l'indagine per la definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica mediante studi specifici sulla risposta sismica locale, come indicato all'art. 7.11.3 del D.M. 14/01/2008.

Bologna, 18 febbraio 2011

Dott. Geol. Giulio Dal Forno



Dott. Geol. Paolo Durante



6. Bibliografia

Bonnefoy-Claudet S., Kohler A., Cornou C., Wathelet M. e Bard P.-Y., (2008). Effects of Love waves on microtremor H/V ratio*, Bull. Seism. Soc. Am.,, 98, 288 – 300.*

Castellaro S. and Mulargia F., (2009). The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys. (accepted).*

Dal Moro, G., (2008) – *Tre divagazioni: il mito dell'inversione, MASW in Friuli, esempio di studio congiunto MASW-rifrazione* - Giornata di studio sul "Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica dei ponti", Centro Internazione di Scienze Meccaniche (CISM), Udine, 18 aprile 2008.

Fäh D., Kind F. and Giardini D., (2001). A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int. **145**, 535-549.*

Ibs-von Seht M. and J. Wohlenberg, (1999). Microtremor measurements used to map thikness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. Am. **89**, 250-259.*

Lachet C. and P. Y. Bard, (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamuras thecnique, *J. Phys. Earth **42**, 377-397.*

Lermo J. and F. J. Chavez-Garcia, (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seismol. Soc. Am. **84**, 1350-1364.*

Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., (2007). Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. *Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno VII-2007 N.**25** - Nuova serie*

Nakamura Y., (1989). A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTI, **30**, 25-33.*

Nogoshi M. e Igarashi T., (1970). On the propagation characteristics of microtremors, *J. Seism. Soc. Japa, **23**, 264-280.*

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia J., **(1999)**- *Multichannel Analysis of surface waves* - Geophysiscs, **64**, 800-808.

Roma, V., (2006) – *Caratterizzazione sismica dei suoli con Il metodo MASW (Multichannel Analysis of surface waves)*- http://www.masw.it/downloads/Opuscolo_MASW_22_Gen_2007.pdf. microtremor on the round surface, *QR of RTI, **30**, 25-33.*

NORMATIVA

D. Min. Infrastrutture 14 gennaio 2008 (Suppl. Ord. alla G.U. 4.2.2008, n. 29) – *Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni.*

Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. (Suppl.Ord. alla G.U. 26.2.2009, n. 47) – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.*

envia
geologia geofisica ambiente
Via F. Enriques, 8/A - 40139 Bologna
p.iva - c.f. 01653250678

Allegato 1 – Documentazione fotografica

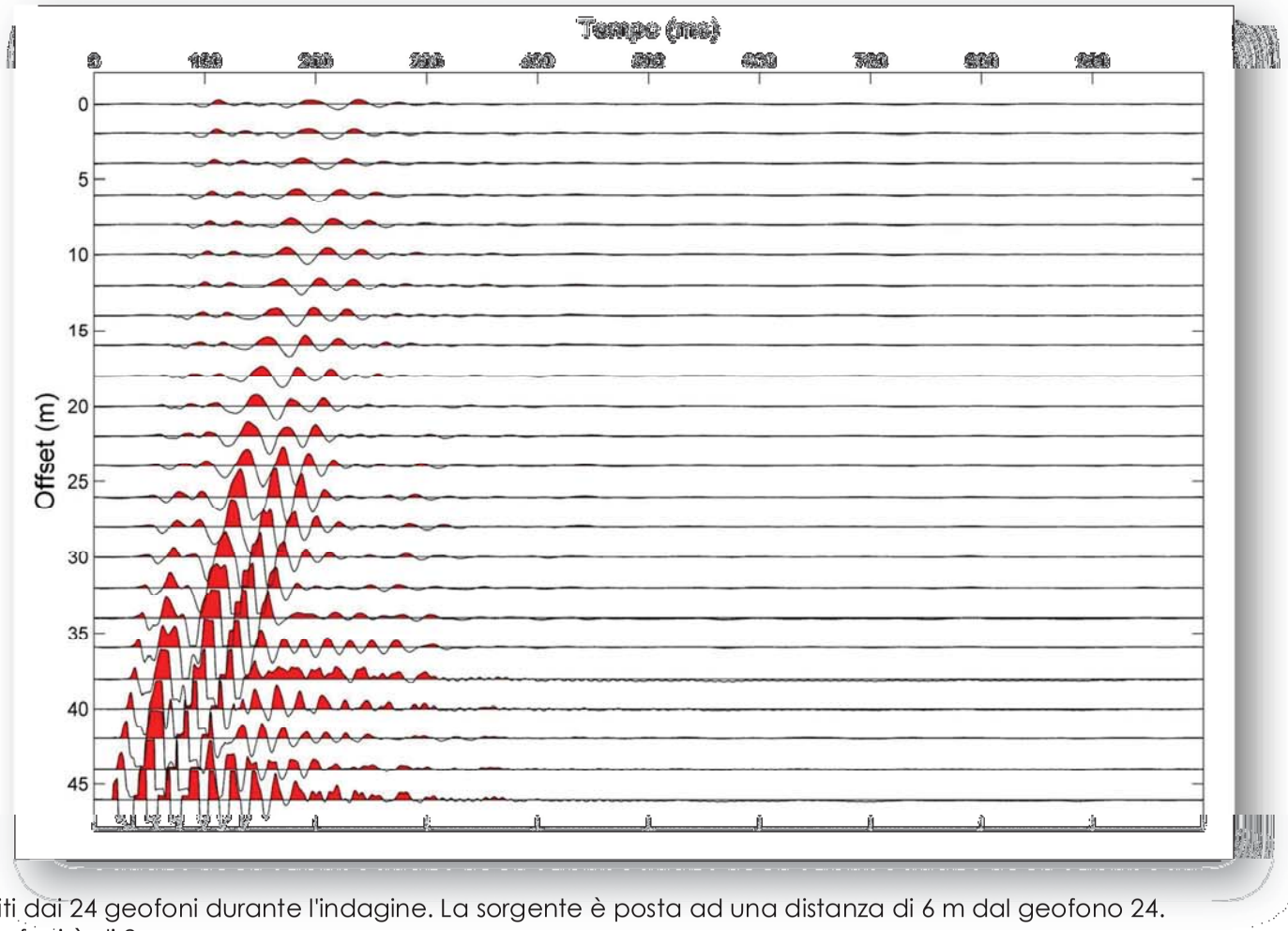


Foto 1 – Profilo sismico



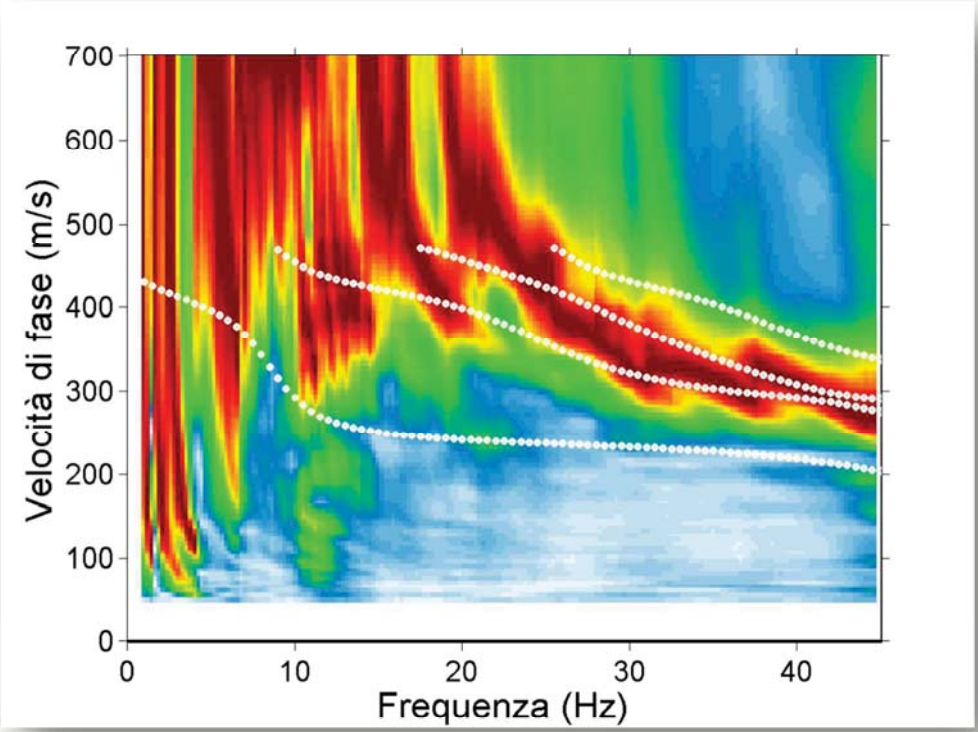
Foto 2 – Punto di misura *HVSR*

Allegato 2 - Sismogrammi



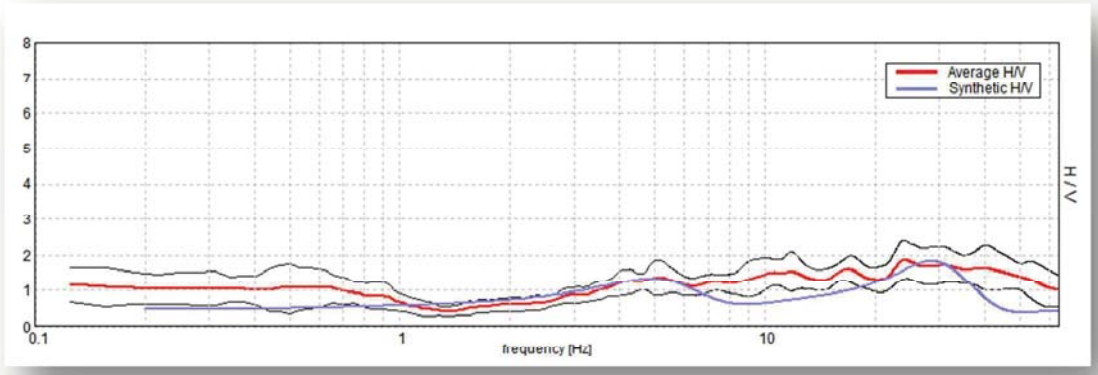
Sismogrammi acquisiti dai 24 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 6 m dal geofono 24.
La spaziatura tra i geofoni è di 2 m.

Allegato 3 – Spettro di dispersione

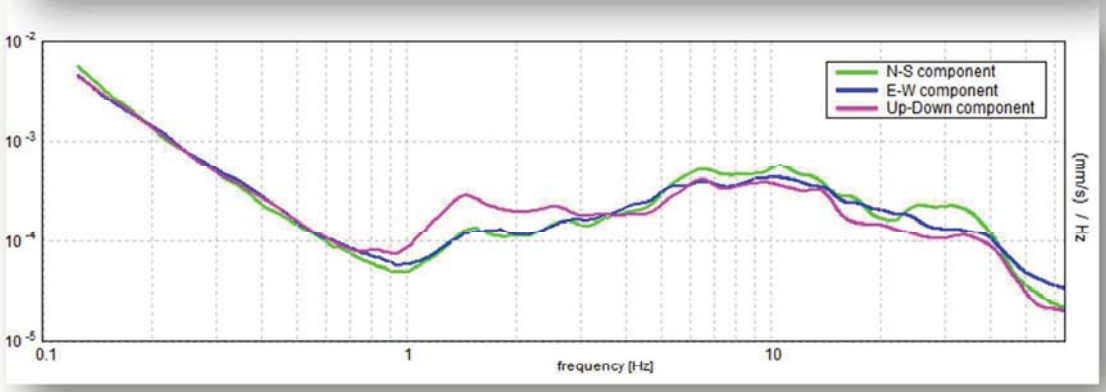


in alto: Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi). **in basso:** Curva H/V sperimentale e sintetico **(A)** e andamento delle tre componenti velocimetriche (N-S, E-W, Up-Down) **(B)**

A

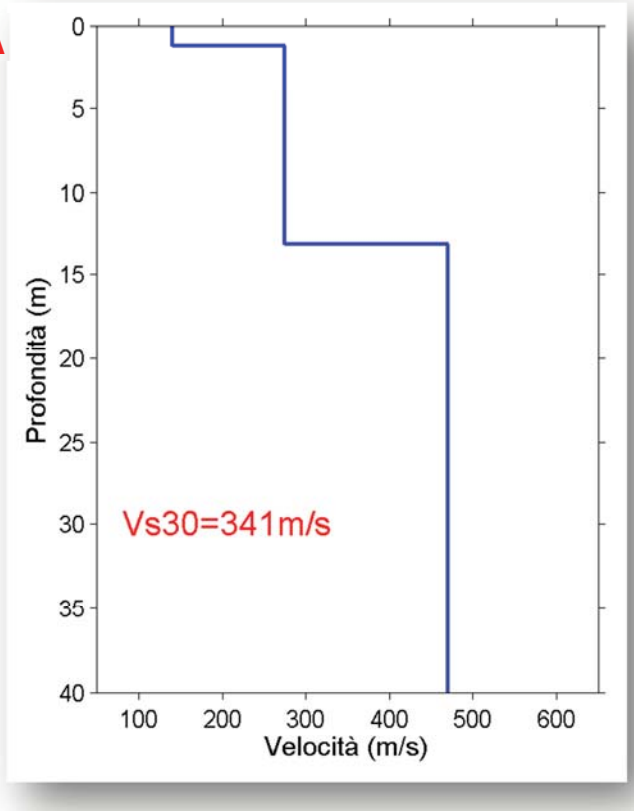


B



Allegato 4 – Velocità onde S in funzione della profondità

A

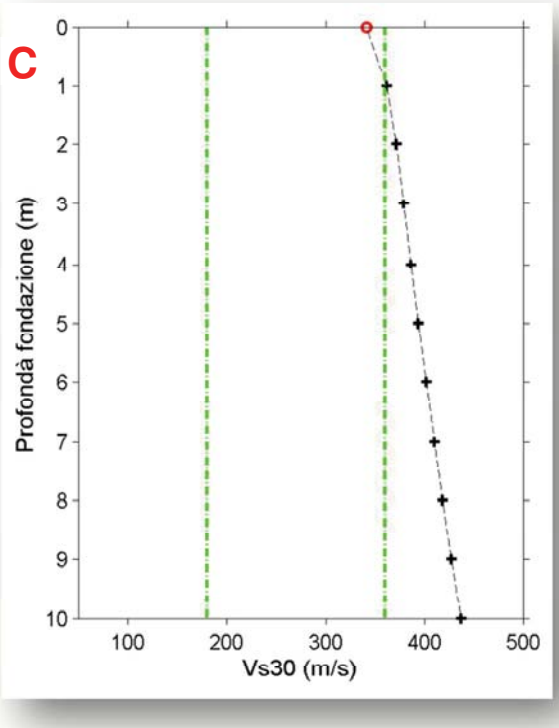


(A) Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità

B

Profondità della base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.2	1.2	140
13.2	12	275
inf	inf	470

C



(B) Valori di velocità delle onde S alle diverse profondità. La prima colonna riporta la profondità del letto dello strato la seconda colonna riporta il valore dello spessore dello strato considerato. La terza, infine riporta il valore della velocità delle onde di taglio riferita allo strato considerato stimata nel corso della presente indagine; **(C)** andamento del parametro Vs30 in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto. Le linee in tratteggio di colore verde indicano i limiti 180 m/s e 360 m/s rispetto alla tabella 1 (crf. §2).

Allegato 5 – Documentazione fotografica

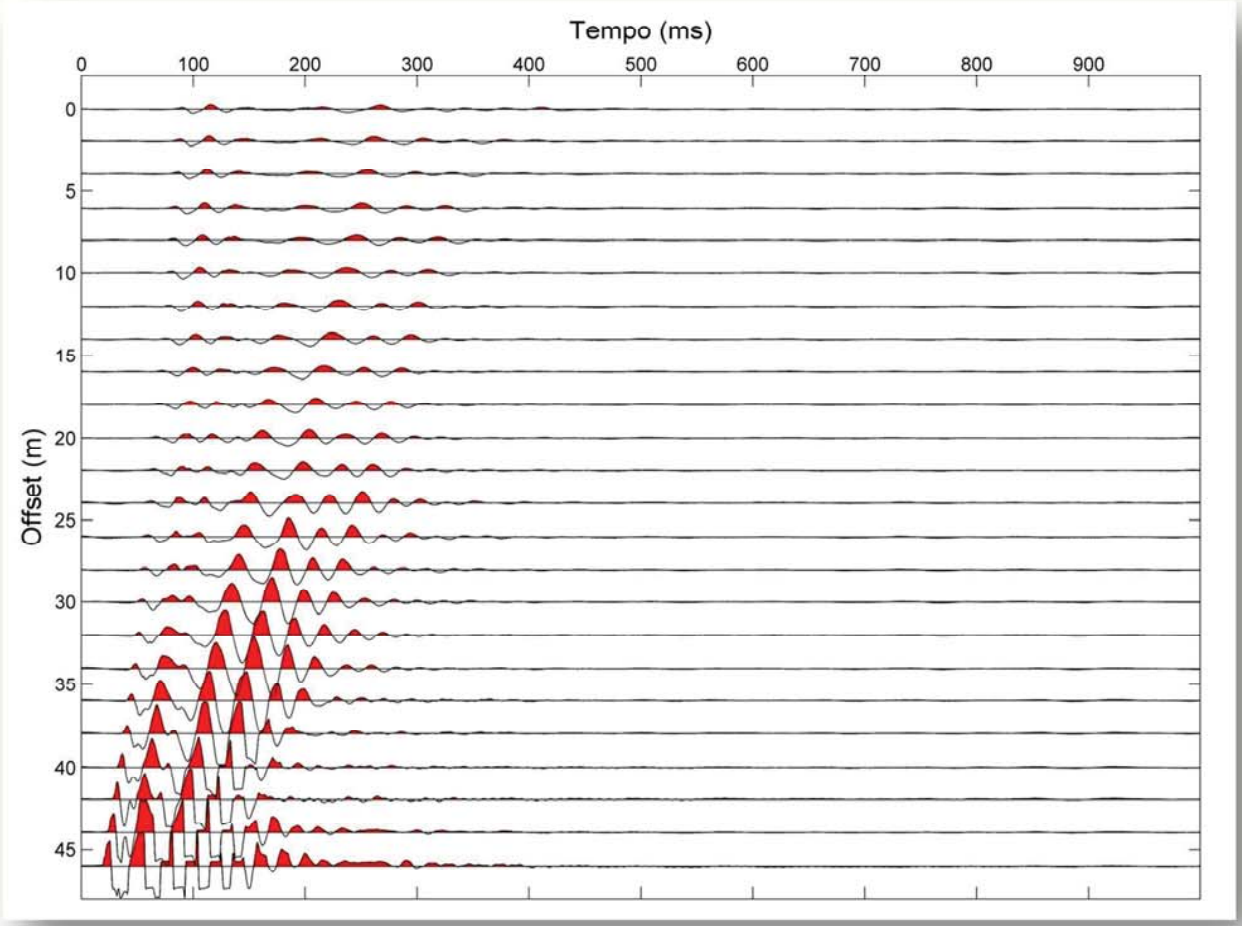


Foto 1 – Profilo sismico



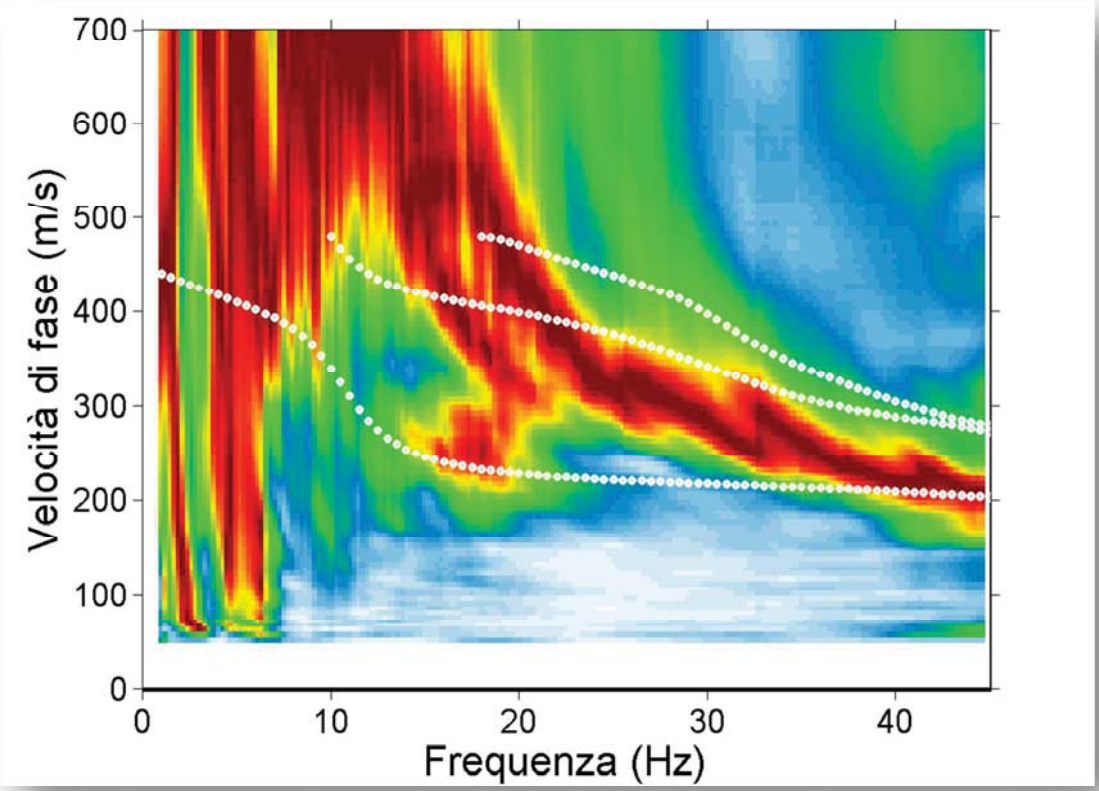
Foto 2 – Punto di misura *HVSR*

Allegato 6 - Sismogrammi



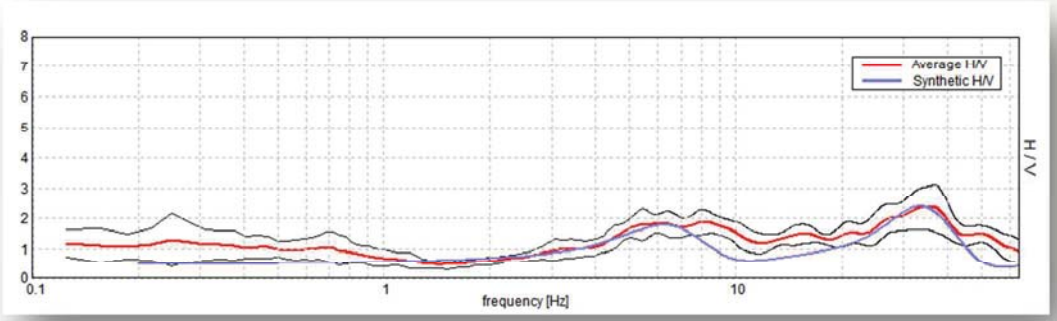
Sismogrammi acquisiti dai 24 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 6 m dal geofono 24.
La spaziatura tra i geofoni è di 2 m.

Allegato 7 – Spettro di dispersione

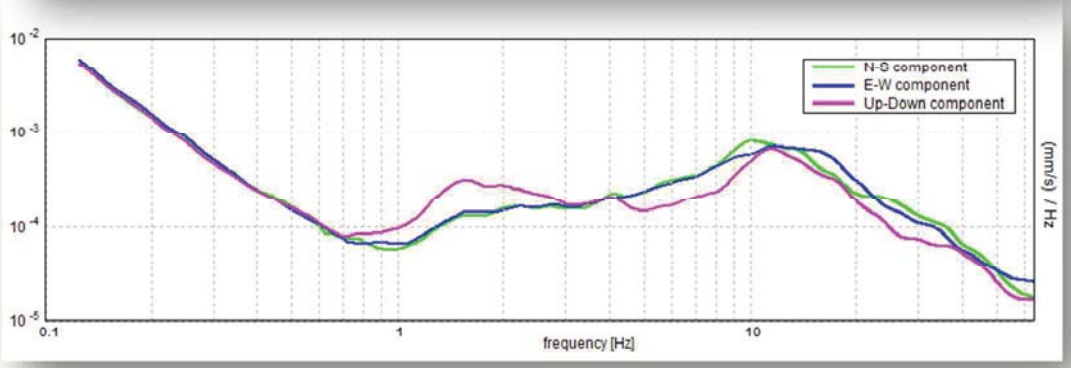


in alto: Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi). **in basso:** Curva H/V sperimentale e sintetico **(A)** e andamento delle tre componenti velocimetriche (N-S, E-W, Up-Down) **(B)**

A

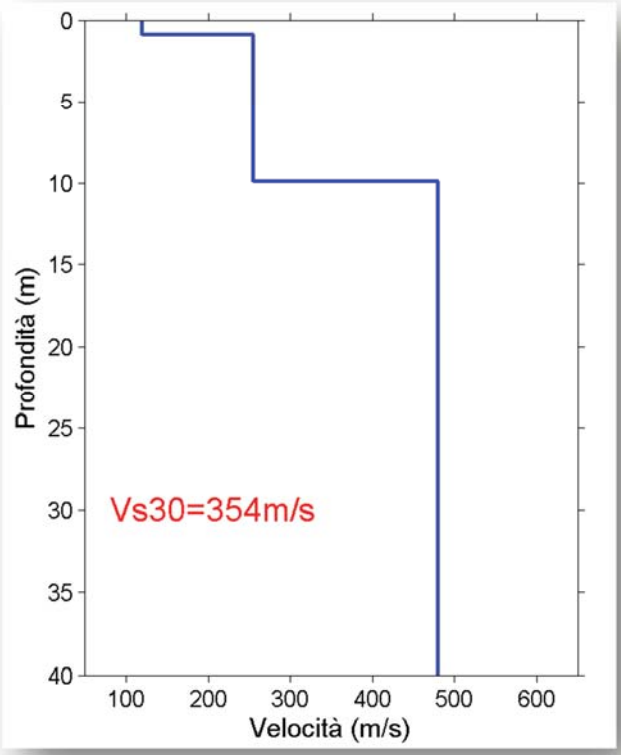


B



Allegato 8 – Velocità onde S in funzione della profondità

A



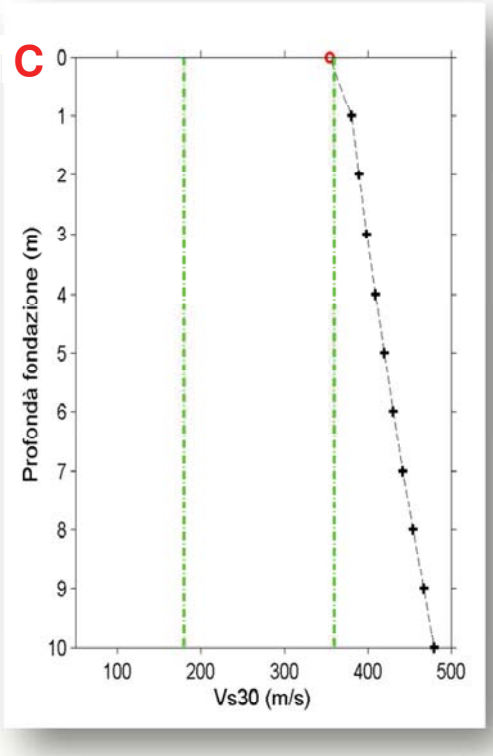
(A) Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità

B

Profondità della base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.9	0.9	120
9.9	9	255
inf	inf	480

(B) Valori di velocità delle onde S alle diverse profondità. La prima colonna riporta la profondità del letto dello strato la seconda colonna riporta il valore dello spessore dello strato considerato. La terza, infine riporta il valore della velocità delle onde di taglio riferita allo strato considerato stimata nel corso della presente indagine; **(C)** andamento del parametro Vs30 in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto. Le linee in tratteggio di colore verde indicano i limiti 180 m/s e 360 m/s rispetto alla tabella 1 (crf. §2).

C



Committente: Gruppo Basso s.p.a.

Via Selice/via Lasie, Imola (BO)

HVSR-1

Strumento: TEP-0123/01-10

Inizio registrazione: 14/02/11 17:46:40 Fine registrazione: 14/02/11 18:06:41

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 63% tracciato (selezione manuale)

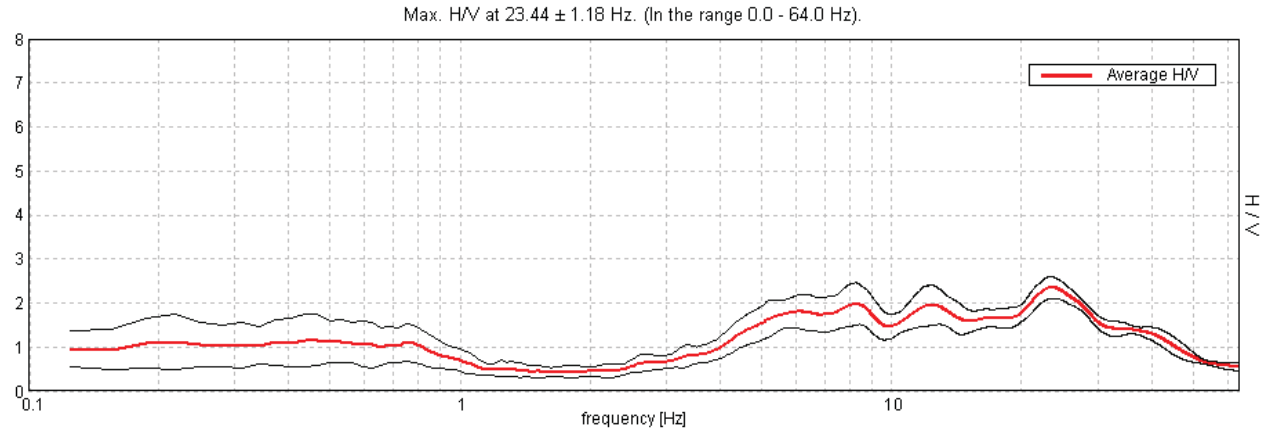
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

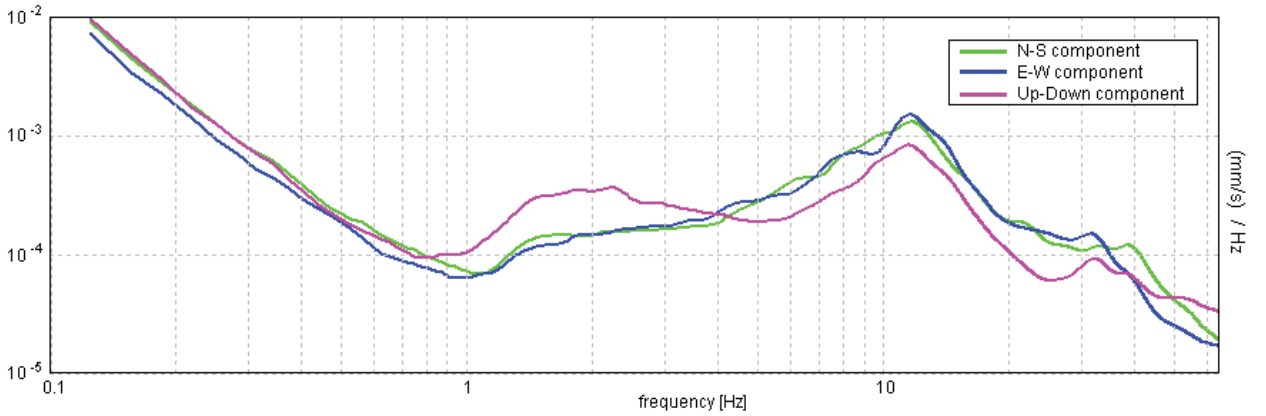
Tipo di lisciamento: Triangular window

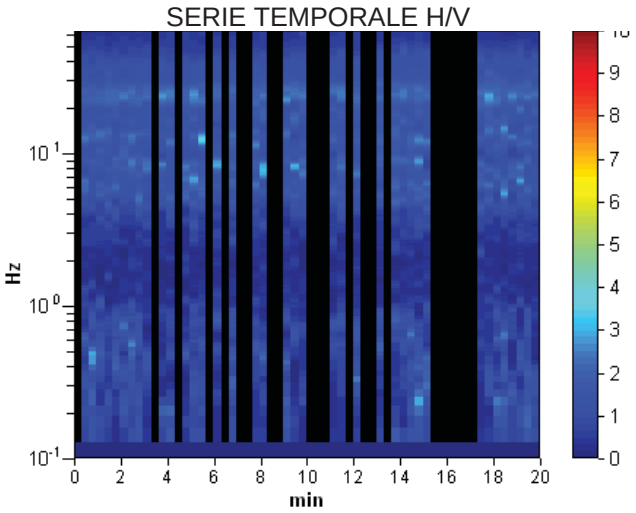
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





Max. H/V at 23.44 ± 1.18 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	23.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	17812.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1126 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	42.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.35 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.02456| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.57571 < 1.17188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1222 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Committente: Gruppo Basso s.p.a.

Via Selice/via Lasie, Imola (BO)

HVSR-2

Strumento: TEP-0123/01-10

Inizio registrazione: 14/02/11 16:41:05 Fine registrazione: 14/02/11 17:01:06

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 60% tracciato (selezione manuale)

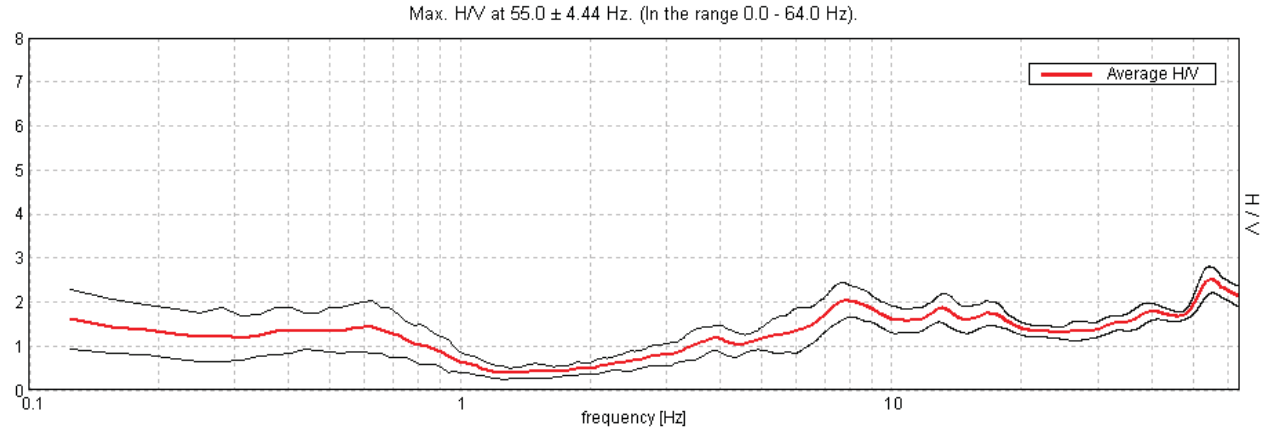
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

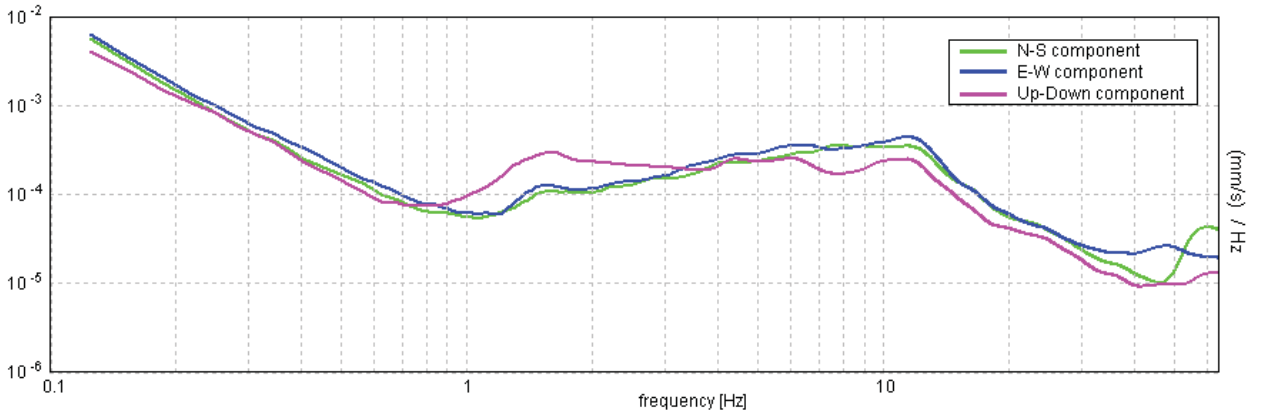
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

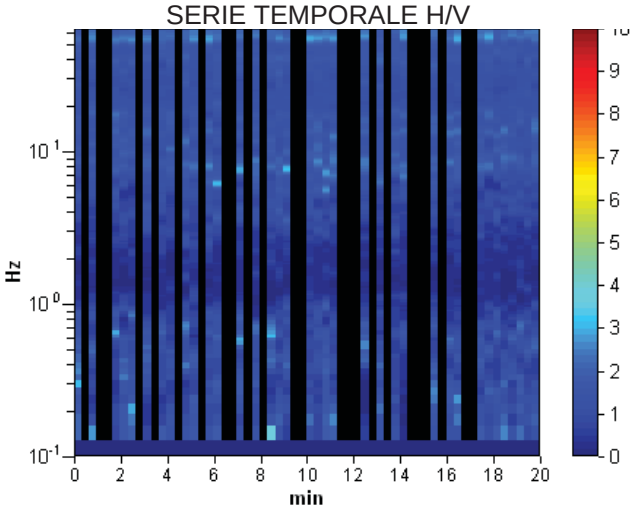
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



Max. H/V at 55.0 ± 4.44 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	55.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	39600.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1169 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.50 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.03919| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.15551 < 2.75	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1443 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Committente: Gruppo Basso s.p.a.

Via Selice/via Lasie, Imola (BO)

HVSR-3

Strumento: TEP-0123/01-10

Inizio registrazione: 14/02/11 17:15:27 Fine registrazione: 14/02/11 17:35:28

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 70% tracciato (selezione manuale)

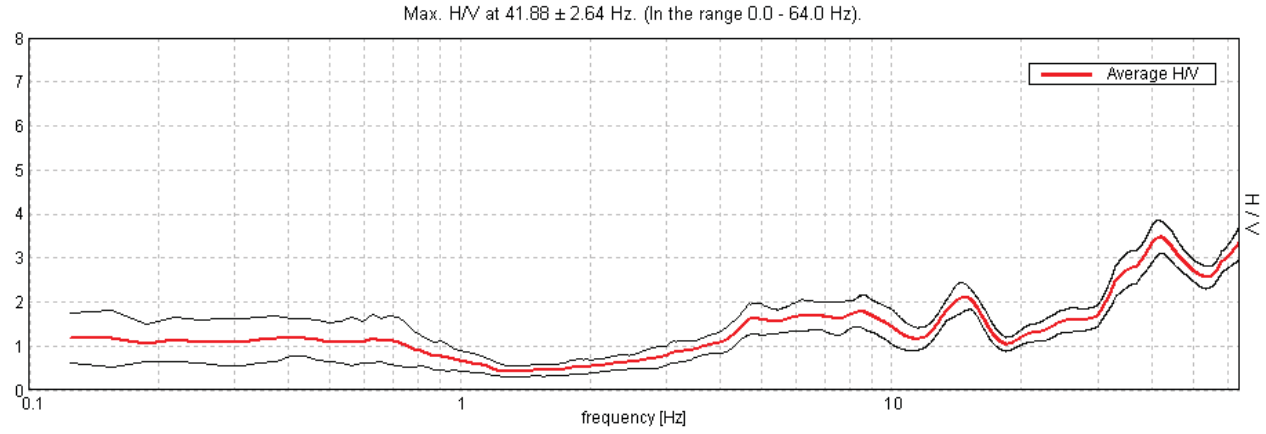
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

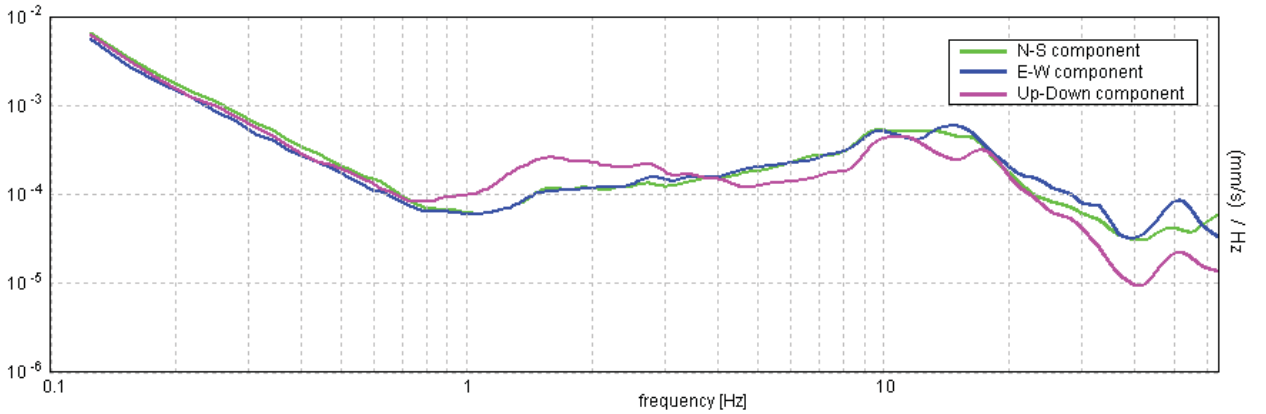
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

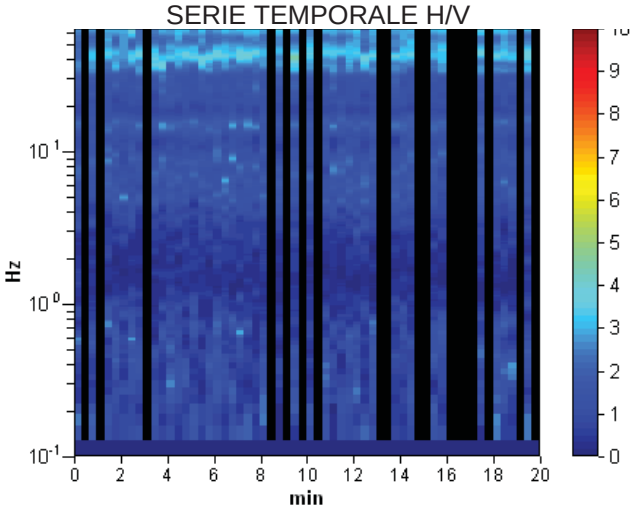
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V

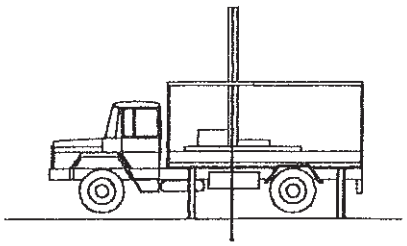


Max. H/V at 41.88 ± 2.64 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	41.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	35175.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1379 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	30.25 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.47 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.03079| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.28948 < 2.09375	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1812 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



STUDIO GEOLOGICO – GEOTECNICO
DOTT. GEOL. BERNARDI LUIGI
DOTT. GEOL. BERNARDI MARCO
VIA S. PAOLO N.2, 31017 CRESPANO DEL GRAPPA (TV)
TEL E FAX 0423-53271 CELL. 338/7586799

Spett. le Ditta
GRUPPO BASSO spa
Via Feltrina n.256
Treviso

RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA

Lavoro: Costruzione di capannoni e di un fabbricato residenziale nel P.P. D3 Area Programma "D" fra Via Laste e S.S. Selice ad Imola (BO).

Su incarico del Committente sono state eseguite delle indagini geognostiche nel terreno in Via Laste ad Imola (BO), dove è in progetto la costruzione di capannoni e di un fabbricato residenziale.

Le indagini sono finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione per poter quindi predisporre le opere di fondazione più opportune.

Il Comune di Imola (BO), secondo l' ordinanza n.3274 del 20-03-2003 è stato dichiarato sismico ed è stato compreso nella zona dichiarata sismica di categoria 2.

La presente relazione ottempera ai requisiti richiesti dalla normativa vigente in materia di geologia e geotecnica ed in particolare:

- Raccomandazioni AGI 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";

- O.P.C.M. 20-03-2003 n.3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di norme tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- D.M. 14-01-2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

DATI CATASTALI

Il terreno è così censito in catasto: Comune di Imola (BO), foglio n. mappali n.29-39-40-42-43-45-46-48-49.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

Il terreno in esame fa parte di una vasta piana alluvionale di epoca quaternaria, è pianeggiante e si trova ad un' altitudine di circa 31 m sul livello del mare.

Dal punto di vista geomorfologico la pianura presenta in superficie lineamenti morfologici dolci e regolari, ed è costituita da una struttura derivata dalla sovrapposizione di una serie di cicli deposizionali di origine fluvioglaciale e alluvionale.

La deposizione dei materiali è stata determinata dalla granulometria degli stessi, nonché dalle correnti di deposizione del fiume Santerno; si è creata quindi una classazione delle alluvioni, con a Nord depositi ghiaioso sabbiosi con ciottolame, mentre andando verso Sud la percentuale di materiale fine aumenta formando lenti di sabbia intervallate da livelli argillosi variamente interdigitati.

A circa 2400 m scorre il fiume Santerno, con acqua in scorrimento perenne.

Il sottosuolo è risultato composto al di sotto del terreno agrario, da argilla fino a –m 5,0-7,0, con sottostante ghiaia sabbiosa densa deposta in epoca quaternaria dal fiume Santerno.

Con le prove penetrometriche effettuate non si è rilevata la presenza di acqua nel sottosuolo fino a –m 8,50; la rilevazione è stata effettuata in un avanpozzo

di diametro 100 cm e nel cui fondo ghiaioso asciutto è stato effettuato un pozzo a rotazione Ø=150 mm.

Dal punto di vista idrogeologico l' area è costituita da un' unica falda freatica profonda contenuta nel banco ghiaioso.

La ricarica è dovuta alle infiltrazioni nel materasso alluvionale delle acque meteoriche provenienti dai versanti a monte della piana alluvionale quaternaria e dalle dispersioni del fiume Santerno.

CARATTERISTICHE DELL' OPERA IN PROGETTO

E' prevista la costruzione di:

- il fabbricato residenziale "R" a tre piani fuori terra;
- i capannoni "A"-"B"-"C"-"D";
- i capannoni 1-2-3-4.

Il piano di posa dei plinti dei capannoni è previsto a circa –m 1,20 dall' attuale piano campagna.

PROVE EFFETTUATE PER IL RICONOSCIMENTO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E STRATIGRAFICHE

Per il riconoscimento delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche del sottosuolo sono stati effettuati: un rilevamento di campagna, n.35 prove penetrometriche statiche e vari campionamenti litologici.

Le prove penetrometriche sono state effettuate dopo aver tracciato sul terreno i fabbricati in progetto.

MODALITA' DI ESECUZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) viene effettuata infiggendo nel terreno, mediante un sistema idraulico di spinta, una punta conica di tipo telescopico con manicotto di frizione (punta "Begemann"), a velocità costante e misurando la resistenza con un sistema di rilevazione collegato al pistone di spinta.
La resistenza alla penetrazione di un terreno dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche nel quale esso si trova allo stato naturale; in particolare deriva dallo stato di addensamento dei granuli in terreni incoerenti e dal contenuto in umidità naturale in terreni coesivi.

CARATTERISTICHE DELLO STRUMENTO UTILIZZATO:
Penetrometro statico – dinamico olandese da 20 ton autocarrato con le seguenti caratteristiche:

- area della punta conica= 10 cm^2
- area del manicotto di frizione= 150 cm^2
- velocità di esecuzione della prova penetrometrica= 2 cm/sec
- misure effettuate ogni 20 cm

I dati rilevati in ogni prova sono stati elaborati e diagrammati in funzione della profondità.
Si è riportato:

- Rp= resistenza alla punta espressa in Kg/cm^2
- Rl= resistenza di attrito laterale locale espressa in Kg/cm^2

L' interpretazione litologico – stratigrafica basata sul rapporto Rp/Rl secondo Begemann è da considerarsi una stima.

Si riporta inoltre di seguito una tabella che riporta una delle più utilizzate correlazioni tra la resistenza alla punta (Rp) desunta dalla prova penetrometrica statica, il valore dei colpi Nspt (Standard Penetration Test) e l' angolo di attrito interno del materiale.

ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE ϕ' (TERRENI GRANULARI e COESIVI - condizioni drenate)

SABBIE ± limose (Meyerhof 1956)			**ARGILLE (condizioni drenate)**(Bjerrum-Simons 1960)	
Nspt(colpi/30cm)	Rp(kg/cm²)	ø' (°)	Indice Plastico Ip %	ø' (°)
4	20	25.0	5	35.0 ± 2.5
10	40	30.0	10	33.5 ± 2.5
15	60	31.3	15	32.2 ± 2.5
20	80	32.5	20	31.0 ± 2.5
25	100	33.8	25	29.7 ± 2.5
30	120	35.0	30	29.0 ± 2.5
35	140	35.8	35	28.0 ± 2.5
40	160	36.5	40	27.0 ± 2.5
45	180	37.3	45	26.2 ± 2.5
50	200	38.0	50	25.5 ± 2.5
55	220	38.3	60	24.2 ± 2.5
60	240	38.7	70	23.2 ± 2.5
65	260	39.0	80	22.3 ± 2.5
70	280	39.3	90	21.5 ± 2.5
75	300	39.7	100	20.8 ± 2.5
80	320	40.0		

CONCLUSIONI

L' analisi comparata delle prove penetrometriche effettuate ha evidenziato una disomogeneità verticale ed una discreta omogeneità laterale dei materiali costituenti il sottosuolo interessati dalle fondazioni in progetto.

Nella prova penetrometrica statica n.1 si è rilevata la presenza, al di sotto del terreno agrario, di argilla superficiale (Rp= 17-20 Kg/cm² coesione non drenata= 0,90 Kg/cm² $\gamma_{naturale}$=1,70 ton/m³) fino a –m 1,60, con sottostante argilla limosa (Rp= 20-40 Kg/cm² coesione non drenata= 1,20 Kg/cm² $\gamma_{naturale}$=1,75 ton/m³) fino a –m 5,40 e a seguire ghiaia sabbiosa densa (Rp= 160-360 Kg/cm² Ø=45° $\gamma_{naturale}$=1,90 ton/m³) rilevata a rifiuto strumentale fino a –m 6,80 e deposta in epoca quaternaria dal fiume Santerno.

Litotipi con caratteristiche geotecniche similari alla prova n.1 sono stati rilevati anche nelle altre prove, anche se a quote leggermente diverse.

Con le prove penetrometriche effettuate non si è rilevata la presenza di acqua di falda nel sottosuolo, quindi non sussiste alcun rischio di liquefazione dei suoli per sollecitazioni sismiche.

SOLUZIONE FONDALE

Dato il tipo di terreno, analizzati i fabbricati in progetto, una soluzione fondale praticabile è di realizzare una fondazione del tipo a plinti collegati con una cordolatura di irrigidimento posti a circa –m 1,20 dal piano campagna in argilla (Rp= 17-20 Kg/cm² coesione non drenata= 0,90 Kg/cm² $\gamma_{naturale}$=1,70 ton/m³), con sottostante argilla limosa e a seguire ghiaia.

In condizioni statiche per il calcolo del carico limite verticale di progetto è possibile utilizzare la formula approssimativa secondo l' Eurocodice 7 in condizioni non drenate:

$R/A = (2+\pi) * Cu * sc * ic + q$

ORDINE DEI GEOLOGI
Dr. Geol.
LUIGI
BERNARDI
N° 188
REGIONE DEL VENETO

dove :

R = carico limite;

A = B*L area della fondazione efficace di progetto;

Cu = coesione non drenata;

q = pressione litostatica totale di progetto agente sul piano di posa della fondazione;

Fattori adimensionali per la forma della fondazione (per la forma rettangolare):

sc = 1 + 0,2 * (B/L)

Fattori adimensionali per l' inclinazione della risultante dovuta ad un carico orizzontale:

iq = iγ = ic = 1,0

Sostituendo i seguenti parametri:

B= 3,00 m

L= 3,00 m

Cu valore cautelativo= 0,7 Kg/cm² = 7 t/m²

sc= 1,20

ic= 1,0

q= 2,04 t/m² = 0,20 Kg/cm²

Ipotizzando una fondazione a plinti, si ottiene un valore del carico limite per unità di superficie di progetto pari a :

R/A = 45,21 t/m² = 4,52 Kg/cm²

Utilizzando l' approccio 2 e quindi la combinazione unica A1+M1+R3, adottando un coefficiente di sicurezza pari a 2,3 si ottiene una capacità limite in condizioni di SLU di 1,96 Kg/cm².

La determinazione del carico limite è sempre un elemento necessario per un primo dimensionamento della fondazione, ma va sempre accompagnato dalla verifica dell' entità del cedimento.

ORDINE DEI GEOLOGI
Dr. Geol.
LUIGI
BERNARDI
N° 168
REGIONE DEL VENETO

VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

Si è effettuata una valutazione dei cedimenti in condizioni di SLE, per un plinto isolato di dimensioni indicative in pianta 3,00*3,00 m, posto a –m 1,20 dal piano campagna su argilla, con un incremento netto delle tensioni nel sottosuolo di 1,30 Kg/cm² con la seguente formula:

Dh=Dp*H*Mv

Dh= spessore degli strati cedevoli,

Dp= incremento della pressione verticale efficace a metà strato compressibile,

Mv= coefficiente di compressibilità volumetrica.

I cedimenti per un plinto isolato sono stati valutati:

- nella prova n.1 dell' ordine di cm 3,49;
- nella prova n.12 dell' ordine di cm 3,41;
- nella prova n.20 dell' ordine di cm 3,31;
- nella prova n.30 dell' ordine di cm 2,60.

In alternativa alla fondazione a plinti è possibile realizzare fondazioni lineari continue rigide con il valore di carico limite sopra indicato.



CARATTERISTICHE SISMICHE

Il territorio comunale di Imola (BO) è stato classificato sismico e rientra nella Classe 2.

CATEGORIA TOPOGRAFICA

Il sito rientra nella categoria T1 (tabella 3.2.IV)

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Il Comune di Imola (BO) secondo l' ordinanza n.3274 del 20-03-2003 è stato dichiarato sismico, ed il sottosuolo in esame rientra nella categoria "C" di suolo di fondazione.

Vs30=180-360 m/s

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

Nel nostro caso l' azione sismica viene calcolata con il metodo proposto nel paragrafo 3.2 delle NTC 2008.

Considerando pari a 50 anni la vita nominale V_N dell' opera e classe d' uso 2, è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R per l' azione sismica (par. 2.4.3):

$V_R = V_N \times C_U = 50*1 = 50$

Il coefficiente C_U è pari a 1,0 per la classe d' uso 2.

La probabilità di superamento P_{VR}, nel periodo di riferimento V_R dello stato limite di salvaguardia della vita è del 10% (tabella 3.2.I)

E' quindi possibile determinare il tempo di ritorno T_R (allegato A) con la seguente formula:

$T_R = - V_R / [\ln(1-P_{VR})] = - 50 / [\ln (1-0,10) = 475$ anni



Con le coordinate del sito è quindi possibile individuare i seguenti valori di a_g, F_o e T^*_c per un tempo di ritorno di 475 anni:

$a_g = 0,205$

$F_o = 2,444$

$T^*_c = 0,299$

E' quindi possibile determinare il coefficiente S ed i periodi T_B, T_C e T_D che definiscono lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali:

$S = S_S \times S_T$

Dove:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica.

Nel nostro caso $S_S = 1,400$, $S_T = 1,0$ e quindi S=1,400.

Con C_C nel caso di sottosuolo di categoria "C" pari a $1,05 \times (T^*_C)^{-0,33}$ e quindi pari a 1,563 possiamo determinare:

$T_C = C_C \times T^*_C = 0,468$ s

$T_B = T_C/3 = 0,156$ s

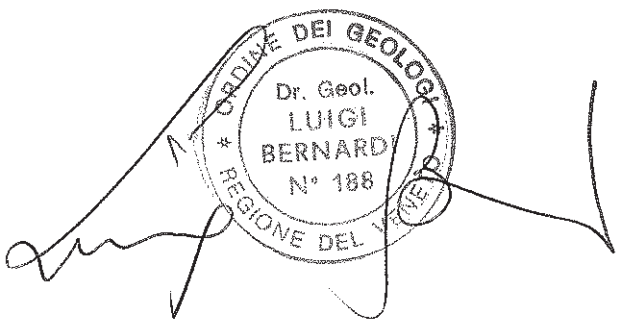
$T_D = 4,0 \times a_g/g + 1,6 = 2,419$ s

SPOSTAMENTO ORIZZONTALE E VELOCITA' ORIZZONTALE DEL TERRENO

I valori dello spostamento orizzontale d_g e della velocità orizzontale v_g massimi sono dati dalle seguenti espressioni:

$d_g = 0,025 \times a_g \times S \times T_C \times T_D$

$v_g = 0,16 \times a_g \times S \times T_C$



Nel nostro caso:
dg = 0,0081 m
vg = 0,021 m/s

CONSIDERAZIONI FINALI

Dato il tipo di terreno, considerato che in tutte le prove sono stati rilevati litotipi con discrete resistenze alla penetrazione che permettono l' utilizzo di fondazioni superficiali e nel caso di carichi rilevanti anche di fondazioni profonde, si ritiene compatibile il Piano Particolareggiato in progetto con la situazione geologico – geotecnica, geomorfologica ed idrogeologica globale dell' area.

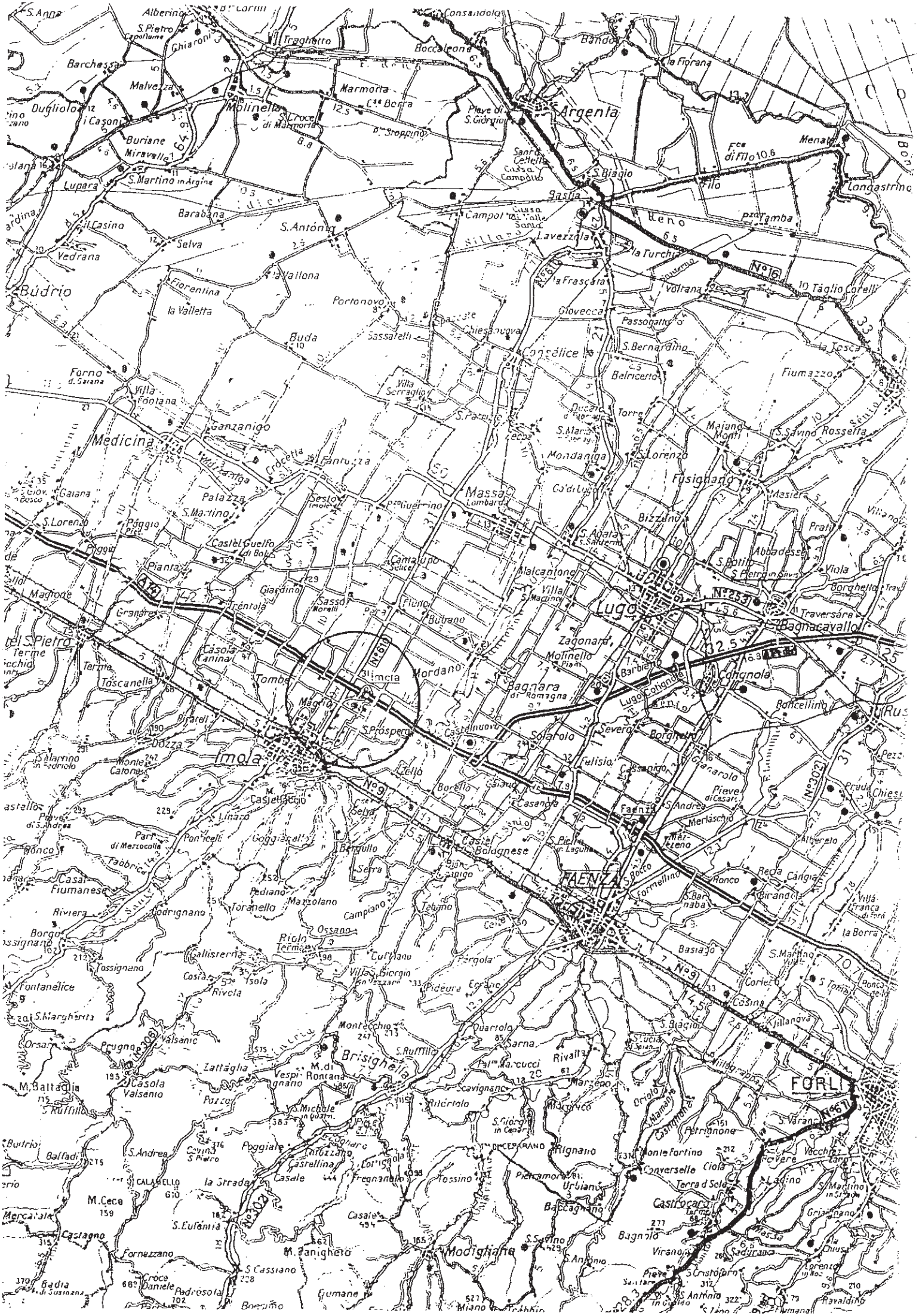
Valuti anche il Calcolatore le soluzioni proposte.

Allegati:

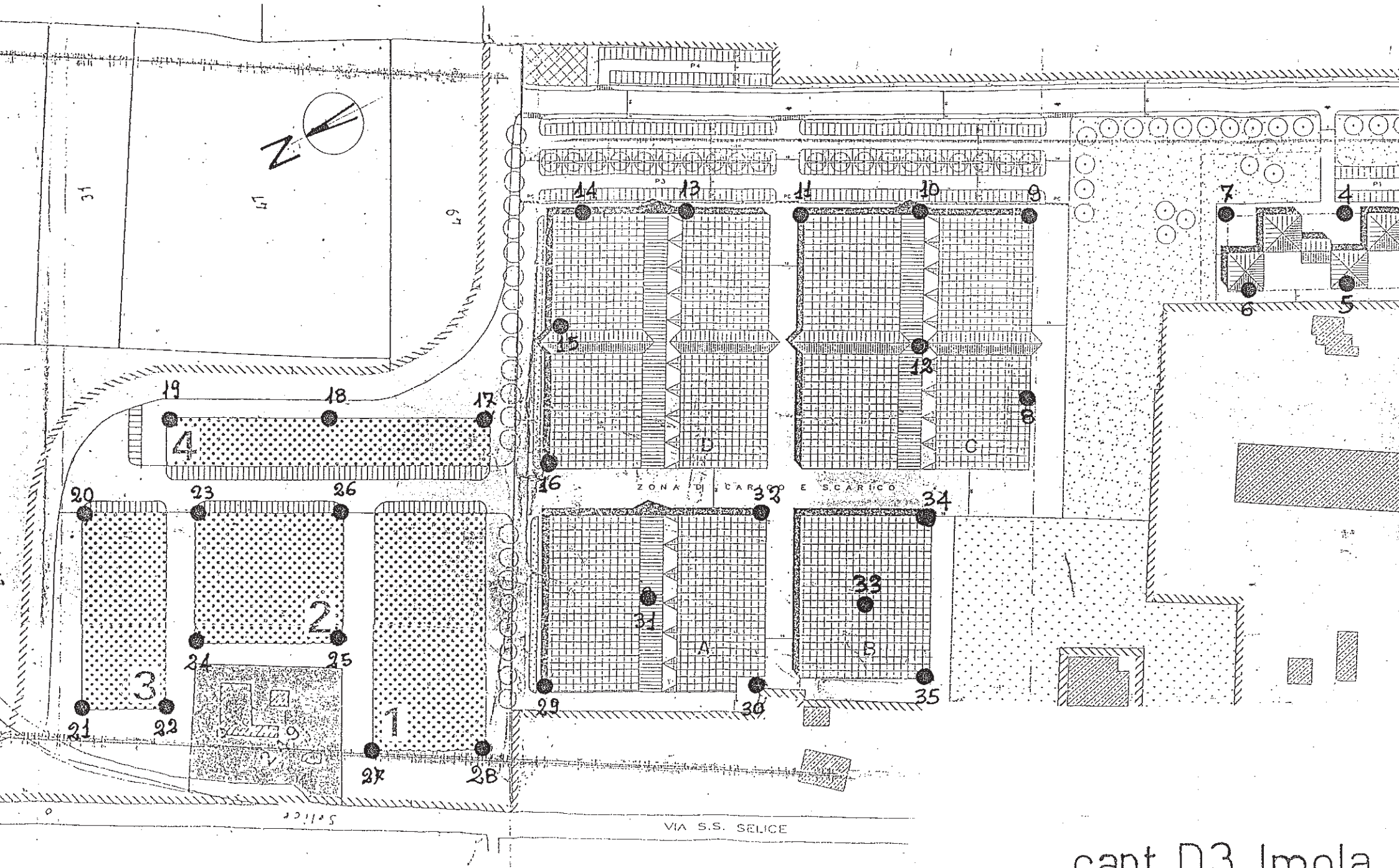
- corografia
- planimetrie
- calcolo dei cedimenti
- tabelle valori di resistenza
- diagrammi di resistenza statica

Crespano del Grappa, 17/01/2011.

ORDINE DEI GEOLOGI * REGIONE DEL VENETO *
Dr. Geol. LUIGI BERNARDI N° 188


Argenta
Budrio
Medicina
Massa Lombarda
Fusignano
Lugo
Bagnacavallo
Cotignola
Bagnara di Romagna
Imola
Castel Bolognese
FAENZA
Brisighella
FORLI
Modigliana
Castrocaro
Terme
Casola Valsenio
Riolo Terme
Solarolo
Conselice
Sant'Agata sul Santerno
Alfonsine
Ravaldino
Forlimpopoli
Meldola
Predappio
Dovadola
Rocca San Casciano
Tredozio
Portico
Premilcuore
Santa Sofia
Galeata
Bertinoro
Cesena
Cesenatico
Gambettola
Gatteo
Savignano sul Rubicone
Longiano
Roncofreddo
Sogliano al Rubicone
Mercato Saraceno
Sarsina
Verghereto
Pieve di Rivoschio
Pieve di Rivo
Pieve di Rio Salso
Pieve di Quarto
Pieve di Cesato
Pieve di Cosina
Pieve di Cusercoli
Pieve di Rocca
Pieve di Ruffio
Pieve di Salutare
Pieve di Sorbano
Pieve di Tessella
Pieve di Voltre
Pieve di Zola
Pieve di Zumaglia


Via Lasie
Via Piancastelli
Via Sabbatani
Via Brodolini
Via Nicoli
Via Greco
Via Zambrini
Via Pistore
Via Morandi
Via Allende
Via Don Sturzo
Via Benthoglio
Via Musconi
Via Filopanti
Via Baldini
Via Romagnoli
Via della Seta
Via Faenza
Via Vanoni
Via Sangiorgi
Via Coralli
Via della Cooperazione
Via Grandi
Via Buozzi
Via Rimini
Via Bellaria
Via Ravegnana
Via Cervia
Via Forlì
Via Cesena
Via Serraglio
Via del Lavoro
Via Vittorio Di Breda
Via Bucci
Via Canova
Via Cairoli
Via Scarabelli
Via Zamboni
Via Rizzoli
Via Indipendenza
Via Ugo Bassi
Via Farini
Via Massarenti
Via Matteotti
Via Cavour
Via Garibaldi
Via Rizzoli

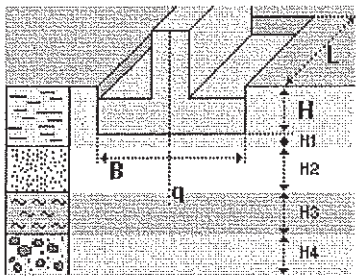


cant. D3 Imola

CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI
Metodo edometrico Monodimensionale

PROVA N.1
n°

SOTTOSUOLO STRATIFICATO



Quota inizio: 0.00 m
Adottato: Modulo Edometrico Mo :

B = 3,00 larghezza fondazione (m)
L = 3,00 lunghezza fondazione (m)
H = 1,20 profondità fondazione da piano campagna (m)
q = 1,30 incremento netto su piano fondazione (kg/cm²)

CEDIMENTI SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Quote m	Spess. m	Modulo edom. kg/cm²	Cedimento cm
1,20 - 1,60	0,40	65,0	0,80
1,60 - 2,80	1,20	125,0	1,06
2,80 - 5,40	2,60	80,0	1,61
5,40 - 6,00	0,60	500,0	0,03

COEFFICIENTE D' INCASSAMENTO NON APPLICATO

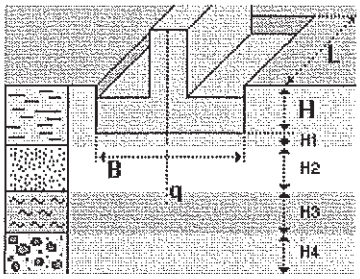
Sc = 3,49 Fondazione flessibile : cedimento al centro (cm)
Sv = 1,28 Fondazione flessibile : cedimento al vertice (cm)
Sr = 2,76 Fondazione rigida : cedimento (cm)

CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI
Metodo edometrico Monodimensionale

PROVA N.12

n°

SOTTOSUOLO STRATIFICATO



Quota inizio: 0.00 m
Adottato: Modulo Edometrico Mo :

B = 3,00 larghezza fondazione (m)
L = 3,00 lunghezza fondazione (m)
H = 1,20 profondità fondazione da piano campagna (m)
q = 1,30 incremento netto su piano fondazione (kg/cm²)

CEDIMENTI SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Quote m	Spess. m	Modulo edom. kg/cm²	Cedimento cm
1,20 - 1,60	0,40	130,0	0,40
1,60 - 3,80	2,20	90,0	2,24
3,80 - 4,60	0,80	50,0	0,70
4,60 - 5,80	1,20	500,0	0,07

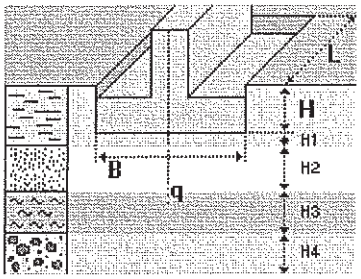
COEFFICIENTE D' INCASSAMENTO NON APPLICATO

Sc = 3,41 Fondazione flessibile : cedimento al centro (cm)
Sv = 1,23 Fondazione flessibile : cedimento al vertice (cm)
Sr = 2,68 Fondazione rigida : cedimento (cm)

CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI
Metodo edometrico Monodimensionale

PROVA N.20
n°

SOTTOSUOLO STRATIFICATO



Quota inizio: 0.00 m
Adottato: Modulo Edometrico Mo :

B = 3,00 larghezza fondazione (m)
L = 3,00 lunghezza fondazione (m)
H = 1,20 profondità fondazione da piano campagna (m)
q = 1,30 incremento netto su piano fondazione (kg/cm²)

CEDIMENTI SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Quote m	Spess. m	Modulo edom. kg/cm²	Cedimento cm
1,20 - 6,00	4,80	100,0	3,27
6,00 - 7,00	1,00	500,0	0,04

COEFFICIENTE D' INCASSAMENTO NON APPLICATO

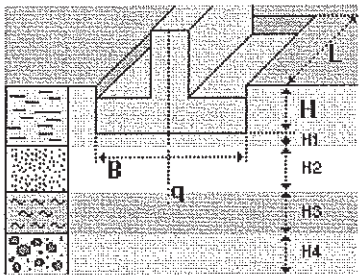
Sc = 3,31 Fondazione flessibile : cedimento al centro (cm)
Sv = 1,24 Fondazione flessibile : cedimento al vertice (cm)
Sr = 2,62 Fondazione rigida : cedimento (cm)

CEDIMENTI FONDAZIONI SUPERFICIALI
Metodo edometrico Monodimensionale

PROVA N.30

n°

SOTTOSUOLO STRATIFICATO



Quota inizio: 0.00 m
Adottato: Modulo Edometrico Mo :

B = 3,00 larghezza fondazione (m)
L = 3,00 lunghezza fondazione (m)
H = 1,20 profondità fondazione da piano campagna (m)
q = 1,30 incremento netto su piano fondazione (kg/cm²)

CEDIMENTI SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Quote m	Spess. m	Modulo edom. kg/cm²	Cedimento cm
1,20 - 1,60	0,40	180,0	0,29
1,60 - 2,80	1,20	140,0	0,95
2,80 - 4,80	2,00	85,0	1,30
4,80 - 6,00	1,20	500,0	0,06

COEFFICIENTE D' INCASSAMENTO NON APPLICATO

Sc = 2,60 Fondazione flessibile : cedimento al centro (cm)
Sv = 0,97 Fondazione flessibile : cedimento al vertice (cm)
Sr = 2,06 Fondazione rigida : cedimento (cm)

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 1
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 14-3-98

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.33	-	-
0.60	8.0	18.0	-	16	1.47	11	-
0.80	9.0	20.0	-	18	1.33	14	-
1.00	10.0	20.0	-	20	1.73	12	-
1.20	9.0	22.0	-	18	1.33	14	-
1.40	10.0	20.0	-	20	2.00	10	-
1.60	9.0	24.0	-	18	1.33	14	-
1.80	25.0	35.0	-	50	2.00	25	-
2.00	18.0	33.0	-	36	2.27	16	-
2.20	15.0	32.0	-	30	1.33	23	-
2.40	18.0	28.0	-	36	1.33	27	-
2.60	20.0	30.0	-	40	1.87	21	-
2.80	20.0	34.0	-	40	0.93	43	-
3.00	13.0	20.0	-	26	0.53	49	-
3.20	12.0	16.0	-	24	1.07	22	-
3.40	8.0	16.0	-	16	0.27	60	-
3.60	12.0	14.0	-	24	1.20	20	-
3.80	15.0	24.0	-	30	0.93	32	-
4.00	14.0	21.0	-	28	1.07	26	-
4.20	12.0	20.0	-	24	0.93	26	-
4.40	12.0	19.0	-	24	0.93	26	-
4.60	15.0	22.0	-	30	1.20	25	-
4.80	10.0	19.0	-	20	1.20	17	-
5.00	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
5.20	10.0	20.0	-	20	1.20	17	-
5.40	13.0	22.0	-	26	2.67	10	-
5.60	100.0	120.0	-	200	2.67	75	-
5.80	80.0	100.0	-	160	5.33	30	-
6.00	80.0	120.0	-	160	5.33	30	-
6.20	150.0	190.0	-	300	5.33	56	-
6.40	170.0	210.0	-	340	5.33	64	-
6.60	190.0	230.0	-	380	9.33	41	-
6.80	230.0	300.0	-	460	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 2
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 14-3-98

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.53	-	-
0.60	4.0	8.0	-	8	0.53	15	-
0.80	9.0	13.0	-	18	1.47	12	-
1.00	8.0	19.0	-	16	1.60	10	-
1.20	8.0	20.0	-	16	1.20	13	-
1.40	8.0	17.0	-	16	1.20	13	-
1.60	6.0	15.0	-	12	1.33	9	-
1.80	6.0	16.0	-	12	0.80	15	-
2.00	8.0	14.0	-	16	0.93	17	-
2.20	7.0	14.0	-	14	0.67	21	-
2.40	7.0	12.0	-	14	0.80	18	-
2.60	6.0	12.0	-	12	0.53	22	-
2.80	7.0	11.0	-	14	0.67	21	-
3.00	7.0	12.0	-	14	0.53	26	-
3.20	8.0	12.0	-	16	0.53	30	-
3.40	10.0	14.0	-	20	0.67	30	-
3.60	9.0	14.0	-	18	0.80	23	-
3.80	12.0	18.0	-	24	0.93	26	-
4.00	12.0	19.0	-	24	0.93	26	-
4.20	12.0	19.0	-	24	1.20	20	-
4.40	13.0	22.0	-	26	1.20	22	-
4.60	16.0	25.0	-	32	1.33	24	-
4.80	15.0	25.0	-	30	1.33	23	-
5.00	18.0	28.0	-	36	1.07	34	-
5.20	14.0	22.0	-	28	2.67	11	-
5.40	100.0	120.0	-	200	4.00	50	-
5.60	90.0	120.0	-	180	2.67	68	-
5.80	150.0	170.0	-	300	2.67	113	-
6.00	190.0	210.0	-	380	4.00	95	-
6.20	200.0	230.0	-	400	5.33	75	-
6.40	170.0	210.0	-	340	5.33	64	-
6.60	150.0	190.0	-	300	4.00	75	-
6.80	170.0	200.0	-	340	2.67	128	-
7.00	190.0	210.0	-	380	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 3
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 14-3-98

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.47	-	-
0.60	8.0	19.0	-	16	1.60	10	-
0.80	7.0	19.0	-	14	1.20	12	-
1.00	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
1.20	15.0	25.0	-	30	1.60	19	-
1.40	12.0	24.0	-	24	2.00	12	-
1.60	15.0	30.0	-	30	2.00	15	-
1.80	15.0	30.0	-	30	1.73	17	-
2.00	11.0	24.0	-	22	1.07	21	-
2.20	8.0	16.0	-	16	0.93	17	-
2.40	9.0	16.0	-	18	1.33	14	-
2.60	10.0	20.0	-	20	1.07	19	-
2.80	9.0	17.0	-	18	1.07	17	-
3.00	8.0	16.0	-	16	1.07	15	-
3.20	16.0	24.0	-	32	0.93	34	-
3.40	16.0	23.0	-	32	0.93	34	-
3.60	11.0	18.0	-	22	0.53	41	-
3.80	12.0	16.0	-	24	0.80	30	-
4.00	14.0	20.0	-	28	0.67	42	-
4.20	17.0	22.0	-	34	0.93	36	-
4.40	15.0	22.0	-	30	1.07	28	-
4.60	14.0	22.0	-	28	0.80	35	-
4.80	15.0	21.0	-	30	1.07	28	-
5.00	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
5.20	13.0	20.0	-	26	0.80	33	-
5.40	12.0	18.0	-	24	0.80	30	-
5.60	15.0	21.0	-	30	0.80	38	-
5.80	14.0	20.0	-	28	1.20	23	-
6.00	15.0	24.0	-	30	1.07	28	-
6.20	14.0	22.0	-	28	2.67	11	-
6.40	80.0	100.0	-	160	4.00	40	-
6.60	120.0	150.0	-	240	5.33	45	-
6.80	170.0	210.0	-	340	5.33	64	-
7.00	150.0	190.0	-	300	5.33	56	-
7.20	210.0	250.0	-	420	8.00	53	-
7.40	250.0	310.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 4
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-
0.60	15.0	22.0	-	30	1.07	28	-
0.80	20.0	28.0	-	40	2.27	18	-
1.00	23.0	40.0	-	46	2.00	23	-
1.20	27.0	42.0	-	54	3.07	18	-
1.40	22.0	45.0	-	44	3.33	13	-
1.60	25.0	50.0	-	50	1.87	27	-
1.80	28.0	42.0	-	56	2.40	23	-
2.00	18.0	36.0	-	36	1.47	25	-
2.20	17.0	28.0	-	34	0.67	51	-
2.40	16.0	21.0	-	32	0.80	40	-
2.60	20.0	26.0	-	40	1.73	23	-
2.80	19.0	32.0	-	38	1.33	29	-
3.00	18.0	28.0	-	36	1.07	34	-
3.20	19.0	27.0	-	38	0.93	41	-
3.40	12.0	19.0	-	24	0.67	36	-
3.60	15.0	20.0	-	30	1.20	25	-
3.80	13.0	22.0	-	26	1.60	16	-
4.00	12.0	24.0	-	24	1.20	20	-
4.20	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
4.40	12.0	22.0	-	24	0.80	30	-
4.60	15.0	21.0	-	30	1.20	25	-
4.80	13.0	22.0	-	26	1.07	24	-
5.00	10.0	18.0	-	20	1.33	15	-
5.20	25.0	35.0	-	50	2.67	19	-
5.40	50.0	70.0	-	100	5.33	19	-
5.60	80.0	120.0	-	160	5.33	30	-
5.80	150.0	190.0	-	300	4.00	75	-
6.00	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
6.20	210.0	250.0	-	420	6.67	63	-
6.40	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
6.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 5
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-
0.60	13.0	20.0	-	26	1.60	16	-
0.80	19.0	31.0	-	38	2.80	14	-
1.00	24.0	45.0	-	48	3.33	14	-
1.20	20.0	45.0	-	40	2.27	18	-
1.40	18.0	35.0	-	36	3.20	11	-
1.60	21.0	45.0	-	42	2.53	17	-
1.80	21.0	40.0	-	42	1.20	35	-
2.00	16.0	25.0	-	32	1.87	17	-
2.20	15.0	29.0	-	30	1.33	23	-
2.40	16.0	26.0	-	32	1.47	22	-
2.60	17.0	28.0	-	34	1.87	18	-
2.80	14.0	28.0	-	28	0.67	42	-
3.00	15.0	20.0	-	30	1.07	28	-
3.20	10.0	18.0	-	20	0.80	25	-
3.40	12.0	18.0	-	24	1.20	20	-
3.60	12.0	21.0	-	24	0.93	26	-
3.80	15.0	22.0	-	30	1.07	28	-
4.00	16.0	24.0	-	32	1.73	18	-
4.20	13.0	26.0	-	26	1.60	16	-
4.40	12.0	24.0	-	24	1.60	15	-
4.60	12.0	24.0	-	24	0.93	26	-
4.80	11.0	18.0	-	22	2.00	11	-
5.00	15.0	30.0	-	30	4.00	8	-
5.20	70.0	100.0	-	140	5.33	26	-
5.40	110.0	150.0	-	220	5.33	41	-
5.60	130.0	170.0	-	260	6.67	39	-
5.80	200.0	250.0	-	400	6.67	60	-
6.00	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 6
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.80	-	-
0.60	16.0	22.0	-	32	2.00	16	-
0.80	25.0	40.0	-	50	1.73	29	-
1.00	32.0	45.0	-	64	3.73	17	-
1.20	32.0	60.0	-	64	3.07	21	-
1.40	22.0	45.0	-	44	0.93	47	-
1.60	25.0	32.0	-	50	1.33	38	-
1.80	18.0	28.0	-	36	1.87	19	-
2.00	12.0	26.0	-	24	1.20	20	-
2.20	12.0	21.0	-	24	1.47	16	-
2.40	13.0	24.0	-	26	0.40	65	-
2.60	17.0	20.0	-	34	1.60	21	-
2.80	13.0	25.0	-	26	0.53	49	-
3.00	12.0	16.0	-	24	1.20	20	-
3.20	13.0	22.0	-	26	0.80	33	-
3.40	12.0	18.0	-	24	1.33	18	-
3.60	8.0	18.0	-	16	1.07	15	-
3.80	8.0	16.0	-	16	0.93	17	-
4.00	8.0	15.0	-	16	1.20	13	-
4.20	9.0	18.0	-	18	1.20	15	-
4.40	9.0	18.0	-	18	0.67	27	-
4.60	15.0	20.0	-	30	1.07	28	-
4.80	15.0	23.0	-	30	1.07	28	-
5.00	12.0	20.0	-	24	1.07	22	-
5.20	10.0	18.0	-	20	2.27	9	-
5.40	18.0	35.0	-	36	1.33	27	-
5.60	40.0	50.0	-	80	4.00	20	-
5.80	70.0	100.0	-	140	2.00	70	-
6.00	35.0	50.0	-	70	2.67	26	-
6.20	80.0	100.0	-	160	2.67	60	-
6.40	50.0	70.0	-	100	1.33	75	-
6.60	40.0	50.0	-	80	1.87	43	-
6.80	8.0	22.0	-	16	4.00	4	-
7.00	70.0	100.0	-	140	2.67	53	-
7.20	150.0	170.0	-	300	6.67	45	-
7.40	200.0	250.0	-	400	8.00	50	-
7.60	210.0	270.0	-	420	6.67	63	-
7.80	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
8.00	300.0	350.0	-	600	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 7
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.07	-	-
0.80	12.0	20.0	-	24	1.07	22	-
1.00	14.0	22.0	-	28	1.73	16	-
1.20	13.0	26.0	-	26	2.13	12	-
1.40	16.0	32.0	-	32	2.40	13	-
1.60	22.0	40.0	-	44	3.33	13	-
1.80	15.0	40.0	-	30	3.33	9	-
2.00	13.0	38.0	-	26	1.87	14	-
2.20	19.0	33.0	-	38	2.40	16	-
2.40	15.0	33.0	-	30	2.13	14	-
2.60	16.0	32.0	-	32	1.60	20	-
2.80	12.0	24.0	-	24	1.20	20	-
3.00	11.0	20.0	-	22	0.93	24	-
3.20	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
3.40	9.0	18.0	-	18	1.20	15	-
3.60	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
3.80	11.0	19.0	-	22	1.07	21	-
4.00	12.0	20.0	-	24	1.33	18	-
4.20	11.0	21.0	-	22	1.20	18	-
4.40	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
4.60	11.0	21.0	-	22	1.47	15	-
4.80	15.0	26.0	-	30	1.60	19	-
5.00	14.0	26.0	-	28	1.33	21	-
5.20	14.0	24.0	-	28	1.47	19	-
5.40	11.0	22.0	-	22	0.80	28	-
5.60	11.0	17.0	-	22	1.07	21	-
5.80	8.0	16.0	-	16	0.67	24	-
6.00	8.0	13.0	-	16	0.53	30	-
6.20	9.0	13.0	-	18	0.93	19	-
6.40	12.0	19.0	-	24	1.20	20	-
6.60	13.0	22.0	-	26	1.33	20	-
6.80	16.0	26.0	-	32	1.07	30	-
7.00	12.0	20.0	-	24	2.67	9	-
7.20	50.0	70.0	-	100	4.00	25	-
7.40	170.0	200.0	-	340	4.00	85	-
7.60	200.0	230.0	-	400	6.67	60	-
7.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 8
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	2.00	-	-
0.60	30.0	45.0	-	60	1.07	56	-
0.80	37.0	45.0	-	74	6.67	11	-
1.00	50.0	100.0	-	100	6.67	15	-
1.20	60.0	110.0	-	120	5.33	23	-
1.40	40.0	80.0	-	80	3.60	22	-
1.60	18.0	45.0	-	36	2.00	18	-
1.80	20.0	35.0	-	40	2.27	18	-
2.00	19.0	36.0	-	38	1.73	22	-
2.20	17.0	30.0	-	34	1.07	32	-
2.40	11.0	19.0	-	22	1.07	21	-
2.60	13.0	21.0	-	26	0.93	28	-
2.80	12.0	19.0	-	24	1.07	22	-
3.00	10.0	18.0	-	20	0.67	30	-
3.20	15.0	20.0	-	30	0.80	38	-
3.40	11.0	17.0	-	22	1.07	21	-
3.60	12.0	20.0	-	24	1.07	22	-
3.80	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-
4.00	8.0	17.0	-	16	0.67	24	-
4.20	11.0	16.0	-	22	0.80	28	-
4.40	9.0	15.0	-	18	0.93	19	-
4.60	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-
4.80	14.0	21.0	-	28	1.20	23	-
5.00	12.0	21.0	-	24	1.07	22	-
5.20	13.0	21.0	-	26	1.47	18	-
5.40	21.0	32.0	-	42	3.20	13	-
5.60	21.0	45.0	-	42	1.33	32	-
5.80	40.0	50.0	-	80	1.87	43	-
6.00	28.0	42.0	-	56	4.00	14	-
6.20	60.0	90.0	-	120	4.00	30	-
6.40	170.0	200.0	-	340	2.67	128	-
6.60	190.0	210.0	-	380	6.67	57	-
6.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 9
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.67	-	-
0.60	5.0	10.0	-	10	1.07	9	-
0.80	15.0	23.0	-	30	1.47	20	-
1.00	20.0	31.0	-	40	2.00	20	-
1.20	19.0	34.0	-	38	2.93	13	-
1.40	18.0	40.0	-	36	1.87	19	-
1.60	17.0	31.0	-	34	1.73	20	-
1.80	13.0	26.0	-	26	1.33	20	-
2.00	15.0	25.0	-	30	1.47	20	-
2.20	21.0	32.0	-	42	0.93	45	-
2.40	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-
2.60	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
2.80	12.0	20.0	-	24	1.47	16	-
3.00	12.0	23.0	-	24	1.07	22	-
3.20	15.0	23.0	-	30	1.47	20	-
3.40	15.0	26.0	-	30	1.33	23	-
3.60	13.0	23.0	-	26	0.93	28	-
3.80	9.0	16.0	-	18	0.67	27	-
4.00	9.0	14.0	-	18	0.53	34	-
4.20	8.0	12.0	-	16	2.67	6	-
4.40	80.0	100.0	-	160	6.67	24	-
4.60	150.0	200.0	-	300	5.33	56	-
4.80	170.0	210.0	-	340	9.99	34	-
5.00	170.0	250.0	-	340	6.67	51	-
5.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 10
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.40	-	-
0.60	15.0	18.0	-	30	1.20	25	-
0.80	16.0	25.0	-	32	2.27	14	-
1.00	19.0	36.0	-	38	1.60	24	-
1.20	18.0	30.0	-	36	1.47	25	-
1.40	15.0	26.0	-	30	1.60	19	-
1.60	15.0	27.0	-	30	1.07	28	-
1.80	12.0	20.0	-	24	0.93	26	-
2.00	12.0	19.0	-	24	1.20	20	-
2.20	9.0	18.0	-	18	1.07	17	-
2.40	9.0	17.0	-	18	0.80	23	-
2.60	12.0	18.0	-	24	0.53	45	-
2.80	12.0	16.0	-	24	0.80	30	-
3.00	12.0	18.0	-	24	0.53	45	-
3.20	11.0	15.0	-	22	0.67	33	-
3.40	12.0	17.0	-	24	0.80	30	-
3.60	15.0	21.0	-	30	1.07	28	-
3.80	15.0	23.0	-	30	0.80	38	-
4.00	18.0	24.0	-	36	1.47	25	-
4.20	14.0	25.0	-	28	0.93	30	-
4.40	14.0	21.0	-	28	2.00	14	-
4.60	30.0	45.0	-	60	4.00	15	-
4.80	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-
5.00	250.0	300.0	-	500	2.67	188	-
5.20	190.0	210.0	-	380	6.67	57	-
5.40	200.0	250.0	-	400	6.67	60	-
5.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 11
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.67	-	-
0.60	5.0	10.0	-	10	0.93	11	-
0.80	17.0	24.0	-	34	1.73	20	-
1.00	16.0	29.0	-	32	2.27	14	-
1.20	17.0	34.0	-	34	2.00	17	-
1.40	15.0	30.0	-	30	1.87	16	-
1.60	14.0	28.0	-	28	1.33	21	-
1.80	15.0	25.0	-	30	1.60	19	-
2.00	15.0	27.0	-	30	0.93	32	-
2.20	13.0	20.0	-	26	0.80	33	-
2.40	11.0	17.0	-	22	1.33	17	-
2.60	12.0	22.0	-	24	0.93	26	-
2.80	9.0	16.0	-	18	0.80	23	-
3.00	11.0	17.0	-	22	0.93	24	-
3.20	15.0	22.0	-	30	1.47	20	-
3.40	15.0	26.0	-	30	1.47	20	-
3.60	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
3.80	18.0	27.0	-	36	1.33	27	-
4.00	18.0	28.0	-	36	1.60	23	-
4.20	14.0	26.0	-	28	1.07	26	-
4.40	12.0	20.0	-	24	2.00	12	-
4.60	35.0	50.0	-	70	2.67	26	-
4.80	80.0	100.0	-	160	4.00	40	-
5.00	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
5.20	150.0	190.0	-	300	2.67	113	-
5.40	190.0	210.0	-	380	6.67	57	-
5.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 12
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	0.53	-	-
0.60	4.0	8.0	-	8	0.93	9	-	
0.80	11.0	18.0	-	22	1.60	14	-	
1.00	15.0	27.0	-	30	2.53	12	-	
1.20	13.0	32.0	-	26	1.87	14	-	
1.40	21.0	35.0	-	42	1.87	23	-	
1.60	21.0	35.0	-	42	2.53	17	-	
1.80	14.0	33.0	-	28	2.13	13	-	
2.00	13.0	29.0	-	26	0.93	28	-	
2.20	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-	
2.40	12.0	19.0	-	24	1.47	16	-	
2.60	10.0	21.0	-	20	1.07	19	-	
2.80	11.0	19.0	-	22	0.80	28	-	
3.00	14.0	20.0	-	28	1.20	23	-	
3.20	13.0	22.0	-	26	0.80	33	-	
3.40	13.0	19.0	-	26	1.20	22	-	
3.60	15.0	24.0	-	30	1.07	28	-	
3.80	21.0	29.0	-	42	1.60	26	-	
4.00	9.0	21.0	-	18	0.93	19	-	
4.20	7.0	14.0	-	14	0.67	21	-	
4.40	6.0	11.0	-	12	0.80	15	-	
4.60	7.0	13.0	-	14	2.67	5	-	
4.80	60.0	80.0	-	120	2.67	45	-	
5.00	150.0	170.0	-	300	4.00	75	-	
5.20	200.0	230.0	-	400	8.00	50	-	
5.40	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-	
5.60	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-	
5.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-	

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 13
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.53	-	-
0.60	21.0	25.0	-	42	0.67	63	-
0.80	25.0	30.0	-	50	1.20	42	-
1.00	21.0	30.0	-	42	1.60	26	-
1.20	28.0	40.0	-	56	1.33	42	-
1.40	40.0	50.0	-	80	2.67	30	-
1.60	50.0	70.0	-	100	2.80	36	-
1.80	24.0	45.0	-	48	2.40	20	-
2.00	18.0	36.0	-	36	2.67	14	-
2.20	16.0	36.0	-	32	0.80	40	-
2.40	12.0	18.0	-	24	1.07	22	-
2.60	13.0	21.0	-	26	0.53	49	-
2.80	17.0	21.0	-	34	1.07	32	-
3.00	14.0	22.0	-	28	0.80	35	-
3.20	15.0	21.0	-	30	0.93	32	-
3.40	16.0	23.0	-	32	1.33	24	-
3.60	15.0	25.0	-	30	1.47	20	-
3.80	18.0	29.0	-	36	1.47	25	-
4.00	21.0	32.0	-	42	1.47	29	-
4.20	23.0	34.0	-	46	2.40	19	-
4.40	12.0	30.0	-	24	1.20	20	-
4.60	10.0	19.0	-	20	1.60	13	-
4.80	10.0	22.0	-	20	1.33	15	-
5.00	40.0	50.0	-	80	2.67	30	-
5.20	80.0	100.0	-	160	4.00	40	-
5.40	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
5.60	210.0	250.0	-	420	4.00	105	-
5.80	270.0	300.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 14
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	1.07	-	-
0.60	12.0	20.0	-		24	1.60	15	-
0.80	12.0	24.0	-		24	2.00	12	-
1.00	11.0	26.0	-		22	1.47	15	-
1.20	22.0	33.0	-		44	2.67	17	-
1.40	30.0	50.0	-		60	3.60	17	-
1.60	33.0	60.0	-		66	4.13	16	-
1.80	29.0	60.0	-		58	2.53	23	-
2.00	21.0	40.0	-		42	2.13	20	-
2.20	16.0	32.0	-		32	1.60	20	-
2.40	13.0	25.0	-		26	1.20	22	-
2.60	11.0	20.0	-		22	1.07	21	-
2.80	14.0	22.0	-		28	0.27	105	-
3.00	13.0	15.0	-		26	0.93	28	-
3.20	13.0	20.0	-		26	0.67	39	-
3.40	17.0	22.0	-		34	0.67	51	-
3.60	15.0	20.0	-		30	1.33	23	-
3.80	13.0	23.0	-		26	1.07	24	-
4.00	19.0	27.0	-		38	1.60	24	-
4.20	18.0	30.0	-		36	1.20	30	-
4.40	21.0	30.0	-		42	1.20	35	-
4.60	14.0	23.0	-		28	0.80	35	-
4.80	10.0	16.0	-		20	0.93	21	-
5.00	10.0	17.0	-		20	2.67	8	-
5.20	70.0	90.0	-		140	4.00	35	-
5.40	200.0	230.0	-		400	5.33	75	-
5.60	210.0	250.0	-		420	6.67	63	-
5.80	250.0	300.0	-		500	5.33	94	-
6.00	270.0	310.0	-		540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 15
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.07	-	-
0.60	11.0	19.0	-	22	1.07	21	-
0.80	22.0	30.0	-	44	2.53	17	-
1.00	24.0	43.0	-	48	2.00	24	-
1.20	30.0	45.0	-	60	2.53	24	-
1.40	26.0	45.0	-	52	2.93	18	-
1.60	20.0	42.0	-	40	2.53	16	-
1.80	16.0	35.0	-	32	1.87	17	-
2.00	14.0	28.0	-	28	1.47	19	-
2.20	15.0	26.0	-	30	1.07	28	-
2.40	13.0	21.0	-	26	1.60	16	-
2.60	12.0	24.0	-	24	0.80	30	-
2.80	10.0	16.0	-	20	0.67	30	-
3.00	13.0	18.0	-	26	0.93	28	-
3.20	10.0	17.0	-	20	1.20	17	-
3.40	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
3.60	15.0	23.0	-	30	1.20	25	-
3.80	19.0	28.0	-	38	1.47	26	-
4.00	17.0	28.0	-	34	1.47	23	-
4.20	17.0	28.0	-	34	1.20	28	-
4.40	16.0	25.0	-	32	1.47	22	-
4.60	12.0	23.0	-	24	1.07	22	-
4.80	7.0	15.0	-	14	0.80	18	-
5.00	7.0	13.0	-	14	0.67	21	-
5.20	10.0	15.0	-	20	6.67	3	-
5.40	150.0	200.0	-	300	5.33	56	-
5.60	170.0	210.0	-	340	6.67	51	-
5.80	250.0	300.0	-	500	4.00	125	-
6.00	270.0	300.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 16
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	0.40	-	-
0.60	5.0	8.0	-		10	0.80	13	-
0.80	12.0	18.0	-		24	1.47	16	-
1.00	19.0	30.0	-		38	2.67	14	-
1.20	15.0	35.0	-		30	2.40	12	-
1.40	17.0	35.0	-		34	2.93	12	-
1.60	15.0	37.0	-		30	2.40	12	-
1.80	22.0	40.0	-		44	2.13	21	-
2.00	19.0	35.0	-		38	1.73	22	-
2.20	13.0	26.0	-		26	1.20	22	-
2.40	13.0	22.0	-		26	0.93	28	-
2.60	13.0	20.0	-		26	0.80	33	-
2.80	13.0	19.0	-		26	0.53	49	-
3.00	11.0	15.0	-		22	0.67	33	-
3.20	12.0	17.0	-		24	0.67	36	-
3.40	11.0	16.0	-		22	1.07	21	-
3.60	14.0	22.0	-		28	0.93	30	-
3.80	13.0	20.0	-		26	0.93	28	-
4.00	11.0	18.0	-		22	0.80	28	-
4.20	11.0	17.0	-		22	0.80	28	-
4.40	11.0	17.0	-		22	1.07	21	-
4.60	13.0	21.0	-		26	1.07	24	-
4.80	12.0	20.0	-		24	1.33	18	-
5.00	11.0	21.0	-		22	1.33	17	-
5.20	14.0	24.0	-		28	1.33	21	-
5.40	14.0	24.0	-		28	1.47	19	-
5.60	22.0	33.0	-		44	4.00	11	-
5.80	170.0	200.0	-		340	6.67	51	-
6.00	200.0	250.0	-		400	8.00	50	-
6.20	190.0	250.0	-		380	6.67	57	-
6.40	250.0	300.0	-		500	6.67	75	-
6.60	250.0	300.0	-		500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 17
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.20	-	-
0.60	9.0	18.0	-	18	1.07	17	-
0.80	18.0	26.0	-	36	1.73	21	-
1.00	25.0	38.0	-	50	2.40	21	-
1.20	32.0	50.0	-	64	2.67	24	-
1.40	25.0	45.0	-	50	2.80	18	-
1.60	14.0	35.0	-	28	3.07	9	-
1.80	22.0	45.0	-	44	2.67	17	-
2.00	20.0	40.0	-	40	2.00	20	-
2.20	15.0	30.0	-	30	1.33	23	-
2.40	15.0	25.0	-	30	0.93	32	-
2.60	14.0	21.0	-	28	0.40	70	-
2.80	12.0	15.0	-	24	0.53	45	-
3.00	10.0	14.0	-	20	0.53	37	-
3.20	11.0	15.0	-	22	0.53	41	-
3.40	11.0	15.0	-	22	0.67	33	-
3.60	12.0	17.0	-	24	0.93	26	-
3.80	13.0	20.0	-	26	0.67	39	-
4.00	15.0	20.0	-	30	0.80	38	-
4.20	10.0	16.0	-	20	0.80	25	-
4.40	9.0	15.0	-	18	0.67	27	-
4.60	10.0	15.0	-	20	0.67	30	-
4.80	17.0	22.0	-	34	1.60	21	-
5.00	11.0	23.0	-	22	1.20	18	-
5.20	9.0	18.0	-	18	2.67	7	-
5.40	50.0	70.0	-	100	6.67	15	-
5.60	100.0	150.0	-	200	4.00	50	-
5.80	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-
6.00	200.0	250.0	-	400	2.67	150	-
6.20	250.0	270.0	-	500	4.00	125	-
6.40	270.0	300.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 18
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-
0.60	8.0	15.0	-	16	1.07	15	-
0.80	22.0	30.0	-	44	1.60	28	-
1.00	18.0	30.0	-	36	1.60	23	-
1.20	18.0	30.0	-	36	2.27	16	-
1.40	19.0	36.0	-	38	2.80	14	-
1.60	24.0	45.0	-	48	3.33	14	-
1.80	25.0	50.0	-	50	2.13	23	-
2.00	24.0	40.0	-	48	1.60	30	-
2.20	18.0	30.0	-	36	2.13	17	-
2.40	13.0	29.0	-	26	0.93	28	-
2.60	18.0	25.0	-	36	1.20	30	-
2.80	12.0	21.0	-	24	0.67	36	-
3.00	14.0	19.0	-	28	0.53	52	-
3.20	13.0	17.0	-	26	0.27	97	-
3.40	14.0	16.0	-	28	1.07	26	-
3.60	10.0	18.0	-	20	1.47	14	-
3.80	12.0	23.0	-	24	1.33	18	-
4.00	12.0	22.0	-	24	0.93	26	-
4.20	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
4.40	14.0	22.0	-	28	1.47	19	-
4.60	14.0	25.0	-	28	1.07	26	-
4.80	14.0	22.0	-	28	1.20	23	-
5.00	8.0	17.0	-	16	0.67	24	-
5.20	7.0	12.0	-	14	0.53	26	-
5.40	11.0	15.0	-	22	4.00	6	-
5.60	170.0	200.0	-	340	8.00	43	-
5.80	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-
6.00	230.0	280.0	-	460	6.67	69	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 19
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	0.93	-	-
0.60	8.0	15.0	-		16	0.67	24	-
0.80	17.0	22.0	-		34	1.20	28	-
1.00	18.0	27.0	-		36	2.00	18	-
1.20	18.0	33.0	-		36	2.80	13	-
1.40	24.0	45.0	-		48	2.93	16	-
1.60	18.0	40.0	-		36	3.60	10	-
1.80	13.0	40.0	-		26	2.27	11	-
2.00	21.0	38.0	-		42	2.40	18	-
2.20	15.0	33.0	-		30	1.87	16	-
2.40	18.0	32.0	-		36	1.47	25	-
2.60	12.0	23.0	-		24	0.80	30	-
2.80	8.0	14.0	-		16	0.67	24	-
3.00	9.0	14.0	-		18	0.53	34	-
3.20	10.0	14.0	-		20	0.53	37	-
3.40	11.0	15.0	-		22	0.80	28	-
3.60	12.0	18.0	-		24	1.33	18	-
3.80	12.0	22.0	-		24	1.33	18	-
4.00	13.0	23.0	-		26	1.60	16	-
4.20	15.0	27.0	-		30	1.60	19	-
4.40	16.0	28.0	-		32	1.33	24	-
4.60	16.0	26.0	-		32	1.87	17	-
4.80	17.0	31.0	-		34	1.73	20	-
5.00	16.0	29.0	-		32	1.73	18	-
5.20	17.0	30.0	-		34	1.60	21	-
5.40	18.0	30.0	-		36	2.00	18	-
5.60	15.0	30.0	-		30	1.87	16	-
5.80	14.0	28.0	-		28	1.87	15	-
6.00	13.0	27.0	-		26	1.73	15	-
6.20	27.0	40.0	-		54	2.67	20	-
6.40	50.0	70.0	-		100	2.67	38	-
6.60	40.0	60.0	-		80	2.67	30	-
6.80	40.0	60.0	-		80	4.00	20	-
7.00	170.0	200.0	-		340	5.33	64	-
7.20	150.0	190.0	-		300	2.67	113	-
7.40	190.0	210.0	-		380	6.67	57	-
7.60	250.0	300.0	-		500	4.00	125	-
7.80	270.0	300.0	-		540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 20
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.93	-	-
0.80	13.0	20.0	-	26	0.67	39	-
1.00	17.0	22.0	-	34	0.80	43	-
1.20	17.0	23.0	-	34	2.27	15	-
1.40	20.0	37.0	-	40	2.93	14	-
1.60	23.0	45.0	-	46	2.93	16	-
1.80	18.0	40.0	-	36	2.67	14	-
2.00	20.0	40.0	-	40	2.13	19	-
2.20	18.0	34.0	-	36	2.00	18	-
2.40	15.0	30.0	-	30	1.47	20	-
2.60	16.0	27.0	-	32	2.00	16	-
2.80	15.0	30.0	-	30	1.73	17	-
3.00	13.0	26.0	-	26	0.53	49	-
3.20	18.0	22.0	-	36	0.93	39	-
3.40	16.0	23.0	-	32	0.93	34	-
3.60	11.0	18.0	-	22	1.07	21	-
3.80	12.0	20.0	-	24	0.93	26	-
4.00	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
4.20	15.0	24.0	-	30	1.47	20	-
4.40	18.0	29.0	-	36	1.60	23	-
4.60	20.0	32.0	-	40	1.73	23	-
4.80	21.0	34.0	-	42	2.13	20	-
5.00	18.0	34.0	-	36	1.33	27	-
5.20	15.0	25.0	-	30	1.87	16	-
5.40	12.0	26.0	-	24	0.93	26	-
5.60	10.0	17.0	-	20	1.07	19	-
5.80	22.0	30.0	-	44	1.60	28	-
6.00	10.0	22.0	-	20	2.67	8	-
6.20	30.0	50.0	-	60	2.67	23	-
6.40	30.0	50.0	-	60	4.00	15	-
6.60	80.0	110.0	-	160	5.33	30	-
6.80	130.0	170.0	-	260	4.00	65	-
7.00	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-
7.20	250.0	300.0	-	500	4.00	125	-
7.40	270.0	300.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR.STATICA CPT 21
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.47	-	-
0.80	9.0	20.0	-	18	1.07	17	-
1.00	21.0	29.0	-	42	1.73	24	-
1.20	27.0	40.0	-	54	2.40	23	-
1.40	18.0	36.0	-	36	0.93	39	-
1.60	28.0	35.0	-	56	1.87	30	-
1.80	36.0	50.0	-	72	1.07	68	-
2.00	32.0	40.0	-	64	2.40	27	-
2.20	22.0	40.0	-	44	2.40	18	-
2.40	17.0	35.0	-	34	2.00	17	-
2.60	13.0	28.0	-	26	2.27	11	-
2.80	14.0	31.0	-	28	1.73	16	-
3.00	13.0	26.0	-	26	0.93	28	-
3.20	11.0	18.0	-	22	1.07	21	-
3.40	10.0	18.0	-	20	0.67	30	-
3.60	8.0	13.0	-	16	1.20	13	-
3.80	9.0	18.0	-	18	0.67	27	-
4.00	14.0	19.0	-	28	1.07	26	-
4.20	14.0	22.0	-	28	1.20	23	-
4.40	15.0	24.0	-	30	1.07	28	-
4.60	14.0	22.0	-	28	1.60	18	-
4.80	10.0	22.0	-	20	0.93	21	-
5.00	11.0	18.0	-	22	1.07	21	-
5.20	10.0	18.0	-	20	0.80	25	-
5.40	8.0	14.0	-	16	1.07	15	-
5.60	8.0	16.0	-	16	2.67	6	-
5.80	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-
6.00	30.0	50.0	-	60	4.00	15	-
6.20	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-
6.40	200.0	250.0	-	400	5.33	75	-
6.60	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR.STATICA CPT 22
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.60	-	-
0.80	14.0	26.0	-	28	1.60	18	-
1.00	23.0	35.0	-	46	2.67	17	-
1.20	20.0	40.0	-	40	2.53	16	-
1.40	17.0	36.0	-	34	2.93	12	-
1.60	18.0	40.0	-	36	2.80	13	-
1.80	9.0	30.0	-	18	1.87	10	-
2.00	14.0	28.0	-	28	1.73	16	-
2.20	13.0	26.0	-	26	2.00	13	-
2.40	17.0	32.0	-	34	1.33	26	-
2.60	18.0	28.0	-	36	1.87	19	-
2.80	15.0	29.0	-	30	1.20	25	-
3.00	15.0	24.0	-	30	1.60	19	-
3.20	17.0	29.0	-	34	1.07	32	-
3.40	14.0	22.0	-	28	1.73	16	-
3.60	17.0	30.0	-	34	1.47	23	-
3.80	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
4.00	14.0	23.0	-	28	1.47	19	-
4.20	20.0	31.0	-	40	1.60	25	-
4.40	12.0	24.0	-	24	1.07	22	-
4.60	10.0	18.0	-	20	0.67	30	-
4.80	13.0	18.0	-	26	0.27	97	-
5.00	13.0	15.0	-	26	0.93	28	-
5.20	13.0	20.0	-	26	0.67	39	-
5.40	11.0	16.0	-	22	0.80	28	-
5.60	12.0	18.0	-	24	2.13	11	-
5.80	18.0	34.0	-	36	4.00	9	-
6.00	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
6.20	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.40	250.0	300.0	-	500	9.99	50	-
6.60	270.0	350.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 23
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.93	-	-
0.80	5.0	12.0	-	10	0.93	11	-
1.00	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
1.20	18.0	27.0	-	36	2.00	18	-
1.40	21.0	36.0	-	42	1.60	26	-
1.60	28.0	40.0	-	56	2.93	19	-
1.80	23.0	45.0	-	46	2.27	20	-
2.00	18.0	35.0	-	36	2.93	12	-
2.20	23.0	45.0	-	46	1.47	31	-
2.40	16.0	27.0	-	32	1.33	24	-
2.60	14.0	24.0	-	28	0.80	35	-
2.80	12.0	18.0	-	24	0.67	36	-
3.00	12.0	17.0	-	24	0.67	36	-
3.20	10.0	15.0	-	20	0.67	30	-
3.40	9.0	14.0	-	18	0.67	27	-
3.60	14.0	19.0	-	28	0.80	35	-
3.80	12.0	18.0	-	24	0.80	30	-
4.00	14.0	20.0	-	28	1.07	26	-
4.20	16.0	24.0	-	32	1.60	20	-
4.40	18.0	30.0	-	36	1.33	27	-
4.60	15.0	25.0	-	30	1.20	25	-
4.80	14.0	23.0	-	28	1.47	19	-
5.00	10.0	21.0	-	20	1.07	19	-
5.20	8.0	16.0	-	16	0.67	24	-
5.40	5.0	10.0	-	10	0.67	15	-
5.60	7.0	12.0	-	14	2.67	5	-
5.80	60.0	80.0	-	120	6.67	18	-
6.00	150.0	200.0	-	300	8.00	38	-
6.20	170.0	230.0	-	340	6.67	51	-
6.40	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
6.60	270.0	320.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 24
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.47	-	-
0.80	15.0	26.0	-	30	2.00	15	-
1.00	15.0	30.0	-	30	2.67	11	-
1.20	16.0	36.0	-	32	2.40	13	-
1.40	27.0	45.0	-	54	3.33	16	-
1.60	25.0	50.0	-	50	4.00	13	-
1.80	30.0	60.0	-	60	4.00	15	-
2.00	30.0	60.0	-	60	2.93	20	-
2.20	23.0	45.0	-	46	3.33	14	-
2.40	15.0	40.0	-	30	2.40	12	-
2.60	14.0	32.0	-	28	2.27	12	-
2.80	17.0	34.0	-	34	1.20	28	-
3.00	13.0	22.0	-	26	1.47	18	-
3.20	11.0	22.0	-	22	1.33	17	-
3.40	11.0	21.0	-	22	1.07	21	-
3.60	10.0	18.0	-	20	0.93	21	-
3.80	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
4.00	14.0	23.0	-	28	1.73	16	-
4.20	17.0	30.0	-	34	1.73	20	-
4.40	18.0	31.0	-	36	1.87	19	-
4.60	14.0	28.0	-	28	1.60	18	-
4.80	16.0	28.0	-	32	1.73	18	-
5.00	13.0	26.0	-	26	1.47	18	-
5.20	11.0	22.0	-	22	1.33	17	-
5.40	30.0	40.0	-	60	2.67	23	-
5.60	60.0	80.0	-	120	4.00	30	-
5.80	100.0	130.0	-	200	8.00	25	-
6.00	150.0	210.0	-	300	8.00	38	-
6.20	170.0	230.0	-	340	6.67	51	-
6.40	150.0	200.0	-	300	6.67	45	-
6.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 25
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	2.13	-	-
0.80	14.0	30.0	-	28	1.73	16	-
1.00	18.0	31.0	-	36	2.13	17	-
1.20	16.0	32.0	-	32	2.67	12	-
1.40	17.0	37.0	-	34	3.20	11	-
1.60	11.0	35.0	-	22	2.53	9	-
1.80	16.0	35.0	-	32	1.60	20	-
2.00	15.0	27.0	-	30	1.60	19	-
2.20	20.0	32.0	-	40	2.00	20	-
2.40	18.0	33.0	-	36	2.00	18	-
2.60	20.0	35.0	-	40	2.27	18	-
2.80	18.0	35.0	-	36	1.73	21	-
3.00	14.0	27.0	-	28	1.33	21	-
3.20	12.0	22.0	-	24	1.47	16	-
3.40	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
3.60	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
3.80	12.0	20.0	-	24	1.20	20	-
4.00	13.0	22.0	-	26	1.73	15	-
4.20	14.0	27.0	-	28	1.60	18	-
4.40	12.0	24.0	-	24	1.60	15	-
4.60	12.0	24.0	-	24	1.20	20	-
4.80	14.0	23.0	-	28	1.20	23	-
5.00	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
5.20	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
5.40	12.0	19.0	-	24	0.80	30	-
5.60	24.0	30.0	-	48	2.67	18	-
5.80	60.0	80.0	-	120	4.00	30	-
6.00	170.0	200.0	-	340	-	-	-
6.20	250.0	190.0	-	500	9.99	50	-
6.40	210.0	300.0	-	420	5.33	79	-
6.60	270.0	310.0	-	540	5.33	101	-
6.80	270.0	310.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 26
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.80	-	-
0.80	5.0	11.0	-	10	1.07	9	-
1.00	11.0	19.0	-	22	2.27	10	-
1.20	20.0	37.0	-	40	2.27	18	-
1.40	18.0	35.0	-	36	2.67	14	-
1.60	20.0	40.0	-	40	2.00	20	-
1.80	17.0	32.0	-	34	1.73	20	-
2.00	23.0	36.0	-	46	2.67	17	-
2.20	16.0	36.0	-	32	1.73	18	-
2.40	16.0	29.0	-	32	0.67	48	-
2.60	15.0	20.0	-	30	1.20	25	-
2.80	14.0	23.0	-	28	1.20	23	-
3.00	13.0	22.0	-	26	1.20	22	-
3.20	11.0	20.0	-	22	0.80	28	-
3.40	12.0	18.0	-	24	0.93	26	-
3.60	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
3.80	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
4.00	19.0	26.0	-	38	1.73	22	-
4.20	15.0	28.0	-	30	1.73	17	-
4.40	13.0	26.0	-	26	1.60	16	-
4.60	11.0	23.0	-	22	1.20	18	-
4.80	17.0	26.0	-	34	1.73	20	-
5.00	13.0	26.0	-	26	2.67	10	-
5.20	80.0	100.0	-	160	2.67	60	-
5.40	110.0	130.0	-	220	4.00	55	-
5.60	170.0	200.0	-	340	8.00	43	-
5.80	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-
6.00	230.0	280.0	-	460	6.67	69	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 27
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.80	-	-
0.80	8.0	14.0	-	16	1.20	13	-
1.00	17.0	26.0	-	34	2.13	16	-
1.20	19.0	35.0	-	38	2.67	14	-
1.40	14.0	34.0	-	28	3.33	8	-
1.60	11.0	36.0	-	22	1.73	13	-
1.80	11.0	24.0	-	22	1.33	17	-
2.00	24.0	34.0	-	48	1.87	26	-
2.20	21.0	35.0	-	42	1.87	23	-
2.40	20.0	34.0	-	40	1.60	25	-
2.60	17.0	29.0	-	34	0.80	43	-
2.80	19.0	25.0	-	38	1.47	26	-
3.00	17.0	28.0	-	34	1.07	32	-
3.20	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
3.40	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
3.60	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-
3.80	16.0	25.0	-	32	1.60	20	-
4.00	17.0	29.0	-	34	1.47	23	-
4.20	22.0	33.0	-	44	1.60	28	-
4.40	17.0	29.0	-	34	1.60	21	-
4.60	16.0	28.0	-	32	1.60	20	-
4.80	17.0	29.0	-	34	1.60	21	-
5.00	10.0	22.0	-	20	1.07	19	-
5.20	8.0	16.0	-	16	6.67	2	-
5.40	100.0	150.0	-	200	4.00	50	-
5.60	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
5.80	150.0	190.0	-	300	6.67	45	-
6.00	200.0	250.0	-	400	6.67	60	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 28
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	-	-	-
0.60	-	-	-		-	0.40	-	-
0.80	5.0	8.0	-		10	1.07	9	-
1.00	22.0	30.0	-		44	2.00	22	-
1.20	25.0	40.0	-		50	3.20	16	-
1.40	26.0	50.0	-		52	3.07	17	-
1.60	17.0	40.0	-		34	2.40	14	-
1.80	10.0	28.0	-		20	2.13	9	-
2.00	18.0	34.0	-		36	2.27	16	-
2.20	16.0	33.0	-		32	2.00	16	-
2.40	20.0	35.0	-		40	2.13	19	-
2.60	15.0	31.0	-		30	1.33	23	-
2.80	19.0	29.0	-		38	1.73	22	-
3.00	13.0	26.0	-		26	0.80	33	-
3.20	15.0	21.0	-		30	1.07	28	-
3.40	13.0	21.0	-		26	1.20	22	-
3.60	12.0	21.0	-		24	1.33	18	-
3.80	15.0	25.0	-		30	1.73	17	-
4.00	16.0	29.0	-		32	1.60	20	-
4.20	14.0	26.0	-		28	1.20	23	-
4.40	13.0	22.0	-		26	1.33	20	-
4.60	6.0	16.0	-		12	0.67	18	-
4.80	6.0	11.0	-		12	0.93	13	-
5.00	7.0	14.0	-		14	4.00	4	-
5.20	100.0	130.0	-		200	5.33	38	-
5.40	150.0	190.0	-		300	5.33	56	-
5.60	170.0	210.0	-		340	6.67	51	-
5.80	200.0	250.0	-		400	6.67	60	-
6.00	250.0	300.0	-		500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 29
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.40	-	-
0.80	5.0	8.0	-	10	0.67	15	-
1.00	9.0	14.0	-	18	2.00	9	-
1.20	15.0	30.0	-	30	2.40	12	-
1.40	22.0	40.0	-	44	3.07	14	-
1.60	17.0	40.0	-	34	2.67	13	-
1.80	20.0	40.0	-	40	3.33	12	-
2.00	15.0	40.0	-	30	1.60	19	-
2.20	25.0	37.0	-	50	2.53	20	-
2.40	19.0	38.0	-	38	1.87	20	-
2.60	16.0	30.0	-	32	1.60	20	-
2.80	16.0	28.0	-	32	1.20	27	-
3.00	12.0	21.0	-	24	1.07	22	-
3.20	12.0	20.0	-	24	0.67	36	-
3.40	14.0	19.0	-	28	0.93	30	-
3.60	11.0	18.0	-	22	0.80	28	-
3.80	11.0	17.0	-	22	1.07	21	-
4.00	15.0	23.0	-	30	1.20	25	-
4.20	15.0	24.0	-	30	1.33	23	-
4.40	12.0	22.0	-	24	0.80	30	-
4.60	13.0	19.0	-	26	1.07	24	-
4.80	15.0	23.0	-	30	0.80	38	-
5.00	12.0	18.0	-	24	1.07	22	-
5.20	14.0	22.0	-	28	0.67	42	-
5.40	13.0	18.0	-	26	4.00	7	-
5.60	100.0	130.0	-	200	5.33	38	-
5.80	130.0	170.0	-	260	2.67	98	-
6.00	190.0	210.0	-	380	8.00	48	-
6.20	210.0	270.0	-	420	6.67	63	-
6.40	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 30
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.47	-	-
0.80	15.0	26.0	-	30	1.33	23	-
1.00	30.0	40.0	-	60	1.33	45	-
1.20	30.0	40.0	-	60	2.67	23	-
1.40	40.0	60.0	-	80	4.00	20	-
1.60	40.0	70.0	-	80	1.87	43	-
1.80	26.0	40.0	-	52	0.80	65	-
2.00	25.0	31.0	-	50	2.27	22	-
2.20	23.0	40.0	-	46	1.60	29	-
2.40	22.0	34.0	-	44	1.47	30	-
2.60	21.0	32.0	-	42	1.73	24	-
2.80	20.0	33.0	-	40	1.60	25	-
3.00	16.0	28.0	-	32	1.33	24	-
3.20	15.0	25.0	-	30	0.93	32	-
3.40	14.0	21.0	-	28	0.67	42	-
3.60	14.0	19.0	-	28	0.80	35	-
3.80	14.0	20.0	-	28	1.20	23	-
4.00	17.0	26.0	-	34	1.20	28	-
4.20	16.0	25.0	-	32	1.20	27	-
4.40	15.0	24.0	-	30	1.20	25	-
4.60	14.0	23.0	-	28	1.47	19	-
4.80	19.0	30.0	-	38	2.67	14	-
5.00	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-
5.20	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-
5.40	60.0	80.0	-	120	5.33	23	-
5.60	130.0	170.0	-	260	6.67	39	-
5.80	150.0	200.0	-	300	5.33	56	-
6.00	190.0	230.0	-	380	5.33	71	-
6.20	230.0	270.0	-	460	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 31
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	0.93	-	-
0.60	12.0	19.0	-		24	1.20	20	-
0.80	20.0	29.0	-		40	2.93	14	-
1.00	24.0	46.0	-		48	2.93	16	-
1.20	31.0	53.0	-		62	2.53	24	-
1.40	24.0	43.0	-		48	1.87	26	-
1.60	22.0	36.0	-		44	2.93	15	-
1.80	22.0	44.0	-		44	2.67	17	-
2.00	20.0	40.0	-		40	2.13	19	-
2.20	16.0	32.0	-		32	1.47	22	-
2.40	11.0	22.0	-		22	1.47	15	-
2.60	14.0	25.0	-		28	1.07	26	-
2.80	12.0	20.0	-		24	0.80	30	-
3.00	16.0	22.0	-		32	1.07	30	-
3.20	13.0	21.0	-		26	0.80	33	-
3.40	13.0	19.0	-		26	1.47	18	-
3.60	13.0	24.0	-		26	2.00	13	-
3.80	13.0	28.0	-		26	1.60	16	-
4.00	13.0	25.0	-		26	1.47	18	-
4.20	13.0	24.0	-		26	1.47	18	-
4.40	12.0	23.0	-		24	1.60	15	-
4.60	26.0	38.0	-		52	1.87	28	-
4.80	22.0	36.0	-		44	1.20	37	-
5.00	21.0	30.0	-		42	1.20	35	-
5.20	16.0	25.0	-		32	2.00	16	-
5.40	13.0	28.0	-		26	2.67	10	-
5.60	60.0	80.0	-		120	2.67	45	-
5.80	40.0	60.0	-		80	2.67	30	-
6.00	50.0	70.0	-		100	2.67	38	-
6.20	60.0	80.0	-		120	2.67	45	-
6.40	40.0	60.0	-		80	6.67	12	-
6.60	150.0	200.0	-		300	8.00	38	-
6.80	170.0	230.0	-		340	6.67	51	-
7.00	250.0	300.0	-		500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 32
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.07	-	-	-
0.60	12.0	20.0	-	24	1.33	18	-	-
0.80	23.0	33.0	-	46	2.67	17	-	-
1.00	40.0	60.0	-	80	2.67	30	-	-
1.20	25.0	45.0	-	50	1.20	42	-	-
1.40	24.0	33.0	-	48	1.73	28	-	-
1.60	21.0	34.0	-	42	2.40	18	-	-
1.80	15.0	33.0	-	30	1.60	19	-	-
2.00	14.0	26.0	-	28	1.07	26	-	-
2.20	16.0	24.0	-	32	0.40	80	-	-
2.40	15.0	18.0	-	30	1.20	25	-	-
2.60	11.0	20.0	-	22	0.53	41	-	-
2.80	12.0	16.0	-	24	0.80	30	-	-
3.00	12.0	18.0	-	24	0.93	26	-	-
3.20	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-	-
3.40	13.0	22.0	-	26	1.47	18	-	-
3.60	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-	-
3.80	11.0	20.0	-	22	0.93	24	-	-
4.00	14.0	21.0	-	28	1.07	26	-	-
4.20	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-	-
4.40	9.0	18.0	-	18	0.67	27	-	-
4.60	9.0	14.0	-	18	0.53	34	-	-
4.80	9.0	13.0	-	18	2.67	7	-	-
5.00	50.0	70.0	-	100	4.00	25	-	-
5.20	60.0	90.0	-	120	6.67	18	-	-
5.40	100.0	150.0	-	200	4.00	50	-	-
5.60	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-	-
5.80	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-	-
6.00	250.0	300.0	-	500	-	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 33
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.53	-	-
0.60	6.0	10.0	-	12	0.67	18	-
0.80	18.0	23.0	-	36	1.87	19	-
1.00	16.0	30.0	-	32	2.27	14	-
1.20	17.0	34.0	-	34	2.13	16	-
1.40	12.0	28.0	-	24	0.67	36	-
1.60	9.0	14.0	-	18	1.07	17	-
1.80	18.0	26.0	-	36	2.00	18	-
2.00	18.0	33.0	-	36	1.87	19	-
2.20	18.0	32.0	-	36	1.73	21	-
2.40	13.0	26.0	-	26	1.87	14	-
2.60	16.0	30.0	-	32	1.60	20	-
2.80	16.0	28.0	-	32	1.07	30	-
3.00	15.0	23.0	-	30	1.07	28	-
3.20	14.0	22.0	-	28	1.07	26	-
3.40	12.0	20.0	-	24	1.47	16	-
3.60	14.0	25.0	-	28	1.33	21	-
3.80	14.0	24.0	-	28	1.47	19	-
4.00	11.0	22.0	-	22	1.47	15	-
4.20	12.0	23.0	-	24	1.07	22	-
4.40	14.0	22.0	-	28	1.33	21	-
4.60	10.0	20.0	-	20	1.20	17	-
4.80	9.0	18.0	-	18	1.20	15	-
5.00	12.0	21.0	-	24	0.80	30	-
5.20	18.0	24.0	-	36	2.80	13	-
5.40	23.0	44.0	-	46	2.67	17	-
5.60	130.0	150.0	-	260	4.00	65	-
5.80	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
6.00	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 34
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

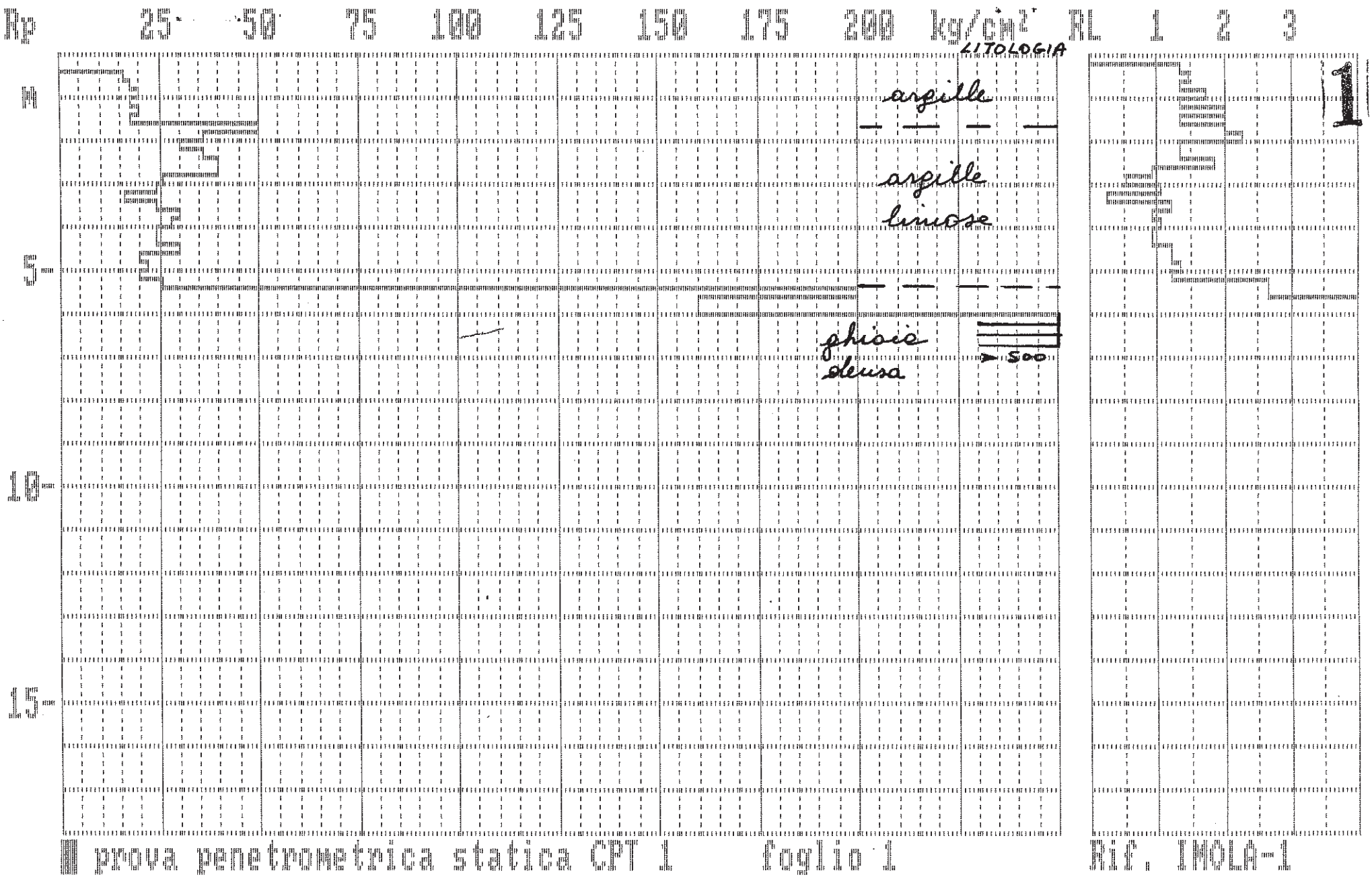
prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.80	-	-
0.60	6.0	12.0	-	12	0.80	15	-
0.80	14.0	20.0	-	28	2.27	12	-
1.00	14.0	31.0	-	28	2.53	11	-
1.20	16.0	35.0	-	32	2.40	13	-
1.40	10.0	28.0	-	20	2.13	9	-
1.60	14.0	30.0	-	28	1.73	16	-
1.80	13.0	26.0	-	26	1.87	14	-
2.00	21.0	35.0	-	42	2.27	19	-
2.20	17.0	34.0	-	34	1.73	20	-
2.40	11.0	24.0	-	22	0.67	33	-
2.60	18.0	23.0	-	36	1.33	27	-
2.80	10.0	20.0	-	20	0.93	21	-
3.00	16.0	23.0	-	32	1.07	30	-
3.20	11.0	19.0	-	22	1.20	18	-
3.40	11.0	20.0	-	22	0.93	24	-
3.60	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
3.80	11.0	19.0	-	22	0.93	24	-
4.00	11.0	18.0	-	22	0.93	24	-
4.20	14.0	21.0	-	28	1.20	23	-
4.40	17.0	26.0	-	34	1.47	23	-
4.60	17.0	28.0	-	34	0.93	36	-
4.80	22.0	29.0	-	44	1.87	24	-
5.00	22.0	36.0	-	44	1.60	28	-
5.20	24.0	36.0	-	48	1.60	30	-
5.40	21.0	33.0	-	42	2.67	16	-
5.60	50.0	70.0	-	100	-	-	-
5.80	170.0	20.0	-	340	5.33	64	-
6.00	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.20	250.0	300.0	-	500	5.33	94	-
6.40	270.0	310.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 35
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	-	0.27	-	-
0.80	8.0	10.0	-		16	0.53	30	-
1.00	11.0	15.0	-		22	2.27	10	-
1.20	18.0	35.0	-		36	2.80	13	-
1.40	14.0	35.0	-		28	2.53	11	-
1.60	21.0	40.0	-		42	2.27	19	-
1.80	18.0	35.0	-		36	1.33	27	-
2.00	20.0	30.0	-		40	0.67	60	-
2.20	25.0	30.0	-		50	1.87	27	-
2.40	20.0	34.0	-		40	0.93	43	-
2.60	18.0	25.0	-		36	1.73	21	-
2.80	19.0	32.0	-		38	2.53	15	-
3.00	17.0	36.0	-		34	1.33	26	-
3.20	22.0	32.0	-		44	2.40	18	-
3.40	12.0	30.0	-		24	0.67	36	-
3.60	15.0	20.0	-		30	1.33	23	-
3.80	12.0	22.0	-		24	0.80	30	-
4.00	16.0	22.0	-		32	1.07	30	-
4.20	13.0	21.0	-		26	0.93	28	-
4.40	14.0	21.0	-		28	0.80	35	-
4.60	10.0	16.0	-		20	0.53	37	-
4.80	7.0	11.0	-		14	2.67	5	-
5.00	80.0	100.0	-		160	2.67	60	-
5.20	150.0	170.0	-		300	4.00	75	-
5.40	200.0	230.0	-		400	5.33	75	-
5.60	190.0	230.0	-		380	5.33	71	-
5.80	170.0	210.0	-		340	6.67	51	-
6.00	250.0	300.0	-		500	-	-	-

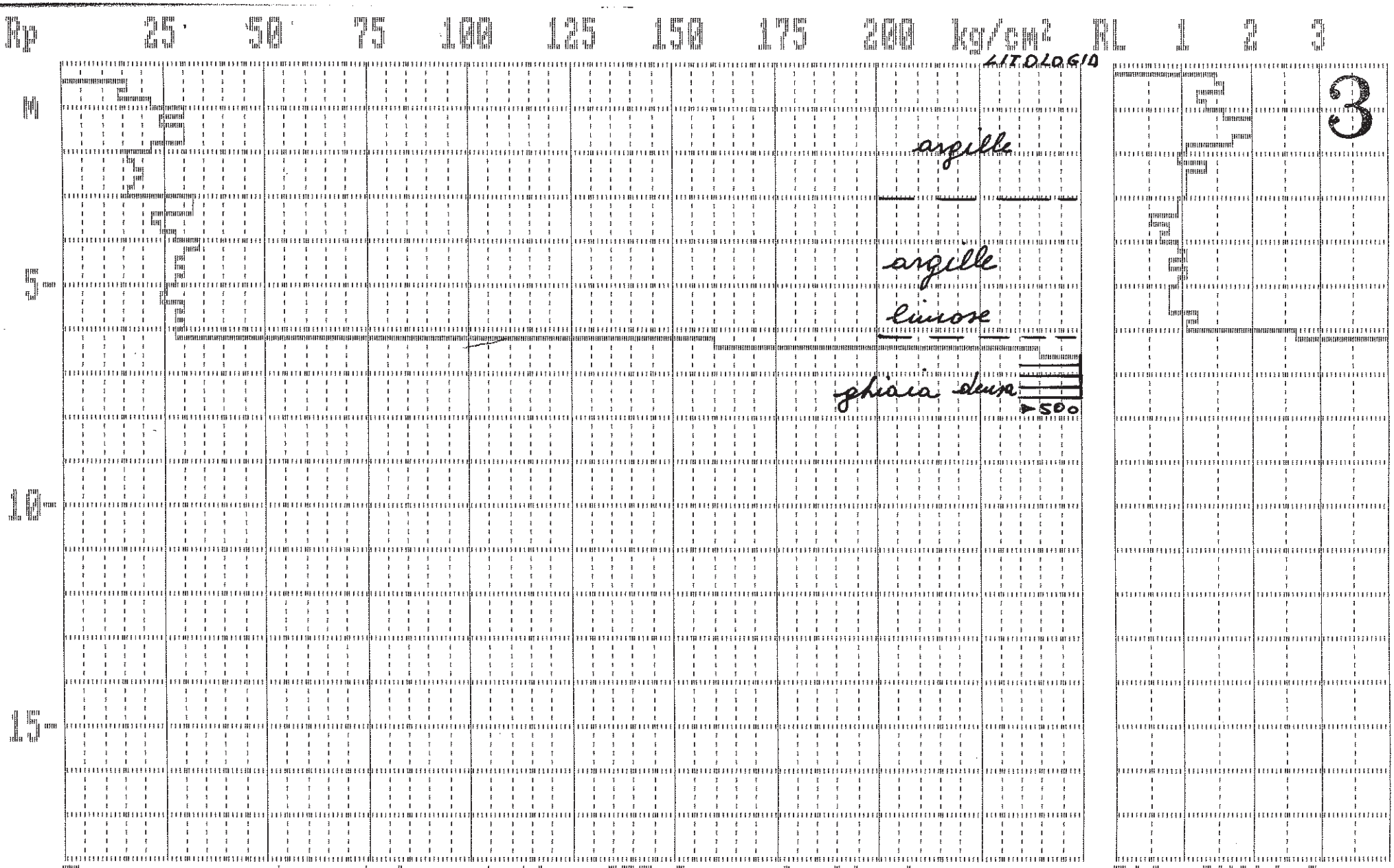


prova penetrometrica statica CPT 1 foglio 1

Rif. IMOLA-1

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

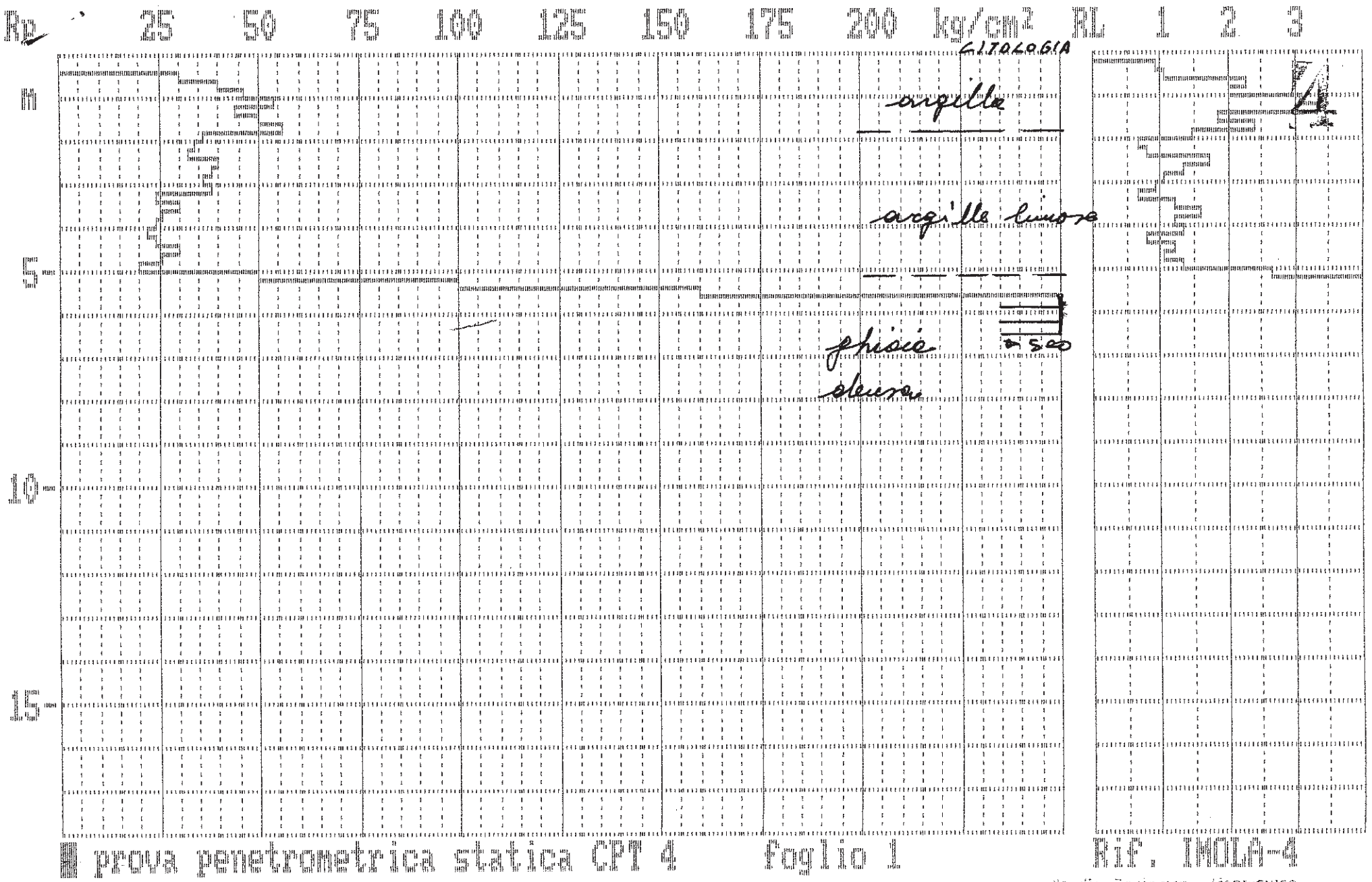

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm²
RL 1 2 3
LITOLOGIA
argille
argille limose
ghiaia densa
> 500
2
M
5
10
15
prova penetrometrica statica CPT 2
foglio 1
Rif. IMOLA-2



prova penetrometrica statica CPT 3 foglio 1

Rif. IMOLA-3

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

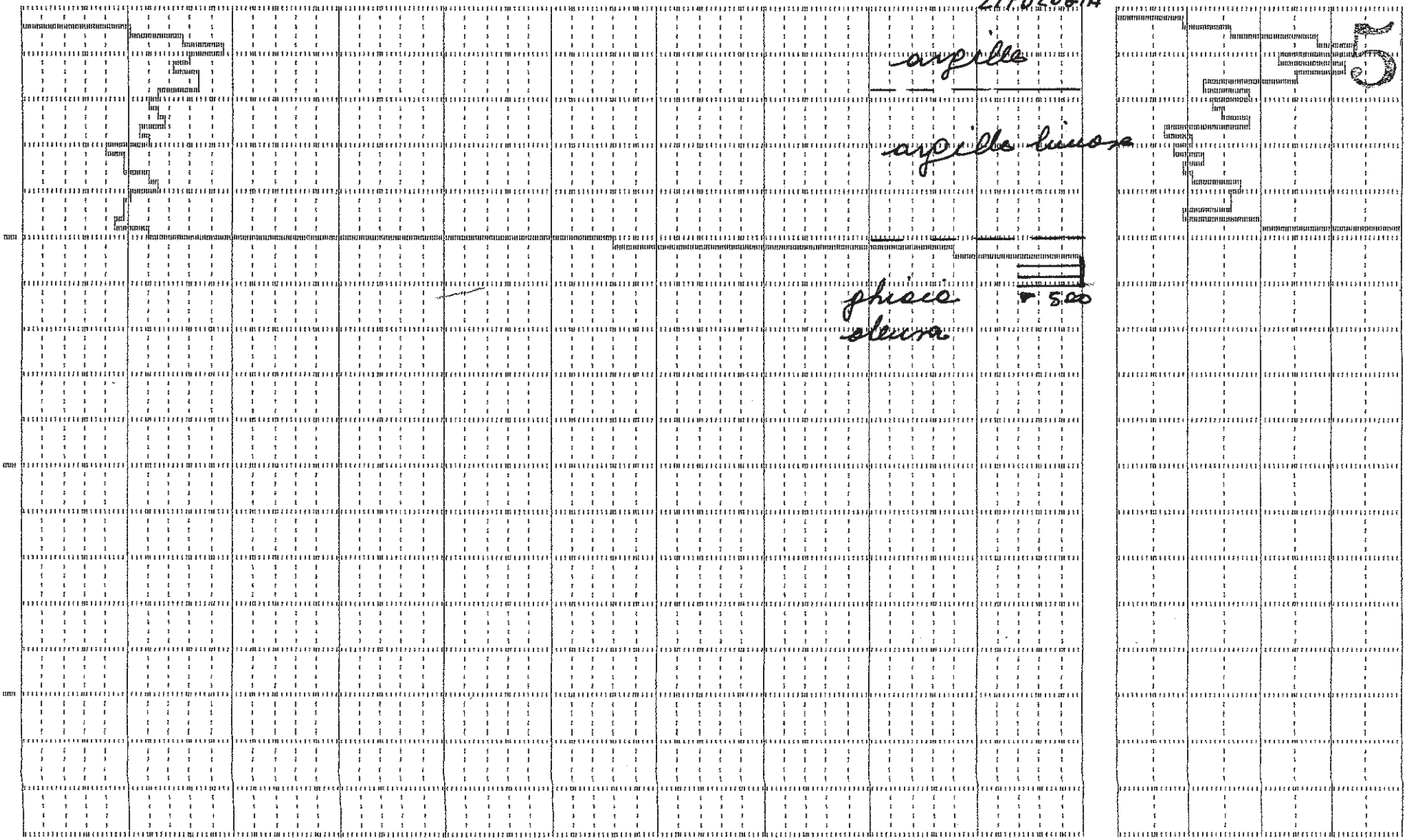


prova penetrometrica statica CPT 4 foglio 1

Rif. IMOLA-4

Studio Geologico · Geologico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 3 · Tel. 0424-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

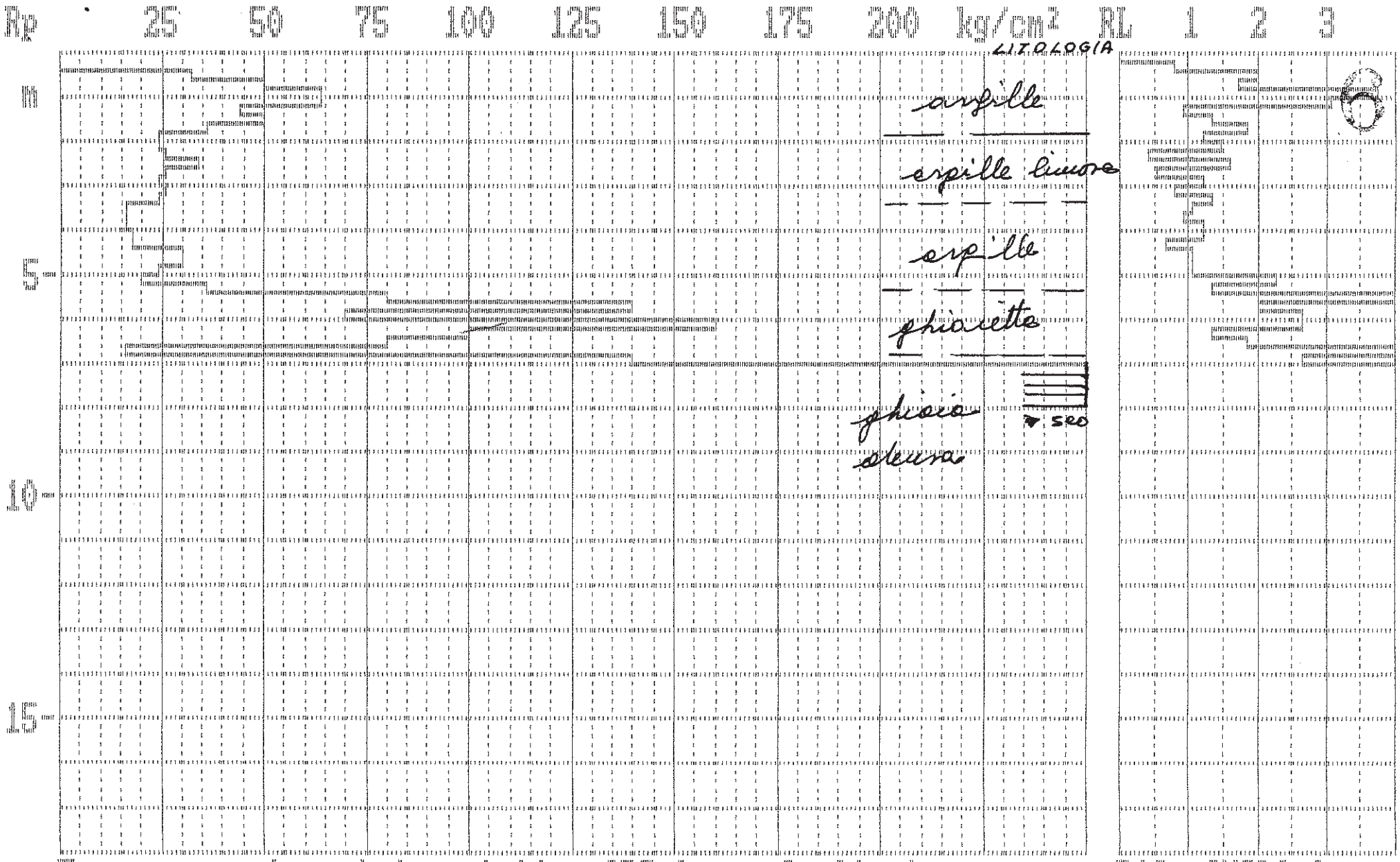
Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3



prova penetrometrica statica CPTS foglio 1

Rif. IMOLA-5

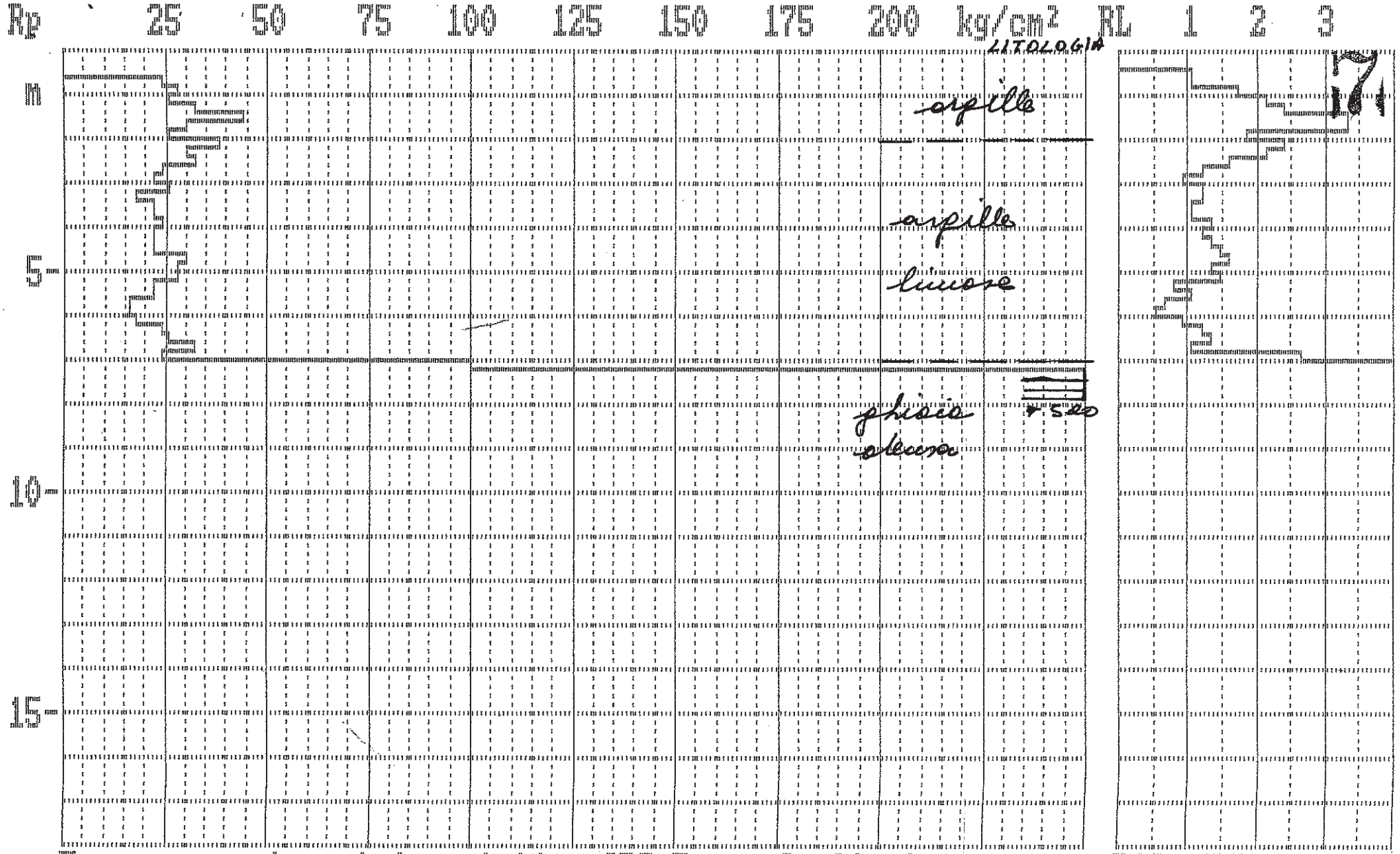
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



Prova penetrometrica statica CPT 6 foglio 1

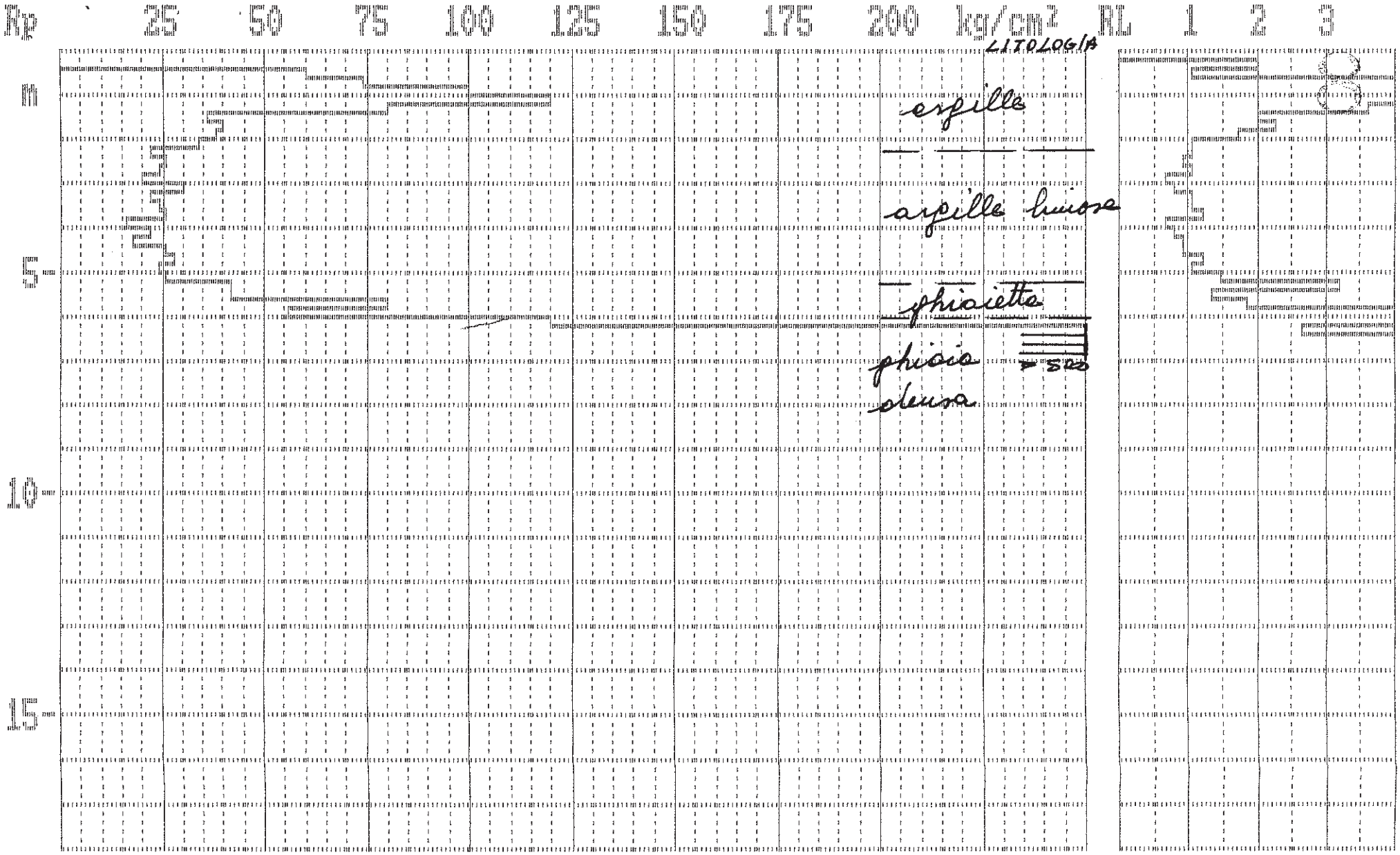
Rif. IMOLA-6

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo [illegible] Tel. 0423-53271
[illegible] DI CASTELFRANCO — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 7 foglio 1 Rif. IMOLA-7

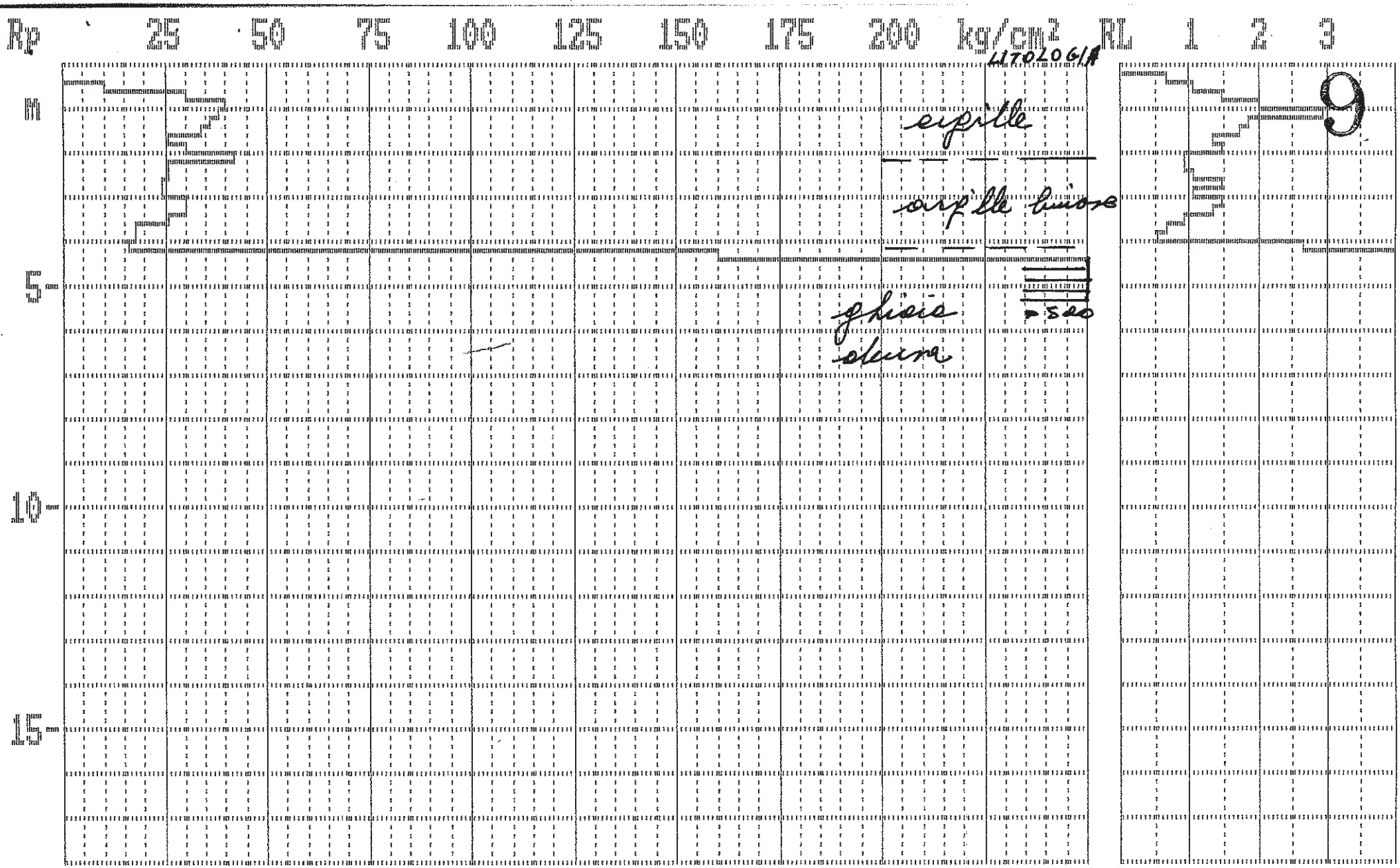
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA - (TV)



prova penetrometrica statica CPT 8 foglio 1

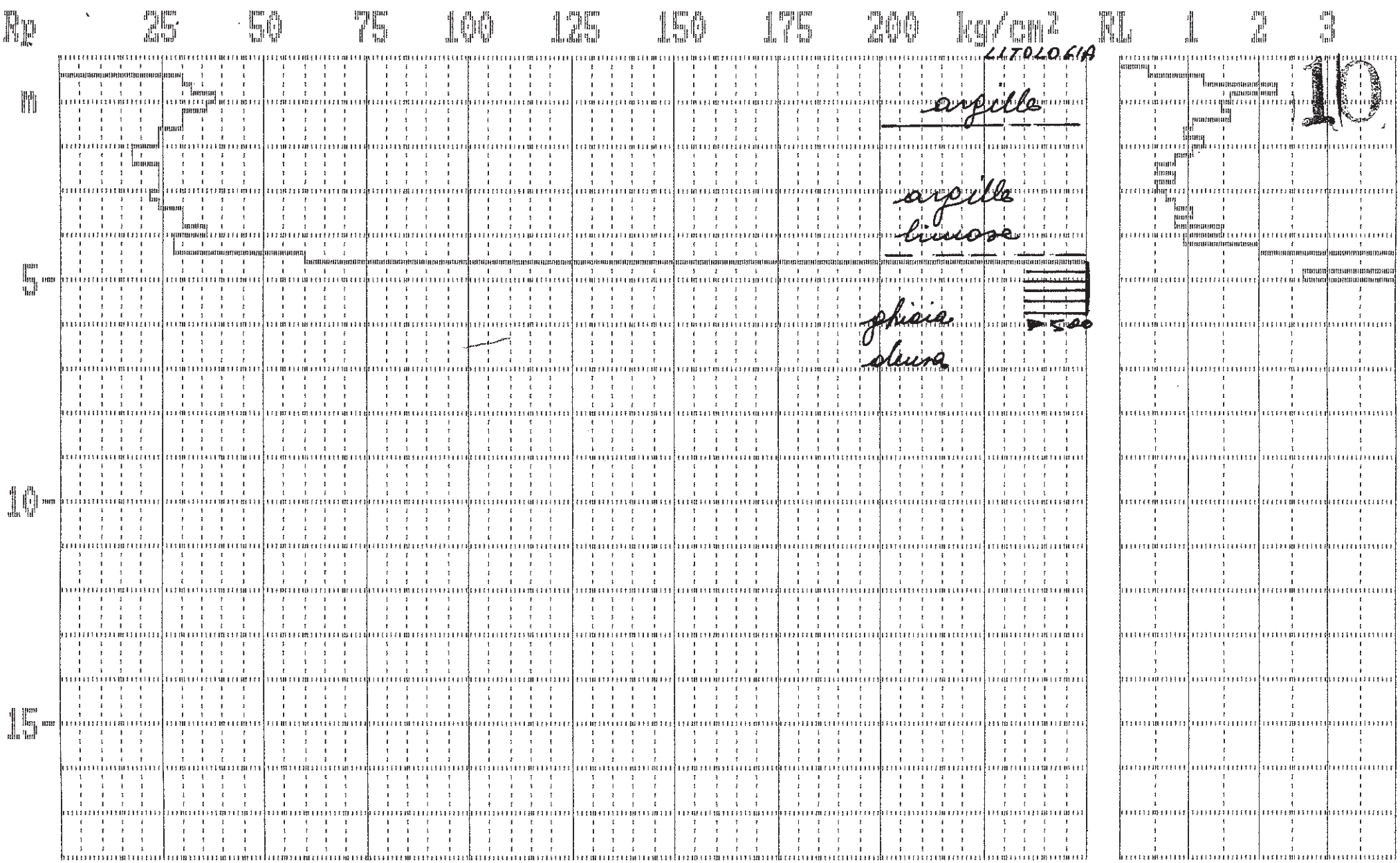
Rif. C-IMOL-8

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 9 foglio 1

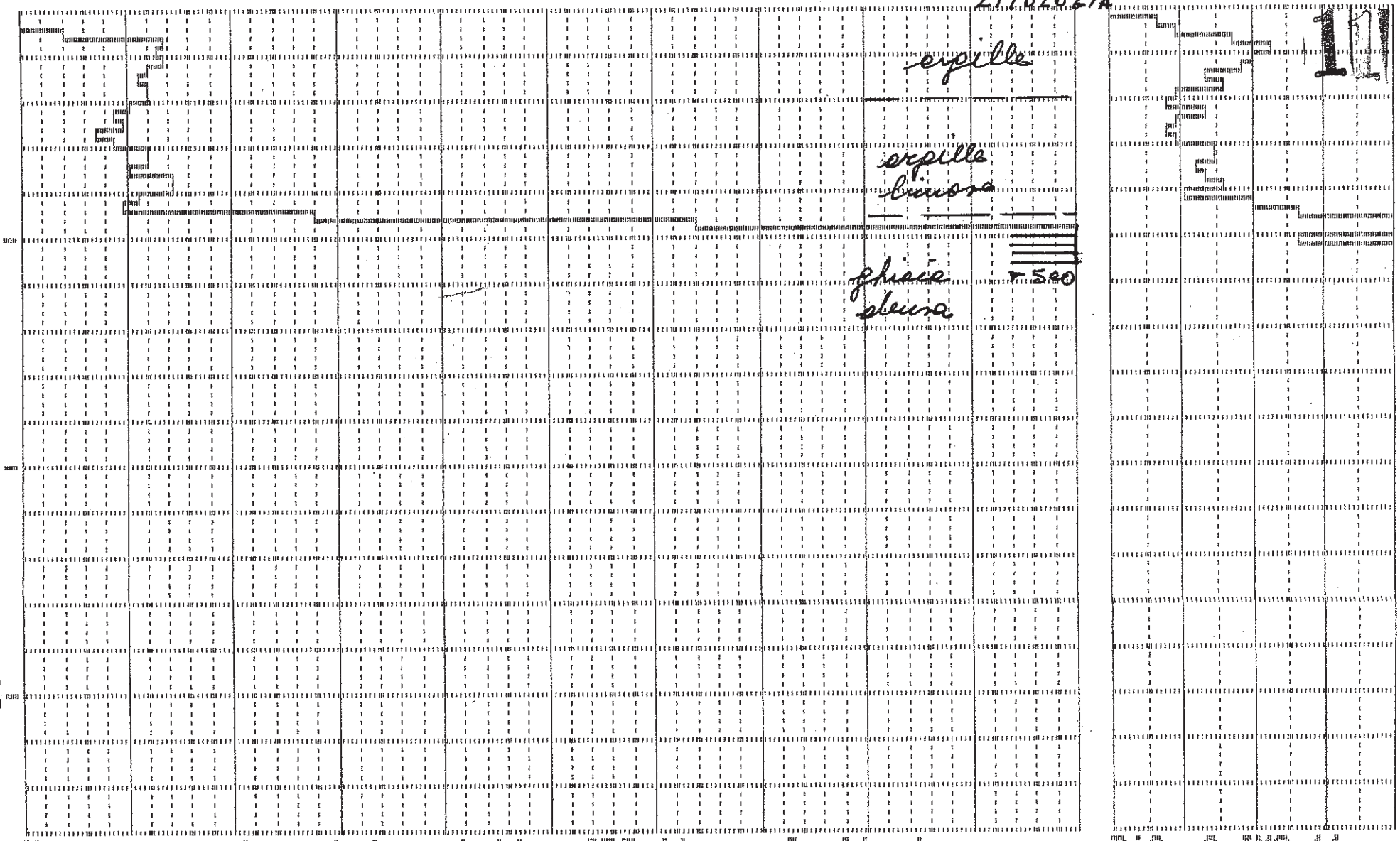
Rif. C-IMOL-9
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 10 foglio 1

Rif. C-IMO-10

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV.)



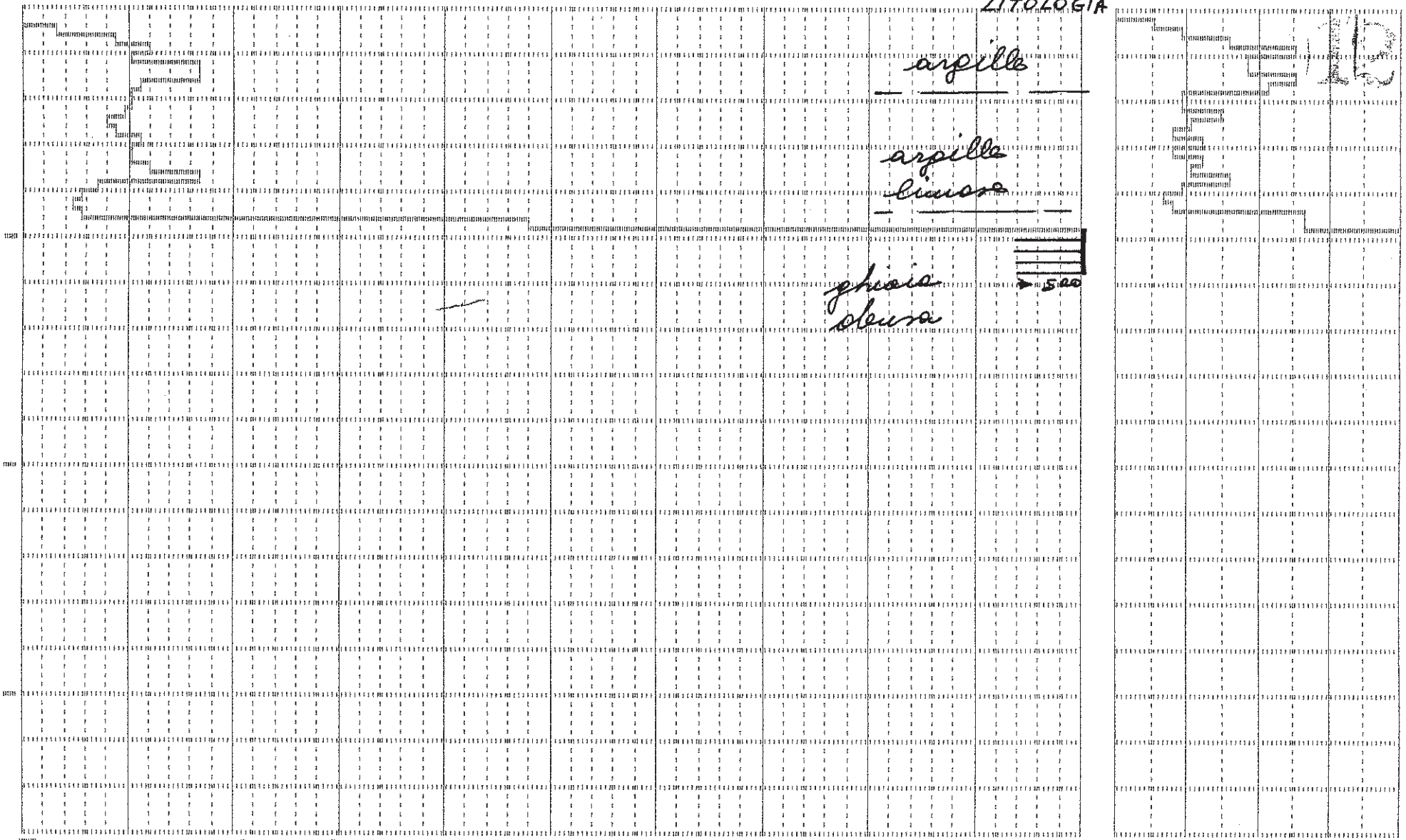
prova penetrometrica statica CPT 11 foglio 1

Rif. C-IMO-11

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

LITOLOGIA



prova penetrometrica statica CPT 12 foglio 1 Rif. C-INC-12

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-539271
CRESPANO DEL GRAPPA (TV)

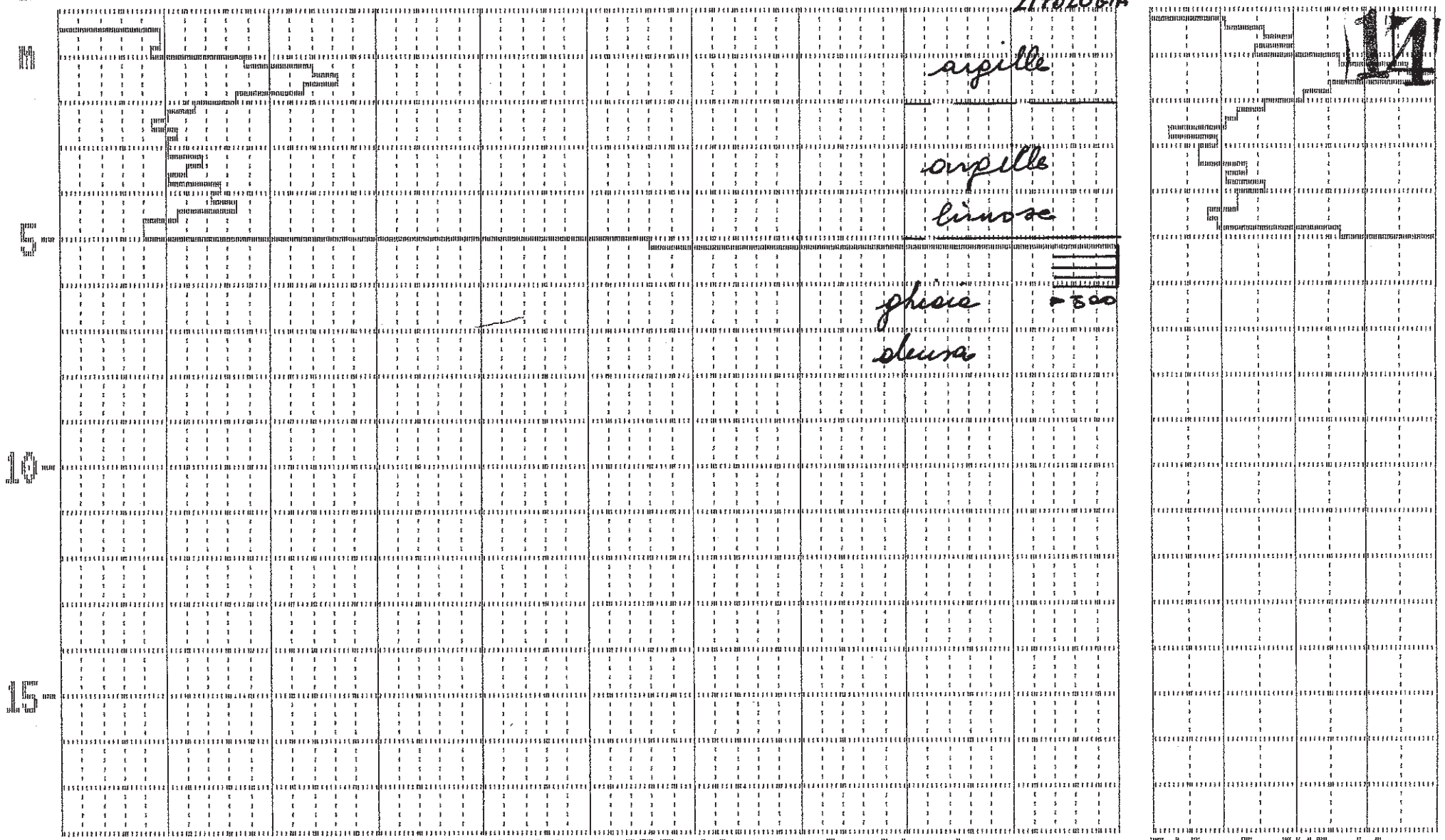


prova penetrometrica statica CPT 13 foglio 1 Rif. D-IMO-13

Studio Geologico - Geotecnico
[illegible]
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-63271
CASTELFRANCO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm2 RL 1 2 3

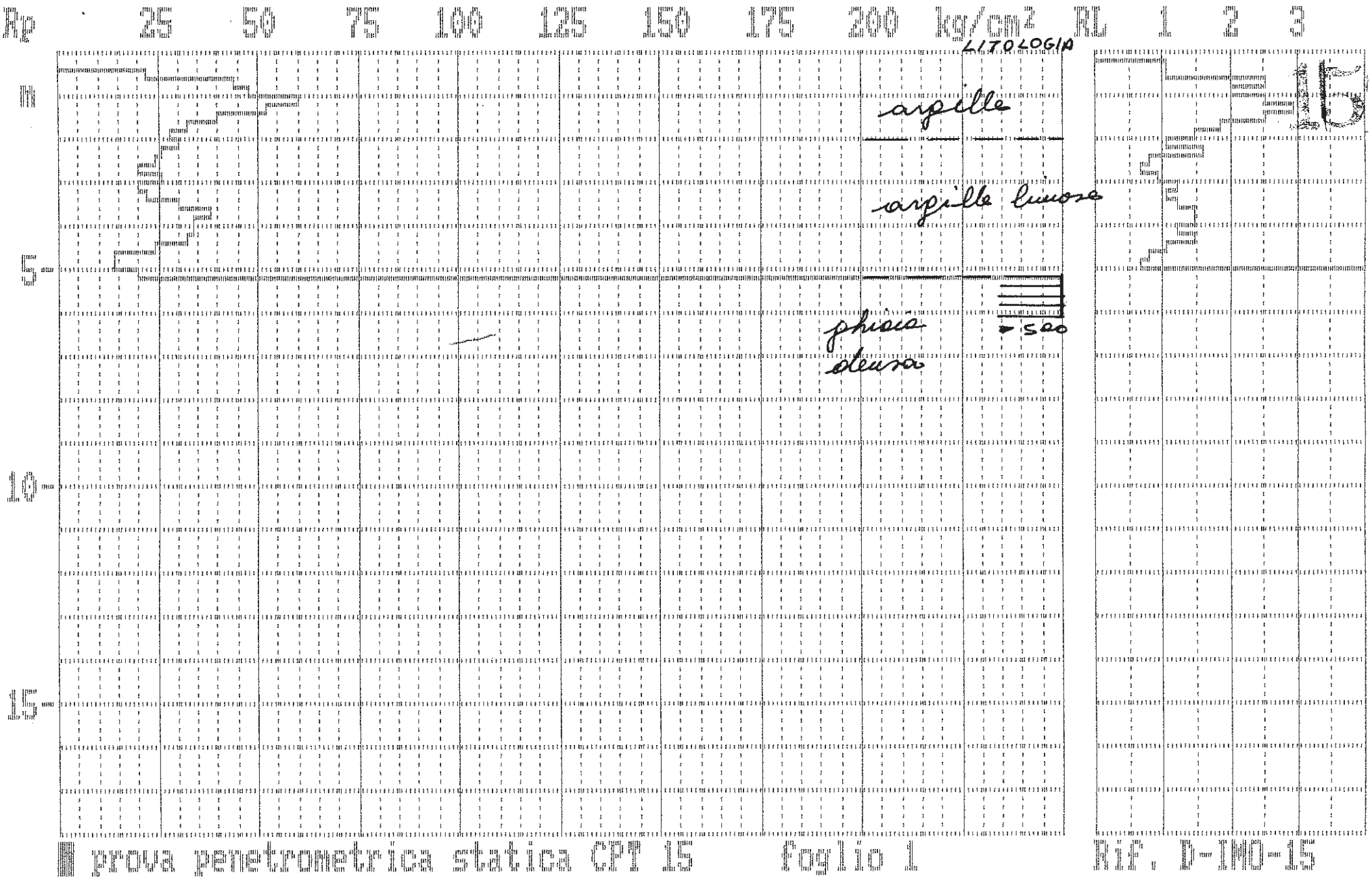
LITOLOGIA



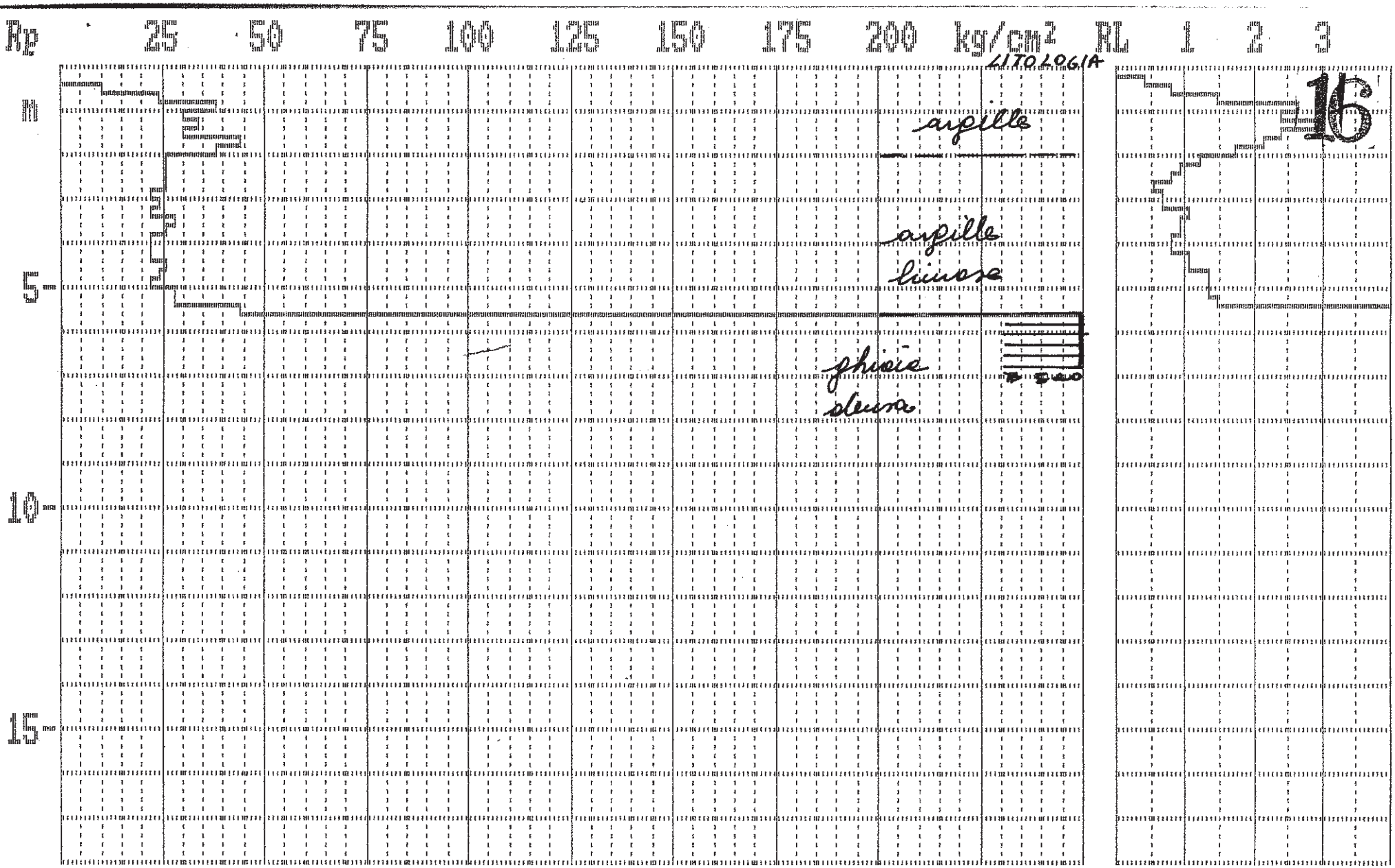
14

prova penetrometrica statica CPT 14 Foglio 1

Rif. D-INO-14
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



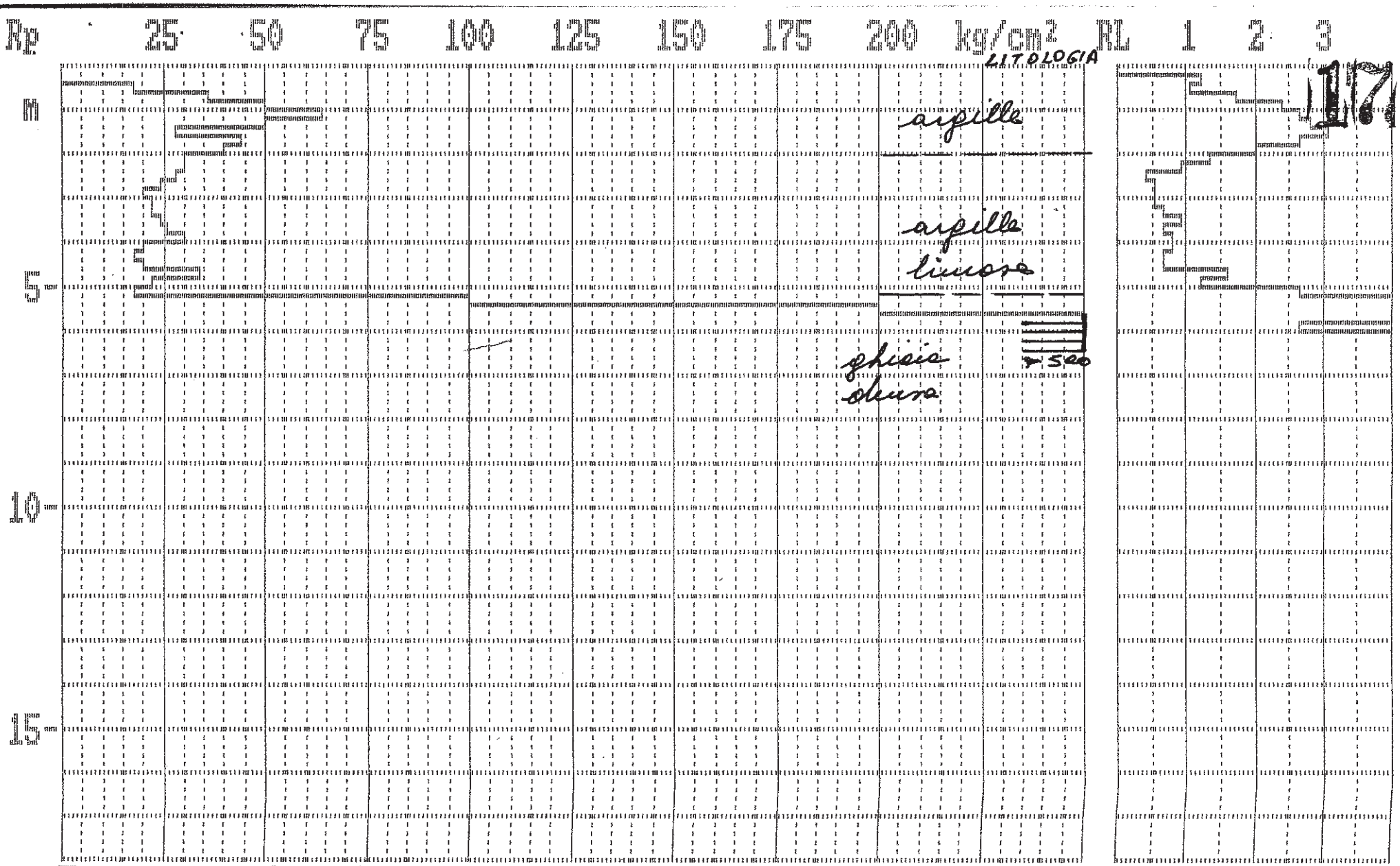
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via Sant'Anna, 2 - Tel. 0423-[illegible]
CRISTANO DEL GRAPPA - (TV)



prova penetrometrica statica CPT 16 Foglio 1

Rif. D-IMO-16

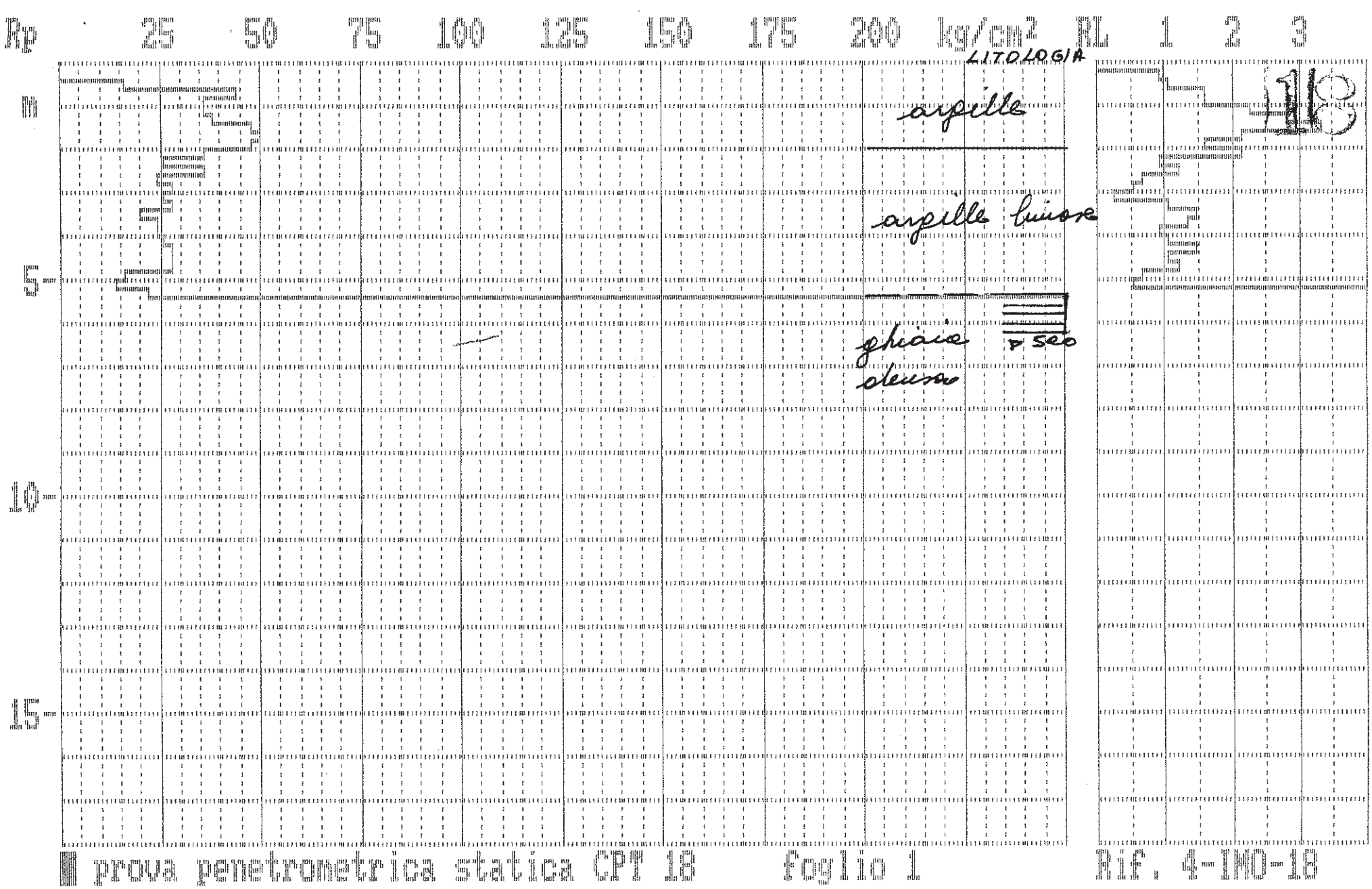
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 17 foglio 1

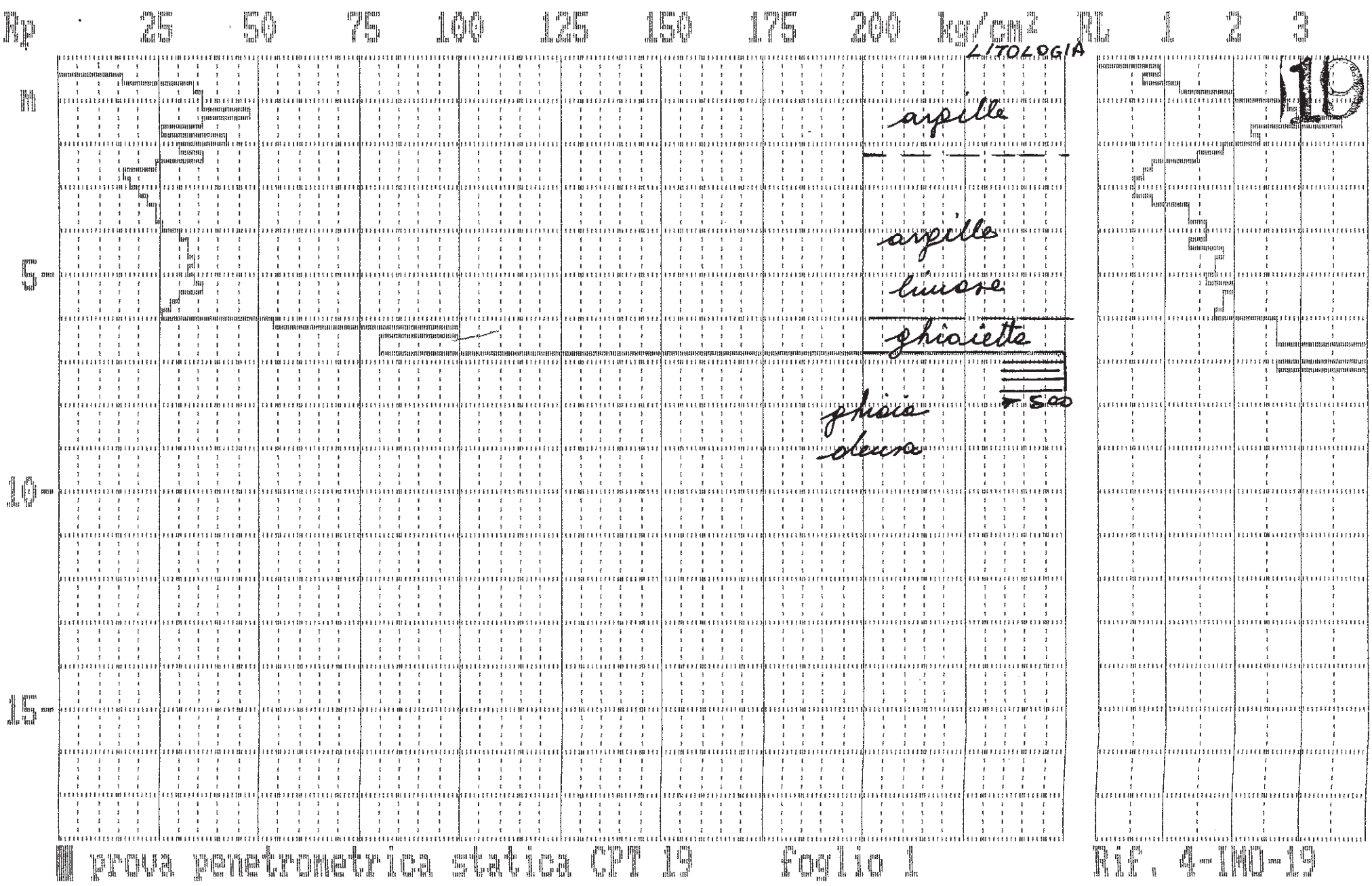
Rif. 4-INO-17

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 18 foglio 1

Rif. A-IND-18

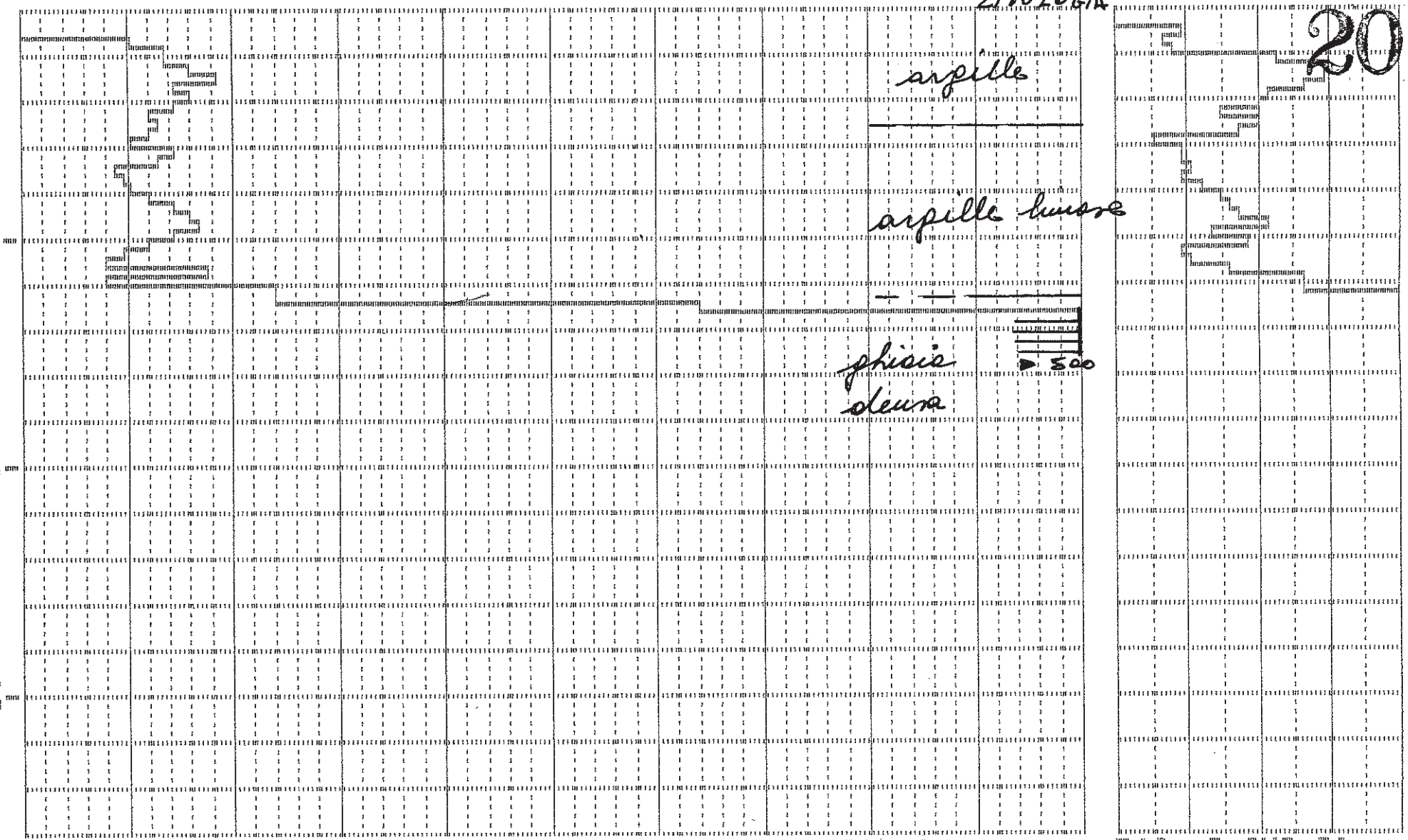


prova penetrometrica statica CPT 19 foglio 1

Rif. 4-IMO-19

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA - TV

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3



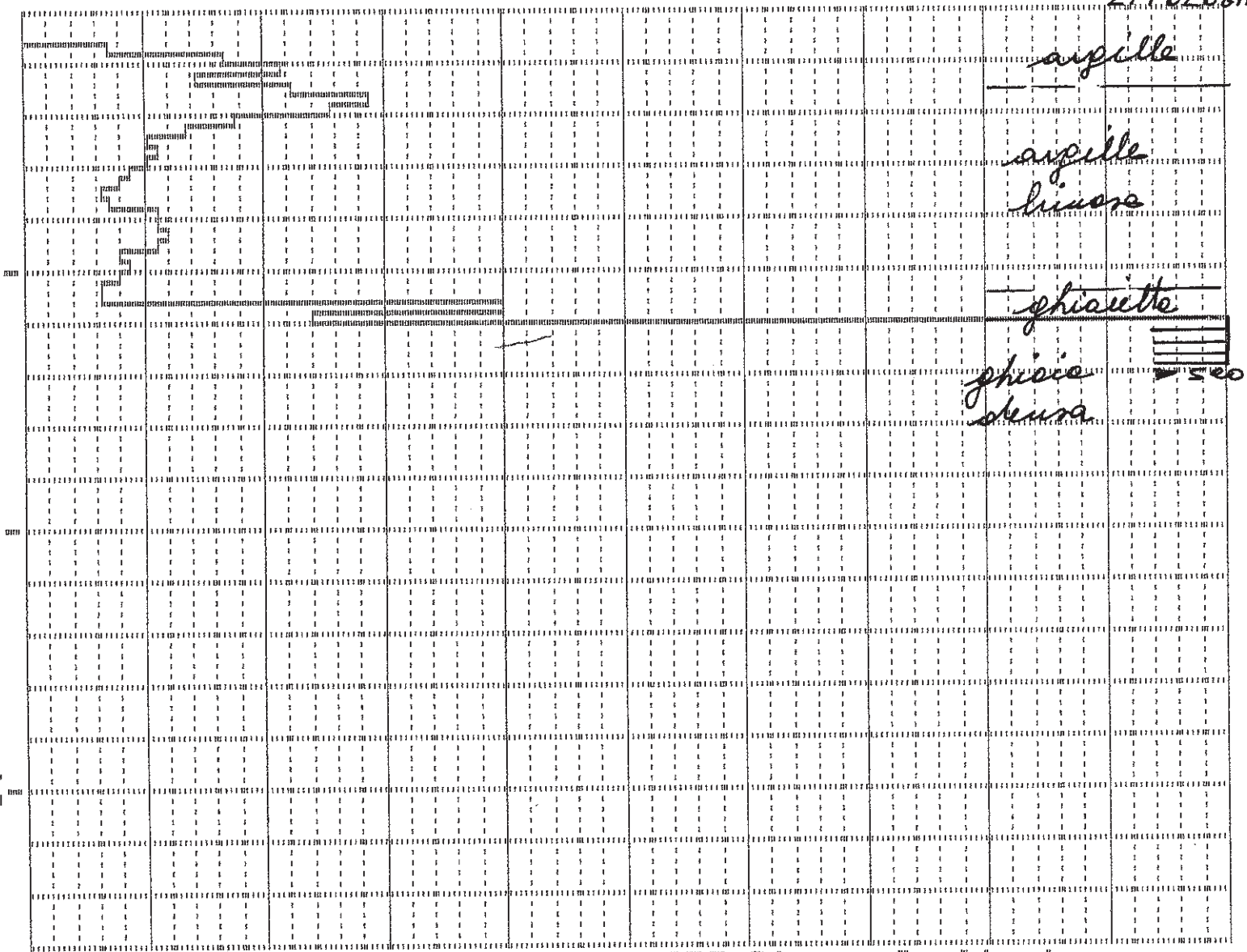
3 prova penetrometrica statica CPT 20 foglio 1

Rif. 3-INO-20

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

LITOLOGIA



21

prova penetrometrica statica CPT 21 foglio 1

Rif. 3-IMO-21

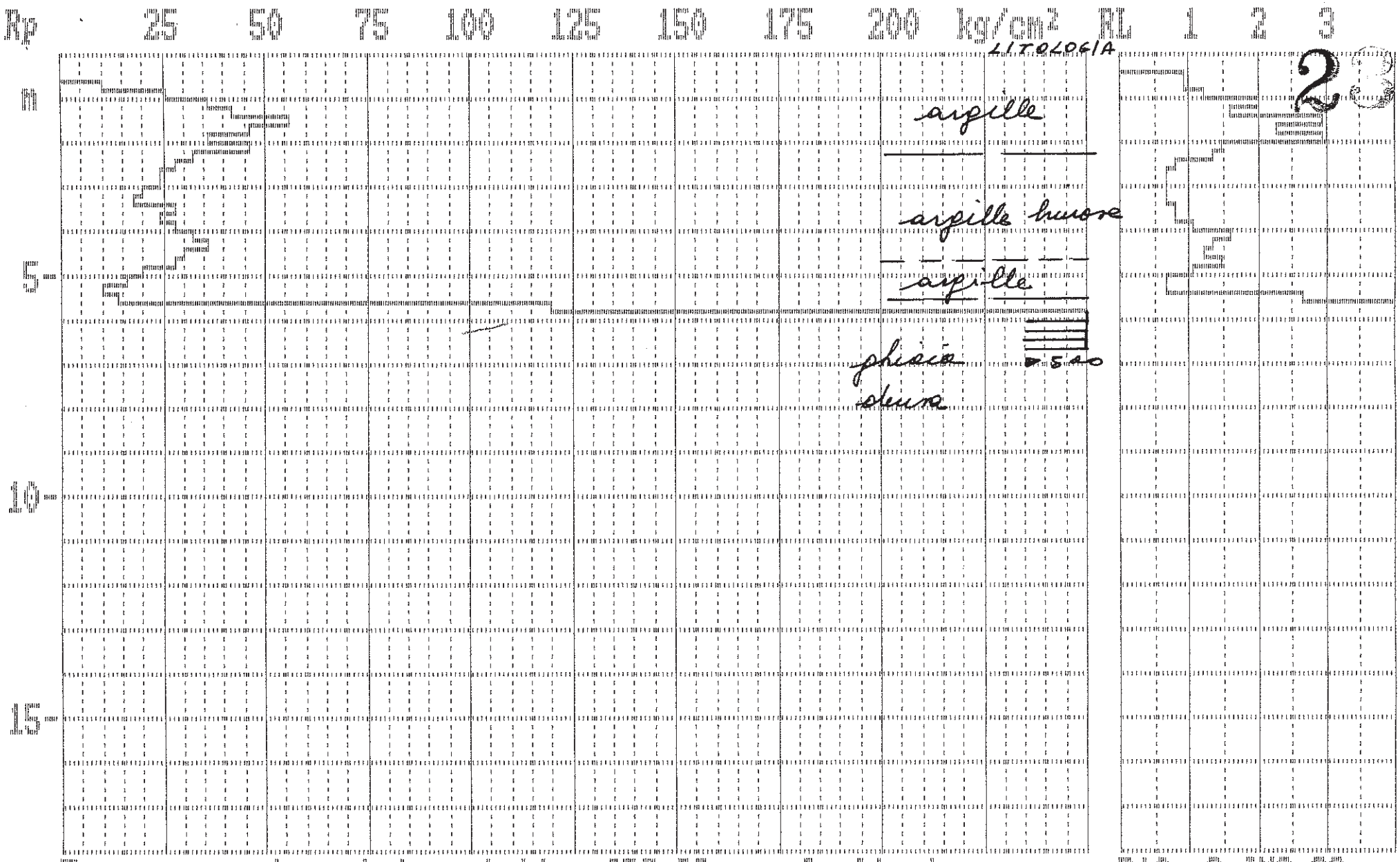
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 22 foglio 1

Rif. 3-IMO-22

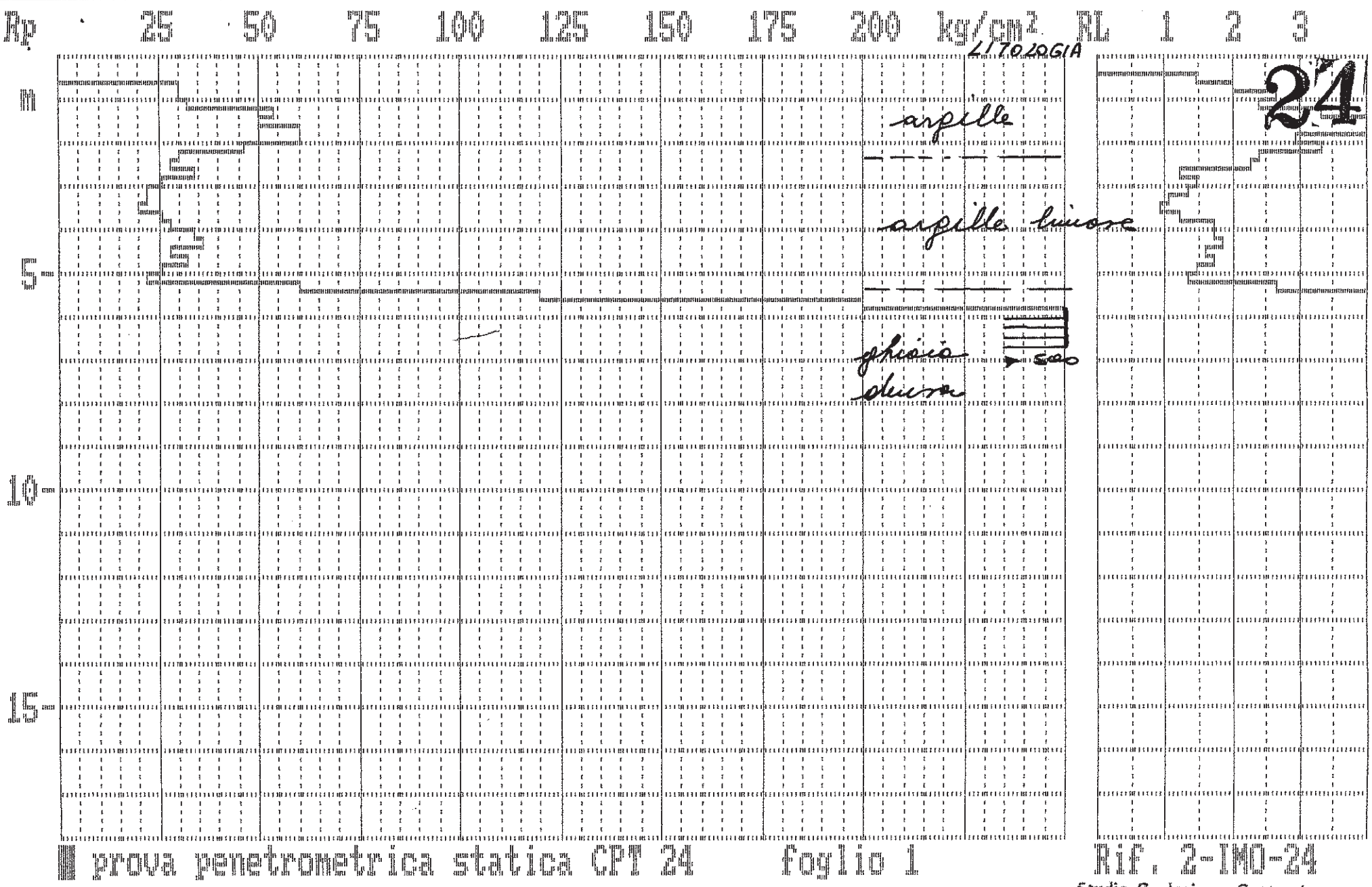
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 23 foglio 1

Rif. 2-IMO-23

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-63271
CRESPANO DEL GRAPPA (TV)



prova penetrometrica statica CPT 24 foglio 1

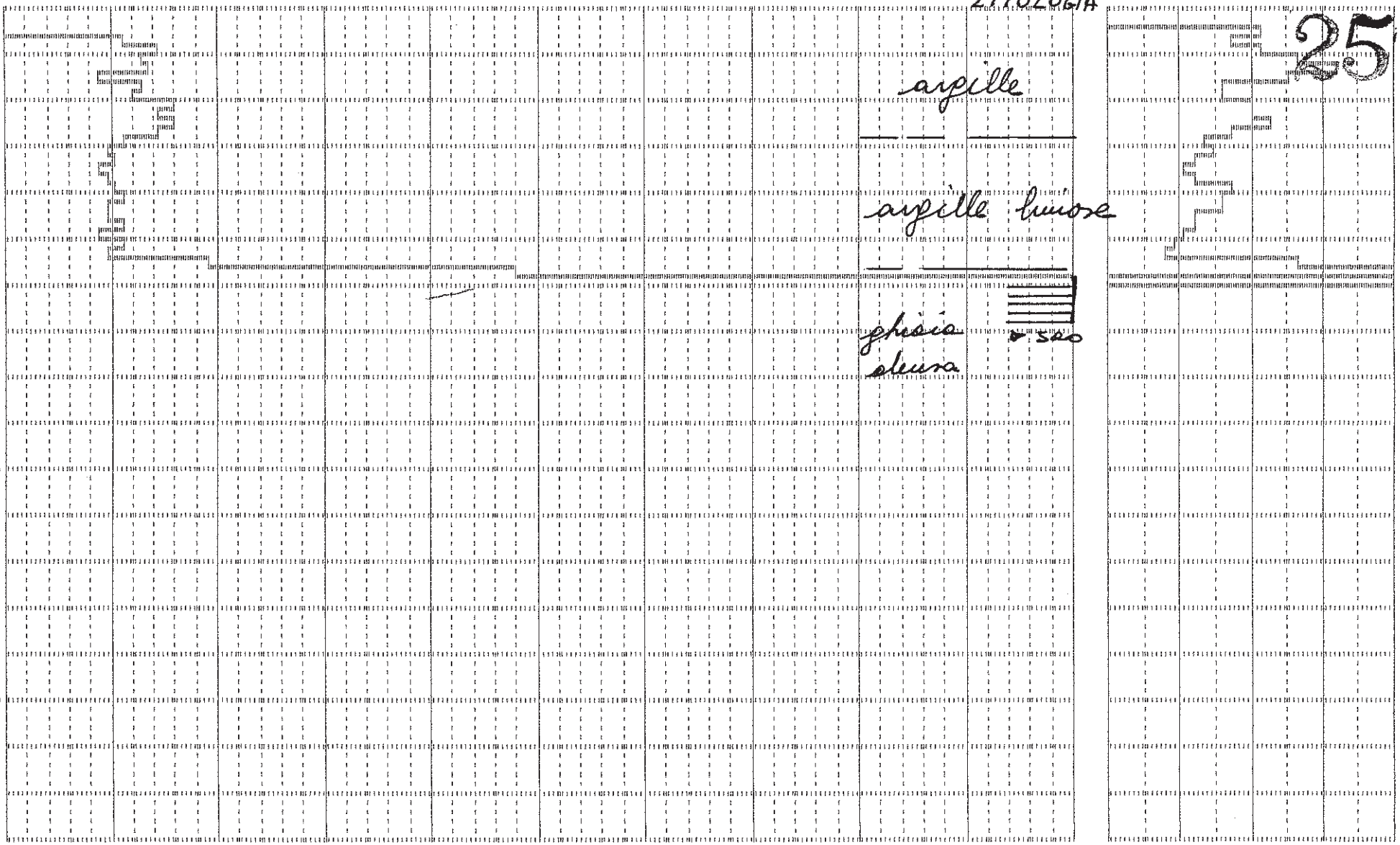
Rif. 2-IMO-24

Studio Geologico - Geotecnico
DR. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

LITOLOGIA

25



-5m

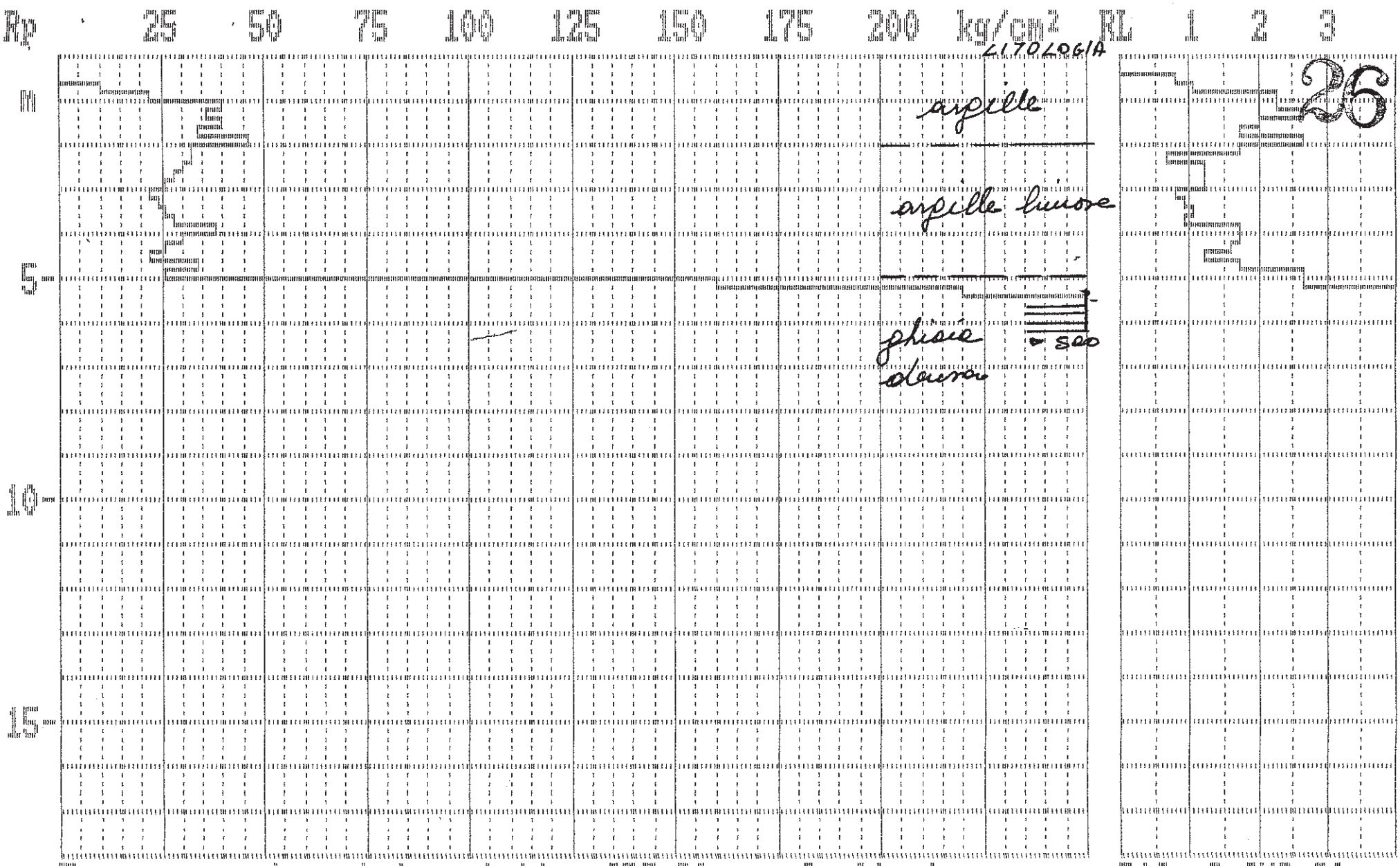
-10m

-15m

prova penetrometrica statica CPT 25 Foglio 1

Rif. 2-IMO-25

Studio Geologico - Geotecnico
DR. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 26 foglio 1

Rif. 2-IMO-26

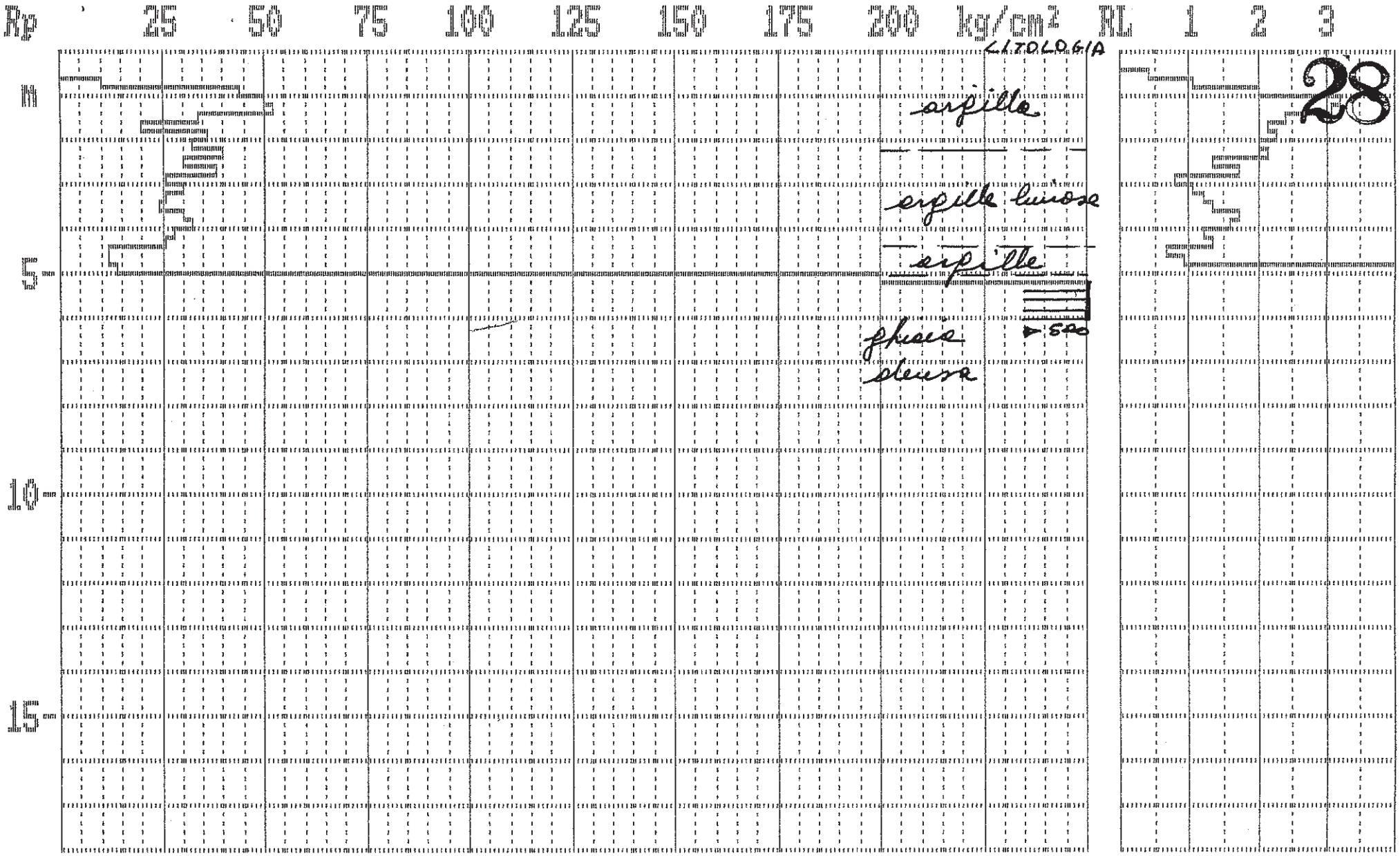
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
BASSANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 27 foglio 1

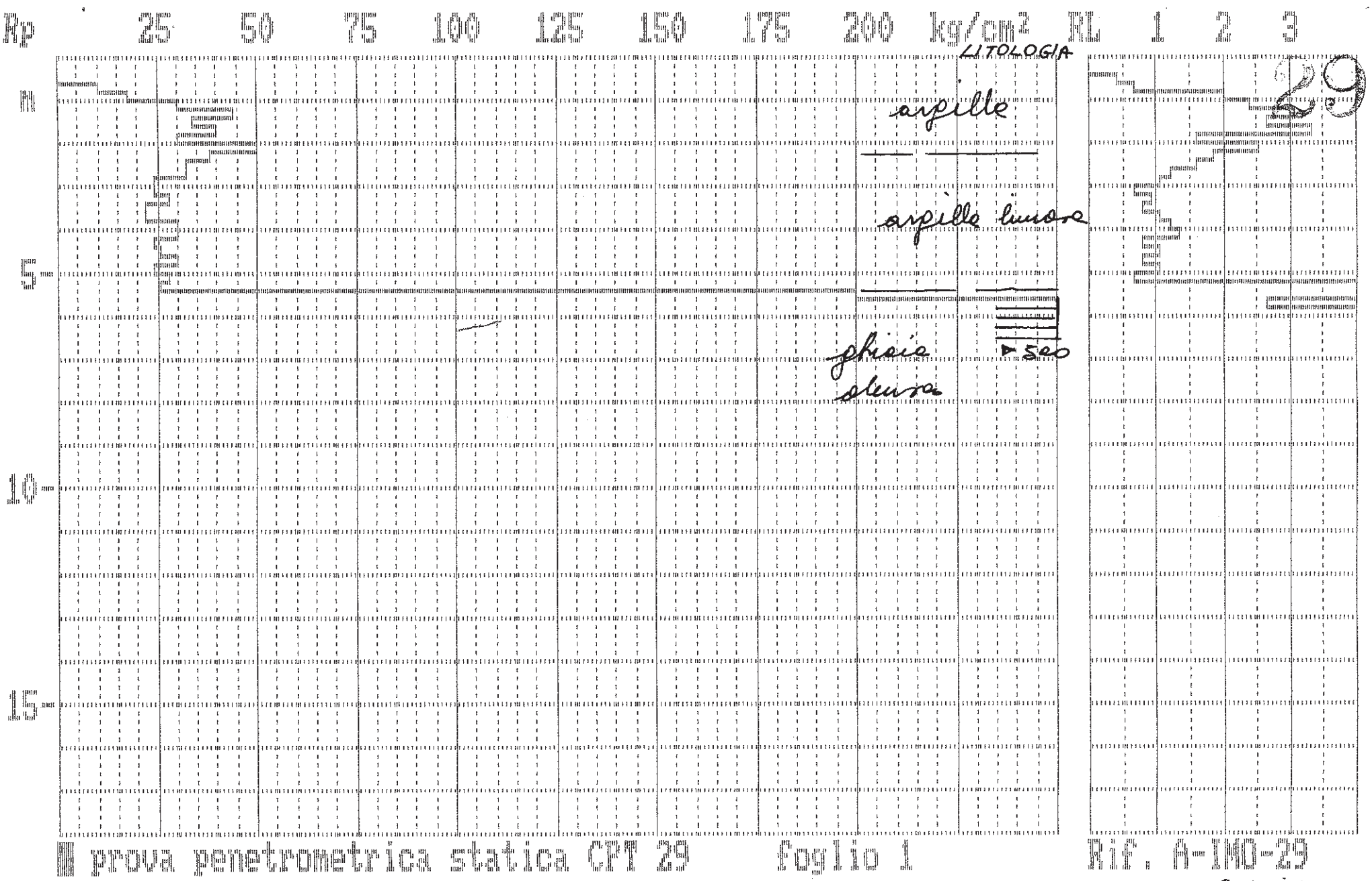
Rif. 1-IMO-27

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 28 foglio 1 Rif. 1-IMO-28

Studio Geologico e Geotecnico
Dr. [illegible]
Via San Paolo, 2 - Tel. 0428-53271
CAMPANO DEL GRAPPA -- (TV)



29

prova penetrometrica statica CPT 29 foglio 1

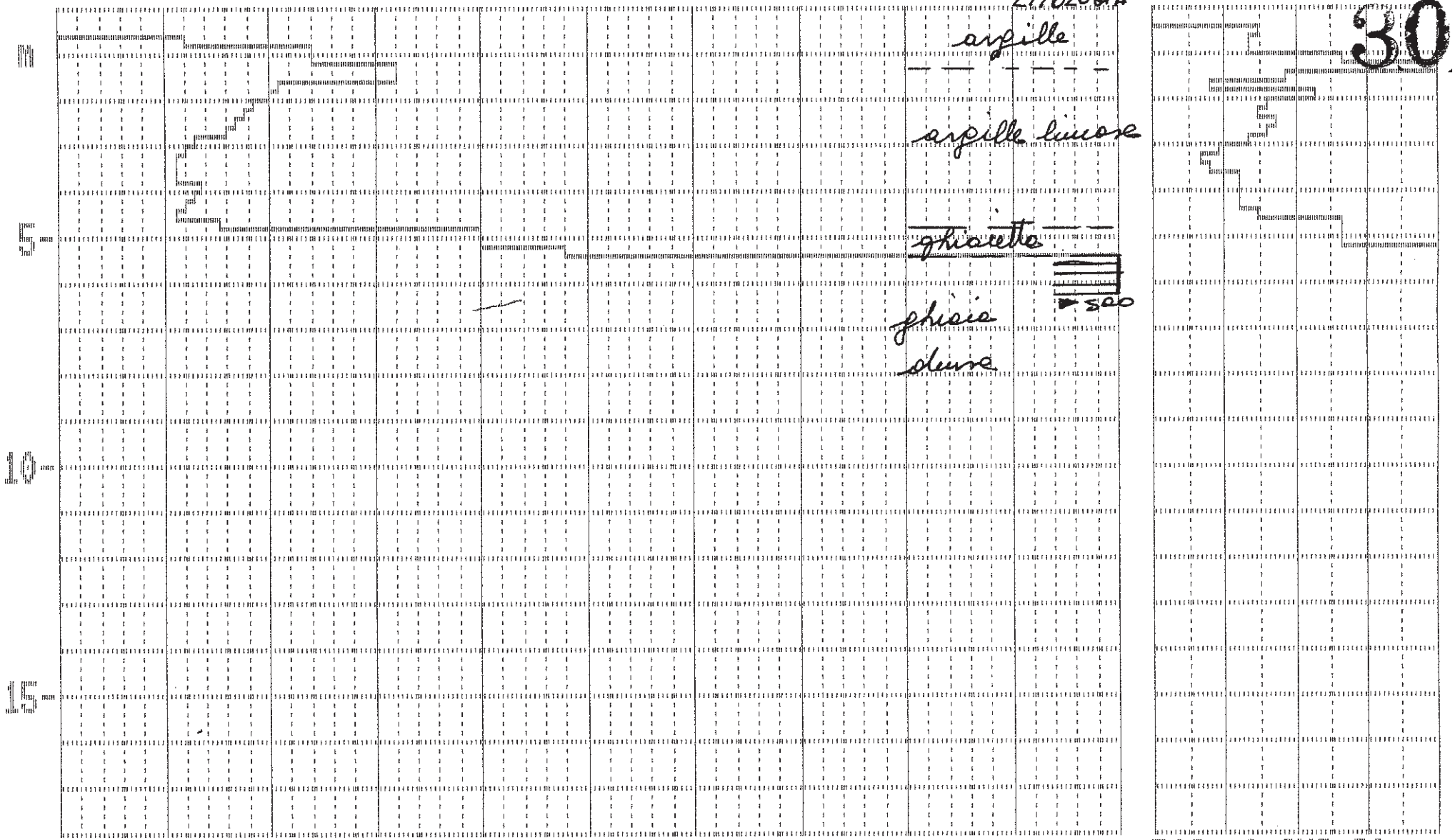
Rif. A-IMO-29

Studio Geologico - Geotecnico
DR. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 5 - Tel. 0423-539271
CRESPANO DEL GRAPPA (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

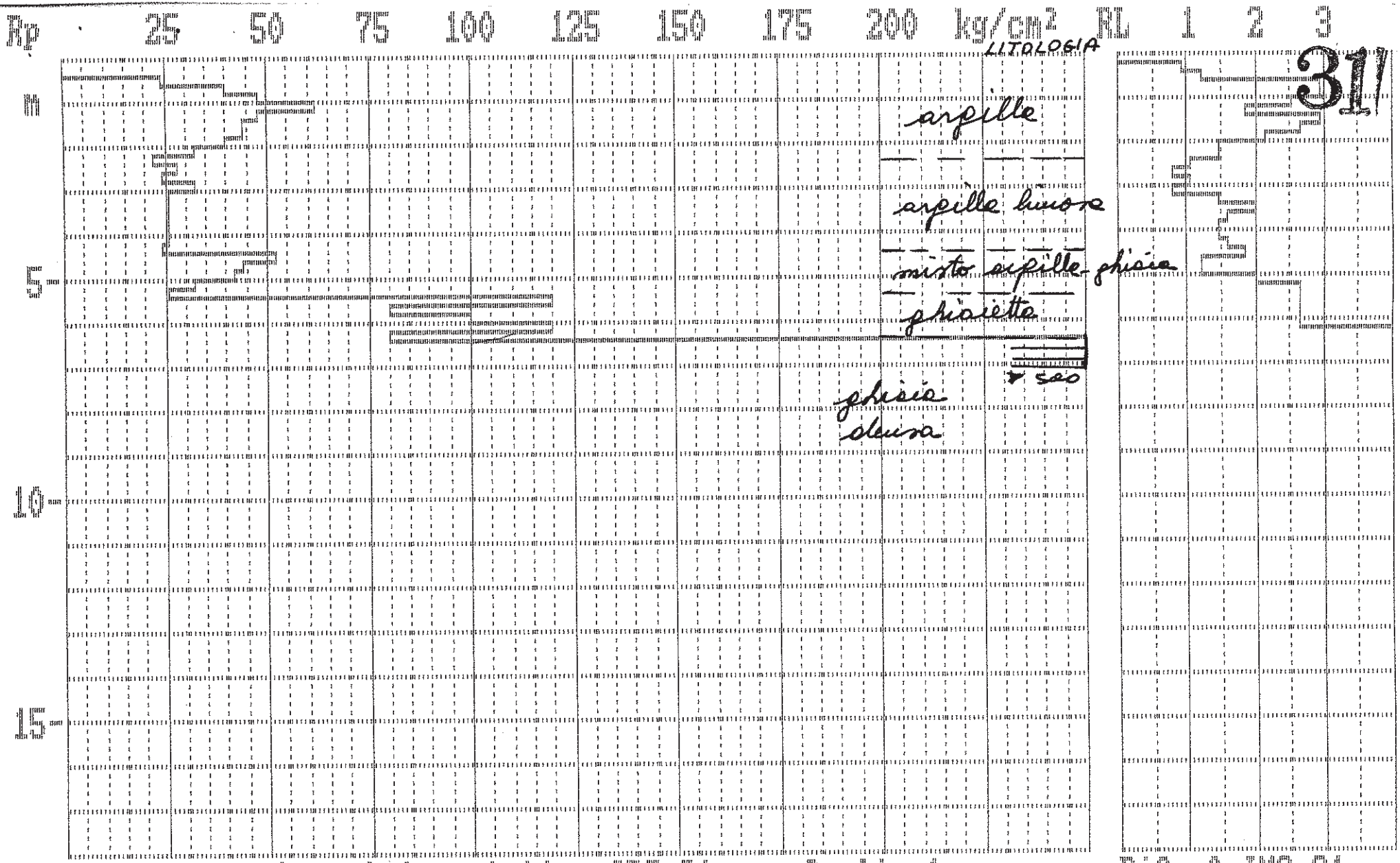
LITOLOGIA

30



prova penetrometrica statica CPT 30 foglio 1

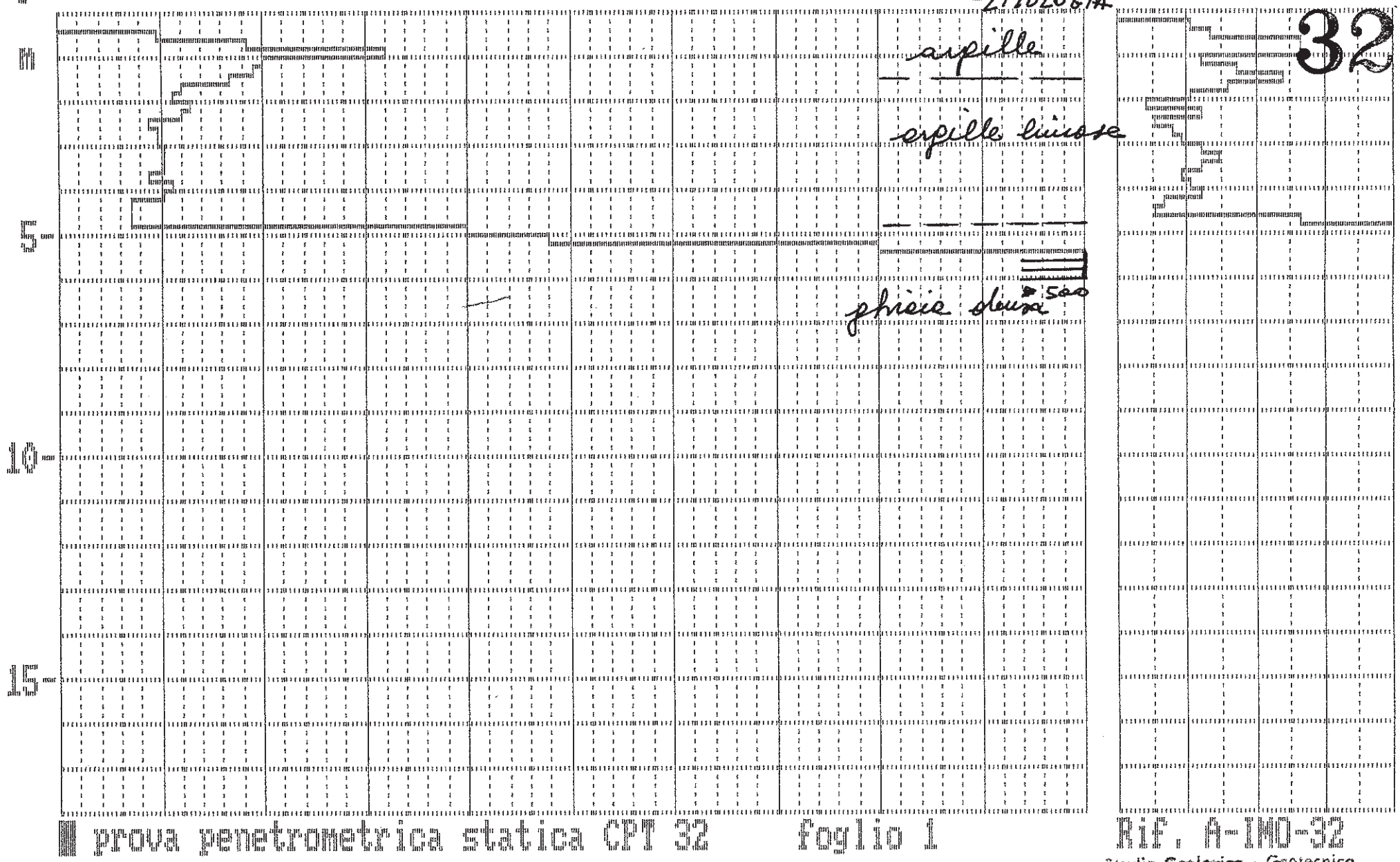
Rif. A-IND-30



prova penetrometrica statica CPT 31 foglio 1

Rif. A-IMO-31

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



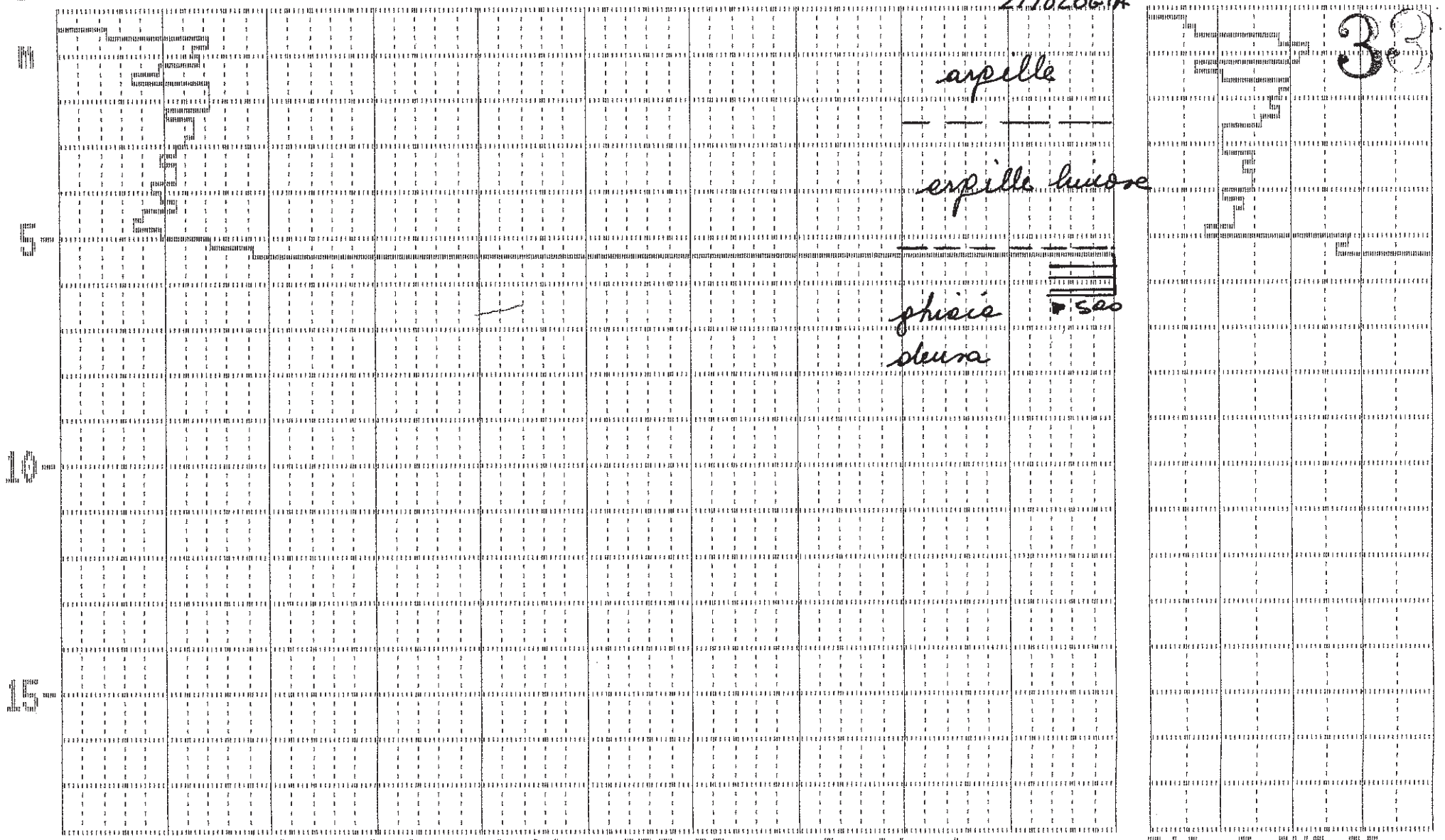
prova penetrometrica statica CPT 32 foglio 1

Rif. A-IMO-32

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

LITOLOGIA



prova penetrometrica statica CPT 33 foglio 1

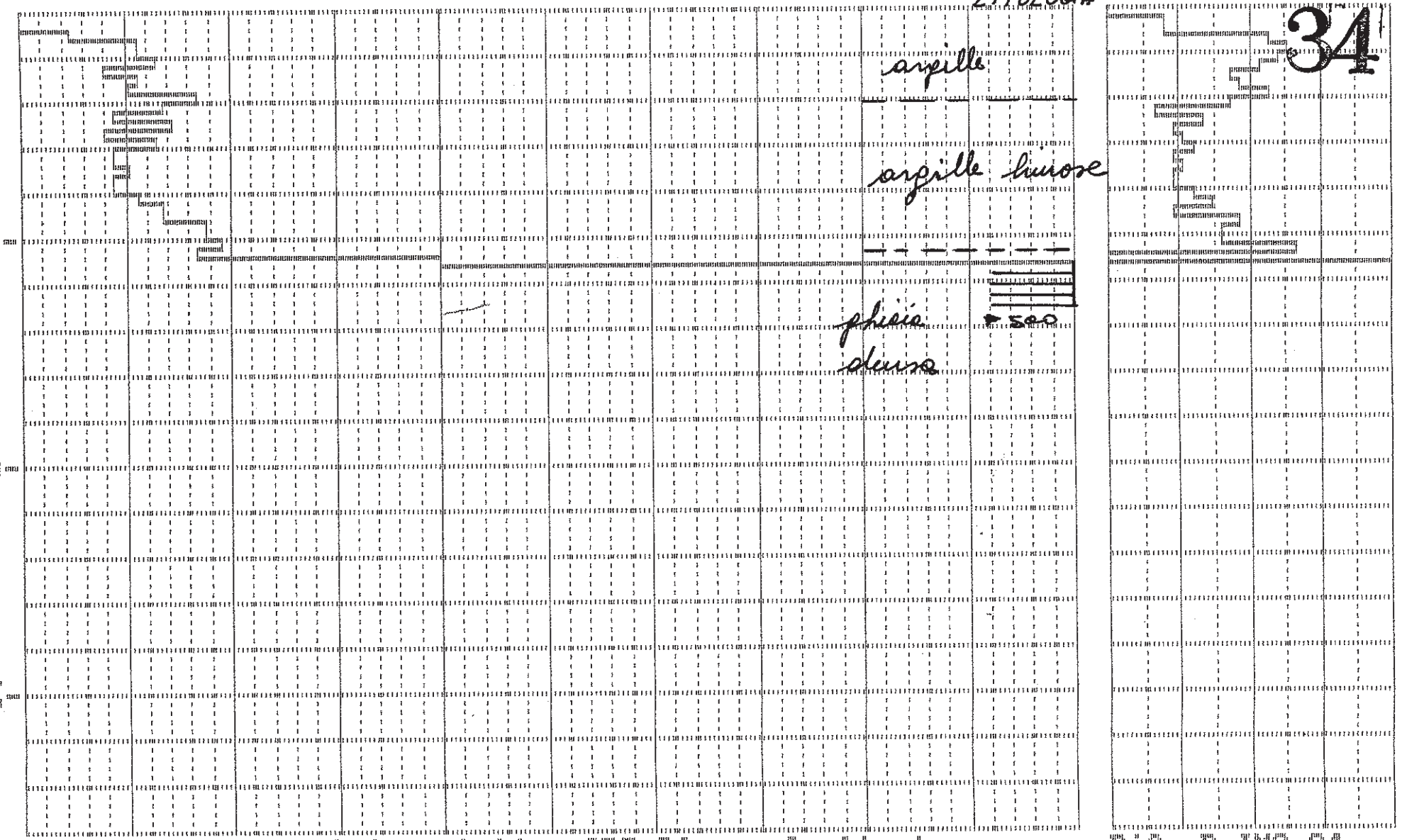
Rif. B-IMO-33

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp. 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² Rl 1 2 3

LITOLOGIA

34

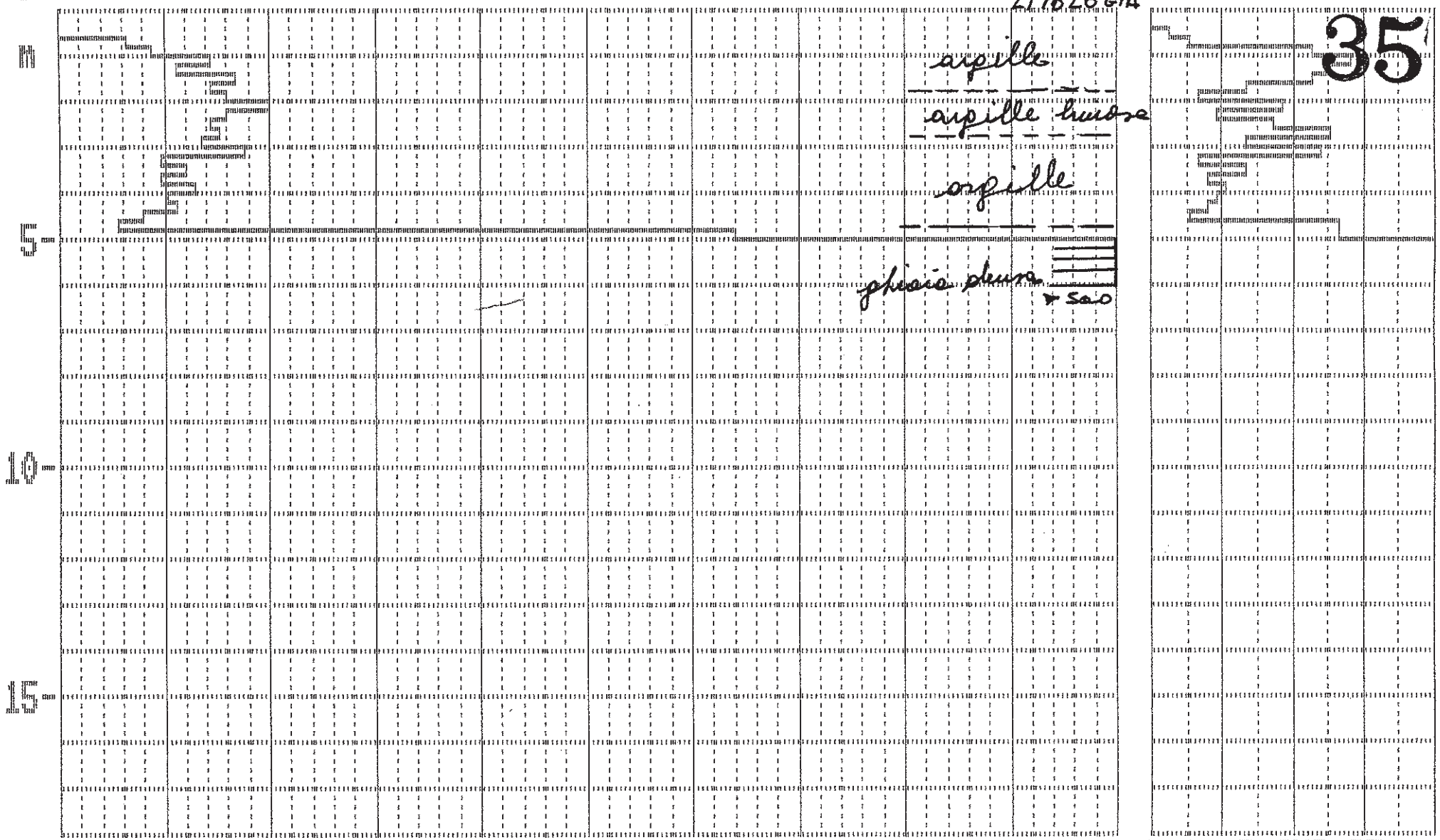


prova penetrometrica statica CPT 34 foglio 1

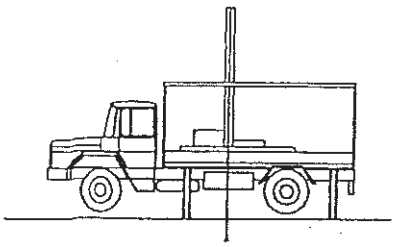
Rif. B-IMO-34

Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm2 RL 1 2 3



prova penetrometrica statica CPT 35 foglio 1 Rif. B-INO-35



Studio Geologico-Geotecnico Dott.Geol.LUIGI BERNARDI

Via S.Paolo n.2, 31017 Crespano del Grappa (TV)

Tel. 0423 - 53271

Spett.le PALACE srl
Viale Guerazzi 17/b
Imola (BO)

Spett.le GRUPPO BASSO spa
Via Feltrina n.256
Treviso

Spett.le S.I.G.I. srl
Via Fonda di Mezzana 61/e
Prato

Spett.le SOGESI spa
Via Feltrina n.288
Treviso

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

LOTTIZ.P.P.D3 IMOLA (BO)

Lavoro: costruzione di capannoni e di un fabbricato residenziale fra Via Lasie e S.S. Selice ad Imola (BO) (P.P. D3 area programma D.

Su incarico dei Committenti sono state eseguite delle indagini geognostiche nel terreno fra Via Lasie e S.S.Selice ad Imola (BO), dove sono in progetto la realizzazione di capannoni e di un fabbricato ad uso residenziale.

Le indagini sono finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni di fondazione per poter predisporre quindi le opere di fondazione.

Il Comune di IMOLA e' compreso nella zona dichiarata SISMICA con grado di SISMICITA' S=9 art.13-legge n.64-74. La presente relazione ottempera ai requisiti richiesti dal D.M. 11-3-88 (indagini sui terreni e sulle rocce).

Il terreno e' cosi' censito in catasto:Comune di Imola foglio n. mappali n.29-39-40-42-43-45-46-48-49 ecc.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E GEOIDROLOGICHE

Il terreno in esame fa parte di una vasta piana alluvionale quaternaria costituita dai depositi del Fiume Santerno che scorre verso Sud-Est ad una distanza di circa 2400 m.
L'area si trova a 31 m.sul livello del mare.Con le prove effettuate non si e' rilevata la presenza di acqua di falda nel sottosuolo fino a oltre -m.8,50 (rilevazione effettuata in un avanpozzo da ø m.1,00 e nel cui fondo ghiaioso asciutto e' stato effettuato a rotazione un pozzo con ø 150 mm.).
Il pozzo,ora in disuso,e' ubicato a Sud-Ovest del mappale n. 249.La ricarica di falda e' dovuta alle infiltrazioni nel materasso alluvionale delle acque meteoriche provenienti dai versanti a monte della piana alluvionale e dalle dispersioni del Fiume Santerno.Come quota 0,00 per le prove si e' preso il piano di campagna.

CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO

E' prevista la costruzione del fabbricato residenziale R a 3 piani fuori terra,dei capannoni A-B-C-D e in un futuro ampliamento i capannoni n.1-2-3-4.Le fondazioni dei capannoni sono previste a circa -m.1,00 dall'attuale piano di campagna.

PROVE FFETTUATE PER IL RICONOSCIMENTO DELLE CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E STRATIGRAFICHE

Per il riconoscimento delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche del sottosuolo sono state effettuate n.35 penetrazioni statiche e vari campionamenti.
Le prove sono state eseguite con un penetrometro statico di tipo olandese autocarrato Magirus e con capacita' di spinta di oltre 20 ton.

PENETRAZIONE STATICA N.1 profondita' raggiunta -m.6,80.

Da -m. 0,60 a -m. 1,60 argilla,
da -m. 1,60 a -m. 5,40 argilla limosa,
da -m. 5,40 a -m. 6,80 ghiaia densa.

PENETRAZIONE STATICA N.2 profondita' raggiunta -m.7,00.

Da -m. 0,60 a -m. 3,20 argilla,
da -m. 3,20 a -m. 5,20 argilla limosa,
da -m. 5,20 a -m. 7,00 ghiaia densa.

PENETRAZIONE STATICA N.3 profondita' raggiunta -m.7,40.

Da -m. 0,60 a -m. 3,00 argilla,
da -m. 3,00 a -m. 6,20 argilla limosa,
da -m. 6,20 a -m. 7,40 ghiaia densa.

LE PENETRAZIONI DALLA N.4 ALLA N.35 SONO SIMILI ALLE PRIME TRE,EVIDENZIANDO UNA BUONA OMOGENEITA' LATERALE DEL SOTTOSUOLO.

MODALITA' DI ESECUZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) viene effettuata infiggendo nel terreno,mediante un sistema idraulico di spinta,una punta conica(di tipo telescopico)con manicotto di frizione (punta Begeman),a velocita' costante e misurando la resistenza con un sistema di rilevazione collegato al pistone di spinta.La resistenza alla penetrazione di un terreno dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche nel quale esso si trova allo stato naturale;in particolare deriva prevalentemente dallo stato di addensamento dei granuli in terreni incoerenti e dal contenuto in umidita' naturale in terreni coesivi.

CARATTERISTICHE DELLO STRUMENTO UTILIZZATO:

-penetrometro statico olandese su autocarro Magirus con capacita' di spinta 20 ton.

-area della punta conica 10 cmq.

-area del manicotto di frizione 150 cmq.

-velocita' di esecuzione della prova 2 cm./sec.

-misure effettuate ogni 20 cm. di avanzamento.

I dati rilevati in ogni prova sono stati elaborati e diagrammati in funzione della profondita'.

Si e' riportata:

-Rp resistenza alla punta espressa in kg/cmq.

-Rl resistenza di attrito laterale locale espressa in kg/cmq.

-L'interpretazione litologica-stratigrafica basata sul rapporto Rp/Rl secondo Begeman e' da considerarsi una stima.

CONCLUSIONI PER I CAPANNONI E PER I FABBRICATI R RESIDENZIALI

L'analisi comparata delle prove ha evidenziato una disomogeneita' verticale e UNA BUONA OMOGENEITA' LATERALE,SU TUTTA L'AREA IN ESAME,dei materiali costituenti il sottosuolo.
Si e' rilevata la presenza di argille superficiali fino a -m.5-6,00 con al di sotto ghiaia sabbiosa densa.
COME QUOTA 0,00 PER LE PROVE SI E' PRESO IL PIANO DI CAMPAGNA AGRARIO.
NON E' STATA RILEVATA LA PRESENZA DI ACQUA DI FALDA nel sottosuolo fino a oltre -m.8,50 e tenuto conto che in profondita' vi sono ghiaie dense (Rp $\geq$ 500 kg/cmq. ϕ=45° γ=1,9 ton/mc)
NON SUSSISTE ALCUN RISCHIO DI SOLIFLUSSIONE DEI SUOLI PER EFFETTO DI SOLLECITAZIONI SISMICHE.
Dato il tipo di terreno,considerato che le fondazioni sono previste a -m.1,20,la soluzione fondale in progetto e' quella di posare i capannoni su una fondazione a plinti collegati con cordoli.
Per fondazioni a plinti collegati con cordoli o eventuali fondazioni lineari continue poste su argille (Rp min.15 kg/cmq. coesione 0,7 kg/cmq. γ=1,8 ton/mc.),SI PUO' UTILIZZARE UNA TENSIONE AMMISSIBILE FINO A 1,3 kg/cmq.CON SICUREZZA TRE.

ORDINE DEI GEOLOGI * Dr. Geol. LUIGI BERNARDI N° 188 * REGIONE DEL VENETO

La capacita' portante per una fondazione a plinti collegati con una cordolatura o lineare continua,posta sui materiali e alla profondita' indicata sopra,e' stata valutata con la teroria degli Stati Limite e ottenuta con la formula di Terzaghi:

$$Qd=(1+0,2\frac{B}{L})cNc+\gamma DNq+(1-0,2\frac{B}{L})\frac{B}{2}N\gamma$$

Per i fabbricati residenziali si possono utilizzare fondazioni lineari continue e una tensione ammissibile di 1,3 kg/cmq. con sicurezza tre.

ORDINE DEI GEOLOGI * Dr. Geol. LUIGI BERNARDI N° 168 * REGIONE DEL VENETO

VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

Si e' effettuata una valutazione dei cedimenti,per un plinto isolato con il lato di m.2,50-3,00-3,50 con una tensione ammissibile di 1,3 kg/cmq.,con la seguente formula :

$$DH=DP*H*Mv$$

H=spessore degli strati cedevoli,

Dp=incremento della pressione verticale efficace a meta' strato compressibile,

Mv=coefficiente di compressibilita' volumetrica desunto dalle prove penetrometriche statiche.

Per un plinto con il lato di m.2,50 i cedimenti sono stati valutati in cm.3.

Per un plinto con il lato di m.3,00 i cedimenti sono stati valutati in cm.3,4.

Per un plinto con il lato di m.3,50 i cedimenti sono stati valutati in cm.3,7.

ASPETTI GEOLOGICI

La zona di Imola rientra nel bacino fluviale del fiume Santerno.L'area si trova nella destra idrografica del fiume.
I sedimenti argillosi rilevati nelle prove sono tipici della deposizione a carattere lacustre a bassa energia idrodinamica,mentre in profondita' vi sono deposizioni ghiaiose tipicamente fluviali.

ASPETTI IDROGEOLOGICI

L'area e' attraversata da una rete di scoline per lo smaltimento delle acque piovane.Dovra' essere realizzato un bacino di accumulo delle acque piovane a lenta tracimazione verso i collettori principali per la raccolta e lo smaltimento delle acque provenienti dalle strade, dai piazzali e dai tetti dei capannoni.Si puo' prendere in considerazione la possibilita' di utilizzare una soluzione mista con pozzi drenanti intestati nelle ghiaie a -m.5,50-6,00 previo passaggio in vasche di sedimentazione e bacini di accumulo a lenta tracimazione.

CARATTERISTICHE SISMICHE DEL LUOGO

FACIES SISMICA

Vengono forniti i seguenti valori in funzione della facies litologica "sedimenti argillosi".

Grado di sismicita' S=9 classe 2-accelerazione convenzionale 0,20 g.

ORDINE DEI GEOLOGI * REGIONE DEL VENETO * Dr. Geol. LUIGI BERNARDI N° 188

Rigidita' sismica 0,6

Velocita' delle onde sismiche 0,4 km/sec.

Incremento sism.1

Coefficiente di fondazione ϵ o di risposta meccanica e idrologica del terreno risulta di=1,1 per i terreni superficiali e di 1 per quelli sottostanti (valori validi anche per il D. M. 16-1-1996).

In base agli elementi litologico-stratigrafici acquisiti non sussistono per sollecitazioni sismiche fenomeni di amplificazione locale dovuti a cedimenti differenziali,causati da variazioni laterali.

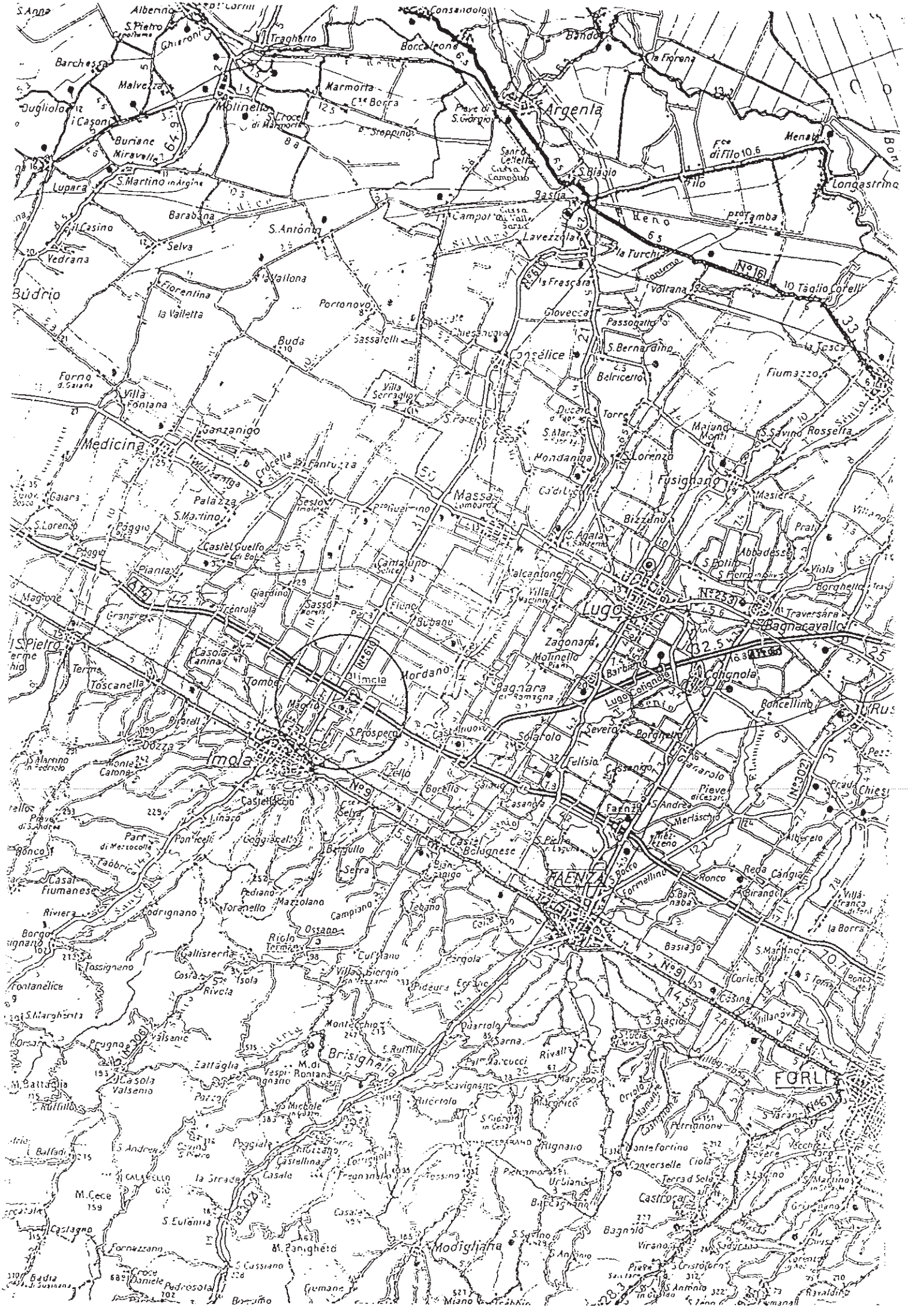
La morfologia della zona e' del tipo a piana alluvionale e quindi si esclude l'instabilita' dinamica o movimenti di massa per frane o amplificazioni morfologiche locali in prospettiva sismica.

PARERE DI FATTIBILITA'

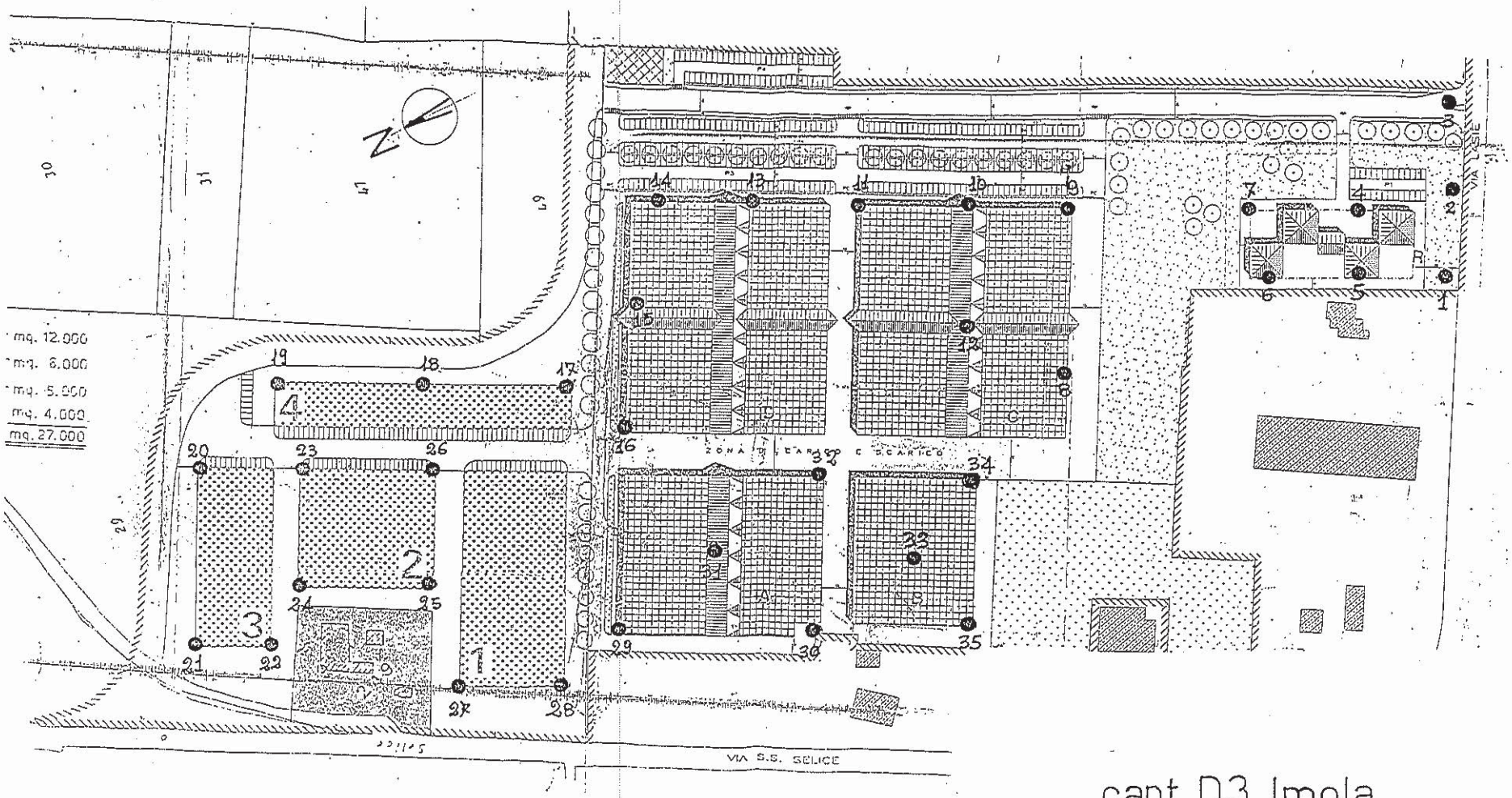
In base agli elementi rilevati con prove dirette e quindi molto precise,tenuto conto che l'area e' stata indagata in modo completo e CHE NON SONO STATI RILEVATI POSSIBILI FENOMENI DI INSTABILITA' IN PROSPETTIVA SISMICA,SI RITIENE FATTIBILE LA LOTTIZZAZIONE E I FABBRICATI IN PROGETTO.

Allegati:-corografia-planimetrie-diagrammi di resistenza.

Crespano del Grappa,31-10-2000-


Argenta
Molinella
Budrio
Medicina
Massa Lombarda
Fusignano
Lugo
Bagnacavallo
Imola
Mordano
Bagnara di Romagna
Conselice
Solarolo
Cotignola
Faenza
Brisighella
Modigliana
Castrocaro
Terra del Sole
Forlì
Reno
Sillaro
Santerno
Lamone
Marzeno
Senio
Montanara
Via Emilia
Ferrovia Bologna-Ancona
Ferrovia Bologna-Firenze
Ferrovia Faenza-Firenze
Ferrovia Lugo-Ravenna
Ferrovia Lugo-Codigoro
Ferrovia Ravenna-Rimini
Ferrovia Ravenna-Ancona
Ferrovia Ravenna-Forlì
Ferrovia Ravenna-Forlì
Ferrovia Ravenna-Forlì

AUTOSTRADA A. 14
Via Canale Naviglio
Via Canale Destro
Via Canale Sinistro
Via Cella
Via Cella Bassa
Via Cella Alta
Via Cella Nuova
Via Cella Vecchia
Via Cella Ponente
Via Cella Levante
Via Cella Centrale
Via Cella Nord
Via Cella Sud
Via Cella Est
Via Cella Ovest
Via Cella Interna
Via Cella Esterna
Via Cella Periferica
Via Cella Circolare
Via Cella Radiale
Via Cella Tangenziale
Via Cella Diagonale
Via Cella Trasversale
Via Cella Longitudinale
Via Cella Parallela
Via Cella Perpendicolare
Via Cella Obliqua
Via Cella Curva
Via Cella Retta
Via Cella Spezzata
Via Cella Mista
Via Cella Semplice
Via Cella Doppia
Via Cella Triplice
Via Cella Quadrupla
Via Cella Quintupla
Via Cella Sestupla
Via Cella Settupla
Via Cella Ottupla
Via Cella Nonupla
Via Cella Decupla
Via Cella Undicupla
Via Cella Dodicupla
Via Cella Tredicupla
Via Cella Quattordicupla
Via Cella Quindicupla
Via Cella Sedicupla
Via Cella Diciassettupla
Via Cella Diciottupla
Via Cella Diciannovupla
Via Cella Ventupla
Via Cella Ventunupla
Via Cella Ventiduepla
Via Cella Ventitrepla
Via Cella Ventiquattrupla
Via Cella Venticinquepla
Via Cella Ventiseipla
Via Cella Ventisettepla
Via Cella Ventottupla
Via Cella Ventinovepla
Via Cella Trentupla
Via Cella Trentunupla
Via Cella Trentiduepla
Via Cella Trentitrepla
Via Cella Trentiquattrupla
Via Cella Trentacinquepla
Via Cella Trentaseipla
Via Cella Trentasettepla
Via Cella Trentottupla
Via Cella Trentanovepla
Via Cella Quarantupla
Via Cella Quarantunupla
Via Cella Quarantiduepla
Via Cella Quarantitrepla
Via Cella Quarantiquattrupla
Via Cella Quarantacinquepla
Via Cella Quarantaseipla
Via Cella Quarantasettepla
Via Cella Quarantottupla
Via Cella Quarantanovepla
Via Cella Cinquantupla
Via Cella Cinquantunupla
Via Cella Cinquantiduepla
Via Cella Cinquantitrepla
Via Cella Cinquantiquattrupla
Via Cella Cinquantacinquepla
Via Cella Cinquantaseipla
Via Cella Cinquantasettepla
Via Cella Cinquantottupla
Via Cella Cinquantanovepla
Via Cella Sessantupla
Via Cella Sessantunupla
Via Cella Sessantiduepla
Via Cella Sessantitrepla
Via Cella Sessantiquattrupla
Via Cella Sessantacinquepla
Via Cella Sessantaseipla
Via Cella Sessantasettepla
Via Cella Sessantottupla
Via Cella Sessantanovepla
Via Cella Settantupla
Via Cella Settantunupla
Via Cella Settantiduepla
Via Cella Settantitrepla
Via Cella Settantiquattrupla
Via Cella Settantacinquepla
Via Cella Settantaseipla
Via Cella Settantasettepla
Via Cella Settantottupla
Via Cella Settantanovepla
Via Cella Ottantupla
Via Cella Ottantunupla
Via Cella Ottantiduepla
Via Cella Ottantitrepla
Via Cella Ottantiquattrupla
Via Cella Ottantacinquepla
Via Cella Ottantaseipla
Via Cella Ottantasettepla
Via Cella Ottantottupla
Via Cella Ottantanovepla
Via Cella Novantupla
Via Cella Novantunupla
Via Cella Novantiduepla
Via Cella Novantitrepla
Via Cella Novantiquattrupla
Via Cella Novantacinquepla
Via Cella Novantaseipla
Via Cella Novantasettepla
Via Cella Novantottupla
Via Cella Novantanovepla
Via Cella Centupla
Via Cella Centunupla
Via Cella Centiduepla
Via Cella Centitrepla
Via Cella Centiquattrupla
Via Cella Centacinquepla
Via Cella Centaseipla
Via Cella Centasettepla
Via Cella Centottupla
Via Cella Centanovepla
Via Cella Duecentupla
Via Cella Duecentunupla
Via Cella Duecentiduepla
Via Cella Duecentitrepla
Via Cella Duecentiquattrupla
Via Cella Duecentacinquepla
Via Cella Duecentaseipla
Via Cella Duecentasettepla
Via Cella Duecentottupla
Via Cella Duecentanovepla
Via Cella Trecentupla
Via Cella Trecentunupla
Via Cella Trecentiduepla
Via Cella Trecentitrepla
Via Cella Trecentiquattrupla
Via Cella Trecentacinquepla
Via Cella Trecentaseipla
Via Cella Trecentasettepla
Via Cella Trecentottupla
Via Cella Trecentanovepla
Via Cella Quattrocentupla
Via Cella Quattrocentunupla
Via Cella Quattrocentiduepla
Via Cella Quattrocentitrepla
Via Cella Quattrocentiquattrupla
Via Cella Quattrocentacinquepla
Via Cella Quattrocentaseipla
Via Cella Quattrocentasettepla
Via Cella Quattrocentottupla
Via Cella Quattrocentanovepla
Via Cella Cinquecentupla
Via Cella Cinquecentunupla
Via Cella Cinquecentiduepla
Via Cella Cinquecentitrepla
Via Cella Cinquecentiquattrupla
Via Cella Cinquecentacinquepla
Via Cella Cinquecentaseipla
Via Cella Cinquecentasettepla
Via Cella Cinquecentottupla
Via Cella Cinquecentanovepla
Via Cella Seicentupla
Via Cella Seicentunupla
Via Cella Seicentiduepla
Via Cella Seicentitrepla
Via Cella Seicentiquattrupla
Via Cella Seicentacinquepla
Via Cella Seicentaseipla
Via Cella Seicentasettepla
Via Cella Seicentottupla
Via Cella Seicentanovepla
Via Cella Settecentupla
Via Cella Settecentunupla
Via Cella Settecentiduepla
Via Cella Settecentitrepla
Via Cella Settecentiquattrupla
Via Cella Settecentacinquepla
Via Cella Settecentaseipla
Via Cella Settecentasettepla
Via Cella Settecentottupla
Via Cella Settecentanovepla
Via Cella Ottocentupla
Via Cella Ottocentunupla
Via Cella Ottocentiduepla
Via Cella Ottocentitrepla
Via Cella Ottocentiquattrupla
Via Cella Ottocentacinquepla
Via Cella Ottocentaseipla
Via Cella Ottocentasettepla
Via Cella Ottocentottupla
Via Cella Ottocentanovepla
Via Cella Novecentupla
Via Cella Novecentunupla
Via Cella Novecentiduepla
Via Cella Novecentitrepla
Via Cella Novecentiquattrupla
Via Cella Novecentacinquepla
Via Cella Novecentaseipla
Via Cella Novecentasettepla
Via Cella Novecentottupla
Via Cella Novecentanovepla
Via Cella Mille
Via Cella Milleuno
Via Cella Milledue
Via Cella Milletre
Via Cella Millequattro
Via Cella Millecinque
Via Cella Milleseis
Via Cella Millesette
Via Cella Milleotto
Via Cella Millenove
Via Cella Duemila
Via Cella Duemilauno
Via Cella Duemiladue
Via Cella Duemilatre
Via Cella Duemilaquattro
Via Cella Duemilacinque
Via Cella Duemilasei
Via Cella Duemilasette
Via Cella Duemilaotto
Via Cella Duemilanove
Via Cella Tremila
Via Cella Tremilauno
Via Cella Tremiladue
Via Cella Tremilatre
Via Cella Tremilaquattro
Via Cella Tremilacinque
Via Cella Tremilasei
Via Cella Tremilasette
Via Cella Tremilaotto
Via Cella Tremilanove
Via Cella Quattromila
Via Cella Quattromilauno
Via Cella Quattromiladue
Via Cella Quattromilatre
Via Cella Quattromilaquattro
Via Cella Quattromilacinque
Via Cella Quattromilasei
Via Cella Quattromilasette
Via Cella Quattromilaotto
Via Cella Quattromilanove
Via Cella Cinquemila
Via Cella Cinquemilauno
Via Cella Cinquemiladue
Via Cella Cinquemilatre
Via Cella Cinquemilaquattro
Via Cella Cinquemilacinque
Via Cella Cinquemilasei
Via Cella Cinquemilasette
Via Cella Cinquemilaotto
Via Cella Cinquemilanove
Via Cella Seimila
Via Cella Seimilauno
Via Cella Seimiladue
Via Cella Seimilatre
Via Cella Seimilaquattro
Via Cella Seimilacinque
Via Cella Seimilasei
Via Cella Seimilasette
Via Cella Seimilaotto
Via Cella Seimilanove
Via Cella Settemila
Via Cella Settemilauno
Via Cella Settemiladue
Via Cella Settemilatre
Via Cella Settemilaquattro
Via Cella Settemilacinque
Via Cella Settemilasei
Via Cella Settemilasette
Via Cella Settemilaotto
Via Cella Settemilanove
Via Cella Ottomila
Via Cella Ottomilauno
Via Cella Ottomiladue
Via Cella Ottomilatre
Via Cella Ottomilaquattro
Via Cella Ottomilacinque
Via Cella Ottomilasei
Via Cella Ottomilasette
Via Cella Ottomilaotto
Via Cella Ottomilanove
Via Cella Novemila
Via Cella Novemilauno
Via Cella Novemiladue
Via Cella Novemilatre
Via Cella Novemilaquattro
Via Cella Novemilacinque
Via Cella Novemilasei
Via Cella Novemilasette
Via Cella Novemilaotto
Via Cella Novemilanove
Via Cella Diecimila
Via Cella Diecimilauno
Via Cella Diecimiladue
Via Cella Diecimilatre
Via Cella Diecimilaquattro
Via Cella Diecimilacinque
Via Cella Diecimilasei
Via Cella Diecimilasette
Via Cella Diecimilaotto
Via Cella Diecimilanove
Via Cella Undicimila
Via Cella Undicimilauno
Via Cella Undicimiladue
Via Cella Undicimilatre
Via Cella Undicimilaquattro
Via Cella Undicimilacinque
Via Cella Undicimilasei
Via Cella Undicimilasette
Via Cella Undicimilaotto
Via Cella Undicimilanove
Via Cella Dodicimila
Via Cella Dodicimilauno
Via Cella Dodicimiladue
Via Cella Dodicimilatre
Via Cella Dodicimilaquattro
Via Cella Dodicimilacinque
Via Cella Dodicimilasei
Via Cella Dodicimilasette
Via Cella Dodicimilaotto
Via Cella Dodicimilanove
Via Cella Tredicimila
Via Cella Tredicimilauno
Via Cella Tredicimiladue
Via Cella Tredicimilatre
Via Cella Tredicimilaquattro
Via Cella Tredicimilacinque
Via Cella Tredicimilasei
Via Cella Tredicimilasette
Via Cella Tredicimilaotto
Via Cella Tredicimilanove
Via Cella Quattordicimila
Via Cella Quattordicimilauno
Via Cella Quattordicimiladue
Via Cella Quattordicimilatre
Via Cella Quattordicimilaquattro
Via Cella Quattordicimilacinque
Via Cella Quattordicimilasei
Via Cella Quattordicimilasette
Via Cella Quattordicimilaotto
Via Cella Quattordicimilanove
Via Cella Quindicimila
Via Cella Quindicimilauno
Via Cella Quindicimiladue
Via Cella Quindicimilatre
Via Cella Quindicimilaquattro
Via Cella Quindicimilacinque
Via Cella Quindicimilasei
Via Cella Quindicimilasette
Via Cella Quindicimilaotto
Via Cella Quindicimilanove
Via Cella Sedicimila
Via Cella Sedicimilauno
Via Cella Sedicimiladue
Via Cella Sedicimilatre
Via Cella Sedicimilaquattro
Via Cella Sedicimilacinque
Via Cella Sedicimilasei
Via Cella Sedicimilasette
Via Cella Sedicimilaotto
Via Cella Sedicimilanove
Via Cella Diciassettemila
Via Cella Diciassettemilauno
Via Cella Diciassettemiladue
Via Cella Diciassettemilatre
Via Cella Diciassettemilaquattro
Via Cella Diciassettemilacinque
Via Cella Diciassettemilasei
Via Cella Diciassettemilasette
Via Cella Diciassettemilaotto
Via Cella Diciassettemilanove
Via Cella Diciottomila
Via Cella Diciottomilauno
Via Cella Diciottomiladue
Via Cella Diciottomilatre
Via Cella Diciottomilaquattro
Via Cella Diciottomilacinque
Via Cella Diciottomilasei
Via Cella Diciottomilasette
Via Cella Diciottomilaotto
Via Cella Diciottomilanove
Via Cella Diciannovemila
Via Cella Diciannovemilauno
Via Cella Diciannovemiladue
Via Cella Diciannovemilatre
Via Cella Diciannovemilaquattro
Via Cella Diciannovemilacinque
Via Cella Diciannovemilasei
Via Cella Diciannovemilasette
Via Cella Diciannovemilaotto
Via Cella Diciannovemilanove
Via Cella Ventimila
Via Cella Ventimilauno
Via Cella Ventimiladue
Via Cella Ventimilatre
Via Cella Ventimilaquattro
Via Cella Ventimilacinque
Via Cella Ventimilasei
Via Cella Ventimilasette
Via Cella Ventimilaotto
Via Cella Ventimilanove
Via Cella Ventunomila
Via Cella Ventunomilauno
Via Cella Ventunomiladue
Via Cella Ventunomilatre
Via Cella Ventunomilaquattro
Via Cella Ventunomilacinque
Via Cella Ventunomilasei
Via Cella Ventunomilasette
Via Cella Ventunomilaotto
Via Cella Ventunomilanove
Via Cella Ventiduemila
Via Cella Ventiduemilauno
Via Cella Ventiduemiladue
Via Cella Ventiduemilatre
Via Cella Ventiduemilaquattro
Via Cella Ventiduemilacinque
Via Cella Ventiduemilasei
Via Cella Ventiduemilasette
Via Cella Ventiduemilaotto
Via Cella Ventiduemilanove
Via Cella Ventitremila
Via Cella Ventitremilauno
Via Cella Ventitremiladue
Via Cella Ventitremilatre
Via Cella Ventitremilaquattro
Via Cella Ventitremilacinque
Via Cella Ventitremilasei
Via Cella Ventitremilasette
Via Cella Ventitremilaotto
Via Cella Ventitremilanove
Via Cella Ventiquattromila
Via Cella Ventiquattromilauno
Via Cella Ventiquattromiladue
Via Cella Ventiquattromilatre
Via Cella Ventiquattromilaquattro
Via Cella Ventiquattromilacinque
Via Cella Ventiquattromilasei
Via Cella Ventiquattromilasette
Via Cella Ventiquattromilaotto
Via Cella Ventiquattromilanove
Via Cella Venticinquemila
Via Cella Venticinquemilauno
Via Cella Venticinquemiladue
Via Cella Venticinquemilatre
Via Cella Venticinquemilaquattro
Via Cella Venticinquemilacinque
Via Cella Venticinquemilasei
Via Cella Venticinquemilasette
Via Cella Venticinquemilaotto
Via Cella Venticinquemilanove
Via Cella Ventiseimila
Via Cella Ventiseimilauno
Via Cella Ventiseimiladue
Via Cella Ventiseimilatre
Via Cella Ventiseimilaquattro
Via Cella Ventiseimilacinque
Via Cella Ventiseimilasei
Via Cella Ventiseimilasette
Via Cella Ventiseimilaotto
Via Cella Ventiseimilanove
Via Cella Ventisettemila
Via Cella Ventisettemilauno
Via Cella Ventisettemiladue
Via Cella Ventisettemilatre
Via Cella Ventisettemilaquattro
Via Cella Ventisettemilacinque
Via Cella Ventisettemilasei
Via Cella Ventisettemilasette
Via Cella Ventisettemilaotto
Via Cella Ventisettemilanove
Via Cella Ventottomila
Via Cella Ventottomilauno
Via Cella Ventottomiladue
Via Cella Ventottomilatre
Via Cella Ventottomilaquattro
Via Cella Ventottomilacinque
Via Cella Ventottomilasei
Via Cella Ventottomilasette
Via Cella Ventottomilaotto
Via Cella Ventottomilanove
Via Cella Ventinovemila
Via Cella Ventinovemilauno
Via Cella Ventinovemiladue
Via Cella Ventinovemilatre
Via Cella Ventinovemilaquattro
Via Cella Ventinovemilacinque
Via Cella Ventinovemilasei
Via Cella Ventinovemilasette
Via Cella Ventinovemilaotto
Via Cella Ventinovemilanove
Via Cella Trentamila
Via Cella Trentamilauno
Via Cella Trentamiladue
Via Cella Trentamilatre
Via Cella Trentamilaquattro
Via Cella Trentamilacinque
Via Cella Trentamilasei
Via Cella Trentamilasette
Via Cella Trentamilaotto
Via Cella Trentamilanove
Via Cella Trentunomila
Via Cella Trentunomilauno
Via Cella Trentunomiladue
Via Cella Trentunomilatre
Via Cella Trentunomilaquattro
Via Cella Trentunomilacinque
Via Cella Trentunomilasei
Via Cella Trentunomilasette
Via Cella Trentunomilaotto
Via Cella Trentunomilanove
Via Cella Trentaduemila
Via Cella Trentaduemilauno
Via Cella Trentaduemiladue
Via Cella Trentaduemilatre
Via Cella Trentaduemilaquattro
Via Cella Trentaduemilacinque
Via Cella Trentaduemilasei
Via Cella Trentaduemilasette
Via Cella Trentaduemilaotto
Via Cella Trentaduemilanove
Via Cella Trentatremila
Via Cella Trentatremilauno
Via Cella Trentatremiladue
Via Cella Trentatremilatre
Via Cella Trentatremilaquattro
Via Cella Trentatremilacinque
Via Cella Trentatremilasei
Via Cella Trentatremilasette
Via Cella Trentatremilaotto
Via Cella Trentatremilanove
Via Cella Trentaquattromila
Via Cella Trentaquattromilauno
Via Cella Trentaquattromiladue
Via Cella Trentaquattromilatre
Via Cella Trentaquattromilaquattro
Via Cella Trentaquattromilacinque
Via Cella Trentaquattromilasei
Via Cella Trentaquattromilasette
Via Cella Trentaquattromilaotto
Via Cella Trentaquattromilanove
Via Cella Trentacinquemila
Via Cella Trentacinquemilauno
Via Cella Trentacinquemiladue
Via Cella Trentacinquemilatre
Via Cella Trentacinquemilaquattro
Via Cella Trentacinquemilacinque
Via Cella Trentacinquemilasei
Via Cella Trentacinquemilasette
Via Cella Trentacinquemilaotto
Via Cella Trentacinquemilanove
Via Cella Trentaseimila
Via Cella Trentaseimilauno
Via Cella Trentaseimiladue
Via Cella Trentaseimilatre
Via Cella Trentaseimilaquattro
Via Cella Trentaseimilacinque
Via Cella Trentaseimilasei
Via Cella Trentaseimilasette
Via Cella Trentaseimilaotto
Via Cella Trentaseimilanove
Via Cella Trentasettemila
Via Cella Trentasettemilauno
Via Cella Trentasettemiladue
Via Cella Trentasettemilatre
Via Cella Trentasettemilaquattro
Via Cella Trentasettemilacinque
Via Cella Trentasettemilasei
Via Cella Trentasettemilasette
Via Cella Trentasettemilaotto
Via Cella Trentasettemilanove
Via Cella Trentottomila
Via Cella Trentottomilauno
Via Cella Trentottomiladue
Via Cella Trentottomilatre
Via Cella Trentottomilaquattro
Via Cella Trentottomilacinque
Via Cella Trentottomilasei
Via Cella Trentottomilasette
Via Cella Trentottomilaotto
Via Cella Trentottomilanove
Via Cella Trentanovemila
Via Cella Trentanovemilauno
Via Cella Trentanovemiladue
Via Cella Trentanovemilatre
Via Cella Trentanovemilaquattro
Via Cella Trentanovemilacinque
Via Cella Trentanovemilasei
Via Cella Trentanovemilasette
Via Cella Trentanovemilaotto
Via Cella Trentanovemilanove
Via Cella Quarantamila
Via Cella Quarantamilauno
Via Cella Quarantamiladue
Via Cella Quarantamilatre
Via Cella Quarantamilaquattro
Via Cella Quarantamilacinque
Via Cella Quarantamilasei
Via Cella Quarantamilasette
Via Cella Quarantamilaotto
Via Cella Quarantamilanove
Via Cella Quarantunomila
Via Cella Quarantunomilauno
Via Cella Quarantunomiladue
Via Cella Quarantunomilatre
Via Cella Quarantunomilaquattro
Via Cella Quarantunomilacinque
Via Cella Quarantunomilasei
Via Cella Quarantunomilasette
Via Cella Quarantunomilaotto
Via Cella Quarantunomilanove
Via Cella Quarantaduemila
Via Cella Quarantaduemilauno
Via Cella Quarantaduemiladue
Via Cella Quarantaduemilatre
Via Cella Quarantaduemilaquattro
Via Cella Quarantaduemilacinque
Via Cella Quarantaduemilasei
Via Cella Quarantaduemilasette
Via Cella Quarantaduemilaotto
Via Cella Quarantaduemilanove
Via Cella Quarantatremila
Via Cella Quarantatremilauno
Via Cella Quarantatremiladue
Via Cella Quarantatremilatre
Via Cella Quarantatremilaquattro
Via Cella Quarantatremilacinque
Via Cella Quarantatremilasei
Via Cella Quarantatremilasette
Via Cella Quarantatremilaotto
Via Cella Quarantatremilanove
Via Cella Quarantaquattromila
Via Cella Quarantaquattromilauno
Via Cella Quarantaquattromiladue
Via Cella Quarantaquattromilatre
Via Cella Quarantaquattromilaquattro
Via Cella Quarantaquattromilacinque
Via Cella Quarantaquattromilasei
Via Cella Quarantaquattromilasette
Via Cella Quarantaquattromilaotto
Via Cella Quarantaquattromilanove
Via Cella Quarantacinquemila
Via Cella Quarantacinquemilauno
Via Cella Quarantacinquemiladue
Via Cella Quarantacinquemilatre
Via Cella Quarantacinquemilaquattro
Via Cella Quarantacinquemilacinque
Via Cella Quarantacinquemilasei
Via Cella Quarantacinquemilasette
Via Cella Quarantacinquemilaotto
Via Cella Quarantacinquemilanove
Via Cella Quarantaseimila
Via Cella Quarantaseimilauno
Via Cella Quarantaseimiladue
Via Cella Quarantaseimilatre
Via Cella Quarantaseimilaquattro
Via Cella Quarantaseimilacinque
Via Cella Quarantaseimilasei
Via Cella Quarantaseimilasette
Via Cella Quarantaseimilaotto
Via Cella Quarantaseimilanove
Via Cella Quarantasettemila
Via Cella Quarantasettemilauno
Via Cella Quarantasettemiladue
Via Cella Quarantasettemilatre
Via Cella Quarantasettemilaquattro
Via Cella Quarantasettemilacinque
Via Cella Quarantasettemilasei
Via Cella Quarantasettemilasette
Via Cella Quarantasettemilaotto
Via Cella Quarantasettemilanove
Via Cella Quarantottomila
Via Cella Quarantottomilauno
Via Cella Quarantottomiladue
Via Cella Quarantottomilatre
Via Cella Quarantottomilaquattro
Via Cella Quarantottomilacinque
Via Cella Quarantottomilasei
Via Cella Quarantottomilasette
Via Cella Quarantottomilaotto
Via Cella Quarantottomilanove
Via Cella Quarantanovemila
Via Cella Quarantanovemilauno
Via Cella Quarantanovemiladue
Via Cella Quarantanovemilatre
Via Cella Quarantanovemilaquattro
Via Cella Quarantanovemilacinque
Via Cella Quarantanovemilasei
Via Cella Quarantanovemilasette
Via Cella Quarantanovemilaotto
Via Cella Quarantanovemilanove
Via Cella Cinquantamila
Via Cella Cinquantamilauno
Via Cella Cinquantamiladue
Via Cella Cinquantamilatre
Via Cella Cinquantamilaquattro
Via Cella Cinquantamilacinque
Via Cella Cinquantamilasei
Via Cella Cinquantamilasette
Via Cella Cinquantamilaotto
Via Cella Cinquantamilanove
Via Cella Cinquantunomila
Via Cella Cinquantunomilauno
Via Cella Cinquantunomiladue
Via Cella Cinquantunomilatre
Via Cella Cinquantunomilaquattro
Via Cella Cinquantunomilacinque
Via Cella Cinquantunomilasei
Via Cella Cinquantunomilasette
Via Cella Cinquantunomilaotto
Via Cella Cinquantunomilanove
Via Cella Cinquantaduemila
Via Cella Cinquantaduemilauno
Via Cella Cinquantaduemiladue
Via Cella Cinquantaduemilatre
Via Cella Cinquantaduemilaquattro
Via Cella Cinquantaduemilacinque
Via Cella Cinquantaduemilasei
Via Cella Cinquantaduemilasette
Via Cella Cinquantaduemilaotto
Via Cella Cinquantaduemilanove
Via Cella Cinquantatremila
Via Cella Cinquantatremilauno
Via Cella Cinquantatremiladue
Via Cella Cinquantatremilatre
Via Cella Cinquantatremilaquattro
Via Cella Cinquantatremilacinque
Via Cella Cinquantatremilasei
Via Cella Cinquantatremilasette
Via Cella Cinquantatremilaotto
Via Cella Cinquantatremilanove
Via Cella Cinquantaquattromila
Via Cella Cinquantaquattromilauno
Via Cella Cinquantaquattromiladue
Via Cella Cinquantaquattromilatre
Via Cella Cinquantaquattromilaquattro
Via Cella Cinquantaquattromilacinque
Via Cella Cinquantaquattromilasei
Via Cella Cinquantaquattromilasette
Via Cella Cinquantaquattromilaotto
Via Cella Cinquantaquattromilanove
Via Cella Cinquantacinquemila
Via Cella Cinquantacinquemilauno
Via Cella Cinquantacinquemiladue
Via Cella Cinquantacinquemilatre
Via Cella Cinquantacinquemilaquattro
Via Cella Cinquantacinquemilacinque
Via Cella Cinquantacinquemilasei
Via Cella Cinquantacinquemilasette
Via Cella Cinquantacinquemilaotto
Via Cella Cinquantacinquemilanove
Via Cella Cinquantaseimila
Via Cella Cinquantaseimilauno
Via Cella Cinquantaseimiladue
Via Cella Cinquantaseimilatre
Via Cella Cinquantaseimilaquattro
Via Cella Cinquantaseimilacinque
Via Cella Cinquantaseimilasei
Via Cella Cinquantaseimilasette
Via Cella Cinquantaseimilaotto
Via Cella Cinquantaseimilanove
Via Cella Cinquantasettemila
Via Cella Cinquantasettemilauno
Via Cella Cinquantasettemiladue
Via Cella Cinquantasettemilatre
Via Cella Cinquantasettemilaquattro
Via Cella Cinquantasettemilacinque
Via Cella Cinquantasettemilasei
Via Cella Cinquantasettemilasette
Via Cella Cinquantasettemilaotto
Via Cella Cinquantasettemilanove
Via Cella Cinquantottomila
Via Cella Cinquantottomilauno
Via Cella Cinquantottomiladue
Via Cella Cinquantottomilatre
Via Cella Cinquantottomilaquattro
Via Cella Cinquantottomilacinque
Via Cella Cinquantottomilasei
Via Cella Cinquantottomilasette
Via Cella Cinquantottomilaotto
Via Cella Cinquantottomilanove
Via Cella Cinquantanovemila
Via Cella Cinquantanovemilauno
Via Cella Cinquantanovemiladue
Via Cella Cinquantanovemilatre
Via Cella Cinquantanovemilaquattro
Via Cella Cinquantanovemilacinque
Via Cella Cinquantanovemilasei
Via Cella Cinquantanovemilasette
Via Cella Cinquantanovemilaotto
Via Cella Cinquantanovemilanove
Via Cella Sessantamila
Via Cella Sessantamilauno
Via Cella Sessantamiladue
Via Cella Sessantamilatre
Via Cella Sessantamilaquattro
Via Cella Sessantamilacinque
Via Cella Sessantamilasei
Via Cella Sessantamilasette
Via Cella Sessantamilaotto
Via Cella Sessantamilanove
Via Cella Sessantunomila
Via Cella Sessantunomilauno
Via Cella Sessantunomiladue
Via Cella Sessantunomilatre
Via Cella Sessantunomilaquattro
Via Cella Sessantunomilacinque
Via Cella Sessantunomilasei
Via Cella Sessantunomilasette
Via Cella Sessantunomilaotto
Via Cella Sessantunomilanove
Via Cella Sessantaduemila
Via Cella Sessantaduemilauno
Via Cella Sessantaduemiladue
Via Cella Sessantaduemilatre
Via Cella Sessantaduemilaquattro
Via Cella Sessantaduemilacinque
Via Cella Sessantaduemilasei
Via Cella Sessantaduemilasette
Via Cella Sessantaduemilaotto
Via Cella Sessantaduemilanove
Via Cella Sessantatremila
Via Cella Sessantatremilauno
Via Cella Sessantatremiladue
Via Cella Sessantatremilatre
Via Cella Sessantatremilaquattro
Via Cella Sessantatremilacinque
Via Cella Sessantatremilasei
Via Cella Sessantatremilasette
Via Cella Sessantatremilaotto
Via Cella Sessantatremilanove
Via Cella Sessantaquattromila
Via Cella Sessantaquattromilauno
Via Cella Sessantaquattromiladue
Via Cella Sessantaquattromilatre
Via Cella Sessantaquattromilaquattro
Via Cella Sessantaquattromilacinque
Via Cella Sessantaquattromilasei
Via Cella Sessantaquattromilasette
Via Cella Sessantaquattromilaotto
Via Cella Sessantaquattromilanove
Via Cella Sessantacinquemila
Via Cella Sessantacinquemilauno
Via Cella Sessantacinquemiladue
Via Cella Sessantacinquemilatre
Via Cella Sessantacinquemilaquattro
Via Cella Sessantacinquemilacinque
Via Cella Sessantacinquemilasei
Via Cella Sessantacinquemilasette
Via Cella Sessantacinquemilaotto
Via Cella Sessantacinquemilanove
Via Cella Sessantaseimila
Via Cella Sessantaseimilauno
Via Cella Sessantaseimiladue
Via Cella Sessantaseimilatre
Via Cella Sessantaseimilaquattro
Via Cella Sessantaseimilacinque
Via Cella Sessantaseimilasei
Via Cella Sessantaseimilasette
Via Cella Sessantaseimilaotto
Via Cella Sessantaseimilanove
Via Cella Sessantasettemila
Via Cella Sessantasettemilauno
Via Cella Sessantasettemiladue
Via Cella Sessantasettemilatre
Via Cella Sessantasettemilaquattro
Via Cella Sessantasettemilacinque
Via Cella Sessantasettemilasei
Via Cella Sessantasettemilasette
Via Cella Sessantasettemilaotto
Via Cella Sessantasettemilanove
Via Cella Sessantottomila
Via Cella Sessantottomilauno
Via Cella Sessantottomiladue
Via Cella Sessantottomilatre
Via Cella Sessantottomilaquattro
Via Cella Sessantottomilacinque
Via Cella Sessantottomilasei
Via Cella Sessantottomilasette
Via Cella Sessantottomilaotto
Via Cella Sessantottomilanove
Via Cella Sessantanovemila
Via Cella Sessantanovemilauno
Via Cella Sessantanovemiladue
Via Cella Sessantanovemilatre
Via Cella Sessantanovemilaquattro
Via Cella Sessantanovemilacinque
Via Cella Sessantanovemilasei
Via Cella Sessantanovemilasette
Via Cella Sessantanovemilaotto
Via Cella Sessantanovemilanove
Via Cella Settantamila
Via Cella Settantamilauno
Via Cella Settantamiladue
Via Cella Settantamilatre
Via Cella Settantamilaquattro
Via Cella Settantamilacinque
Via Cella Settantamilasei
Via Cella Settantamilasette
Via Cella Settantamilaotto
Via Cella Settantamilanove
Via Cella Settantunomila
Via Cella Settantunomilauno
Via Cella Settantunomiladue
Via Cella Settantunomilatre
Via Cella Settantunomilaquattro
Via Cella Settantunomilacinque
Via Cella Settantunomilasei
Via Cella Settantunomilasette
Via Cella Settantunomilaotto
Via Cella Settantunomilanove
Via Cella Settantaduemila
Via Cella Settantaduemilauno
Via Cella Settantaduemiladue
Via Cella Settantaduemilatre
Via Cella Settantaduemilaquattro
Via Cella Settantaduemilacinque
Via Cella Settantaduemilasei
Via Cella Settantaduemilasette
Via Cella Settantaduemilaotto
Via Cella Settantaduemilanove
Via Cella Settantatremila
Via Cella Settantatremilauno
Via Cella Settantatremiladue
Via Cella Settantatremilatre
Via Cella Settantatremilaquattro
Via Cella Settantatremilacinque
Via Cella Settantatremilasei
Via Cella Settantatremilasette
Via Cella Settantatremilaotto
Via Cella Settantatremilanove
Via Cella Settantaquattromila
Via Cella Settantaquattromilauno
Via Cella Settantaquattromiladue
Via Cella Settantaquattromilatre
Via Cella Settantaquattromilaquattro
Via Cella Settantaquattromilacinque
Via Cella Settantaquattromilasei
Via Cella Settantaquattromilasette
Via Cella Settantaquattromilaotto
Via Cella Settantaquattromilanove
Via Cella Settantacinquemila
Via Cella Settantacinquemilauno
Via Cella Settantacinquemiladue
Via Cella Settantacinquemilatre
Via Cella Settantacinquemilaquattro
Via Cella Settantacinquemilacinque
Via Cella Settantacinquemilasei
Via Cella Settantacinquemilasette
Via Cella Settantacinquemilaotto
Via Cella Settantacinquemilanove
Via Cella Settantaseimila
Via Cella Settantaseimilauno
Via Cella Settantaseimiladue
Via Cella Settantaseimilatre
Via Cella Settantaseimilaquattro
Via Cella Settantaseimilacinque
Via Cella Settantaseimilasei
Via Cella Settantaseimilasette
Via Cella Settantaseimilaotto
Via Cella Settantaseimilanove
Via Cella Settantasettemila
Via Cella Settantasettemilauno
Via Cella Settantasettemiladue
Via Cella Settantasettemilatre
Via Cella Settantasettemilaquattro
Via Cella Settantasettemilacinque
Via Cella Settantasettemilasei
Via Cella Settantasettemilasette
Via Cella Settantasettemilaotto
Via Cella Settantasettemilanove
Via Cella Settantottomila
Via Cella Settantottomilauno
Via Cella Settantottomiladue
Via Cella Settantottomilatre
Via Cella Settantottomilaquattro
Via Cella Settantottomilacinque
Via Cella Settantottomilasei
Via Cella Settantottomilasette
Via Cella Settantottomilaotto
Via Cella Settantottomilanove
Via Cella Settantanovemila
Via Cella Settantanovemilauno
Via Cella Settantanovemiladue
Via Cella Settantanovemilatre
Via Cella Settantanovemilaquattro
Via Cella Settantanovemilacinque
Via Cella Settantanovemilasei
Via Cella Settantanovemilasette
Via Cella Settantanovemilaotto
Via Cella Settantanovemilanove
Via Cella Ottantamila
Via Cella Ottantamilauno
Via Cella Ottantamiladue
Via Cella Ottantamilatre
Via Cella Ottantamilaquattro
Via Cella Ottantamilacinque
Via Cella Ottantamilasei
Via Cella Ottantamilasette
Via Cella Ottantamilaotto
Via Cella Ottantamilanove
Via Cella Ottantunomila
Via Cella Ottantunomilauno
Via Cella Ottantunomiladue
Via Cella Ottantunomilatre
Via Cella Ottantunomilaquattro
Via Cella Ottantunomilacinque
Via Cella Ottantunomilasei
Via Cella Ottantunomilasette
Via Cella Ottantunomilaotto
Via Cella Ottantunomilanove
Via Cella Ottantaduemila
Via Cella Ottantaduemilauno
Via Cella Ottantaduemiladue
Via Cella Ottantaduemilatre
Via Cella Ottantaduemilaquattro
Via Cella Ottantaduemilacinque
Via Cella Ottantaduemilasei
Via Cella Ottantaduemilasette
Via Cella Ottantaduemilaotto
Via Cella Ottantaduemilanove
Via Cella Ottantatremila
Via Cella Ottantatremilauno
Via Cella Ottantatremiladue
Via Cella Ottantatremilatre
Via Cella Ottantatremilaquattro
Via Cella Ottantatremilacinque
Via Cella Ottantatremilasei
Via Cella Ottantatremilasette
Via Cella Ottantatremilaotto
Via Cella Ottantatremilanove
Via Cella Ottantaquattromila
Via Cella Ottantaquattromilauno
Via Cella Ottantaquattromiladue
Via Cella Ottantaquattromilatre
Via Cella Ottantaquattromilaquattro
Via Cella Ottantaquattromilacinque
Via Cella Ottantaquattromilasei
Via Cella Ottantaquattromilasette
Via Cella Ottantaquattromilaotto
Via Cella Ottantaquattromilanove
Via Cella Ottantacinquemila
Via Cella Ottantacinquemilauno
Via Cella Ottantacinquemiladue
Via Cella Ottantacinquemilatre
Via Cella Ottantacinquemilaquattro
Via Cella Ottantacinquemilacinque
Via Cella Ottantacinquemilasei
Via Cella Ottantacinquemilasette
Via Cella Ottantacinquemilaotto
Via Cella Ottantacinquemilanove
Via Cella Ottantaseimila
Via Cella Ottantaseimilauno
Via Cella Ottantaseimiladue
Via Cella Ottantaseimilatre
Via Cella Ottantaseimilaquattro
Via Cella Ottantaseimilacinque
Via Cella Ottantaseimilasei
Via Cella Ottantaseimilasette
Via Cella Ottantaseimilaotto
Via Cella Ottantaseimilanove
Via Cella Ottantasettemila
Via Cella Ottantasettemilauno
Via Cella Ottantasettemiladue
Via Cella Ottantasettemilatre
Via Cella Ottantasettemilaquattro



cant. D3 Imola
Scala 1:2000

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 1
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 14-3-98

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.33	-	-
0.60	8.0	18.0	-	16	1.47	11	-
0.80	9.0	20.0	-	18	1.33	14	-
1.00	10.0	20.0	-	20	1.73	12	-
1.20	9.0	22.0	-	18	1.33	14	-
1.40	10.0	20.0	-	20	2.00	10	-
1.60	9.0	24.0	-	18	1.33	14	-
1.80	25.0	35.0	-	50	2.00	25	-
2.00	18.0	33.0	-	36	2.27	16	-
2.20	15.0	32.0	-	30	1.33	23	-
2.40	18.0	28.0	-	36	1.33	27	-
2.60	20.0	30.0	-	40	1.87	21	-
2.80	20.0	34.0	-	40	0.93	43	-
3.00	13.0	20.0	-	26	0.53	49	-
3.20	12.0	16.0	-	24	1.07	22	-
3.40	8.0	16.0	-	16	0.27	60	-
3.60	12.0	14.0	-	24	1.20	20	-
3.80	15.0	24.0	-	30	0.93	32	-
4.00	14.0	21.0	-	28	1.07	26	-
4.20	12.0	20.0	-	24	0.93	26	-
4.40	12.0	19.0	-	24	0.93	26	-
4.60	15.0	22.0	-	30	1.20	25	-
4.80	10.0	19.0	-	20	1.20	17	-
5.00	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
5.20	10.0	20.0	-	20	1.20	17	-
5.40	13.0	22.0	-	26	2.67	10	-
5.60	100.0	120.0	-	200	2.67	75	-
5.80	80.0	100.0	-	160	5.33	30	-
6.00	80.0	120.0	-	160	5.33	30	-
6.20	150.0	190.0	-	300	5.33	56	-
6.40	170.0	210.0	-	340	5.33	64	-
6.60	190.0	230.0	-	380	9.33	41	-
6.80	230.0	300.0	-	460	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 2
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 14-3-98

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.53	-	-
0.60	4.0	8.0	-	8	0.53	15	-
0.80	9.0	13.0	-	18	1.47	12	-
1.00	8.0	19.0	-	16	1.60	10	-
1.20	8.0	20.0	-	16	1.20	13	-
1.40	8.0	17.0	-	16	1.20	13	-
1.60	6.0	15.0	-	12	1.33	9	-
1.80	6.0	16.0	-	12	0.80	15	-
2.00	8.0	14.0	-	16	0.93	17	-
2.20	7.0	14.0	-	14	0.67	21	-
2.40	7.0	12.0	-	14	0.80	18	-
2.60	6.0	12.0	-	12	0.53	22	-
2.80	7.0	11.0	-	14	0.67	21	-
3.00	7.0	12.0	-	14	0.53	26	-
3.20	8.0	12.0	-	16	0.53	30	-
3.40	10.0	14.0	-	20	0.67	30	-
3.60	9.0	14.0	-	18	0.80	23	-
3.80	12.0	18.0	-	24	0.93	26	-
4.00	12.0	19.0	-	24	0.93	26	-
4.20	12.0	19.0	-	24	1.20	20	-
4.40	13.0	22.0	-	26	1.20	22	-
4.60	16.0	25.0	-	32	1.33	24	-
4.80	15.0	25.0	-	30	1.33	23	-
5.00	18.0	28.0	-	36	1.07	34	-
5.20	14.0	22.0	-	28	2.67	11	-
5.40	100.0	120.0	-	200	4.00	50	-
5.60	90.0	120.0	-	180	2.67	68	-
5.80	150.0	170.0	-	300	2.67	113	-
6.00	190.0	210.0	-	380	4.00	95	-
6.20	200.0	230.0	-	400	5.33	75	-
6.40	170.0	210.0	-	340	5.33	64	-
6.60	150.0	190.0	-	300	4.00	75	-
6.80	170.0	200.0	-	340	2.67	128	-
7.00	190.0	210.0	-	380	-	-	-

Studio Geologico-Geotecnico Dr.LUIGI BERNARDI - Crespano d.G. - Tel.0423-53271 Rifer. : IMOLA-3

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 3
TABELLE VALORI RESISTENZA
RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 14-3-98

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.47	-	-
0.60	8.0	19.0	-	16	1.60	10	-
0.80	7.0	19.0	-	14	1.20	12	-
1.00	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
1.20	15.0	25.0	-	30	1.60	19	-
1.40	12.0	24.0	-	24	2.00	12	-
1.60	15.0	30.0	-	30	2.00	15	-
1.80	15.0	30.0	-	30	1.73	17	-
2.00	11.0	24.0	-	22	1.07	21	-
2.20	8.0	16.0	-	16	0.93	17	-
2.40	9.0	16.0	-	18	1.33	14	-
2.60	10.0	20.0	-	20	1.07	19	-
2.80	9.0	17.0	-	18	1.07	17	-
3.00	8.0	16.0	-	16	1.07	15	-
3.20	16.0	24.0	-	32	0.93	34	-
3.40	16.0	23.0	-	32	0.93	34	-
3.60	11.0	18.0	-	22	0.53	41	-
3.80	12.0	16.0	-	24	0.80	30	-
4.00	14.0	20.0	-	28	0.67	42	-
4.20	17.0	22.0	-	34	0.93	36	-
4.40	15.0	22.0	-	30	1.07	28	-
4.60	14.0	22.0	-	28	0.80	35	-
4.80	15.0	21.0	-	30	1.07	28	-
5.00	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
5.20	13.0	20.0	-	26	0.80	33	-
5.40	12.0	18.0	-	24	0.80	30	-
5.60	15.0	21.0	-	30	0.80	38	-
5.80	14.0	20.0	-	28	1.20	23	-
6.00	15.0	24.0	-	30	1.07	28	-
6.20	14.0	22.0	-	28	2.67	11	-
6.40	80.0	100.0	-	160	4.00	40	-
6.60	120.0	150.0	-	240	5.33	45	-
6.80	170.0	210.0	-	340	5.33	64	-
7.00	150.0	190.0	-	300	5.33	56	-
7.20	210.0	250.0	-	420	8.00	53	-
7.40	250.0	310.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 4
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-	-
0.60	15.0	22.0	-	30	1.07	28	-	-
0.80	20.0	28.0	-	40	2.27	18	-	-
1.00	23.0	40.0	-	46	2.00	23	-	-
1.20	27.0	42.0	-	54	3.07	18	-	-
1.40	22.0	45.0	-	44	3.33	13	-	-
1.60	25.0	50.0	-	50	1.87	27	-	-
1.80	28.0	42.0	-	56	2.40	23	-	-
2.00	18.0	36.0	-	36	1.47	25	-	-
2.20	17.0	28.0	-	34	0.67	51	-	-
2.40	16.0	21.0	-	32	0.80	40	-	-
2.60	20.0	26.0	-	40	1.73	23	-	-
2.80	19.0	32.0	-	38	1.33	29	-	-
3.00	18.0	28.0	-	36	1.07	34	-	-
3.20	19.0	27.0	-	38	0.93	41	-	-
3.40	12.0	19.0	-	24	0.67	36	-	-
3.60	15.0	20.0	-	30	1.20	25	-	-
3.80	13.0	22.0	-	26	1.60	16	-	-
4.00	12.0	24.0	-	24	1.20	20	-	-
4.20	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-	-
4.40	12.0	22.0	-	24	0.80	30	-	-
4.60	15.0	21.0	-	30	1.20	25	-	-
4.80	13.0	22.0	-	26	1.07	24	-	-
5.00	10.0	18.0	-	20	1.33	15	-	-
5.20	25.0	35.0	-	50	2.67	19	-	-
5.40	50.0	70.0	-	100	5.33	19	-	-
5.60	80.0	120.0	-	160	5.33	30	-	-
5.80	150.0	190.0	-	300	4.00	75	-	-
6.00	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-	-
6.20	210.0	250.0	-	420	6.67	63	-	-
6.40	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-	-
6.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-	-

Studio Geologico-Geotecnico Dr.LUIGI BERNARDI - Crespano d.G. - Tel.0423-53271

Rifer. : IMOLA-5

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 5
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-	
0.60	13.0	20.0	-	26	1.60	16	-	
0.80	19.0	31.0	-	38	2.80	14	-	
1.00	24.0	45.0	-	48	3.33	14	-	
1.20	20.0	45.0	-	40	2.27	18	-	
1.40	18.0	35.0	-	36	3.20	11	-	
1.60	21.0	45.0	-	42	2.53	17	-	
1.80	21.0	40.0	-	42	1.20	35	-	
2.00	16.0	25.0	-	32	1.87	17	-	
2.20	15.0	29.0	-	30	1.33	23	-	
2.40	16.0	26.0	-	32	1.47	22	-	
2.60	17.0	28.0	-	34	1.87	18	-	
2.80	14.0	28.0	-	28	0.67	42	-	
3.00	15.0	20.0	-	30	1.07	28	-	
3.20	10.0	18.0	-	20	0.80	25	-	
3.40	12.0	18.0	-	24	1.20	20	-	
3.60	12.0	21.0	-	24	0.93	26	-	
3.80	15.0	22.0	-	30	1.07	28	-	
4.00	16.0	24.0	-	32	1.73	18	-	
4.20	13.0	26.0	-	26	1.60	16	-	
4.40	12.0	24.0	-	24	1.60	15	-	
4.60	12.0	24.0	-	24	0.93	26	-	
4.80	11.0	18.0	-	22	2.00	11	-	
5.00	15.0	30.0	-	30	4.00	8	-	
5.20	70.0	100.0	-	140	5.33	26	-	
5.40	110.0	150.0	-	220	5.33	41	-	
5.60	130.0	170.0	-	260	6.67	39	-	
5.80	200.0	250.0	-	400	6.67	60	-	
6.00	250.0	300.0	-	500	-	-	-	

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 6
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.80	-	-
0.60	16.0	22.0	-	32	2.00	16	-
0.80	25.0	40.0	-	50	1.73	29	-
1.00	32.0	45.0	-	64	3.73	17	-
1.20	32.0	60.0	-	64	3.07	21	-
1.40	22.0	45.0	-	44	0.93	47	-
1.60	25.0	32.0	-	50	1.33	38	-
1.80	18.0	28.0	-	36	1.87	19	-
2.00	12.0	26.0	-	24	1.20	20	-
2.20	12.0	21.0	-	24	1.47	16	-
2.40	13.0	24.0	-	26	0.40	65	-
2.60	17.0	20.0	-	34	1.60	21	-
2.80	13.0	25.0	-	26	0.53	49	-
3.00	12.0	16.0	-	24	1.20	20	-
3.20	13.0	22.0	-	26	0.80	33	-
3.40	12.0	18.0	-	24	1.33	18	-
3.60	8.0	18.0	-	16	1.07	15	-
3.80	8.0	16.0	-	16	0.93	17	-
4.00	8.0	15.0	-	16	1.20	13	-
4.20	9.0	18.0	-	18	1.20	15	-
4.40	9.0	18.0	-	18	0.67	27	-
4.60	15.0	20.0	-	30	1.07	28	-
4.80	15.0	23.0	-	30	1.07	28	-
5.00	12.0	20.0	-	24	1.07	22	-
5.20	10.0	18.0	-	20	2.27	9	-
5.40	18.0	35.0	-	36	1.33	27	-
5.60	40.0	50.0	-	80	4.00	20	-
5.80	70.0	100.0	-	140	2.00	70	-
6.00	35.0	50.0	-	70	2.67	26	-
6.20	80.0	100.0	-	160	2.67	60	-
6.40	50.0	70.0	-	100	1.33	75	-
6.60	40.0	50.0	-	80	1.87	43	-
6.80	8.0	22.0	-	16	4.00	4	-
7.00	70.0	100.0	-	140	2.67	53	-
7.20	150.0	170.0	-	300	6.67	45	-
7.40	200.0	250.0	-	400	8.00	50	-
7.60	210.0	270.0	-	420	6.67	63	-
7.80	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
8.00	300.0	350.0	-	600	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 7
TABELLE VALORI RESISTENZA

RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.07	-	-
0.80	12.0	20.0	-	24	1.07	22	-
1.00	14.0	22.0	-	28	1.73	16	-
1.20	13.0	26.0	-	26	2.13	12	-
1.40	16.0	32.0	-	32	2.40	13	-
1.60	22.0	40.0	-	44	3.33	13	-
1.80	15.0	40.0	-	30	3.33	9	-
2.00	13.0	38.0	-	26	1.87	14	-
2.20	19.0	33.0	-	38	2.40	16	-
2.40	15.0	33.0	-	30	2.13	14	-
2.60	16.0	32.0	-	32	1.60	20	-
2.80	12.0	24.0	-	24	1.20	20	-
3.00	11.0	20.0	-	22	0.93	24	-
3.20	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
3.40	9.0	18.0	-	18	1.20	15	-
3.60	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
3.80	11.0	19.0	-	22	1.07	21	-
4.00	12.0	20.0	-	24	1.33	18	-
4.20	11.0	21.0	-	22	1.20	18	-
4.40	11.0	20.0	-	22	1.33	17	-
4.60	11.0	21.0	-	22	1.47	15	-
4.80	15.0	26.0	-	30	1.60	19	-
5.00	14.0	26.0	-	28	1.33	21	-
5.20	14.0	24.0	-	28	1.47	19	-
5.40	11.0	22.0	-	22	0.80	28	-
5.60	11.0	17.0	-	22	1.07	21	-
5.80	8.0	16.0	-	16	0.67	24	-
6.00	8.0	13.0	-	16	0.53	30	-
6.20	9.0	13.0	-	18	0.93	19	-
6.40	12.0	19.0	-	24	1.20	20	-
6.60	13.0	22.0	-	26	1.33	20	-
6.80	16.0	26.0	-	32	1.07	30	-
7.00	12.0	20.0	-	24	2.67	9	-
7.20	50.0	70.0	-	100	4.00	25	-
7.40	170.0	200.0	-	340	4.00	85	-
7.60	200.0	230.0	-	400	6.67	60	-
7.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 8
TABELLE VALORI RESISTENZA

R2-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	2.00	-	-
0.60	30.0	45.0	-	60	1.07	56	-
0.80	37.0	45.0	-	74	6.67	11	-
1.00	50.0	100.0	-	100	6.67	15	-
1.20	60.0	110.0	-	120	5.33	23	-
1.40	40.0	80.0	-	80	3.60	22	-
1.60	18.0	45.0	-	36	2.00	18	-
1.80	20.0	35.0	-	40	2.27	18	-
2.00	19.0	36.0	-	38	1.73	22	-
2.20	17.0	30.0	-	34	1.07	32	-
2.40	11.0	19.0	-	22	1.07	21	-
2.60	13.0	21.0	-	26	0.93	28	-
2.80	12.0	19.0	-	24	1.07	22	-
3.00	10.0	18.0	-	20	0.67	30	-
3.20	15.0	20.0	-	30	0.80	38	-
3.40	11.0	17.0	-	22	1.07	21	-
3.60	12.0	20.0	-	24	1.07	22	-
3.80	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-
4.00	8.0	17.0	-	16	0.67	24	-
4.20	11.0	16.0	-	22	0.80	28	-
4.40	9.0	15.0	-	18	0.93	19	-
4.60	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-
4.80	14.0	21.0	-	28	1.20	23	-
5.00	12.0	21.0	-	24	1.07	22	-
5.20	13.0	21.0	-	26	1.47	18	-
5.40	21.0	32.0	-	42	3.20	13	-
5.60	21.0	45.0	-	42	1.33	32	-
5.80	40.0	50.0	-	80	1.87	43	-
6.00	28.0	42.0	-	56	4.00	14	-
6.20	60.0	90.0	-	120	4.00	30	-
6.40	170.0	200.0	-	340	2.67	128	-
6.60	190.0	210.0	-	380	6.67	57	-
6.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 9
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.67	-	-
0.60	5.0	10.0	-	10	1.07	9	-
0.80	15.0	23.0	-	30	1.47	20	-
1.00	20.0	31.0	-	40	2.00	20	-
1.20	19.0	34.0	-	38	2.93	13	-
1.40	18.0	40.0	-	36	1.87	19	-
1.60	17.0	31.0	-	34	1.73	20	-
1.80	13.0	26.0	-	26	1.33	20	-
2.00	15.0	25.0	-	30	1.47	20	-
2.20	21.0	32.0	-	42	0.93	45	-
2.40	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-
2.60	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
2.80	12.0	20.0	-	24	1.47	16	-
3.00	12.0	23.0	-	24	1.07	22	-
3.20	15.0	23.0	-	30	1.47	20	-
3.40	15.0	26.0	-	30	1.33	23	-
3.60	13.0	23.0	-	26	0.93	28	-
3.80	9.0	16.0	-	18	0.67	27	-
4.00	9.0	14.0	-	18	0.53	34	-
4.20	8.0	12.0	-	16	2.67	6	-
4.40	80.0	100.0	-	160	6.67	24	-
4.60	150.0	200.0	-	300	5.33	56	-
4.80	170.0	210.0	-	340	9.99	34	-
5.00	170.0	250.0	-	340	6.67	51	-
5.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 10
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	0.40	-	-
0.60	15.0	18.0	-		30	1.20	25	-
0.80	16.0	25.0	-		32	2.27	14	-
1.00	19.0	36.0	-		38	1.60	24	-
1.20	18.0	30.0	-		36	1.47	25	-
1.40	15.0	26.0	-		30	1.60	19	-
1.60	15.0	27.0	-		30	1.07	28	-
1.80	12.0	20.0	-		24	0.93	26	-
2.00	12.0	19.0	-		24	1.20	20	-
2.20	9.0	18.0	-		18	1.07	17	-
2.40	9.0	17.0	-		18	0.80	23	-
2.60	12.0	18.0	-		24	0.53	45	-
2.80	12.0	16.0	-		24	0.80	30	-
3.00	12.0	18.0	-		24	0.53	45	-
3.20	11.0	15.0	-		22	0.67	33	-
3.40	12.0	17.0	-		24	0.80	30	-
3.60	15.0	21.0	-		30	1.07	28	-
3.80	15.0	23.0	-		30	0.80	38	-
4.00	18.0	24.0	-		36	1.47	25	-
4.20	14.0	25.0	-		28	0.93	30	-
4.40	14.0	21.0	-		28	2.00	14	-
4.60	30.0	45.0	-		60	4.00	15	-
4.80	170.0	200.0	-		340	6.67	51	-
5.00	250.0	300.0	-		500	2.67	188	-
5.20	190.0	210.0	-		380	6.67	57	-
5.40	200.0	250.0	-		400	6.67	60	-
5.60	250.0	300.0	-		500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 11
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.67	-	-
0.60	5.0	10.0	-	10	0.93	11	-
0.80	17.0	24.0	-	34	1.73	20	-
1.00	16.0	29.0	-	32	2.27	14	-
1.20	17.0	34.0	-	34	2.00	17	-
1.40	15.0	30.0	-	30	1.87	16	-
1.60	14.0	28.0	-	28	1.33	21	-
1.80	15.0	25.0	-	30	1.60	19	-
2.00	15.0	27.0	-	30	0.93	32	-
2.20	13.0	20.0	-	26	0.80	33	-
2.40	11.0	17.0	-	22	1.33	17	-
2.60	12.0	22.0	-	24	0.93	26	-
2.80	9.0	16.0	-	18	0.80	23	-
3.00	11.0	17.0	-	22	0.93	24	-
3.20	15.0	22.0	-	30	1.47	20	-
3.40	15.0	26.0	-	30	1.47	20	-
3.60	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
3.80	18.0	27.0	-	36	1.33	27	-
4.00	18.0	28.0	-	36	1.60	23	-
4.20	14.0	26.0	-	28	1.07	26	-
4.40	12.0	20.0	-	24	2.00	12	-
4.60	35.0	50.0	-	70	2.67	26	-
4.80	80.0	100.0	-	160	4.00	40	-
5.00	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
5.20	150.0	190.0	-	300	2.67	113	-
5.40	190.0	210.0	-	380	6.67	57	-
5.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 12
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.53	-	-
0.60	4.0	8.0	-	8	0.93	9	-
0.80	11.0	18.0	-	22	1.60	14	-
1.00	15.0	27.0	-	30	2.53	12	-
1.20	13.0	32.0	-	26	1.87	14	-
1.40	21.0	35.0	-	42	1.87	23	-
1.60	21.0	35.0	-	42	2.53	17	-
1.80	14.0	33.0	-	28	2.13	13	-
2.00	13.0	29.0	-	26	0.93	28	-
2.20	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-
2.40	12.0	19.0	-	24	1.47	16	-
2.60	10.0	21.0	-	20	1.07	19	-
2.80	11.0	19.0	-	22	0.80	28	-
3.00	14.0	20.0	-	28	1.20	23	-
3.20	13.0	22.0	-	26	0.80	33	-
3.40	13.0	19.0	-	26	1.20	22	-
3.60	15.0	24.0	-	30	1.07	28	-
3.80	21.0	29.0	-	42	1.60	26	-
4.00	9.0	21.0	-	18	0.93	19	-
4.20	7.0	14.0	-	14	0.67	21	-
4.40	6.0	11.0	-	12	0.80	15	-
4.60	7.0	13.0	-	14	2.67	5	-
4.80	60.0	80.0	-	120	2.67	45	-
5.00	150.0	170.0	-	300	4.00	75	-
5.20	200.0	230.0	-	400	8.00	50	-
5.40	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-
5.60	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
5.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 13
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.53	-	-	-
0.60	21.0	25.0	-	42	0.67	63	-	-
0.80	25.0	30.0	-	50	1.20	42	-	-
1.00	21.0	30.0	-	42	1.60	26	-	-
1.20	28.0	40.0	-	56	1.33	42	-	-
1.40	40.0	50.0	-	80	2.67	30	-	-
1.60	50.0	70.0	-	100	2.80	36	-	-
1.80	24.0	45.0	-	48	2.40	20	-	-
2.00	18.0	36.0	-	36	2.67	14	-	-
2.20	16.0	36.0	-	32	0.80	40	-	-
2.40	12.0	18.0	-	24	1.07	22	-	-
2.60	13.0	21.0	-	26	0.53	49	-	-
2.80	17.0	21.0	-	34	1.07	32	-	-
3.00	14.0	22.0	-	28	0.80	35	-	-
3.20	15.0	21.0	-	30	0.93	32	-	-
3.40	16.0	23.0	-	32	1.33	24	-	-
3.60	15.0	25.0	-	30	1.47	20	-	-
3.80	18.0	29.0	-	36	1.47	25	-	-
4.00	21.0	32.0	-	42	1.47	29	-	-
4.20	23.0	34.0	-	46	2.40	19	-	-
4.40	12.0	30.0	-	24	1.20	20	-	-
4.60	10.0	19.0	-	20	1.60	13	-	-
4.80	10.0	22.0	-	20	1.33	15	-	-
5.00	40.0	50.0	-	80	2.67	30	-	-
5.20	80.0	100.0	-	160	4.00	40	-	-
5.40	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-	-
5.60	210.0	250.0	-	420	4.00	105	-	-
5.80	270.0	300.0	-	540	-	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 14
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.07	-	-
0.60	12.0	20.0	-	24	1.60	15	-
0.80	12.0	24.0	-	24	2.00	12	-
1.00	11.0	26.0	-	22	1.47	15	-
1.20	22.0	33.0	-	44	2.67	17	-
1.40	30.0	50.0	-	60	3.60	17	-
1.60	33.0	60.0	-	66	4.13	16	-
1.80	29.0	60.0	-	58	2.53	23	-
2.00	21.0	40.0	-	42	2.13	20	-
2.20	16.0	32.0	-	32	1.60	20	-
2.40	13.0	25.0	-	26	1.20	22	-
2.60	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
2.80	14.0	22.0	-	28	0.27	105	-
3.00	13.0	15.0	-	26	0.93	28	-
3.20	13.0	20.0	-	26	0.67	39	-
3.40	17.0	22.0	-	34	0.67	51	-
3.60	15.0	20.0	-	30	1.33	23	-
3.80	13.0	23.0	-	26	1.07	24	-
4.00	19.0	27.0	-	38	1.60	24	-
4.20	18.0	30.0	-	36	1.20	30	-
4.40	21.0	30.0	-	42	1.20	35	-
4.60	14.0	23.0	-	28	0.80	35	-
4.80	10.0	16.0	-	20	0.93	21	-
5.00	10.0	17.0	-	20	2.67	8	-
5.20	70.0	90.0	-	140	4.00	35	-
5.40	200.0	230.0	-	400	5.33	75	-
5.60	210.0	250.0	-	420	6.67	63	-
5.80	250.0	300.0	-	500	5.33	94	-
6.00	270.0	310.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 15
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60') - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.07	-	-
0.60	11.0	19.0	-	22	1.07	21	-
0.80	22.0	30.0	-	44	2.53	17	-
1.00	24.0	43.0	-	48	2.00	24	-
1.20	30.0	45.0	-	60	2.53	24	-
1.40	26.0	45.0	-	52	2.93	18	-
1.60	20.0	42.0	-	40	2.53	16	-
1.80	16.0	35.0	-	32	1.87	17	-
2.00	14.0	28.0	-	28	1.47	19	-
2.20	15.0	26.0	-	30	1.07	28	-
2.40	13.0	21.0	-	26	1.60	16	-
2.60	12.0	24.0	-	24	0.80	30	-
2.80	10.0	16.0	-	20	0.67	30	-
3.00	13.0	18.0	-	26	0.93	28	-
3.20	10.0	17.0	-	20	1.20	17	-
3.40	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
3.60	15.0	23.0	-	30	1.20	25	-
3.80	19.0	28.0	-	38	1.47	26	-
4.00	17.0	28.0	-	34	1.47	23	-
4.20	17.0	28.0	-	34	1.20	28	-
4.40	16.0	25.0	-	32	1.47	22	-
4.60	12.0	23.0	-	24	1.07	22	-
4.80	7.0	15.0	-	14	0.80	18	-
5.00	7.0	13.0	-	14	0.67	21	-
5.20	10.0	15.0	-	20	6.67	3	-
5.40	150.0	200.0	-	300	5.33	56	-
5.60	170.0	210.0	-	340	6.67	51	-
5.80	250.0	300.0	-	500	4.00	125	-
6.00	270.0	300.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 16
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.40	-	-
0.60	5.0	8.0	-	10	0.80	13	-
0.80	12.0	18.0	-	24	1.47	16	-
1.00	19.0	30.0	-	38	2.67	14	-
1.20	15.0	35.0	-	30	2.40	12	-
1.40	17.0	35.0	-	34	2.93	12	-
1.60	15.0	37.0	-	30	2.40	12	-
1.80	22.0	40.0	-	44	2.13	21	-
2.00	19.0	35.0	-	38	1.73	22	-
2.20	13.0	26.0	-	26	1.20	22	-
2.40	13.0	22.0	-	26	0.93	28	-
2.60	13.0	20.0	-	26	0.80	33	-
2.80	13.0	19.0	-	26	0.53	49	-
3.00	11.0	15.0	-	22	0.67	33	-
3.20	12.0	17.0	-	24	0.67	36	-
3.40	11.0	16.0	-	22	1.07	21	-
3.60	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
3.80	13.0	20.0	-	26	0.93	28	-
4.00	11.0	18.0	-	22	0.80	28	-
4.20	11.0	17.0	-	22	0.80	28	-
4.40	11.0	17.0	-	22	1.07	21	-
4.60	13.0	21.0	-	26	1.07	24	-
4.80	12.0	20.0	-	24	1.33	18	-
5.00	11.0	21.0	-	22	1.33	17	-
5.20	14.0	24.0	-	28	1.33	21	-
5.40	14.0	24.0	-	28	1.47	19	-
5.60	22.0	33.0	-	44	4.00	11	-
5.80	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-
6.00	200.0	250.0	-	400	8.00	50	-
6.20	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-
6.40	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
6.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 17
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begenann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Inola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.20	-	-	-
0.60	9.0	18.0	-	18	1.07	17	-	-
0.80	18.0	26.0	-	36	1.73	21	-	-
1.00	25.0	38.0	-	50	2.40	21	-	-
1.20	32.0	50.0	-	64	2.67	24	-	-
1.40	25.0	45.0	-	50	2.80	18	-	-
1.60	14.0	35.0	-	28	3.07	9	-	-
1.80	22.0	45.0	-	44	2.67	17	-	-
2.00	20.0	40.0	-	40	2.00	20	-	-
2.20	15.0	30.0	-	30	1.33	23	-	-
2.40	15.0	25.0	-	30	0.93	32	-	-
2.60	14.0	21.0	-	28	0.40	70	-	-
2.80	12.0	15.0	-	24	0.53	45	-	-
3.00	10.0	14.0	-	20	0.53	37	-	-
3.20	11.0	15.0	-	22	0.53	41	-	-
3.40	11.0	15.0	-	22	0.67	33	-	-
3.60	12.0	17.0	-	24	0.93	26	-	-
3.80	13.0	20.0	-	26	0.67	39	-	-
4.00	15.0	20.0	-	30	0.80	38	-	-
4.20	10.0	16.0	-	20	0.80	25	-	-
4.40	9.0	15.0	-	18	0.67	27	-	-
4.60	10.0	15.0	-	20	0.67	30	-	-
4.80	17.0	22.0	-	34	1.60	21	-	-
5.00	11.0	23.0	-	22	1.20	18	-	-
5.20	9.0	18.0	-	18	2.67	7	-	-
5.40	50.0	70.0	-	100	6.67	15	-	-
5.60	100.0	150.0	-	200	4.00	50	-	-
5.80	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-	-
6.00	200.0	250.0	-	400	2.67	150	-	-
6.20	250.0	270.0	-	500	4.00	125	-	-
6.40	270.0	300.0	-	540	-	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 18
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-
0.60	8.0	15.0	-	16	1.07	15	-
0.80	22.0	30.0	-	44	1.60	28	-
1.00	18.0	30.0	-	36	1.60	23	-
1.20	18.0	30.0	-	36	2.27	16	-
1.40	19.0	36.0	-	38	2.80	14	-
1.60	24.0	45.0	-	48	3.33	14	-
1.80	25.0	50.0	-	50	2.13	23	-
2.00	24.0	40.0	-	48	1.60	30	-
2.20	18.0	30.0	-	36	2.13	17	-
2.40	13.0	29.0	-	26	0.93	28	-
2.60	18.0	25.0	-	36	1.20	30	-
2.80	12.0	21.0	-	24	0.67	36	-
3.00	14.0	19.0	-	28	0.53	52	-
3.20	13.0	17.0	-	26	0.27	97	-
3.40	14.0	16.0	-	28	1.07	26	-
3.60	10.0	18.0	-	20	1.47	14	-
3.80	12.0	23.0	-	24	1.33	18	-
4.00	12.0	22.0	-	24	0.93	26	-
4.20	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
4.40	14.0	22.0	-	28	1.47	19	-
4.60	14.0	25.0	-	28	1.07	26	-
4.80	14.0	22.0	-	28	1.20	23	-
5.00	8.0	17.0	-	16	0.67	24	-
5.20	7.0	12.0	-	14	0.53	26	-
5.40	11.0	15.0	-	22	4.00	6	-
5.60	170.0	200.0	-	340	8.00	43	-
5.80	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-
6.00	230.0	280.0	-	460	6.67	69	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 19
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	0.93	-	-
0.60	8.0	15.0	-		16	0.67	24	-
0.80	17.0	22.0	-		34	1.20	28	-
1.00	18.0	27.0	-		36	2.00	18	-
1.20	18.0	33.0	-		36	2.80	13	-
1.40	24.0	45.0	-		48	2.93	16	-
1.60	18.0	40.0	-		36	3.60	10	-
1.80	13.0	40.0	-		26	2.27	11	-
2.00	21.0	38.0	-		42	2.40	18	-
2.20	15.0	33.0	-		30	1.87	16	-
2.40	18.0	32.0	-		36	1.47	25	-
2.60	12.0	23.0	-		24	0.80	30	-
2.80	8.0	14.0	-		16	0.67	24	-
3.00	9.0	14.0	-		18	0.53	34	-
3.20	10.0	14.0	-		20	0.53	37	-
3.40	11.0	15.0	-		22	0.80	28	-
3.60	12.0	18.0	-		24	1.33	18	-
3.80	12.0	22.0	-		24	1.33	18	-
4.00	13.0	23.0	-		26	1.60	16	-
4.20	15.0	27.0	-		30	1.60	19	-
4.40	16.0	28.0	-		32	1.33	24	-
4.60	16.0	26.0	-		32	1.87	17	-
4.80	17.0	31.0	-		34	1.73	20	-
5.00	16.0	29.0	-		32	1.73	18	-
5.20	17.0	30.0	-		34	1.60	21	-
5.40	18.0	30.0	-		36	2.00	18	-
5.60	15.0	30.0	-		30	1.87	16	-
5.80	14.0	28.0	-		28	1.87	15	-
6.00	13.0	27.0	-		26	1.73	15	-
6.20	27.0	40.0	-		54	2.67	20	-
6.40	50.0	70.0	-		100	2.67	38	-
6.60	40.0	60.0	-		80	2.67	30	-
6.80	40.0	60.0	-		80	4.00	20	-
7.00	170.0	200.0	-		340	5.33	64	-
7.20	150.0	190.0	-		300	2.67	113	-
7.40	190.0	210.0	-		380	6.67	57	-
7.60	250.0	300.0	-		500	4.00	125	-
7.80	270.0	300.0	-		540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 20
TABELLE VALORI RESISTENZA R2-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie quota inizio : piano campagna
Località : Imola prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	-	-	-
0.60	-	-	-		-	0.93	-	-
0.80	13.0	20.0	-		26	0.67	39	-
1.00	17.0	22.0	-		34	0.80	43	-
1.20	17.0	23.0	-		34	2.27	15	-
1.40	20.0	37.0	-		40	2.93	14	-
1.60	23.0	45.0	-		46	2.93	16	-
1.80	18.0	40.0	-		36	2.67	14	-
2.00	20.0	40.0	-		40	2.13	19	-
2.20	18.0	34.0	-		36	2.00	18	-
2.40	15.0	30.0	-		30	1.47	20	-
2.60	16.0	27.0	-		32	2.00	16	-
2.80	15.0	30.0	-		30	1.73	17	-
3.00	13.0	26.0	-		26	0.53	49	-
3.20	18.0	22.0	-		36	0.93	39	-
3.40	16.0	23.0	-		32	0.93	34	-
3.60	11.0	18.0	-		22	1.07	21	-
3.80	12.0	20.0	-		24	0.93	26	-
4.00	13.0	20.0	-		26	1.20	22	-
4.20	15.0	24.0	-		30	1.47	20	-
4.40	18.0	29.0	-		36	1.60	23	-
4.60	20.0	32.0	-		40	1.73	23	-
4.80	21.0	34.0	-		42	2.13	20	-
5.00	18.0	34.0	-		36	1.33	27	-
5.20	15.0	25.0	-		30	1.87	16	-
5.40	12.0	26.0	-		24	0.93	26	-
5.60	10.0	17.0	-		20	1.07	19	-
5.80	22.0	30.0	-		44	1.60	28	-
6.00	10.0	22.0	-		20	2.67	8	-
6.20	30.0	50.0	-		60	2.67	23	-
6.40	30.0	50.0	-		60	4.00	15	-
6.60	80.0	110.0	-		160	5.33	30	-
6.80	130.0	170.0	-		260	4.00	65	-
7.00	170.0	200.0	-		340	6.67	51	-
7.20	250.0	300.0	-		500	4.00	125	-
7.40	270.0	300.0	-		540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 21
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 27-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.47	-	-
0.80	9.0	20.0	-	18	1.07	17	-
1.00	21.0	29.0	-	42	1.73	24	-
1.20	27.0	40.0	-	54	2.40	23	-
1.40	18.0	36.0	-	36	0.93	39	-
1.60	28.0	35.0	-	56	1.87	30	-
1.80	36.0	50.0	-	72	1.07	68	-
2.00	32.0	40.0	-	64	2.40	27	-
2.20	22.0	40.0	-	44	2.40	18	-
2.40	17.0	35.0	-	34	2.00	17	-
2.60	13.0	28.0	-	26	2.27	11	-
2.80	14.0	31.0	-	28	1.73	16	-
3.00	13.0	26.0	-	26	0.93	28	-
3.20	11.0	18.0	-	22	1.07	21	-
3.40	10.0	18.0	-	20	0.67	30	-
3.60	8.0	13.0	-	16	1.20	13	-
3.80	9.0	18.0	-	18	0.67	27	-
4.00	14.0	19.0	-	28	1.07	26	-
4.20	14.0	22.0	-	28	1.20	23	-
4.40	15.0	24.0	-	30	1.07	28	-
4.60	14.0	22.0	-	28	1.60	18	-
4.80	10.0	22.0	-	20	0.93	21	-
5.00	11.0	18.0	-	22	1.07	21	-
5.20	10.0	18.0	-	20	0.80	25	-
5.40	8.0	14.0	-	16	1.07	15	-
5.60	8.0	16.0	-	16	2.67	6	-
5.80	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-
6.00	30.0	50.0	-	60	4.00	15	-
6.20	170.0	200.0	-	340	6.67	51	-
6.40	200.0	250.0	-	400	5.33	75	-
6.60	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.80	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 22
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.60	-	-
0.80	14.0	26.0	-	28	1.60	18	-
1.00	23.0	35.0	-	46	2.67	17	-
1.20	20.0	40.0	-	40	2.53	16	-
1.40	17.0	36.0	-	34	2.93	12	-
1.60	18.0	40.0	-	36	2.80	13	-
1.80	9.0	30.0	-	18	1.87	10	-
2.00	14.0	28.0	-	28	1.73	16	-
2.20	13.0	26.0	-	26	2.00	13	-
2.40	17.0	32.0	-	34	1.33	26	-
2.60	18.0	28.0	-	36	1.87	19	-
2.80	15.0	29.0	-	30	1.20	25	-
3.00	15.0	24.0	-	30	1.60	19	-
3.20	17.0	29.0	-	34	1.07	32	-
3.40	14.0	22.0	-	28	1.73	16	-
3.60	17.0	30.0	-	34	1.47	23	-
3.80	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
4.00	14.0	23.0	-	28	1.47	19	-
4.20	20.0	31.0	-	40	1.60	25	-
4.40	12.0	24.0	-	24	1.07	22	-
4.60	10.0	18.0	-	20	0.67	30	-
4.80	13.0	18.0	-	26	0.27	97	-
5.00	13.0	15.0	-	26	0.93	28	-
5.20	13.0	20.0	-	26	0.67	39	-
5.40	11.0	16.0	-	22	0.80	28	-
5.60	12.0	18.0	-	24	2.13	11	-
5.80	18.0	34.0	-	36	4.00	9	-
6.00	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
6.20	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.40	250.0	300.0	-	500	9.99	50	-
6.60	270.0	350.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 23
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.93	-	-
0.80	5.0	12.0	-	10	0.93	11	-
1.00	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
1.20	18.0	27.0	-	36	2.00	18	-
1.40	21.0	36.0	-	42	1.60	26	-
1.60	28.0	40.0	-	56	2.93	19	-
1.80	23.0	45.0	-	46	2.27	20	-
2.00	18.0	35.0	-	36	2.93	12	-
2.20	23.0	45.0	-	46	1.47	31	-
2.40	16.0	27.0	-	32	1.33	24	-
2.60	14.0	24.0	-	28	0.80	35	-
2.80	12.0	18.0	-	24	0.67	36	-
3.00	12.0	17.0	-	24	0.67	36	-
3.20	10.0	15.0	-	20	0.67	30	-
3.40	9.0	14.0	-	18	0.67	27	-
3.60	14.0	19.0	-	28	0.80	35	-
3.80	12.0	18.0	-	24	0.80	30	-
4.00	14.0	20.0	-	28	1.07	26	-
4.20	16.0	24.0	-	32	1.60	20	-
4.40	18.0	30.0	-	36	1.33	27	-
4.60	15.0	25.0	-	30	1.20	25	-
4.80	14.0	23.0	-	28	1.47	19	-
5.00	10.0	21.0	-	20	1.07	19	-
5.20	8.0	16.0	-	16	0.67	24	-
5.40	5.0	10.0	-	10	0.67	15	-
5.60	7.0	12.0	-	14	2.67	5	-
5.80	60.0	80.0	-	120	6.67	18	-
6.00	150.0	200.0	-	300	8.00	38	-
6.20	170.0	230.0	-	340	6.67	51	-
6.40	250.0	300.0	-	500	6.67	75	-
6.60	270.0	320.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 24
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.47	-	-
0.80	15.0	26.0	-	30	2.00	15	-
1.00	15.0	30.0	-	30	2.67	11	-
1.20	16.0	36.0	-	32	2.40	13	-
1.40	27.0	45.0	-	54	3.33	16	-
1.60	25.0	50.0	-	50	4.00	13	-
1.80	30.0	60.0	-	60	4.00	15	-
2.00	30.0	60.0	-	60	2.93	20	-
2.20	23.0	45.0	-	46	3.33	14	-
2.40	15.0	40.0	-	30	2.40	12	-
2.60	14.0	32.0	-	28	2.27	12	-
2.80	17.0	34.0	-	34	1.20	28	-
3.00	13.0	22.0	-	26	1.47	18	-
3.20	11.0	22.0	-	22	1.33	17	-
3.40	11.0	21.0	-	22	1.07	21	-
3.60	10.0	18.0	-	20	0.93	21	-
3.80	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
4.00	14.0	23.0	-	28	1.73	16	-
4.20	17.0	30.0	-	34	1.73	20	-
4.40	18.0	31.0	-	36	1.87	19	-
4.60	14.0	28.0	-	28	1.60	18	-
4.80	16.0	28.0	-	32	1.73	18	-
5.00	13.0	26.0	-	26	1.47	18	-
5.20	11.0	22.0	-	22	1.33	17	-
5.40	30.0	40.0	-	60	2.67	23	-
5.60	60.0	80.0	-	120	4.00	30	-
5.80	100.0	130.0	-	200	8.00	25	-
6.00	150.0	210.0	-	300	8.00	38	-
6.20	170.0	230.0	-	340	6.67	51	-
6.40	150.0	200.0	-	300	6.67	45	-
6.60	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 25
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	2.13	-	-
0.80	14.0	30.0	-	28	1.73	16	-
1.00	18.0	31.0	-	36	2.13	17	-
1.20	16.0	32.0	-	32	2.67	12	-
1.40	17.0	37.0	-	34	3.20	11	-
1.60	11.0	35.0	-	22	2.53	9	-
1.80	16.0	35.0	-	32	1.60	20	-
2.00	15.0	27.0	-	30	1.60	19	-
2.20	20.0	32.0	-	40	2.00	20	-
2.40	18.0	33.0	-	36	2.00	18	-
2.60	20.0	35.0	-	40	2.27	18	-
2.80	18.0	35.0	-	36	1.73	21	-
3.00	14.0	27.0	-	28	1.33	21	-
3.20	12.0	22.0	-	24	1.47	16	-
3.40	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
3.60	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
3.80	12.0	20.0	-	24	1.20	20	-
4.00	13.0	22.0	-	26	1.73	15	-
4.20	14.0	27.0	-	28	1.60	18	-
4.40	12.0	24.0	-	24	1.60	15	-
4.60	12.0	24.0	-	24	1.20	20	-
4.80	14.0	23.0	-	28	1.20	23	-
5.00	11.0	20.0	-	22	1.07	21	-
5.20	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
5.40	12.0	19.0	-	24	0.80	30	-
5.60	24.0	30.0	-	48	2.67	18	-
5.80	60.0	80.0	-	120	4.00	30	-
6.00	170.0	200.0	-	340	-	-	-
6.20	250.0	190.0	-	500	9.99	50	-
6.40	210.0	300.0	-	420	5.33	79	-
6.60	270.0	310.0	-	540	5.33	101	-
6.80	270.0	310.0	-	540	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 26
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.80	-	-
0.80	5.0	11.0	-	10	1.07	9	-
1.00	11.0	19.0	-	22	2.27	10	-
1.20	20.0	37.0	-	40	2.27	18	-
1.40	18.0	35.0	-	36	2.67	14	-
1.60	20.0	40.0	-	40	2.00	20	-
1.80	17.0	32.0	-	34	1.73	20	-
2.00	23.0	36.0	-	46	2.67	17	-
2.20	16.0	36.0	-	32	1.73	18	-
2.40	16.0	29.0	-	32	0.67	48	-
2.60	15.0	20.0	-	30	1.20	25	-
2.80	14.0	23.0	-	28	1.20	23	-
3.00	13.0	22.0	-	26	1.20	22	-
3.20	11.0	20.0	-	22	0.80	28	-
3.40	12.0	18.0	-	24	0.93	26	-
3.60	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
3.80	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
4.00	19.0	26.0	-	38	1.73	22	-
4.20	15.0	28.0	-	30	1.73	17	-
4.40	13.0	26.0	-	26	1.60	16	-
4.60	11.0	23.0	-	22	1.20	18	-
4.80	17.0	26.0	-	34	1.73	20	-
5.00	13.0	26.0	-	26	2.67	10	-
5.20	80.0	100.0	-	160	2.67	60	-
5.40	110.0	130.0	-	220	4.00	55	-
5.60	170.0	200.0	-	340	8.00	43	-
5.80	190.0	250.0	-	380	6.67	57	-
6.00	230.0	280.0	-	460	6.67	69	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 27
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	0.80	-	-
0.80	8.0	14.0	-	16	1.20	13	-
1.00	17.0	26.0	-	34	2.13	16	-
1.20	19.0	35.0	-	38	2.67	14	-
1.40	14.0	34.0	-	28	3.33	8	-
1.60	11.0	36.0	-	22	1.73	13	-
1.80	11.0	24.0	-	22	1.33	17	-
2.00	24.0	34.0	-	48	1.87	26	-
2.20	21.0	35.0	-	42	1.87	23	-
2.40	20.0	34.0	-	40	1.60	25	-
2.60	17.0	29.0	-	34	0.80	43	-
2.80	19.0	25.0	-	38	1.47	26	-
3.00	17.0	28.0	-	34	1.07	32	-
3.20	14.0	22.0	-	28	0.93	30	-
3.40	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
3.60	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-
3.80	16.0	25.0	-	32	1.60	20	-
4.00	17.0	29.0	-	34	1.47	23	-
4.20	22.0	33.0	-	44	1.60	28	-
4.40	17.0	29.0	-	34	1.60	21	-
4.60	16.0	28.0	-	32	1.60	20	-
4.80	17.0	29.0	-	34	1.60	21	-
5.00	10.0	22.0	-	20	1.07	19	-
5.20	8.0	16.0	-	16	6.67	2	-
5.40	100.0	150.0	-	200	4.00	50	-
5.60	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
5.80	150.0	190.0	-	300	6.67	45	-
6.00	200.0	250.0	-	400	6.67	60	-
6.20	250.0	300.0	-	500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 28
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	-	0.40	-	-
0.80	5.0	8.0	-	10	1.07	9	-	
1.00	22.0	30.0	-	44	2.00	22	-	
1.20	25.0	40.0	-	50	3.20	16	-	
1.40	26.0	50.0	-	52	3.07	17	-	
1.60	17.0	40.0	-	34	2.40	14	-	
1.80	10.0	28.0	-	20	2.13	9	-	
2.00	18.0	34.0	-	36	2.27	16	-	
2.20	16.0	33.0	-	32	2.00	16	-	
2.40	20.0	35.0	-	40	2.13	19	-	
2.60	15.0	31.0	-	30	1.33	23	-	
2.80	19.0	29.0	-	38	1.73	22	-	
3.00	13.0	26.0	-	26	0.80	33	-	
3.20	15.0	21.0	-	30	1.07	28	-	
3.40	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-	
3.60	12.0	21.0	-	24	1.33	18	-	
3.80	15.0	25.0	-	30	1.73	17	-	
4.00	16.0	29.0	-	32	1.60	20	-	
4.20	14.0	26.0	-	28	1.20	23	-	
4.40	13.0	22.0	-	26	1.33	20	-	
4.60	6.0	16.0	-	12	0.67	18	-	
4.80	6.0	11.0	-	12	0.93	13	-	
5.00	7.0	14.0	-	14	4.00	4	-	
5.20	100.0	130.0	-	200	5.33	38	-	
5.40	150.0	190.0	-	300	5.33	56	-	
5.60	170.0	210.0	-	340	6.67	51	-	
5.80	200.0	250.0	-	400	6.67	60	-	
6.00	250.0	300.0	-	500	-	-	-	

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 29
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	-	-	-
0.60	-	-	-		-	0.40	-	-
0.80	5.0	8.0	-		10	0.67	15	-
1.00	9.0	14.0	-		18	2.00	9	-
1.20	15.0	30.0	-		30	2.40	12	-
1.40	22.0	40.0	-		44	3.07	14	-
1.60	17.0	40.0	-		34	2.67	13	-
1.80	20.0	40.0	-		40	3.33	12	-
2.00	15.0	40.0	-		30	1.60	19	-
2.20	25.0	37.0	-		50	2.53	20	-
2.40	19.0	38.0	-		38	1.87	20	-
2.60	16.0	30.0	-		32	1.60	20	-
2.80	16.0	28.0	-		32	1.20	27	-
3.00	12.0	21.0	-		24	1.07	22	-
3.20	12.0	20.0	-		24	0.67	36	-
3.40	14.0	19.0	-		28	0.93	30	-
3.60	11.0	18.0	-		22	0.80	28	-
3.80	11.0	17.0	-		22	1.07	21	-
4.00	15.0	23.0	-		30	1.20	25	-
4.20	15.0	24.0	-		30	1.33	23	-
4.40	12.0	22.0	-		24	0.80	30	-
4.60	13.0	19.0	-		26	1.07	24	-
4.80	15.0	23.0	-		30	0.80	38	-
5.00	12.0	18.0	-		24	1.07	22	-
5.20	14.0	22.0	-		28	0.67	42	-
5.40	13.0	18.0	-		26	4.00	7	-
5.60	100.0	130.0	-		200	5.33	38	-
5.80	130.0	170.0	-		260	2.67	98	-
6.00	190.0	210.0	-		380	8.00	48	-
6.20	210.0	270.0	-		420	6.67	63	-
6.40	250.0	300.0	-		500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 30
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	1.47	-	-
0.80	15.0	26.0	-	30	1.33	23	-
1.00	30.0	40.0	-	60	1.33	45	-
1.20	30.0	40.0	-	60	2.67	23	-
1.40	40.0	60.0	-	80	4.00	20	-
1.60	40.0	70.0	-	80	1.87	43	-
1.80	26.0	40.0	-	52	0.80	65	-
2.00	25.0	31.0	-	50	2.27	22	-
2.20	23.0	40.0	-	46	1.60	29	-
2.40	22.0	34.0	-	44	1.47	30	-
2.60	21.0	32.0	-	42	1.73	24	-
2.80	20.0	33.0	-	40	1.60	25	-
3.00	16.0	28.0	-	32	1.33	24	-
3.20	15.0	25.0	-	30	0.93	32	-
3.40	14.0	21.0	-	28	0.67	42	-
3.60	14.0	19.0	-	28	0.80	35	-
3.80	14.0	20.0	-	28	1.20	23	-
4.00	17.0	26.0	-	34	1.20	28	-
4.20	16.0	25.0	-	32	1.20	27	-
4.40	15.0	24.0	-	30	1.20	25	-
4.60	14.0	23.0	-	28	1.47	19	-
4.80	19.0	30.0	-	38	2.67	14	-
5.00	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-
5.20	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-
5.40	60.0	80.0	-	120	5.33	23	-
5.60	130.0	170.0	-	260	6.67	39	-
5.80	150.0	200.0	-	300	5.33	56	-
6.00	190.0	230.0	-	380	5.33	71	-
6.20	230.0	270.0	-	460	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 31
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.93	-	-	-
0.60	12.0	19.0	-	24	1.20	20	-	-
0.80	20.0	29.0	-	40	2.93	14	-	-
1.00	24.0	46.0	-	48	2.93	16	-	-
1.20	31.0	53.0	-	62	2.53	24	-	-
1.40	24.0	43.0	-	48	1.87	26	-	-
1.60	22.0	36.0	-	44	2.93	15	-	-
1.80	22.0	44.0	-	44	2.67	17	-	-
2.00	20.0	40.0	-	40	2.13	19	-	-
2.20	16.0	32.0	-	32	1.47	22	-	-
2.40	11.0	22.0	-	22	1.47	15	-	-
2.60	14.0	25.0	-	28	1.07	26	-	-
2.80	12.0	20.0	-	24	0.80	30	-	-
3.00	16.0	22.0	-	32	1.07	30	-	-
3.20	13.0	21.0	-	26	0.80	33	-	-
3.40	13.0	19.0	-	26	1.47	18	-	-
3.60	13.0	24.0	-	26	2.00	13	-	-
3.80	13.0	28.0	-	26	1.60	16	-	-
4.00	13.0	25.0	-	26	1.47	18	-	-
4.20	13.0	24.0	-	26	1.47	18	-	-
4.40	12.0	23.0	-	24	1.60	15	-	-
4.60	26.0	38.0	-	52	1.87	28	-	-
4.80	22.0	36.0	-	44	1.20	37	-	-
5.00	21.0	30.0	-	42	1.20	35	-	-
5.20	16.0	25.0	-	32	2.00	16	-	-
5.40	13.0	28.0	-	26	2.67	10	-	-
5.60	60.0	80.0	-	120	2.67	45	-	-
5.80	40.0	60.0	-	80	2.67	30	-	-
6.00	50.0	70.0	-	100	2.67	38	-	-
6.20	60.0	80.0	-	120	2.67	45	-	-
6.40	40.0	60.0	-	80	6.67	12	-	-
6.60	150.0	200.0	-	300	8.00	38	-	-
6.80	170.0	230.0	-	340	6.67	51	-	-
7.00	250.0	300.0	-	500	-	-	-	-

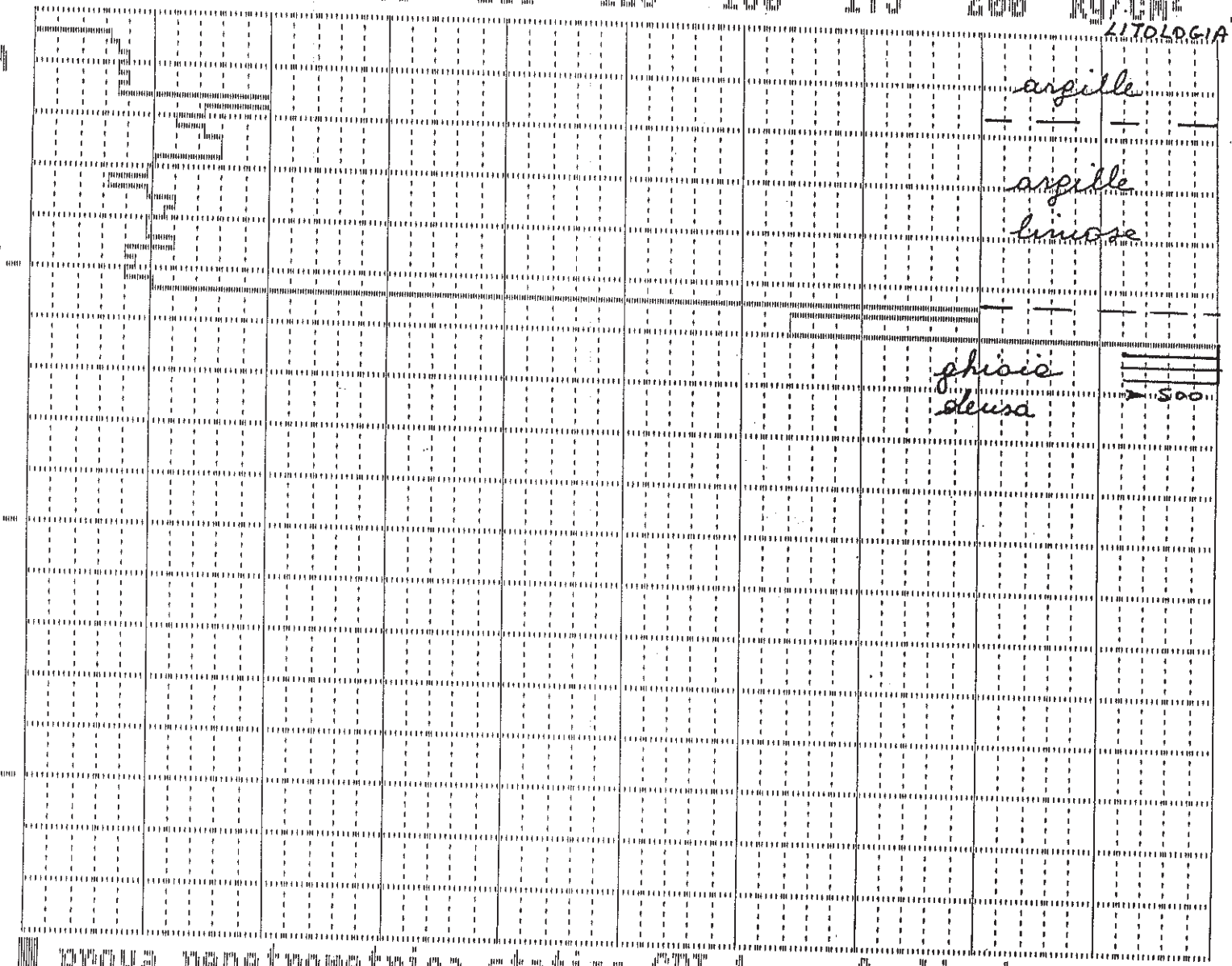
PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 32
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	1.07	-	-
0.60	12.0	20.0	-	24	1.33	18	-
0.80	23.0	33.0	-	46	2.67	17	-
1.00	40.0	60.0	-	80	2.67	30	-
1.20	25.0	45.0	-	50	1.20	42	-
1.40	24.0	33.0	-	48	1.73	28	-
1.60	21.0	34.0	-	42	2.40	18	-
1.80	15.0	33.0	-	30	1.60	19	-
2.00	14.0	26.0	-	28	1.07	26	-
2.20	16.0	24.0	-	32	0.40	80	-
2.40	15.0	18.0	-	30	1.20	25	-
2.60	11.0	20.0	-	22	0.53	41	-
2.80	12.0	16.0	-	24	0.80	30	-
3.00	12.0	18.0	-	24	0.93	26	-
3.20	13.0	20.0	-	26	1.20	22	-
3.40	13.0	22.0	-	26	1.47	18	-
3.60	13.0	24.0	-	26	1.20	22	-
3.80	11.0	20.0	-	22	0.93	24	-
4.00	14.0	21.0	-	28	1.07	26	-
4.20	13.0	21.0	-	26	1.20	22	-
4.40	9.0	18.0	-	18	0.67	27	-
4.60	9.0	14.0	-	18	0.53	34	-
4.80	9.0	13.0	-	18	2.67	7	-
5.00	50.0	70.0	-	100	4.00	25	-
5.20	60.0	90.0	-	120	6.67	18	-
5.40	100.0	150.0	-	200	4.00	50	-
5.60	170.0	200.0	-	340	5.33	64	-
5.80	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.00	250.0	300.0	-	500	-	-	-

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

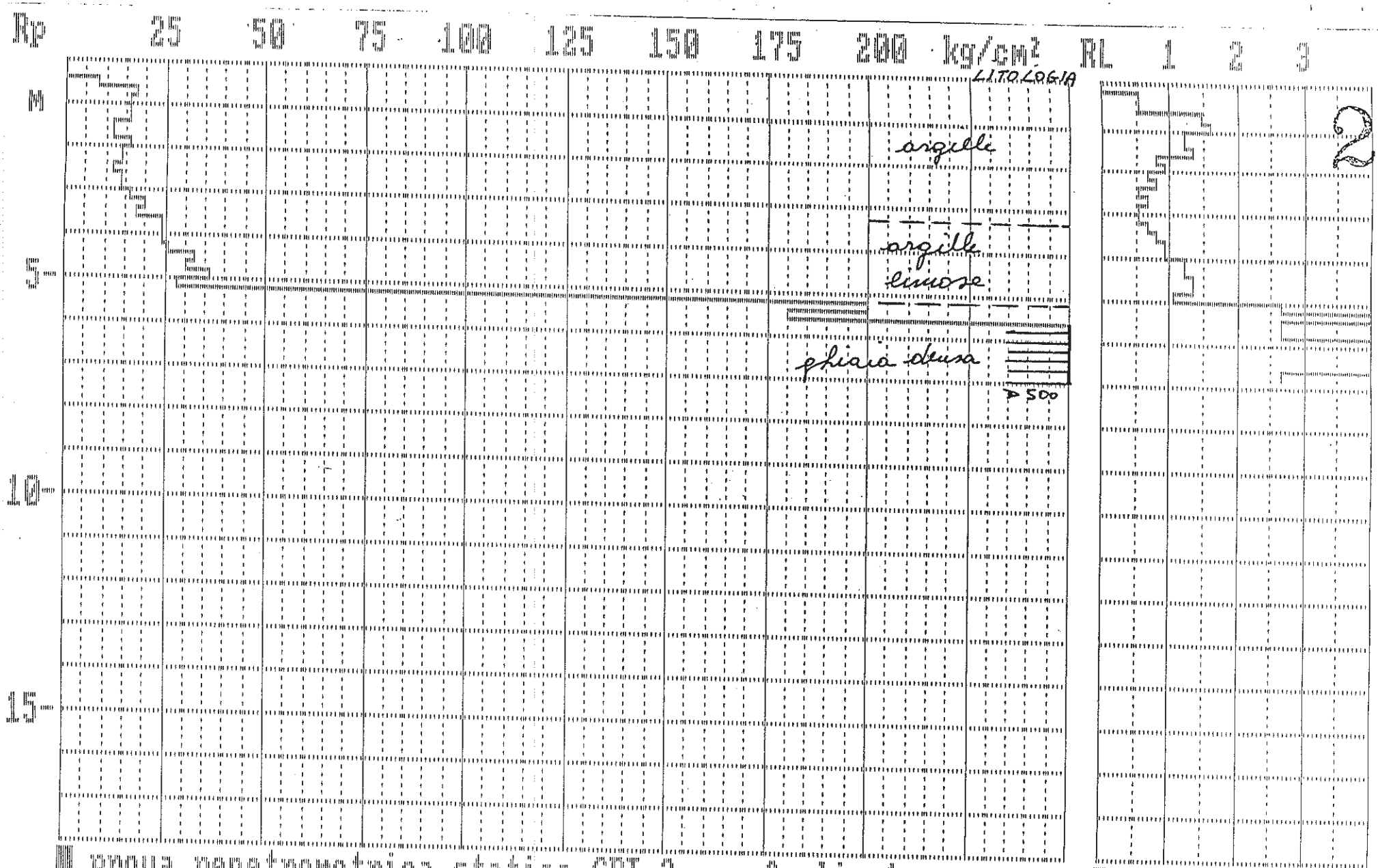
LITOLOGIA



prova penetrometrica statica CPT 1 foglio 1

Rif. INOA-1

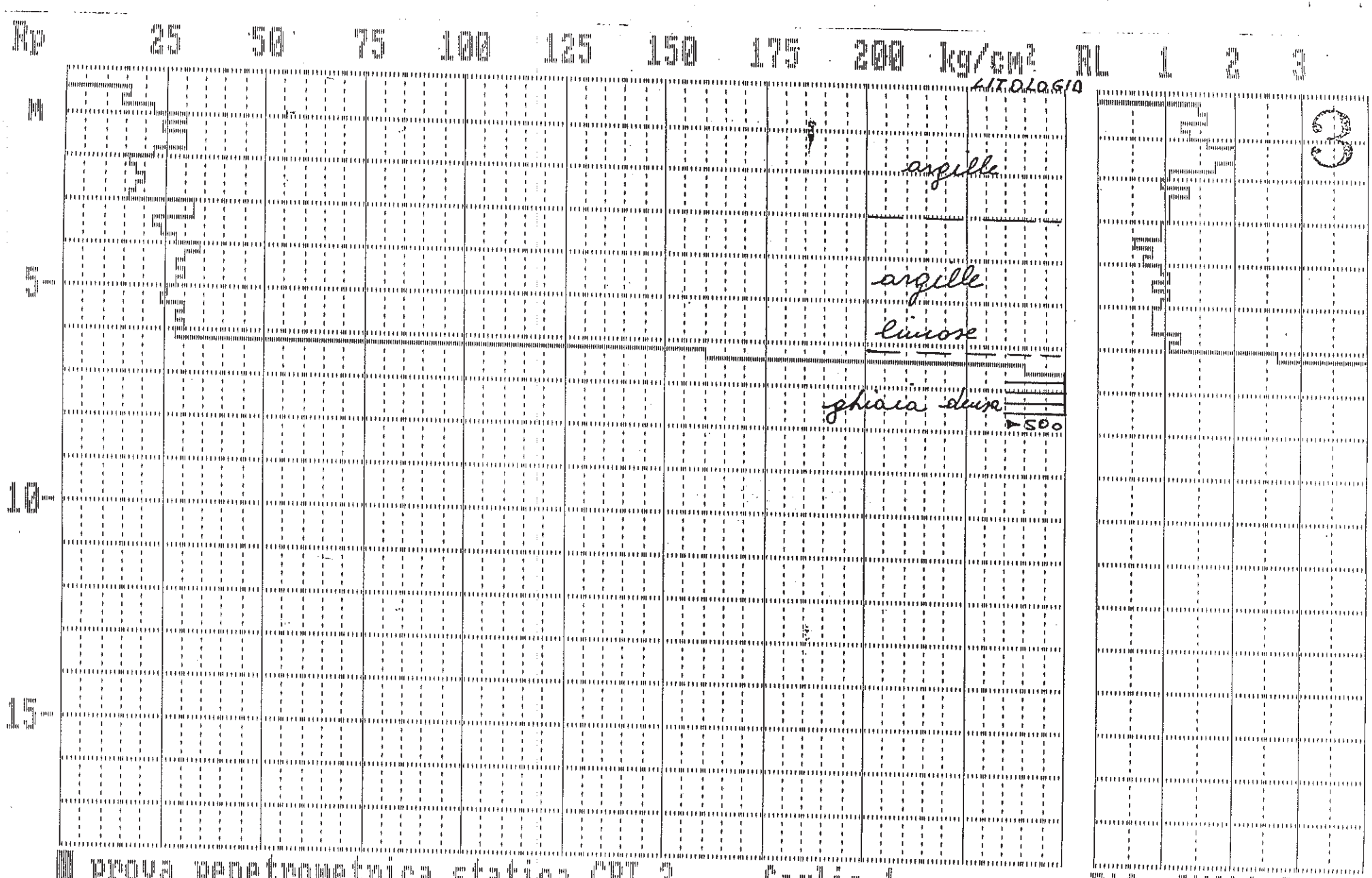
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 2 foglio 1

Rif. IMOLA-2

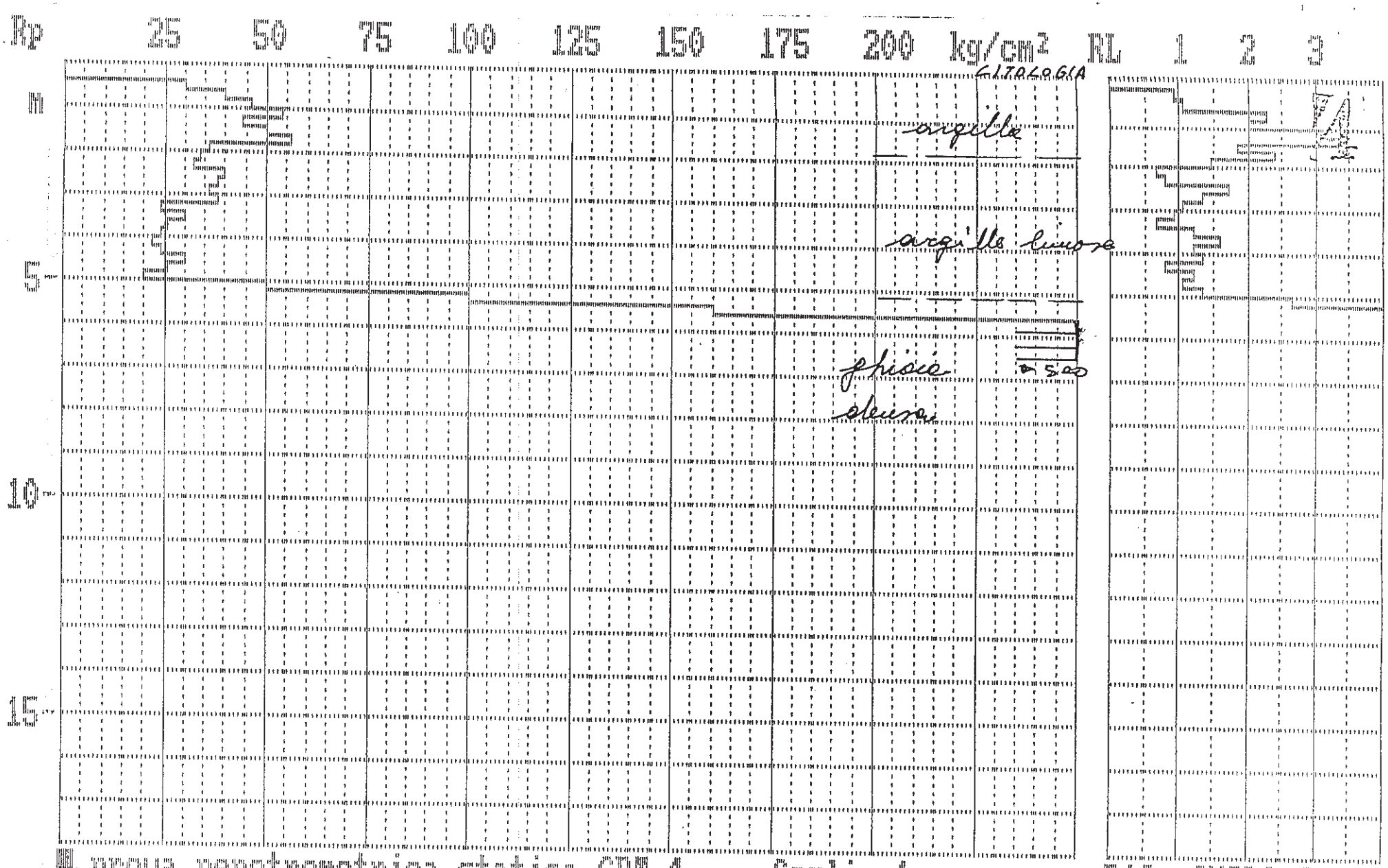
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI [illegible]
Via San [illegible]
CRESPELLANO [illegible] (BO)



prova penetrometrica statica CPT 3 foglio 1

Rif. INOLA-3

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 4 foglio 1

Rif. IMOLA-4

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

m

5

10

15

LITOLOGIA

argilla

argilla limosa

ghiaia

sterra

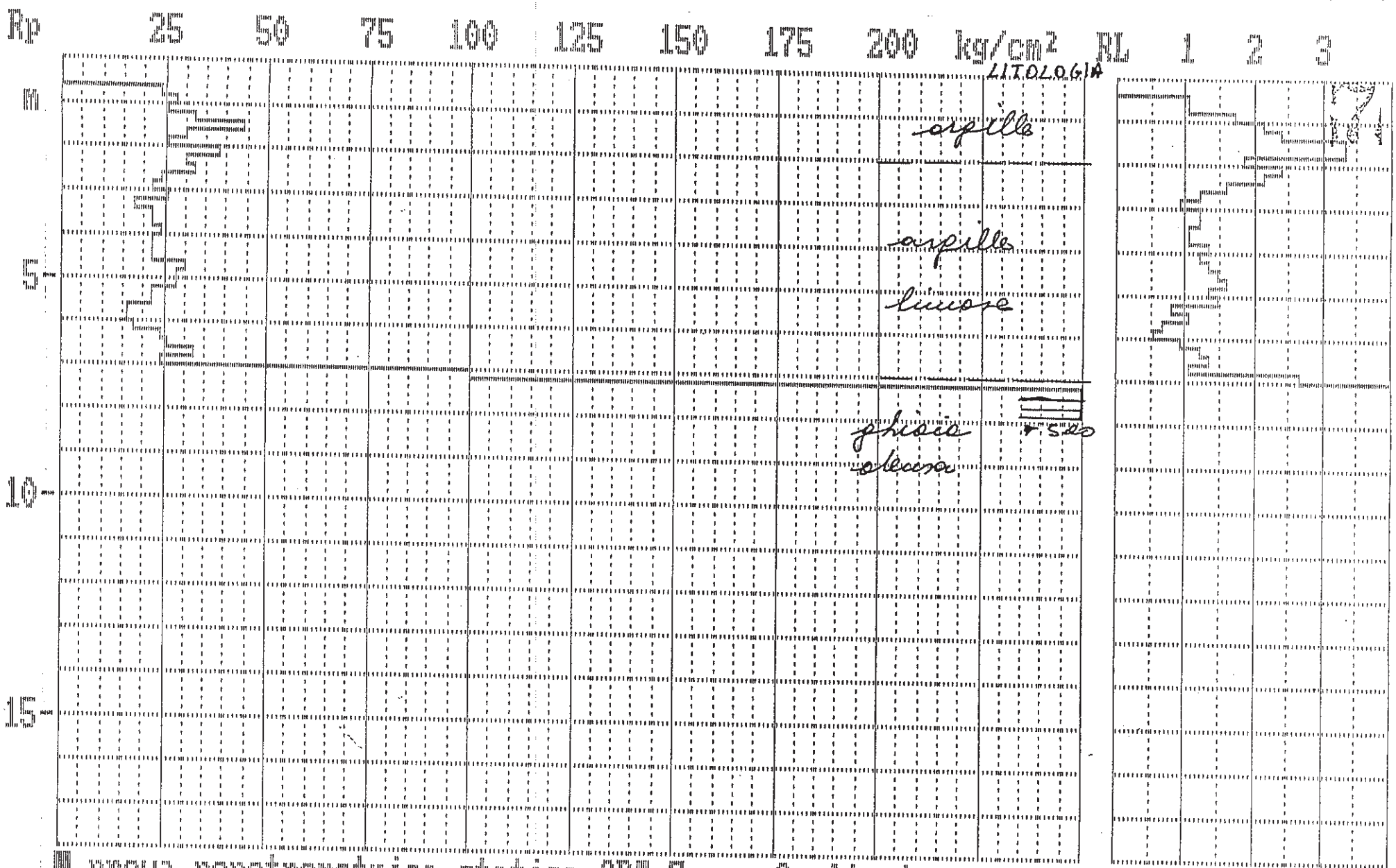
-5.00



prova penetrometrica statica CPT 5 foglio 1

Rif. IMOLA-5

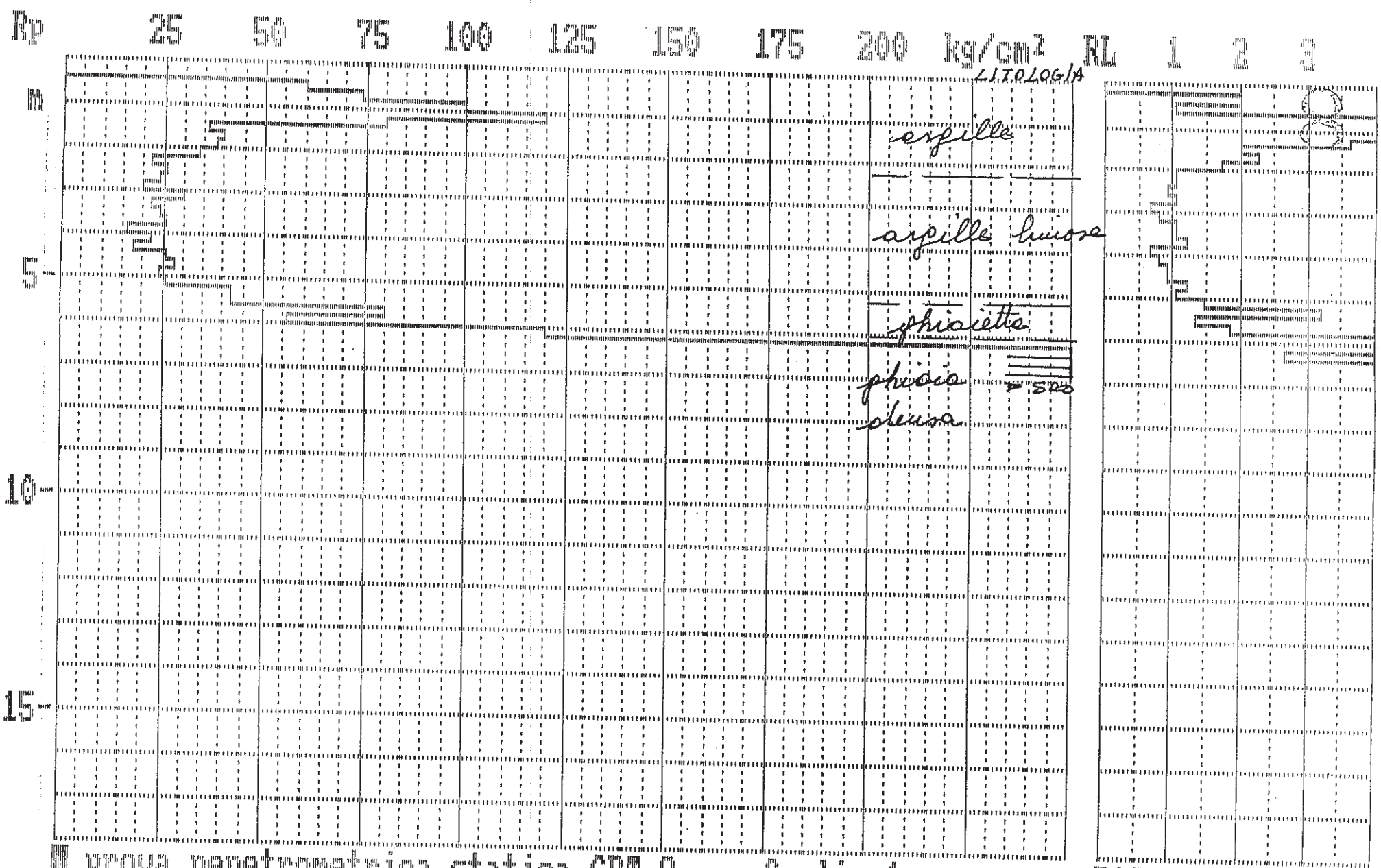
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 7 foglio 1

Rif. INOLA-7

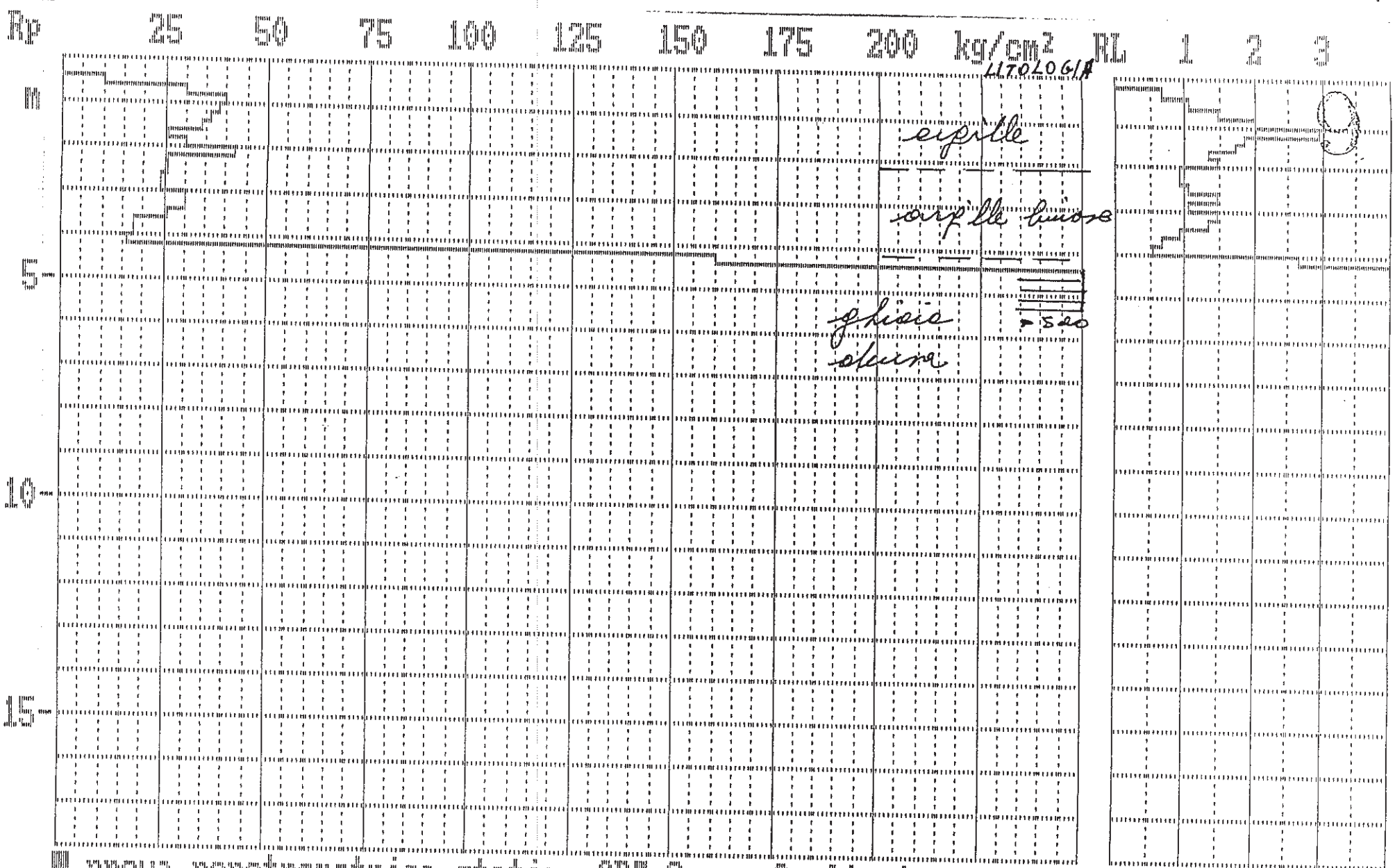
Dr. [illegible]
Via San [illegible]
[illegible]



prova penetrometrica statica CPT 8 foglio 1

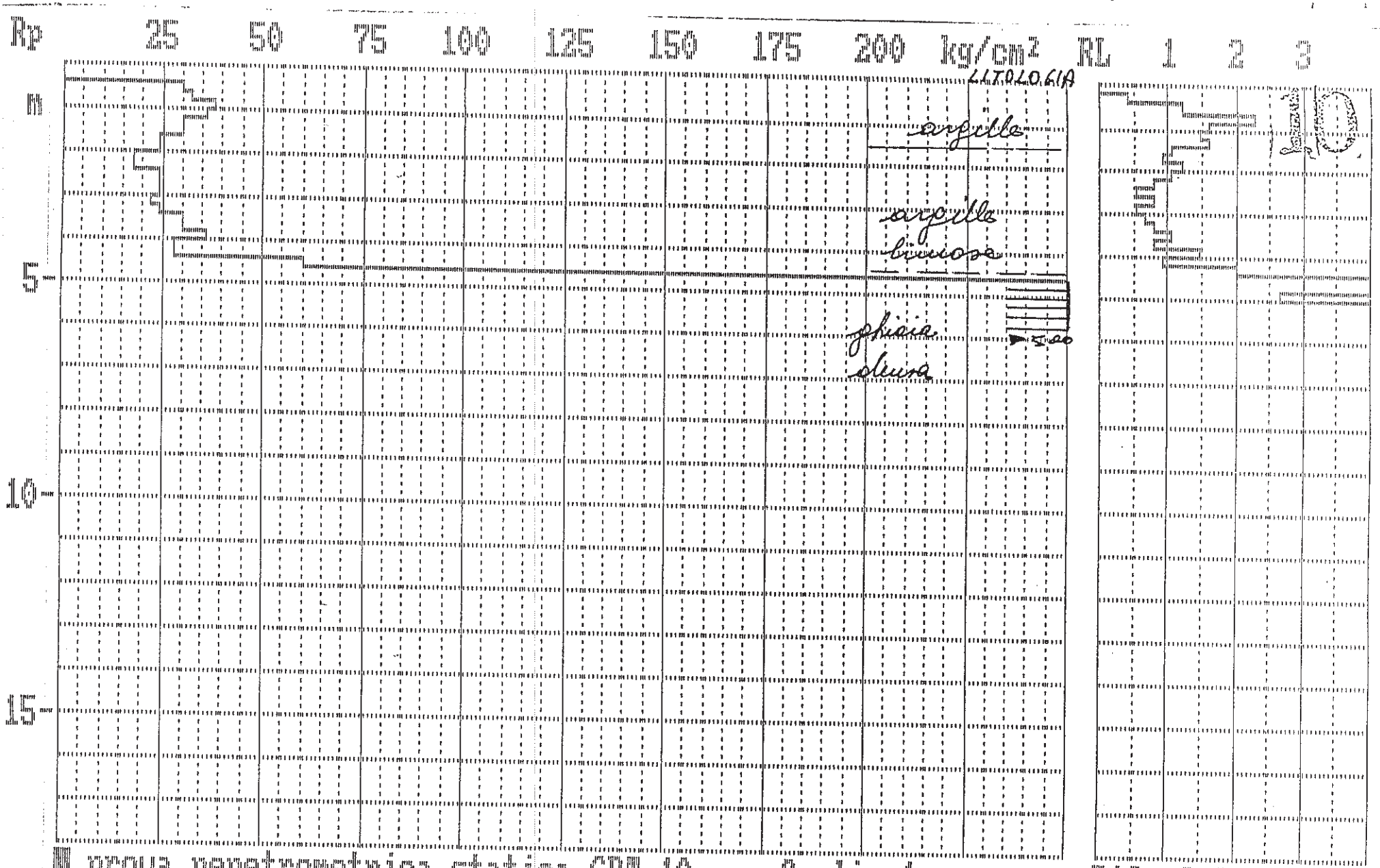
Rif. C-IMOL-8

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 9 foglio 1

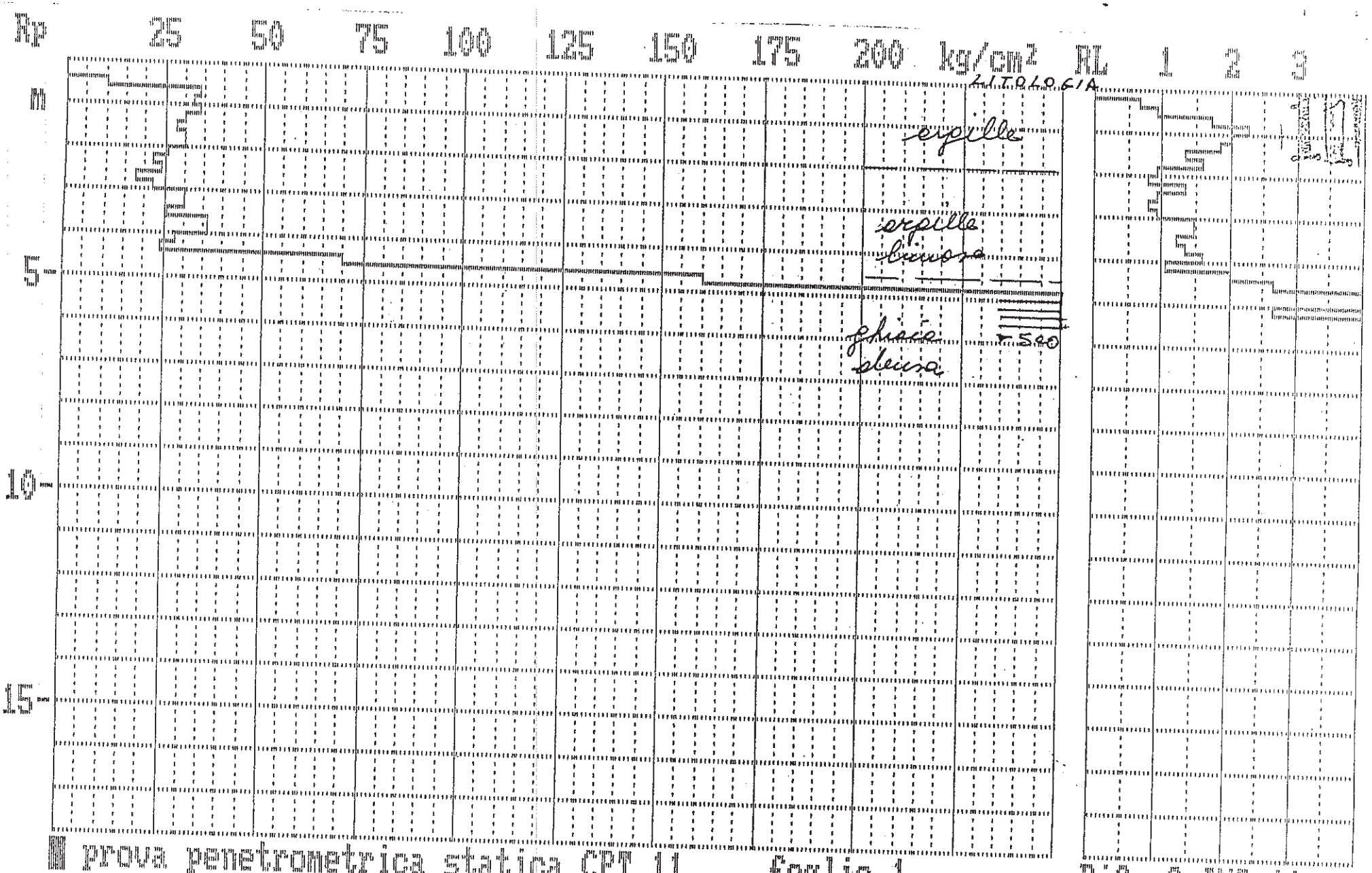
Rif. C.IMOL.9
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 10 foglio 1

Rif. C-IMO-10

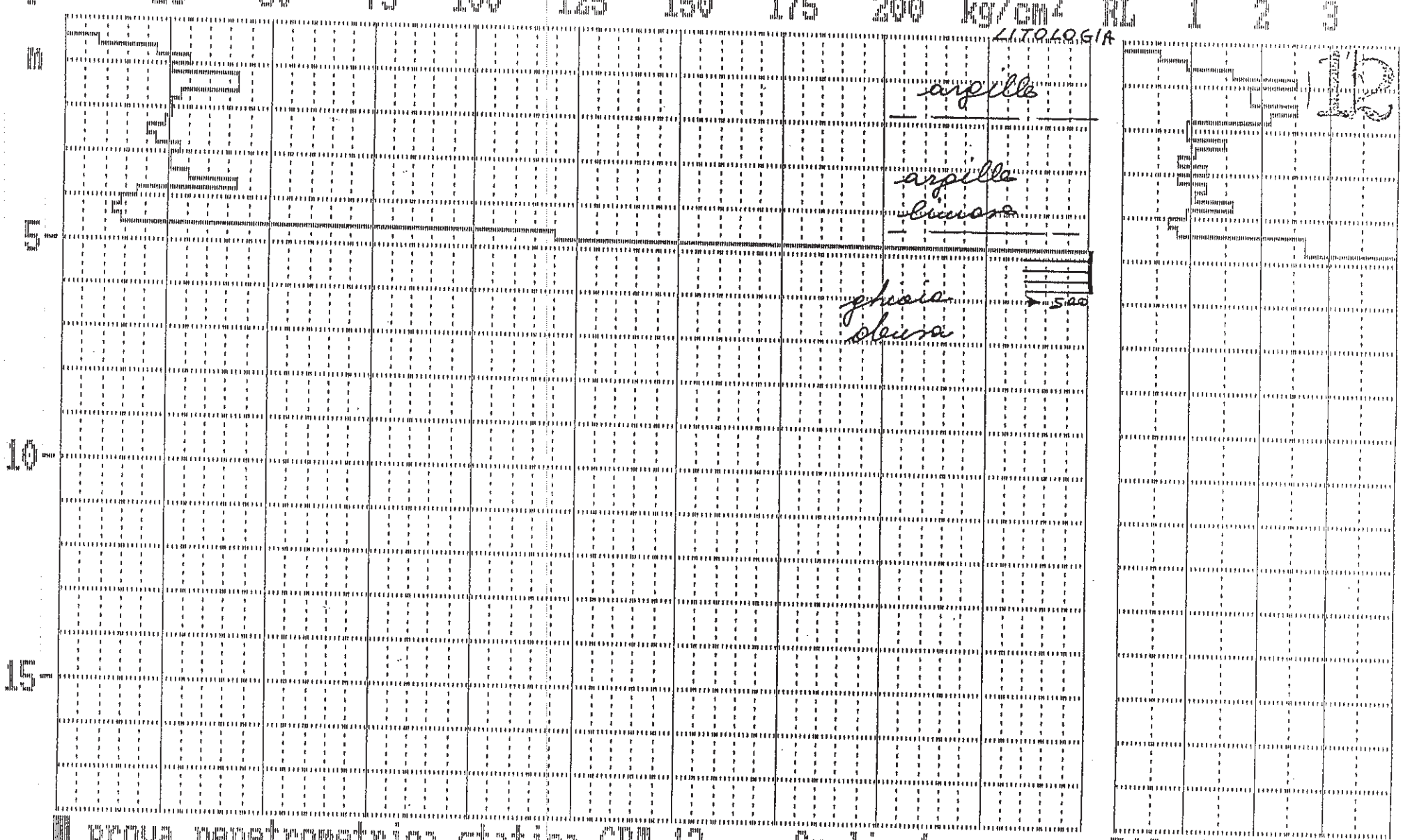
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV.)



prova penetrometrica statica CPT 11 foglio 1

Rif. C-110-11

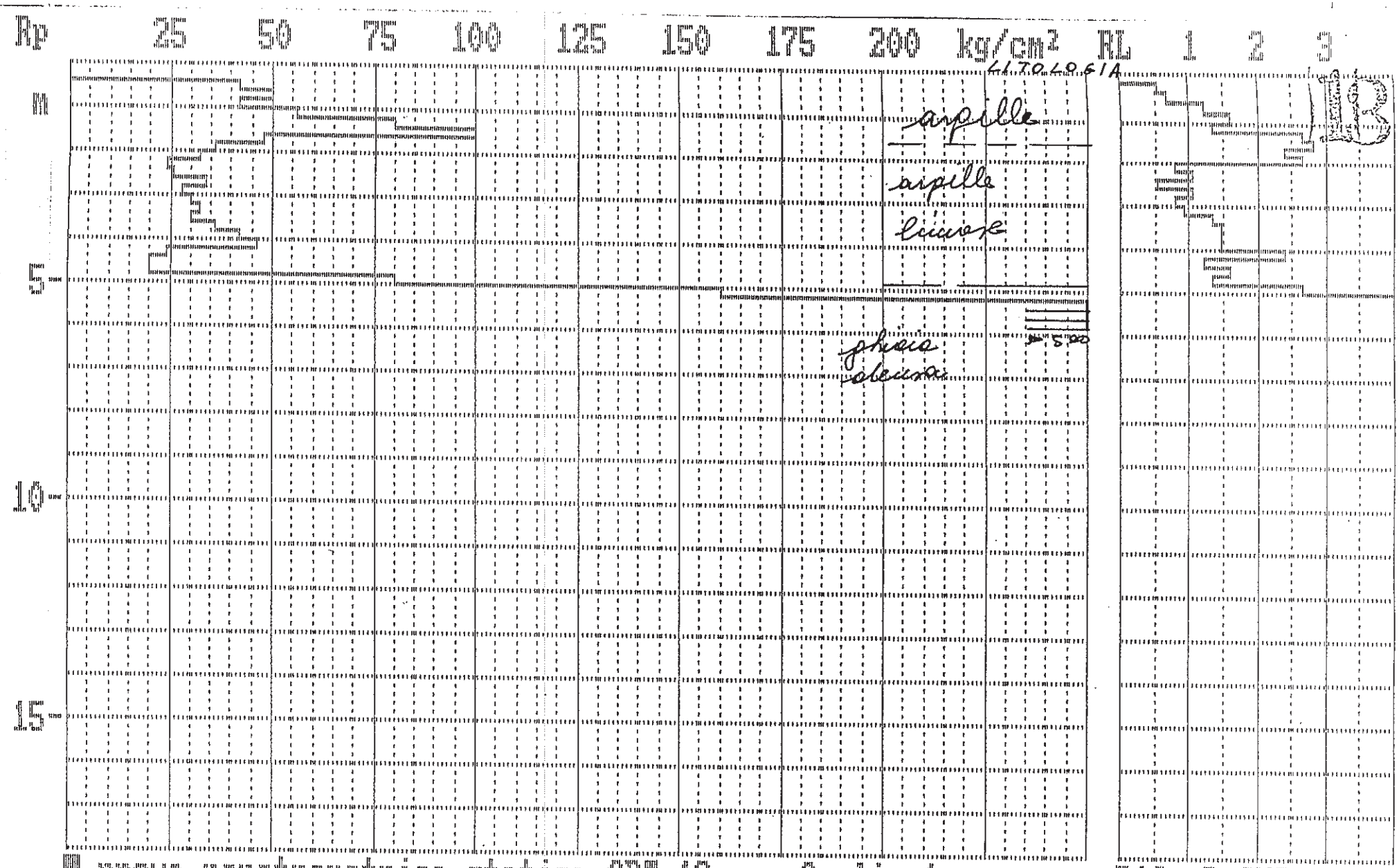
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 12 foglio 1

Rif. C-IND-12

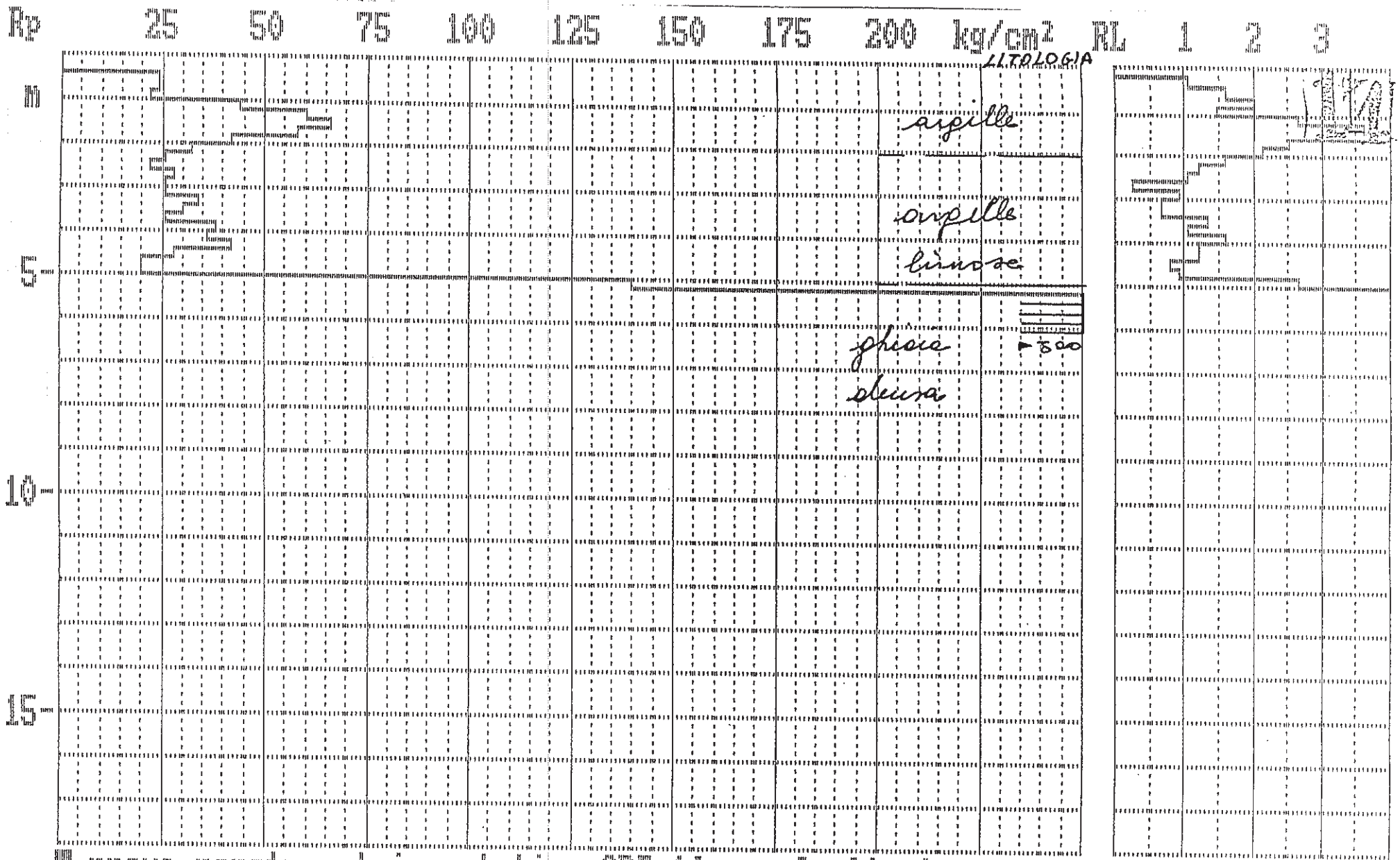
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 13 foglio 1

Rif. D-IMO-13

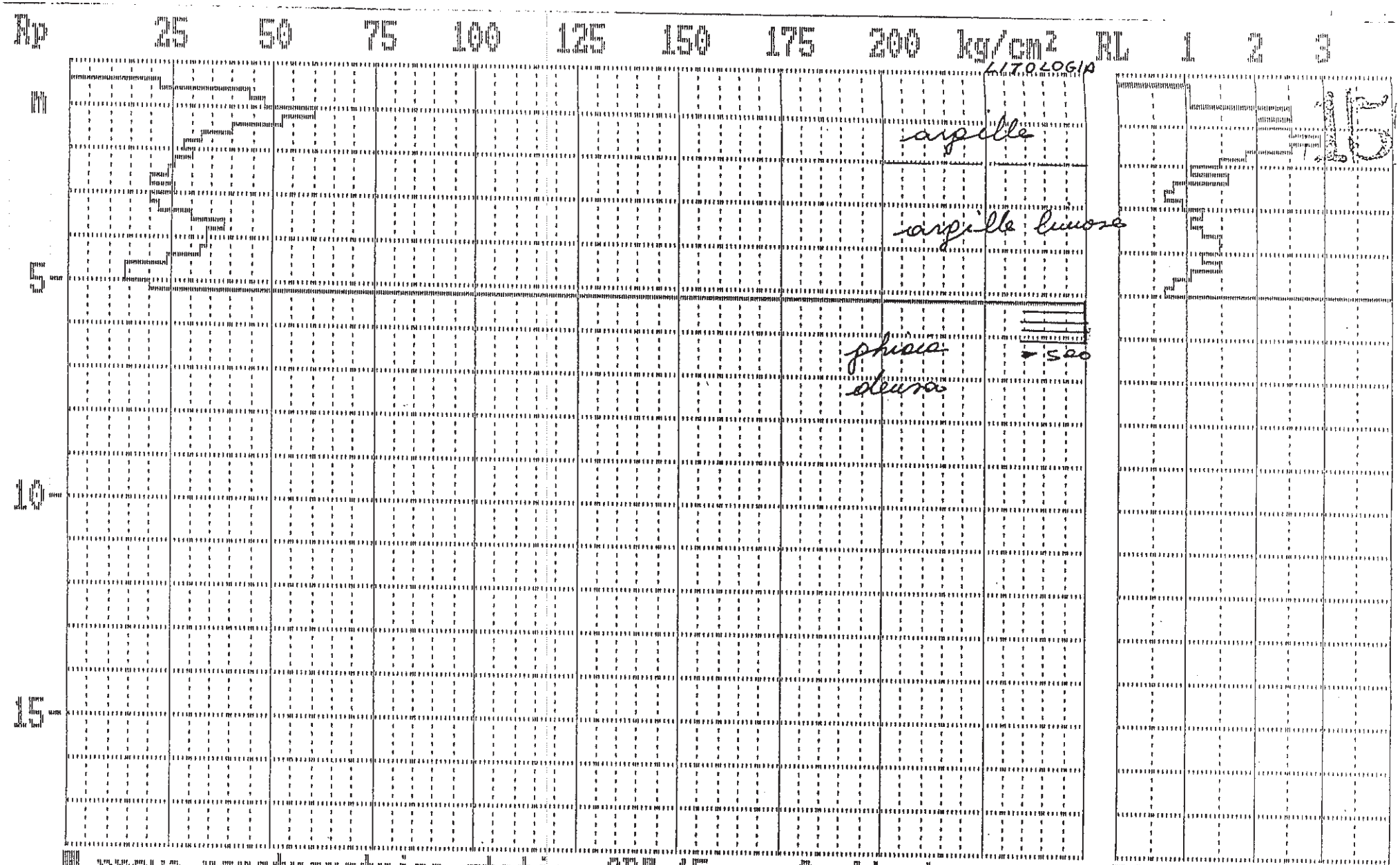
Studio Geologico - Ambientale
Dr. LUIGI SERRALDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0424-33271
ROSSANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 14 foglio 1

Rif. D-IMO-14

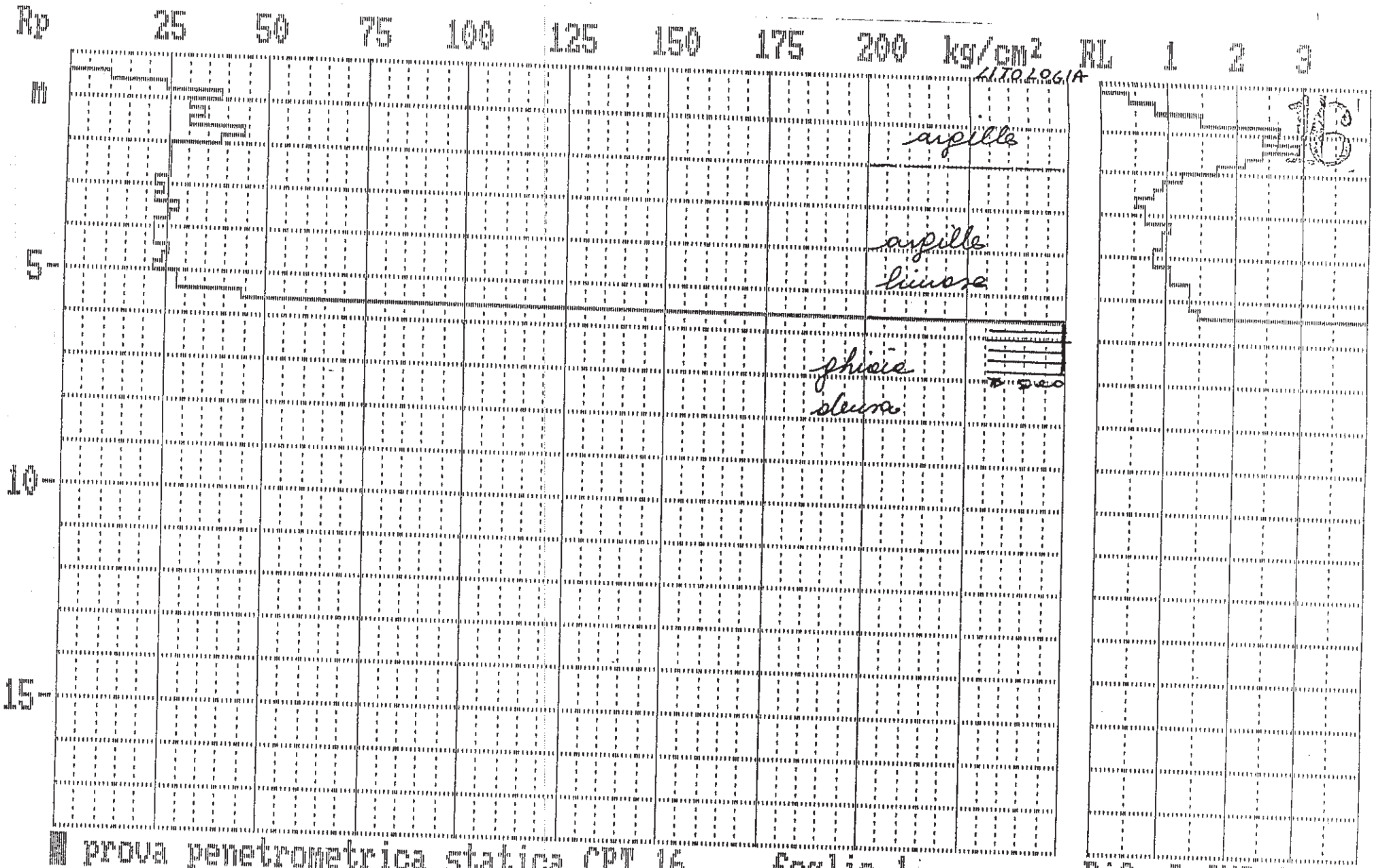
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 15 foglio 1

Rif. D-IMO-15

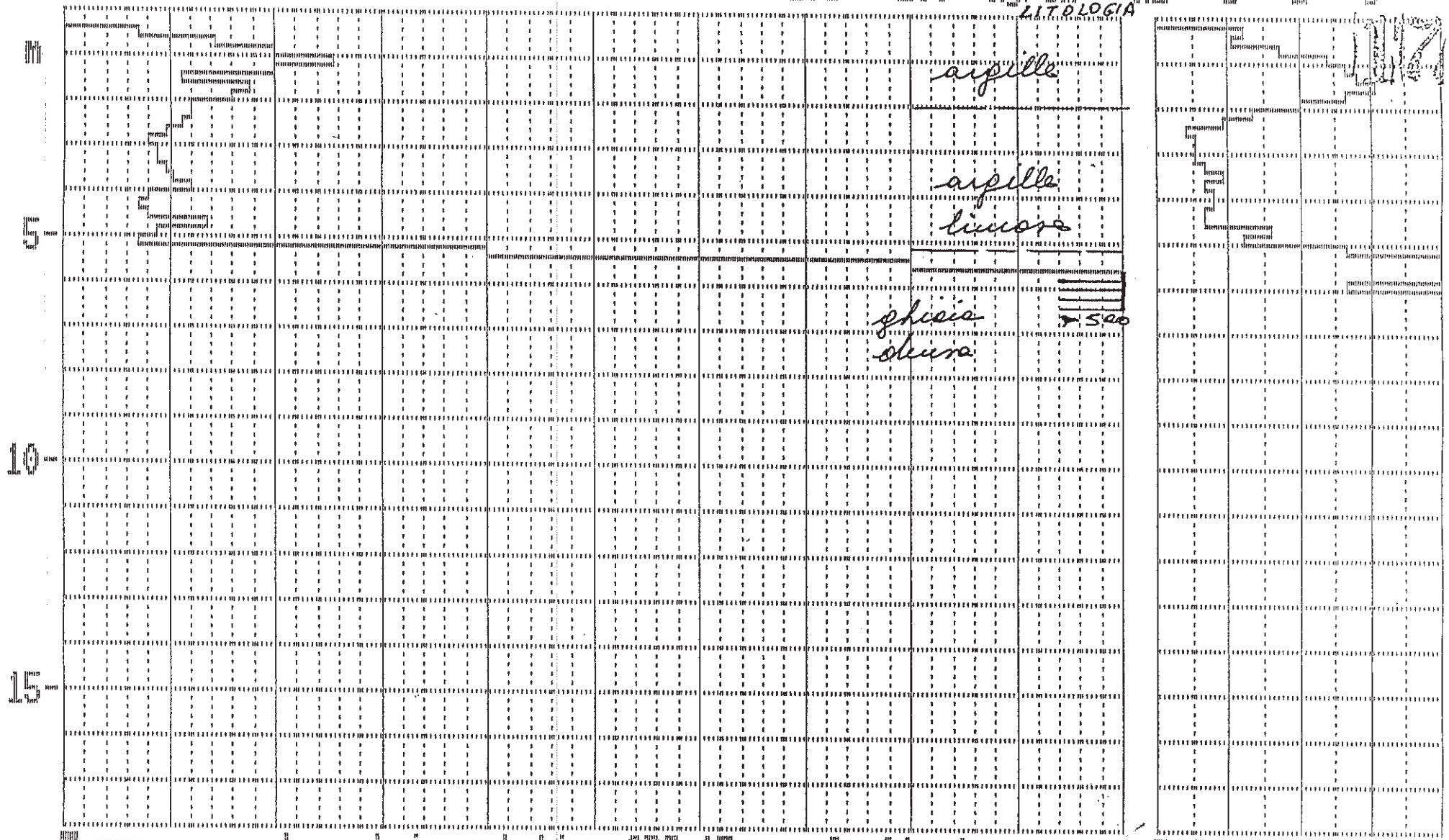
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



Prova penetrometrica statica CPT 16 foglio 1

Rif. D-IMO-16

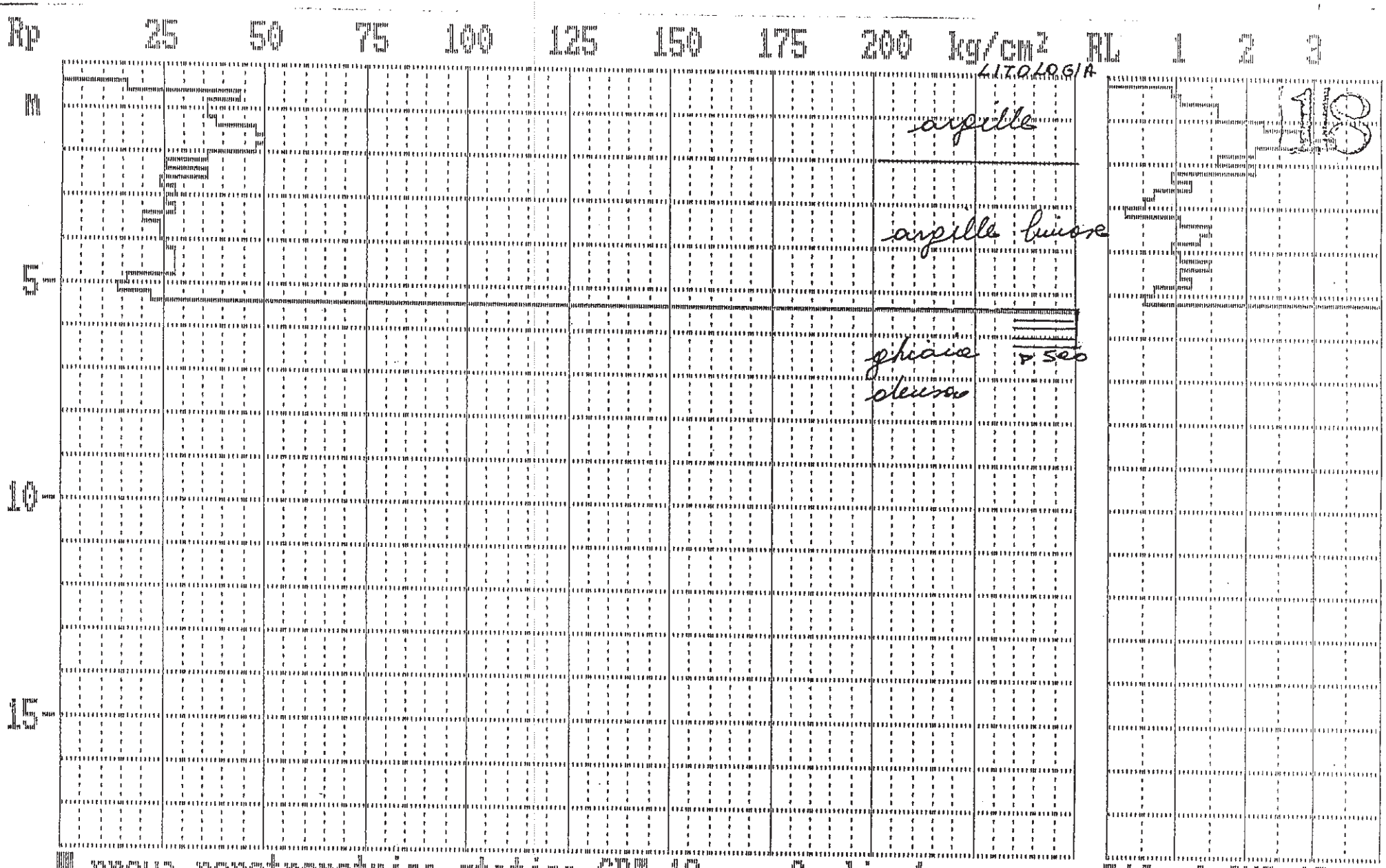
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 17 foglio 1

Rif. 4-IMO-17

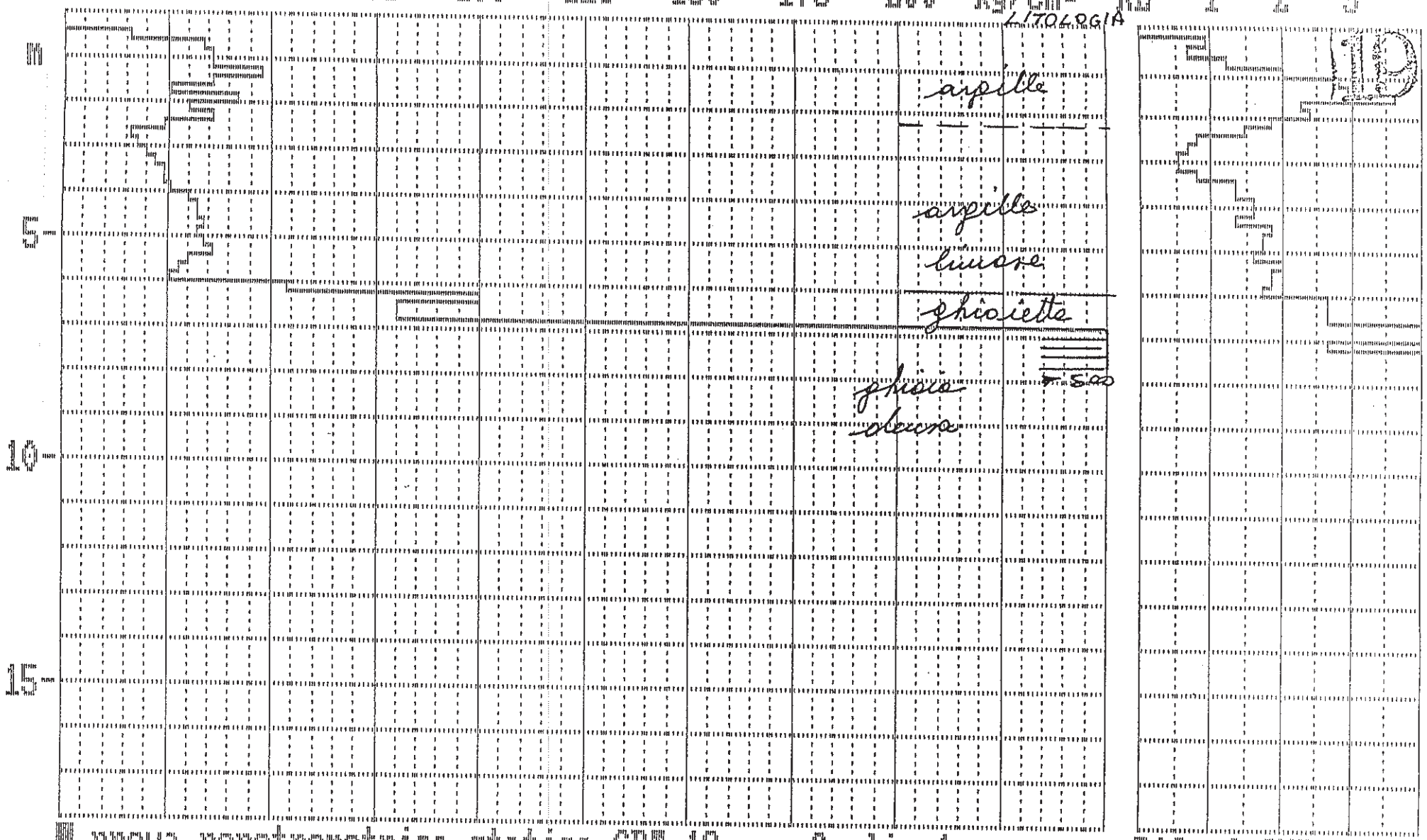
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 18 Foglio 1

Rif. 4-IMO-18

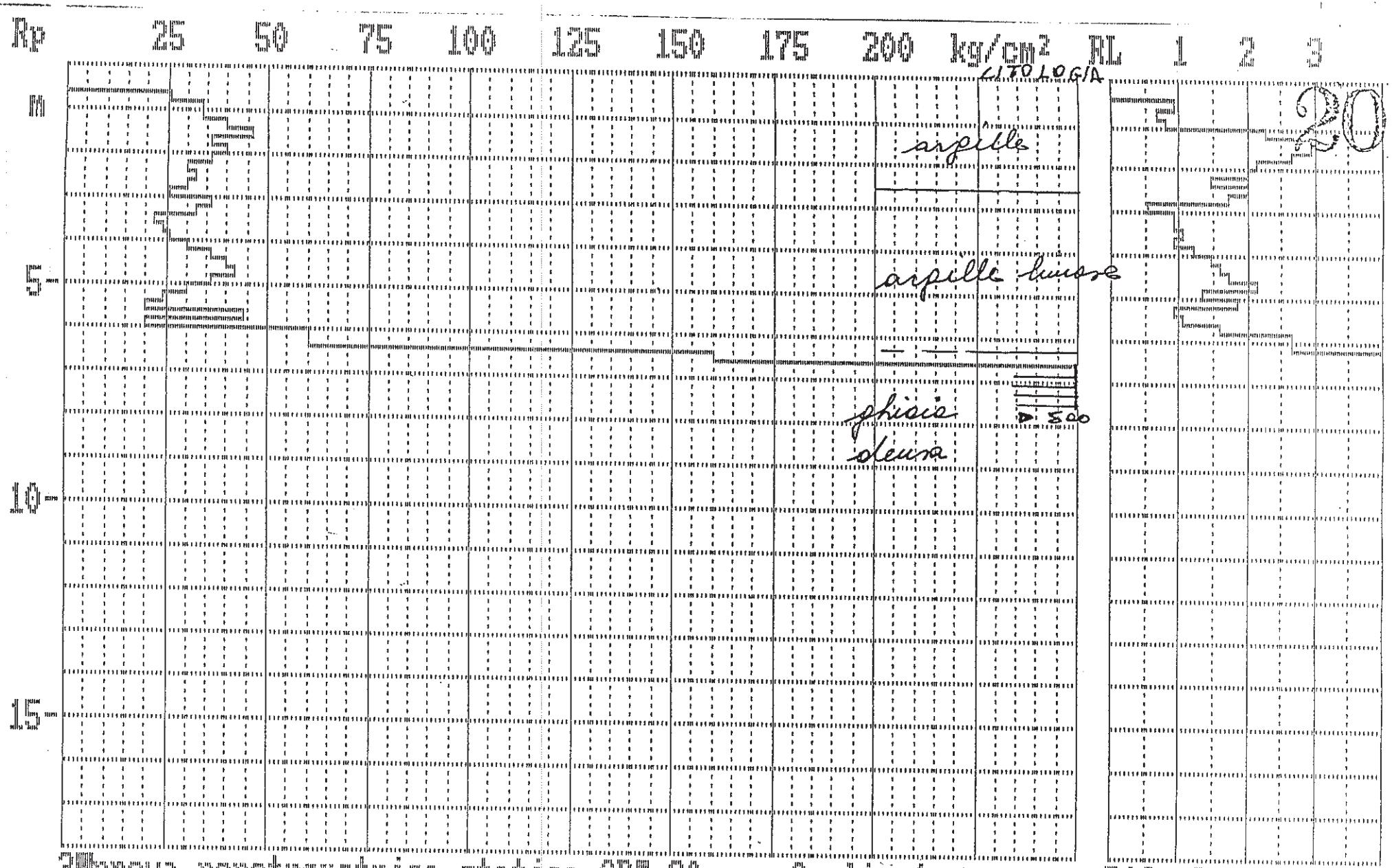
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-539271
CRESPANO DEL GRAPPA - (TV)



prova penetrometrica statica CPT 19 foglio 1

Rif. 4-IMO-19

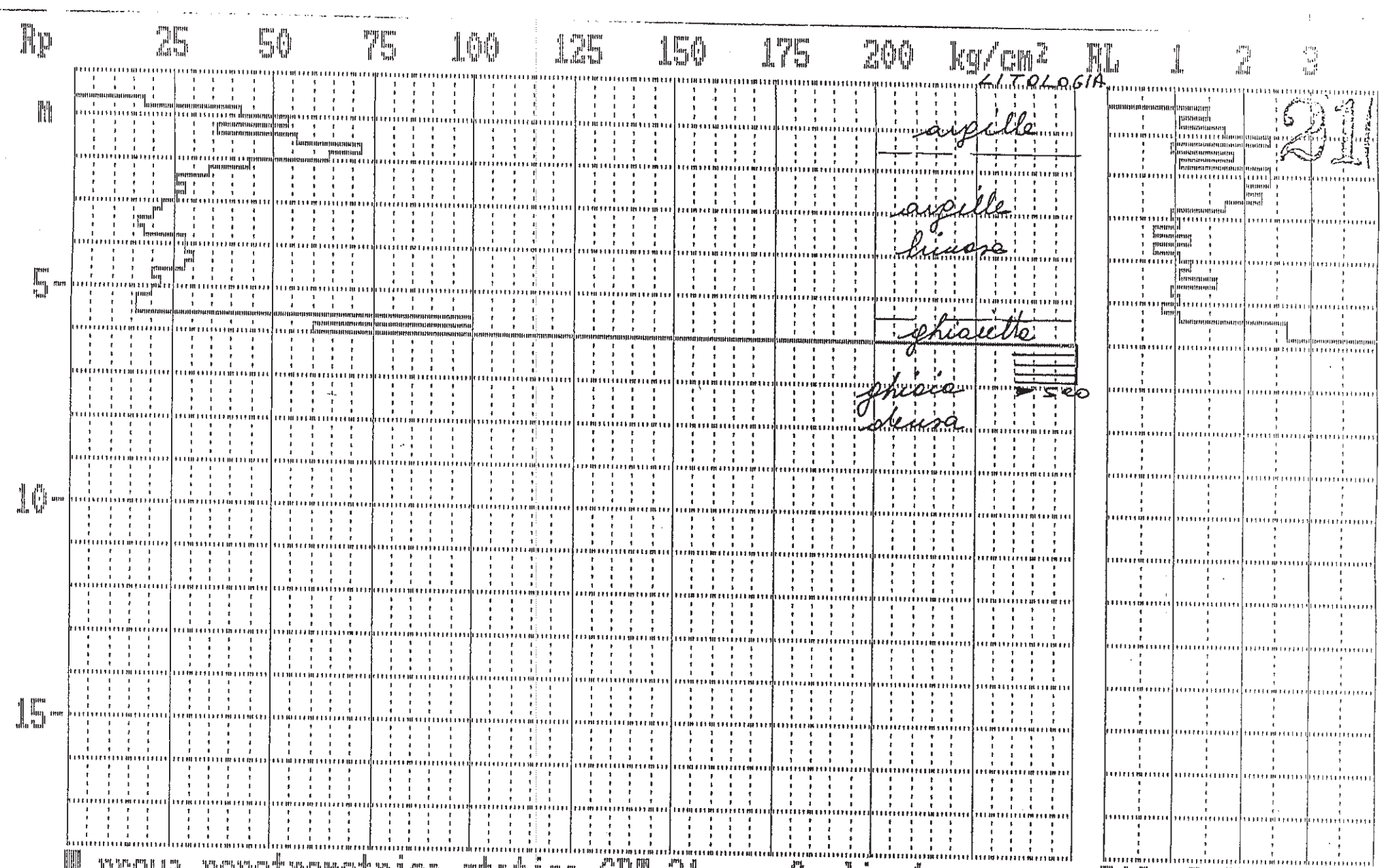
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA (TV)



Prova penetrometrica statica CPT 20 foglio 1

Rif. 3-IMO-20

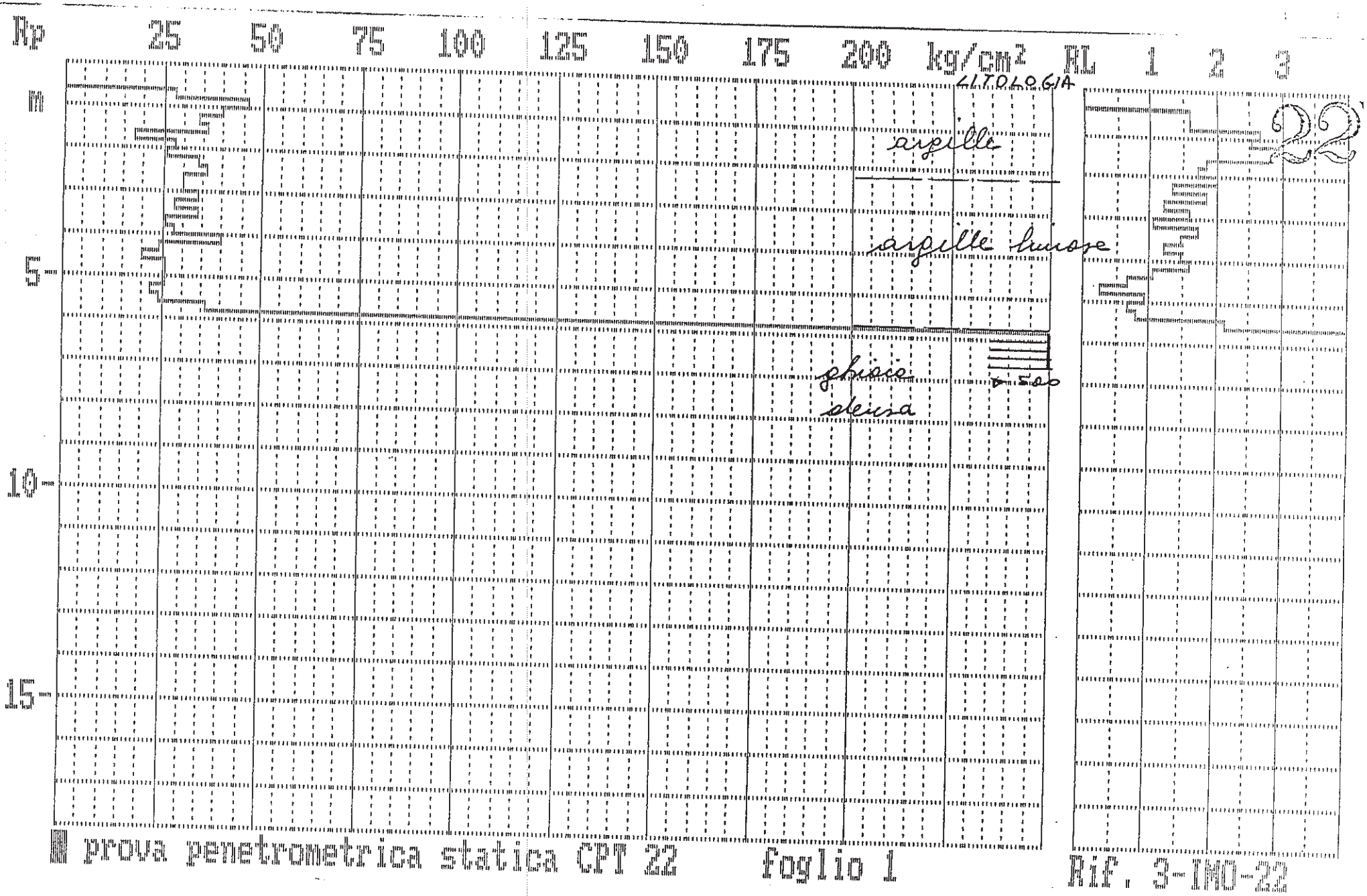
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — TV



prova penetrometrica statica CPT 21 foglio 1

Rif. 3-IMO-21

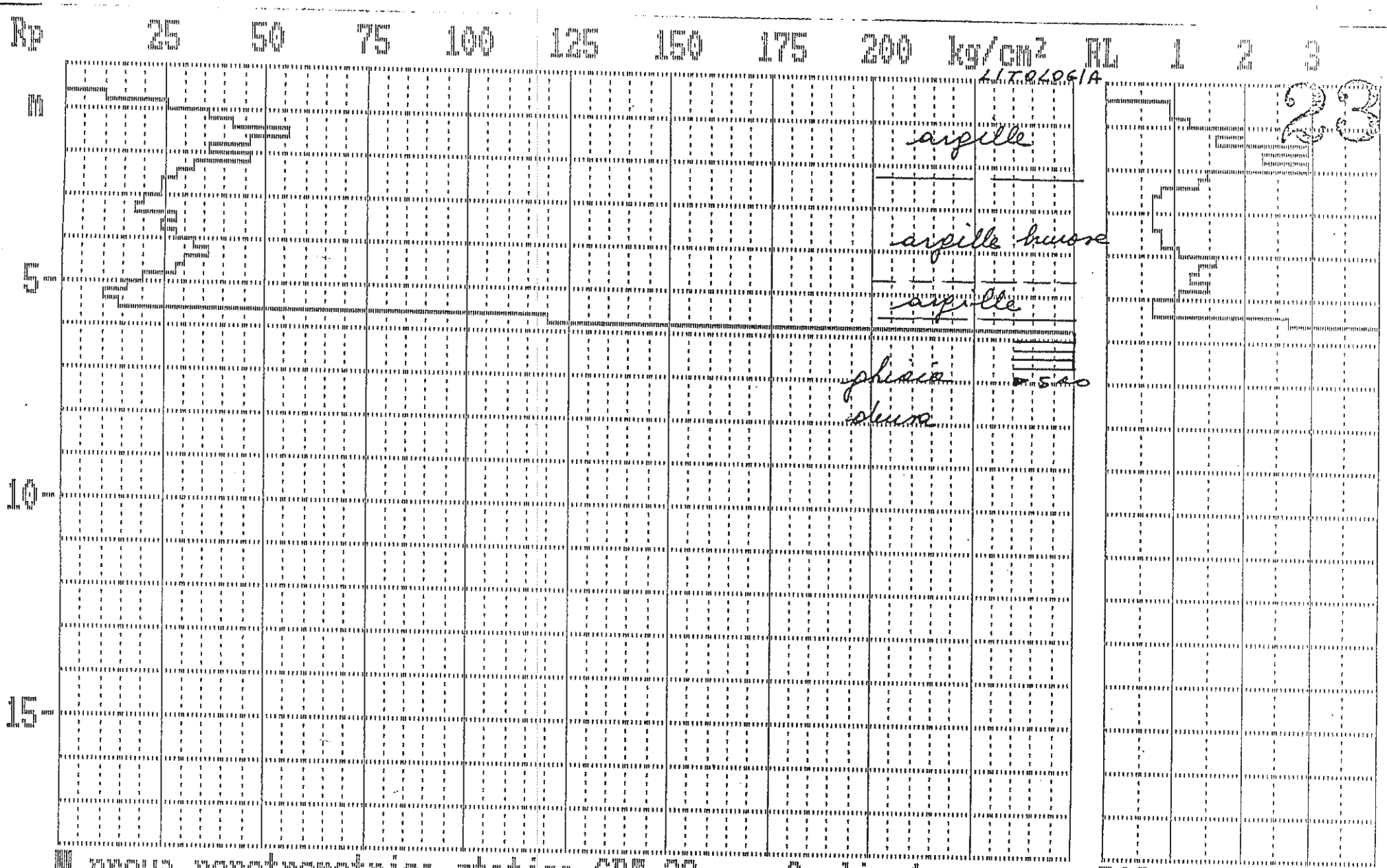
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0123-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 22 foglio 1

Rif. 3-TM-22

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 22 foglio 1

Rif. 2-IMO-22

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

m

5

10

15

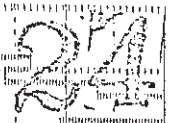
LITOLOGIA

argille

argille limose

ghiaia

sabbia



prova penetrometrica statica CPT 24 foglio 1

Rif. 2-IMO-24

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

LITOLOGIA

m

5 m

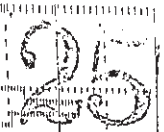
argille

argille limose

ghiaia sabbia

10 m

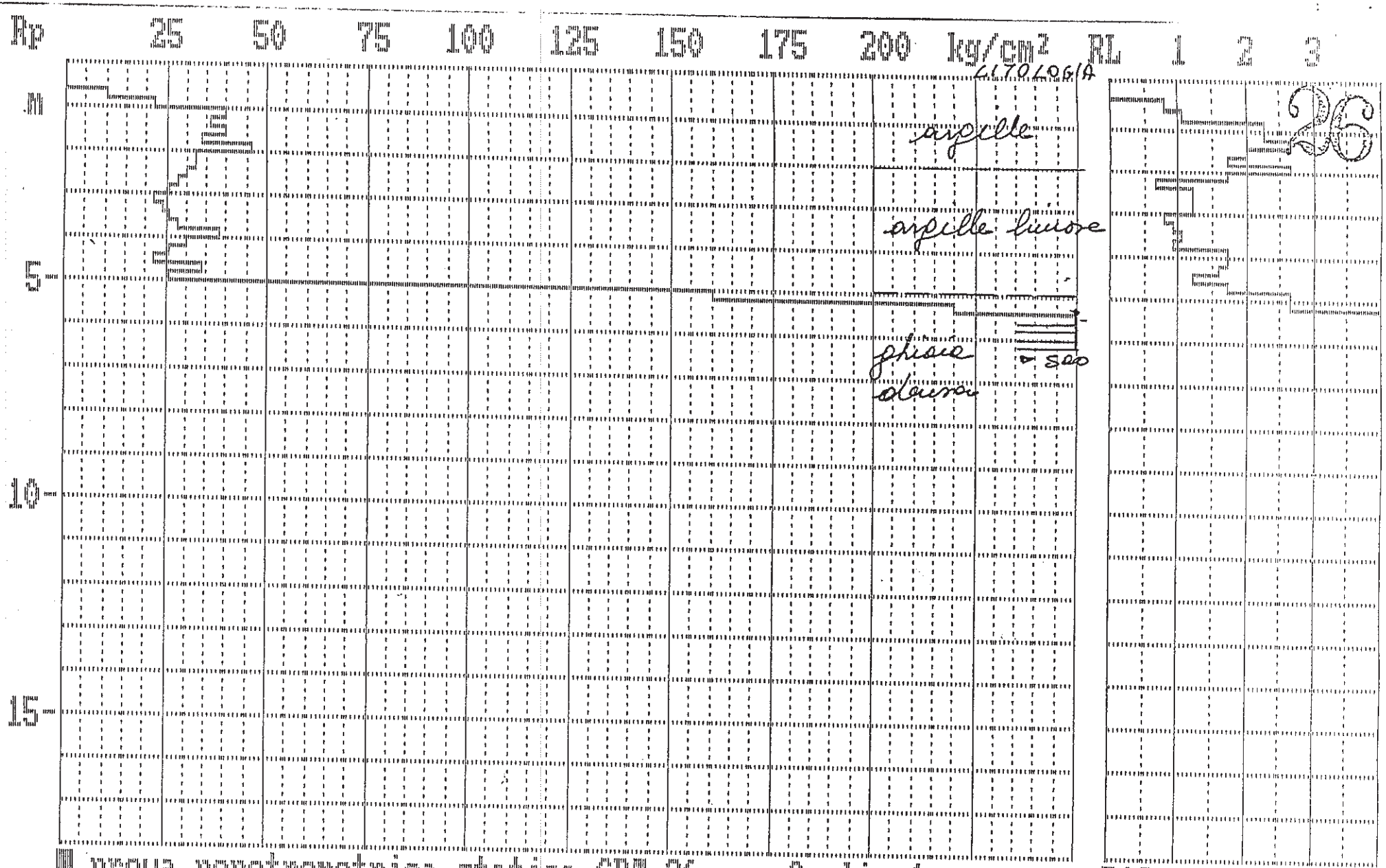
15 m



prova penetrometrica statica CPT 25 foglio 1

Rif. 2-IND-25

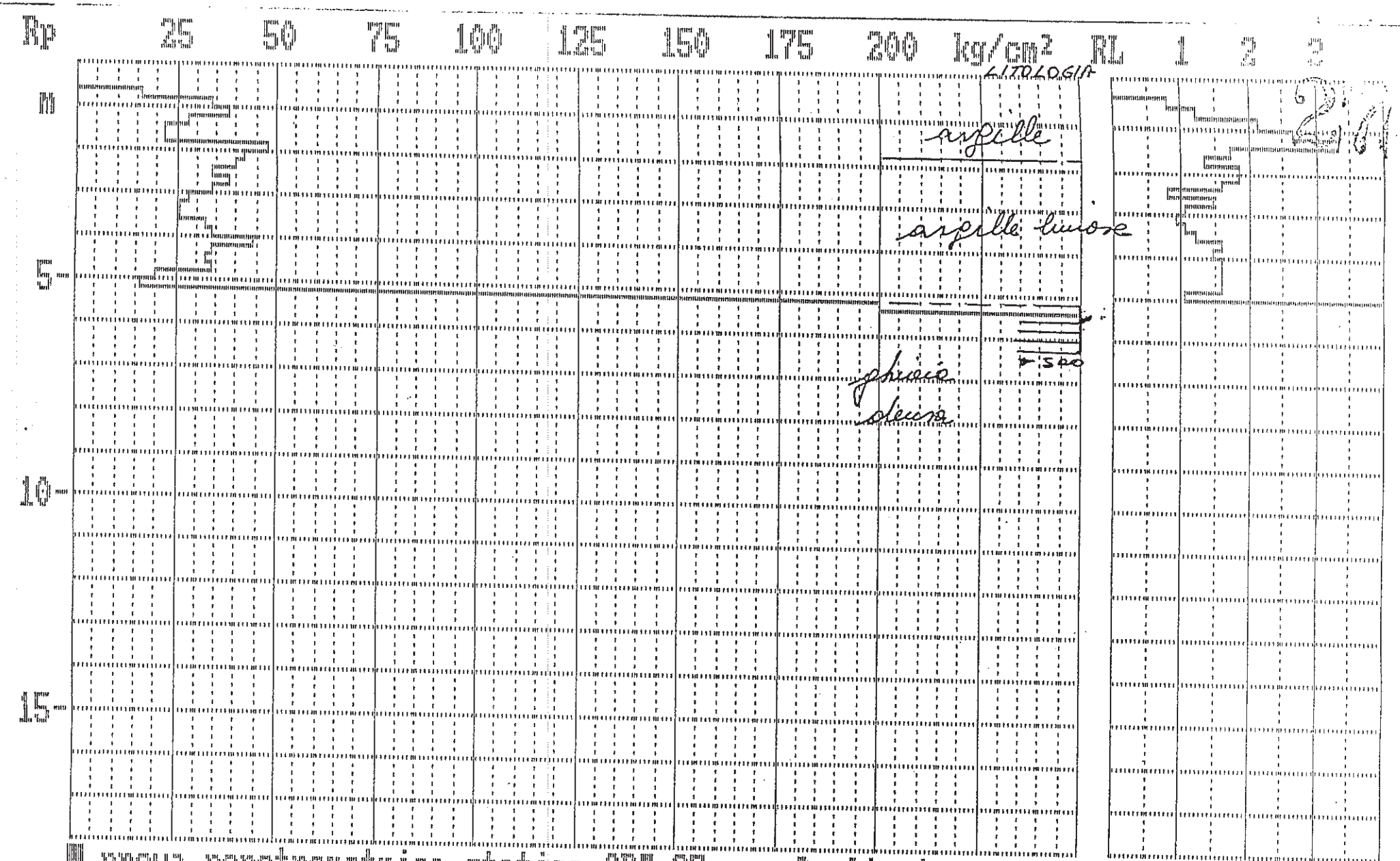
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 26 foglio 1

Rif. Z-IMO-26

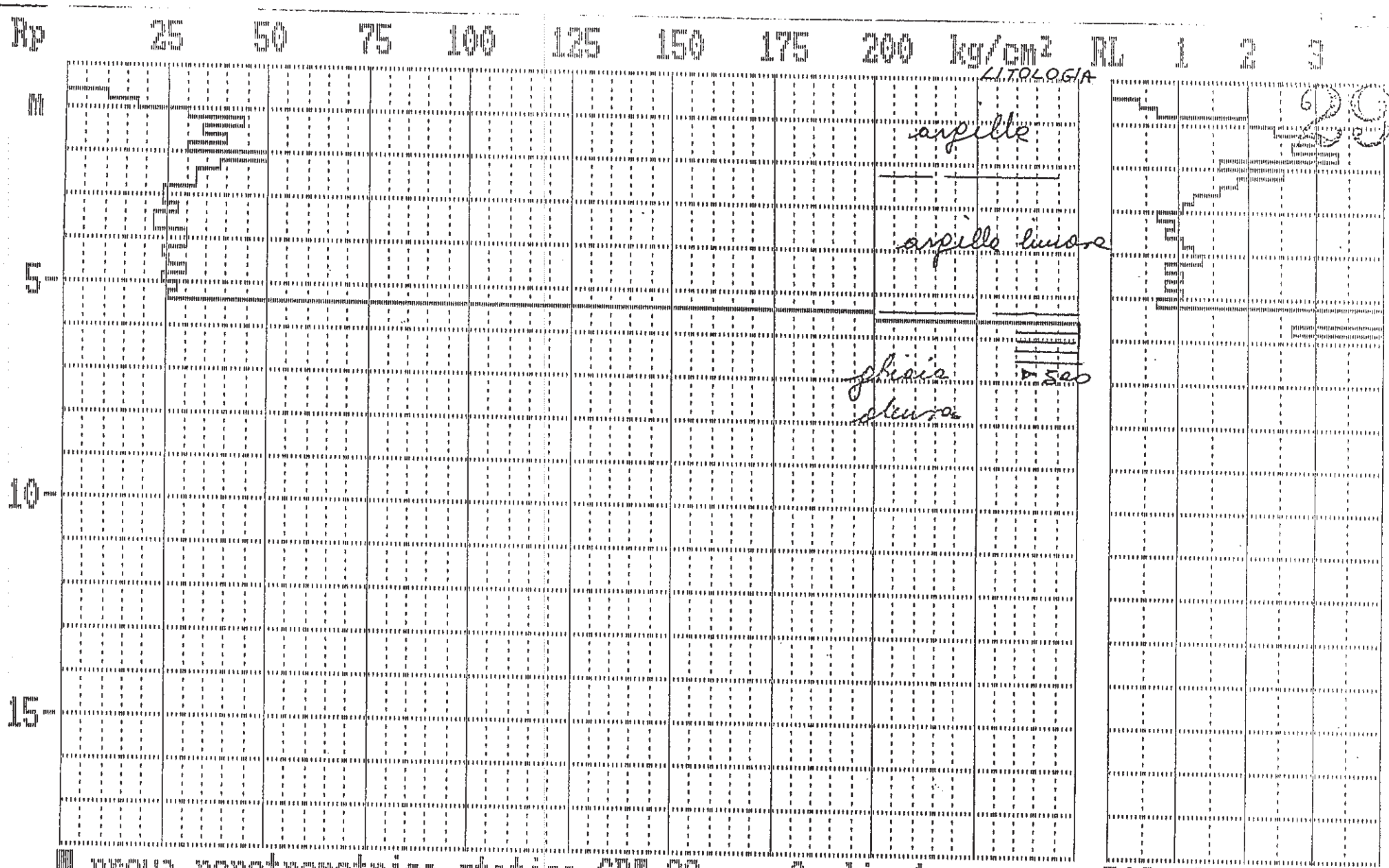
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 e Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 27 foglio 1

Rif. 1-IMO-27

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

Rp 25 50 75 100 125 150 175 200 kg/cm² RL 1 2 3

m

5 m

10 m

15 m

LITOLOGIA

argille

argille limose

ghiaietto

-300

ghiaia

sciolta

prova penetrometrica statica CPT 30 foglio 1

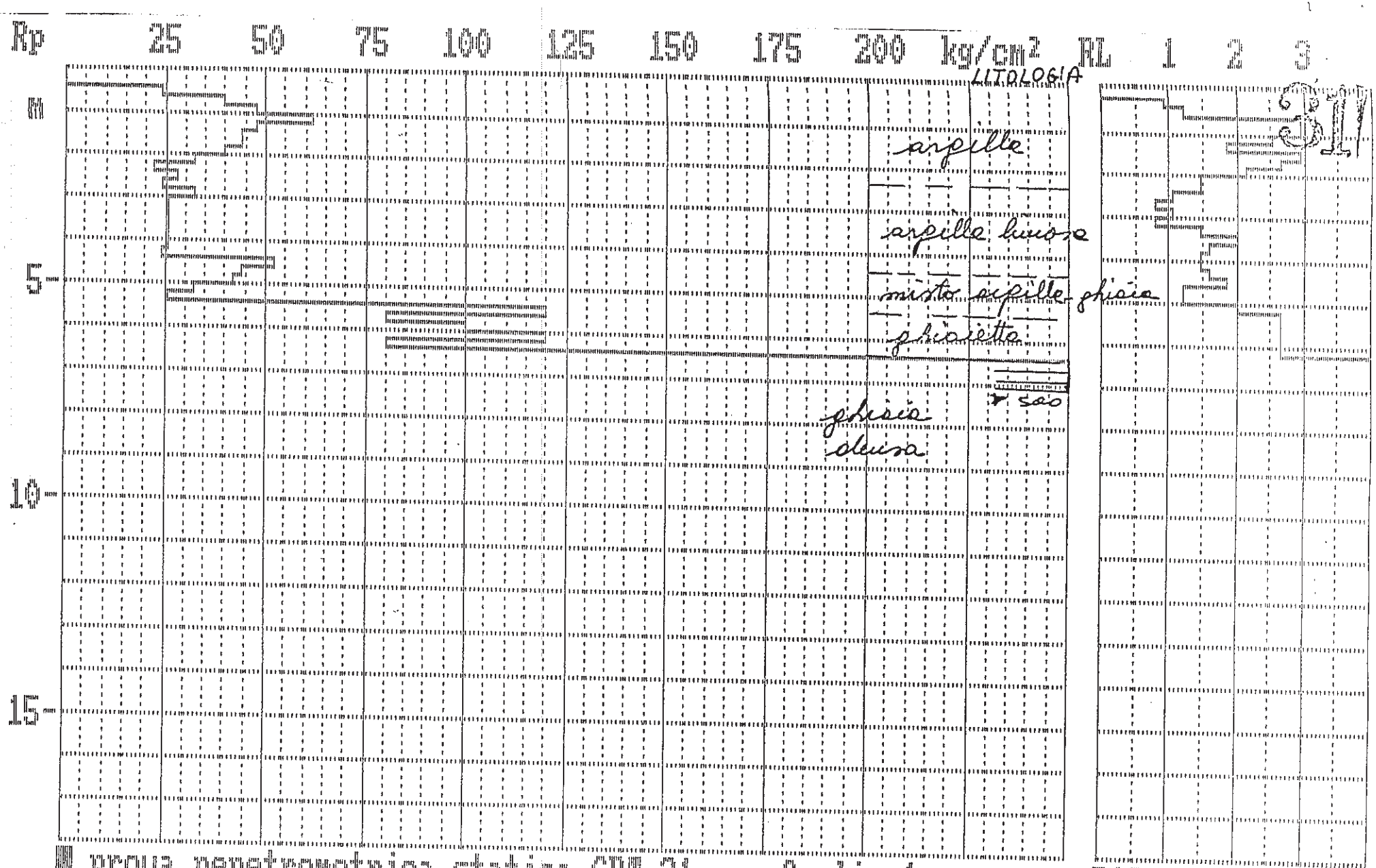
Rif. A-IND-30

Studio [illegible]

Dr. [illegible]

Via San Paolo, 2 - Tel. [illegible]

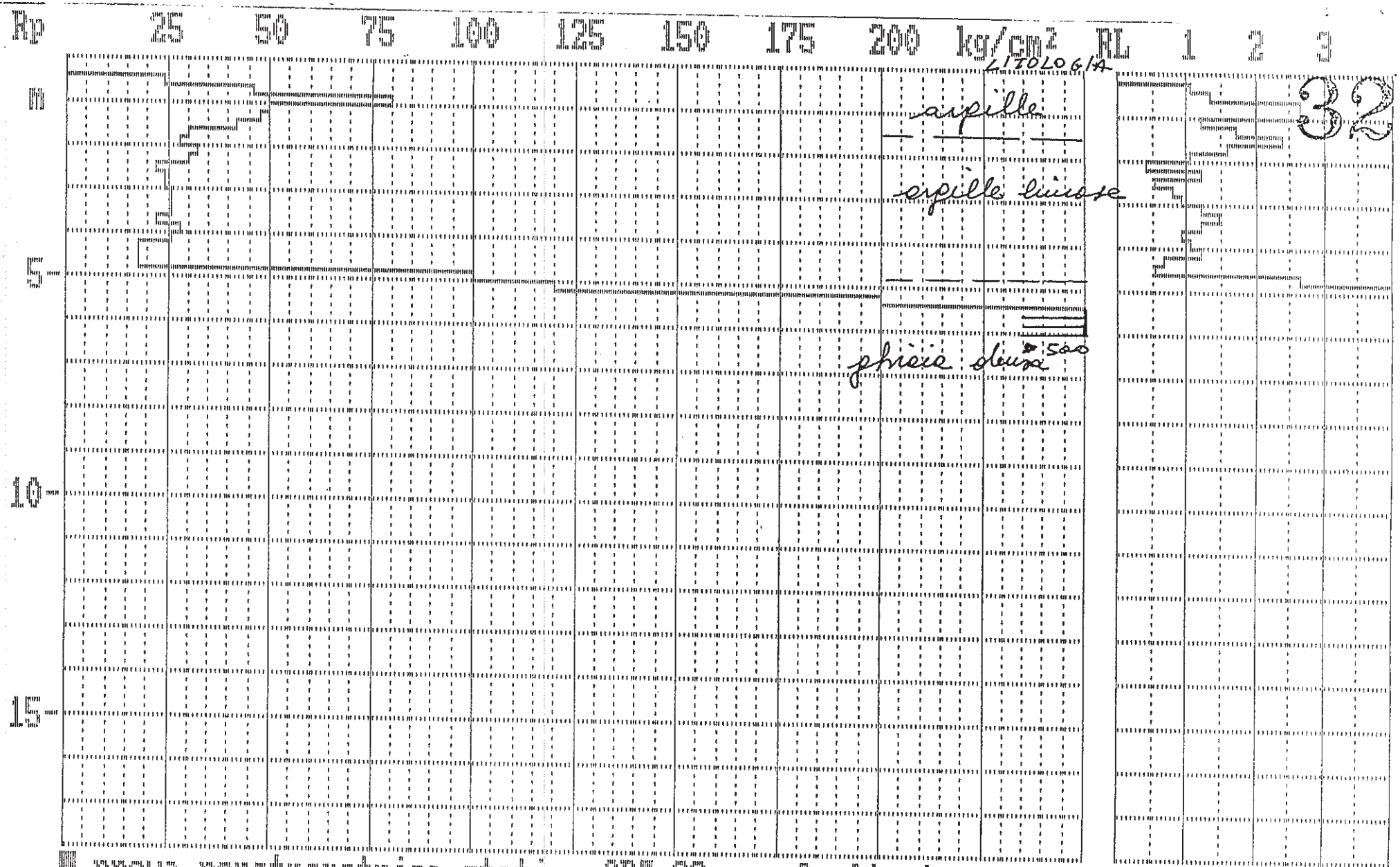
[illegible]



prova penetrometrica statica CPT 31 foglio 1

Rif. A-IMO-31

Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)

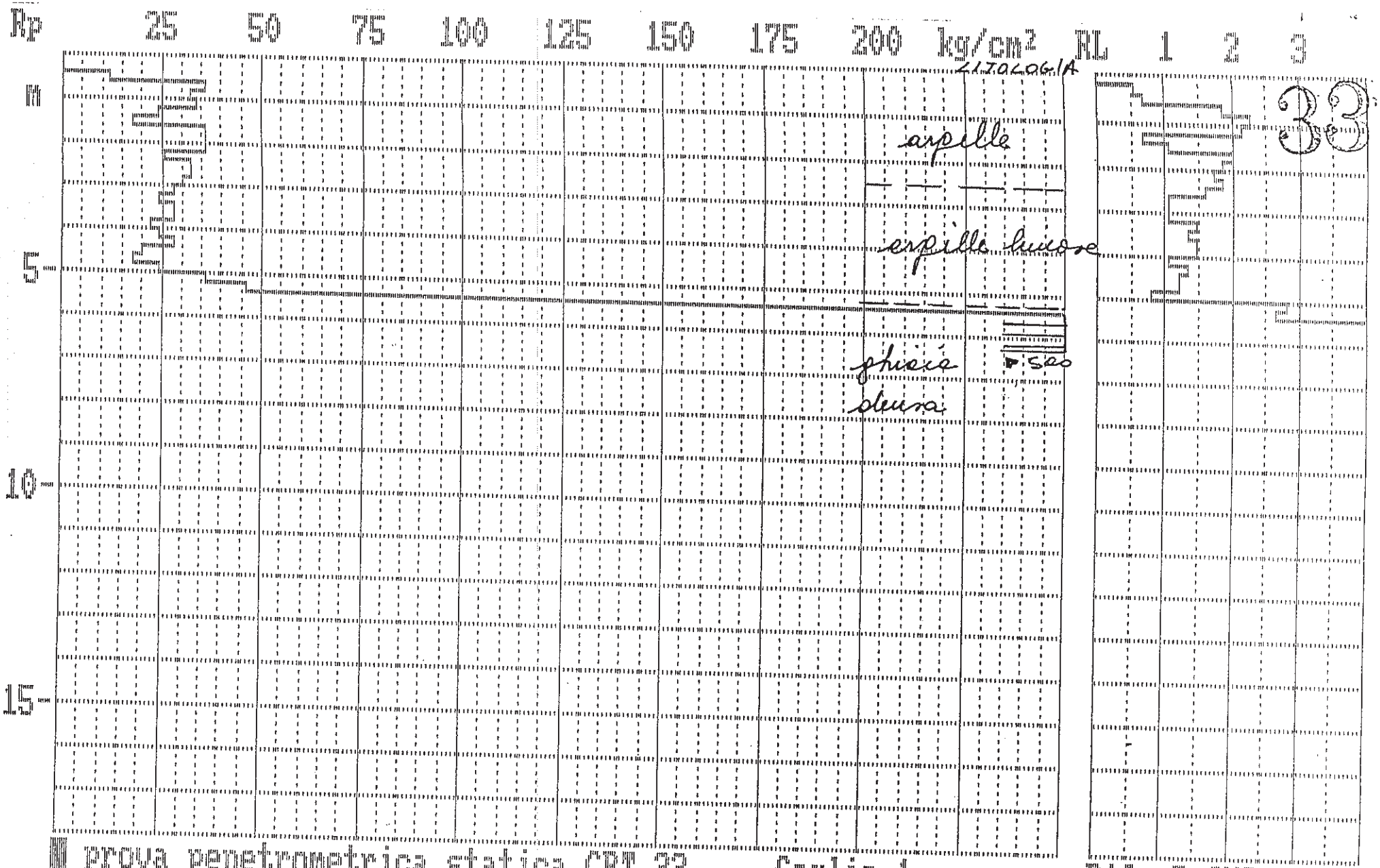


prova penetrometrica statica CPT 32

foglio 1

Rif. A-IMO-32

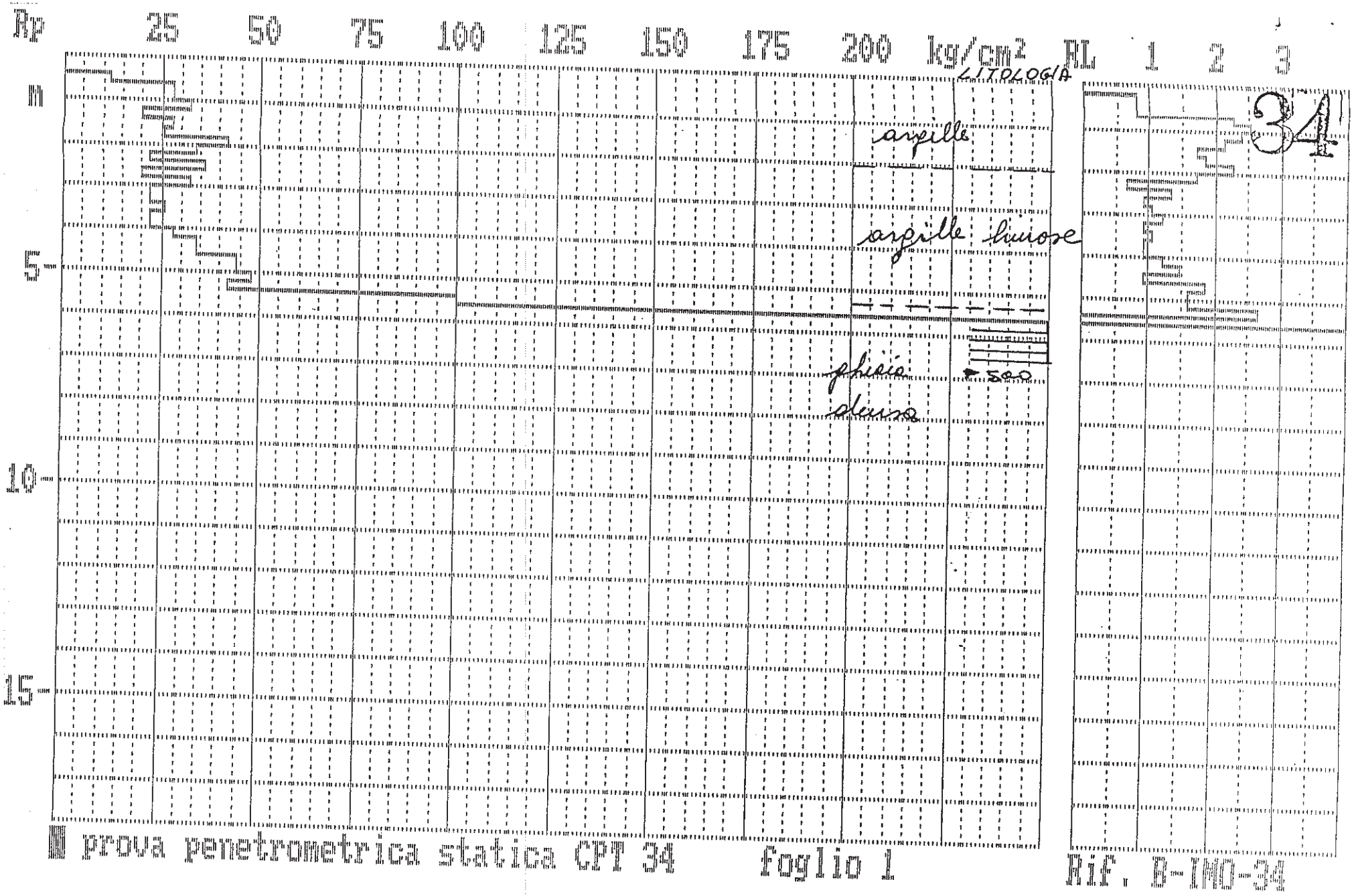
Studio Geologico - Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 33 foglio 1

Rif. P-IMO-33

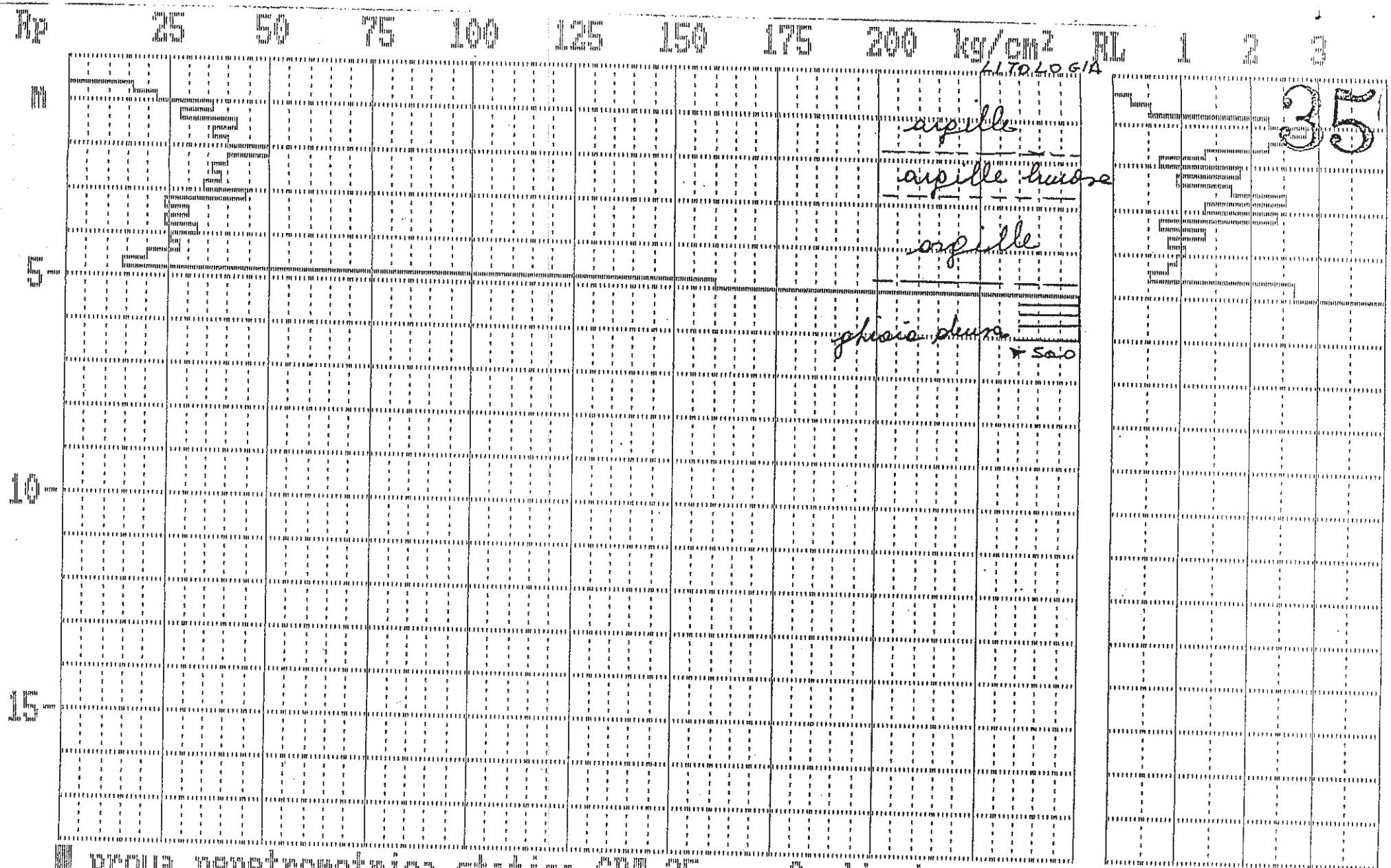
Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 34 foglio 1

Rif. B-IMO-34

Studio Geologico e Geotecnico
Dr. LUIGI BERNARDI
Via San Paolo, 2 - Tel. 0423-53271
CRESPANO DEL GRAPPA — (TV)



prova penetrometrica statica CPT 35 foglio 1

Rif. B-IMO-35

Studio Geologico - [illegible]
Dr. [illegible]
Via San Paolo, 2 - Tel. [illegible]
CRESPANO DEL GRAPPA - (TV)

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 33
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ϕ 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-		-	-	-	-
0.40	-	-	-		-	0.53	-	-
0.60	6.0	10.0	-		12	0.67	18	-
0.80	18.0	23.0	-		36	1.87	19	-
1.00	16.0	30.0	-		32	2.27	14	-
1.20	17.0	34.0	-		34	2.13	16	-
1.40	12.0	28.0	-		24	0.67	36	-
1.60	9.0	14.0	-		18	1.07	17	-
1.80	18.0	26.0	-		36	2.00	18	-
2.00	18.0	33.0	-		36	1.87	19	-
2.20	18.0	32.0	-		36	1.73	21	-
2.40	13.0	26.0	-		26	1.87	14	-
2.60	16.0	30.0	-		32	1.60	20	-
2.80	16.0	28.0	-		32	1.07	30	-
3.00	15.0	23.0	-		30	1.07	28	-
3.20	14.0	22.0	-		28	1.07	26	-
3.40	12.0	20.0	-		24	1.47	16	-
3.60	14.0	25.0	-		28	1.33	21	-
3.80	14.0	24.0	-		28	1.47	19	-
4.00	11.0	22.0	-		22	1.47	15	-
4.20	12.0	23.0	-		24	1.07	22	-
4.40	14.0	22.0	-		28	1.33	21	-
4.60	10.0	20.0	-		20	1.20	17	-
4.80	9.0	18.0	-		18	1.20	15	-
5.00	12.0	21.0	-		24	0.80	30	-
5.20	18.0	24.0	-		36	2.80	13	-
5.40	23.0	44.0	-		46	2.67	17	-
5.60	130.0	150.0	-		260	4.00	65	-
5.80	170.0	200.0	-		340	5.33	64	-
6.00	190.0	230.0	-		380	6.67	57	-
6.20	250.0	300.0	-		500	-	-	-

PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 34
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale	Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	0.80	-	-
0.60	6.0	12.0	-	12	0.80	15	-
0.80	14.0	20.0	-	28	2.27	12	-
1.00	14.0	31.0	-	28	2.53	11	-
1.20	16.0	35.0	-	32	2.40	13	-
1.40	10.0	28.0	-	20	2.13	9	-
1.60	14.0	30.0	-	28	1.73	16	-
1.80	13.0	26.0	-	26	1.87	14	-
2.00	21.0	35.0	-	42	2.27	19	-
2.20	17.0	34.0	-	34	1.73	20	-
2.40	11.0	24.0	-	22	0.67	33	-
2.60	18.0	23.0	-	36	1.33	27	-
2.80	10.0	20.0	-	20	0.93	21	-
3.00	16.0	23.0	-	32	1.07	30	-
3.20	11.0	19.0	-	22	1.20	18	-
3.40	11.0	20.0	-	22	0.93	24	-
3.60	13.0	20.0	-	26	1.07	24	-
3.80	11.0	19.0	-	22	0.93	24	-
4.00	11.0	18.0	-	22	0.93	24	-
4.20	14.0	21.0	-	28	1.20	23	-
4.40	17.0	26.0	-	34	1.47	23	-
4.60	17.0	28.0	-	34	0.93	36	-
4.80	22.0	29.0	-	44	1.87	24	-
5.00	22.0	36.0	-	44	1.60	28	-
5.20	24.0	36.0	-	48	1.60	30	-
5.40	21.0	33.0	-	42	2.67	16	-
5.60	50.0	70.0	-	100	-	-	-
5.80	170.0	20.0	-	340	5.33	64	-
6.00	190.0	230.0	-	380	6.67	57	-
6.20	250.0	300.0	-	500	5.33	94	-
6.40	270.0	310.0	-	540	-	-	-

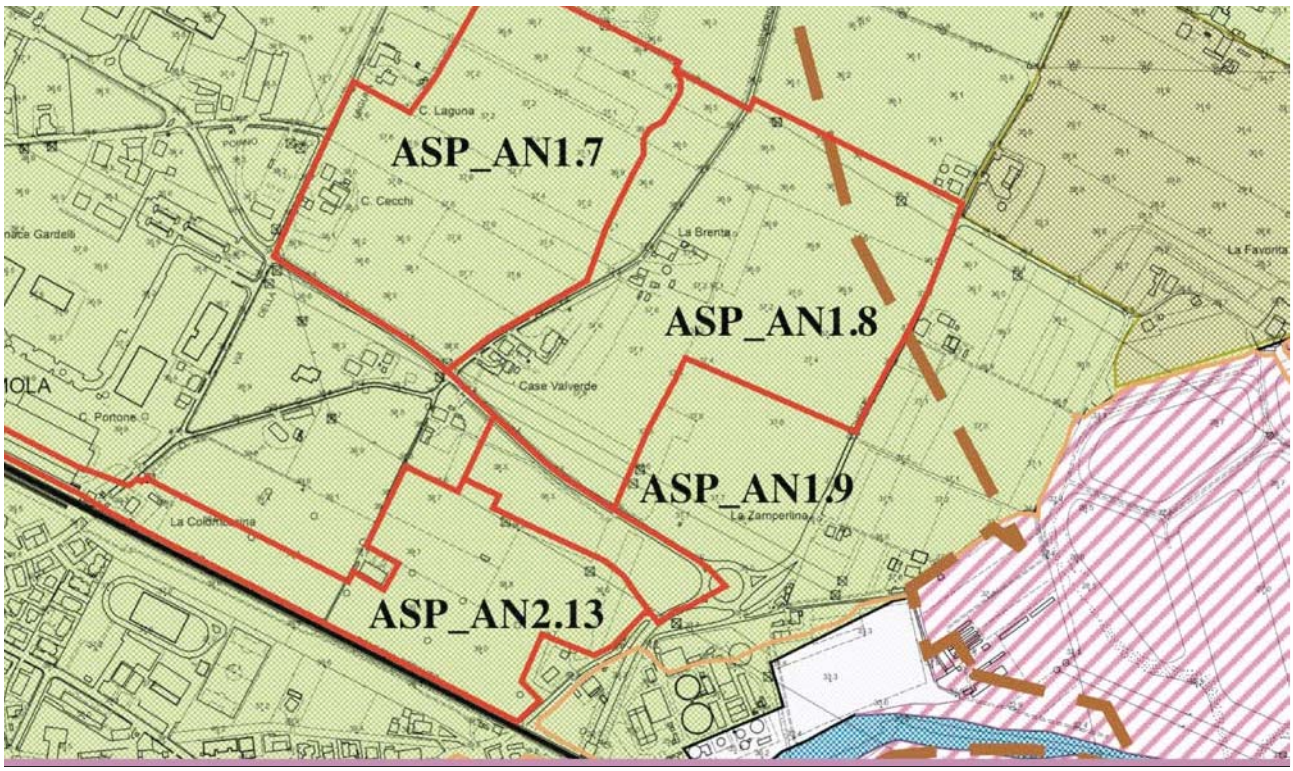
PROVA PENETROMETR. STATICA CPT 35
TABELLE VALORI RESISTENZA RZ-GP-90

PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20t (con anello allargatore) - avanz. 2 cm/s - COSTANTE TRASFORMAZIONE Ct = 20.00
punta meccanica tipo Begemann ø 35.7mm (area punta 10cm² - apertura 60°) - manicotto laterale (superficie 150 cm²)
Cantiere : Via Lasie
Località : Imola
quota inizio : piano campagna
prof. falda = 0.00 m da quota inizio
data : 28-10-2000

prof.(m)	Letture di campagna punta	later.	totale		Rp kg/cm²	RL kg/cm²	Rp/RL -	Rt kg
0.20	-	-	-	-	-	-	-	-
0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
0.60	-	-	-	-	-	0.27	-	-
0.80	8.0	10.0	-		16	0.53	30	-
1.00	11.0	15.0	-		22	2.27	10	-
1.20	18.0	35.0	-		36	2.80	13	-
1.40	14.0	35.0	-		28	2.53	11	-
1.60	21.0	40.0	-		42	2.27	19	-
1.80	18.0	35.0	-		36	1.33	27	-
2.00	20.0	30.0	-		40	0.67	60	-
2.20	25.0	30.0	-		50	1.87	27	-
2.40	20.0	34.0	-		40	0.93	43	-
2.60	18.0	25.0	-		36	1.73	21	-
2.80	19.0	32.0	-		38	2.53	15	-
3.00	17.0	36.0	-		34	1.33	26	-
3.20	22.0	32.0	-		44	2.40	18	-
3.40	12.0	30.0	-		24	0.67	36	-
3.60	15.0	20.0	-		30	1.33	23	-
3.80	12.0	22.0	-		24	0.80	30	-
4.00	16.0	22.0	-		32	1.07	30	-
4.20	13.0	21.0	-		26	0.93	28	-
4.40	14.0	21.0	-		28	0.80	35	-
4.60	10.0	16.0	-		20	0.53	37	-
4.80	7.0	11.0	-		14	2.67	5	-
5.00	80.0	100.0	-		160	2.67	60	-
5.20	150.0	170.0	-		300	4.00	75	-
5.40	200.0	230.0	-		400	5.33	75	-
5.60	190.0	230.0	-		380	5.33	71	-
5.80	170.0	210.0	-		340	6.67	51	-
6.00	250.0	300.0	-		500	-	-	-

Indagini Geologiche e Ambientali

Relazione sull'indagine geologica e sismica relativa all'ambito ASP_AN2.9 - Lasie sito a nord della via Lasie, Comune di Imola



Committente:

Zini Elio s.r.l.

Via Bacchini 2/A

40026 Imola (BO)

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
Ordine Geologi Emilia-Romagna
GEOLOGO SEZ.A
N. 544 ALBO

Imola 09 maggio '18

Dott. Maurizio Castellari Via P. Mascagni 3 - 40026 Imola (BO) Tel 334 2075125 - 0542 682776
mail: castellari.geo@gmail.com P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

Sommario

1 Premessa 3
2 Inquadramento geologico regionale 4
2.1 Inquadramento geologico strutturale 4
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 6
3 Stratigrafia 9
3.1 Settore Appenninico 10
3.1.1 - SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE PADANO-ADRIATICO 10
3.1.2 ARGILLE AZZURRE (Faa) (Cfr Ril In 254 E 238) 10
3.1.3 SABBIE DI IMOLA (IMO) (cfr Sabbie gialle di Imola, auctt) 12
3.2 Settore Di Pianura 13
3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura 15
4 Stratigrafia Delle Unità Quaternarie Continentali 17
4.1 Supersintema Emiliano-Romagnolo 17
4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI) 17
4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES) 22
4.2.1 *Subsintema di Bazzano* (AES6) 24
4.2.2 Subsintema di Villa Verucchio (AES7) 25
4.2.3 Subsintema di Ravenna (AES8) 27
5 Associazioni Di Facies 29
5.1 Depositi alluvionali 29
5.1.1 Ghiaie di canale fluviale 29
5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale 30
5.1.3 Limi e argille di piana inondabile 31
6 Idrogeologia 32
7 Prove pregresse 34
7.1 Settore a nord della Via Emilia 34
7.2 Indagini geognostiche 38
7.3 Indagine in sito 38
7.4 Prospezione sismica 40
7.4.1 Sorgente di energia 42
7.4.2 Apparato di ricezione 42
7.4.3 Operazioni di campagna 42
7.4.4 Acquisizione dati 43
8 Verifica a liquefazione 45
9 Area di studio e indagini effettuate 45
10 Sismicità dell'area 49
10.1 Stendimento MASW/Re.Mi 51
10.2 Registrazione HVSR 52
10.3 Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017) 53
11 Microzonizzazione Sismica 55
12 Conclusioni 65

1 Premessa

A seguito dell'adozione del POC di Imola è stata eseguita un'indagine geologica e sismica per determinare le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'ambito **ASP_AN 2.9** ad nord di via Lasie in Comune di Imola, come da planimetria allegata al fine di acquisire il parere in materia di vincolo sismico e verifiche di compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti sismici ed idrogeologici ai sensi dell'art. 5 della L.R. n. 19 del 2008 ed in conformità con il DGR 2193 del 21 dicembre 2015 entrato in vigore l'8 gennaio 2016.

Sulla base di quanto previsto dalla scheda geologica d'ambito e da quanto indicato nella comunicazione del Servizio Pianificazione edilizia Privata ed Ambiente del 16 marzo 2018 le analisi effettuate sono le seguenti:

- verifica di compatibilità delle previsioni con le condizioni di pericolosità locale degli aspetti geologici ed idrogeologici.
- Nelle aree dove non sono previsti fenomeni di liquefazione e/o amplificazione si potrà provvedere ad un'analisi semplificata di 2° livello di approfondimento, più precisamente occorrerà determinare sinteticamente quanto segue:

  1) la profondità del "bedrock sismico" locale e per un perimetro esterno comprendente le aree già insediate.

  2) la velocità delle onde di taglio Vs almeno per i primi 31 metri dal p.c., misurate con strumentazione idonea ad ottenere un grado di definizione elevato;

  3) i coefficienti di amplificazione sismica delle aree suscettibili di effetti locali, in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) e di intensità di Housner (SI/Slo).

Allo scopo di definire un modello geotecnico del sito in oggetto, in primo luogo sono stati presi in esame ed elaborati i dati derivanti da bibliografia e da campagne geognostiche precedenti eseguite nell'intorno dell'area ed è stato quindi acquisito l'andamento litostratigrafico generale del sito.

L'indagine eseguita nel maggio '18 è stata eseguita direttamente sull'area mediante una prova sismica MASW e una prova tromografiche HVSR.

Si sono pertanto individuati i tipi litologici ed alcune proprietà dei terreni medesimi, che verranno descritti di seguito.

In allegato sono indicati i punti di esecuzione delle prove.



Fig. 1: Ubicazione del lotto

2 Inquadramento geologico regionale

2.1 Inquadramento geologico strutturale

Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedeapenninic Thrust Front o PTF (Boccaletti et al., 1985). Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985), separa la catena in via di sollevamento a sud da un'area fortemente subsidente a nord.

Le ricerche condotte dall'AGIP nel corso degli ultimi decenni hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano mediante l'interpretazione di profili sismici (Pieri & Groppi, 1981; Dondi et al., 1982; Castellarin et al., 1985; Dondi & D'Andrea, 1986; Dalla et al., 1992). Recentemente, sulla base di criteri stratigrafico-sequenziali, Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Regione Lombardia & ENI-Divisione Agip (2000) hanno suddiviso il Bacino Padano in sette sequenze deposizionali, delimitate a base e a tetto da superfici di inconformità e da superfici correlative di continuità stratigrafica (figura 1). Queste sequenze, i cui limiti marcano importanti fasi di ristrutturazione del bacino nel corso dell'orogenesi, con denudamento delle aree marginali e incremento della subsidenza in quelle centrali, mostrano un grado di deformazione progressivamente decrescente dal basso verso l'alto, con valori minimi in corrispondenza della successione medio e tardoquaternaria.

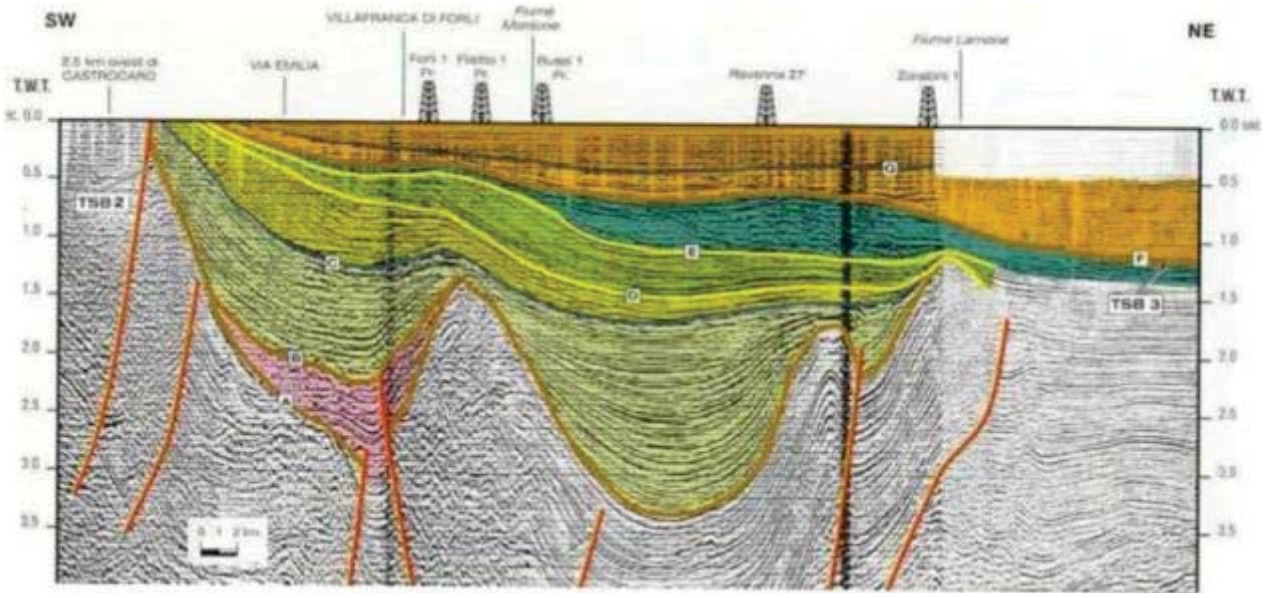


Figura 1: sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità “G” in figura 1) consente una buona preservazione dei rapporti originari tra facies all’interno dei depositi datati agli ultimi 400.000 anni. Ricostruzioni stratigrafiche e sedimentologiche di dettaglio all’interno di questa sequenza, basate sullo studio di sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 200m, hanno messo in luce come una ciclicità deposizionale alla scala milankoviana, definita dall’alternanza di cicli glaciale/interglaciale di circa 100.000 anni di durata, rappresenti il principale elemento di controllo dell’architettura stratigrafica (Amorosi et al., 2004; Amorosi & Colalongo, 2005), permettendo l’attribuzione delle superfici trasgressive a successivi episodi interglaciali (stadi isotopici dell’ossigeno 1, 5e, 7, 9 e 11 in Fig. 2 - Amorosi & Colalongo, 2005).

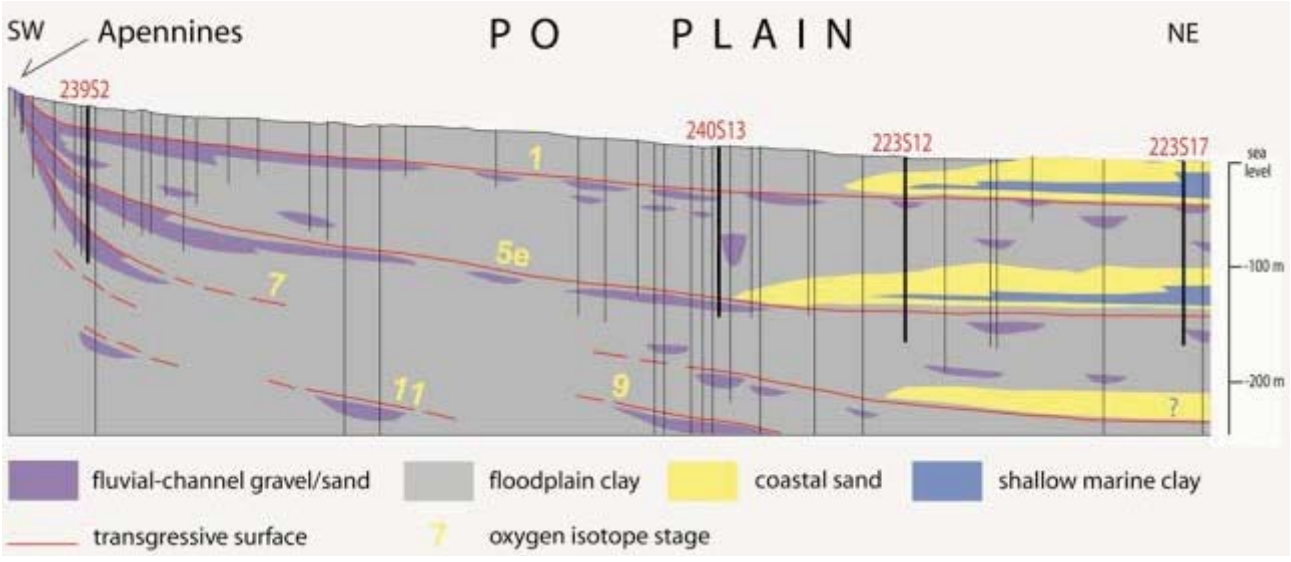


Figura 2: stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale(in viola) e litorali (in giallo), separati da superfici trasgressive (da Amorosi & Colalongo, 2005).

Come osservabile in figura 2, i depositi tardoquaternari al margine del Bacino Padano sono dominati da spessi accumuli di sedimenti di conoide alluvionale, che costituiscono i principali acquiferi dell'intera area padana. Si tratta di spessi pacchi di ghiaie amalgamate, sovrapposti e saldati lateralmente per spessori complessivi dell'ordine delle centinaia di metri e con un'estensione laterale di decine di km parallelamente al margine appenninico. Questi corpi tendono a sfrangiarsi verso la pianura, interdigitandosi con sedimenti limoso-argillosi di piana inondabile e dando origine a caratteristiche sequenze trasgressivo-regressive .
A valle dei conoidi alluvionali il Bacino Padano è dominato da spessi pacchi di depositi di piana inondabile, che si interpongono tra i corpi di conoide alluvionale ed un secondo sistema di acquiferi, legato all'attività del Fiume Po. La piana costiera, infine, presenta caratteristici corpi sabbiosi cuneiformi di spiaggia, derivanti dalla migrazione della linea di costa verso terra durante le maggiori pulsazioni trasgressive, seguita dalla progradazione dei sistemi costieri (delta e spiagge) durante le successive fasi di stazionamento alto del livello del mare (figura. 2).

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano; la porzione sud-occidentale, pari a circa il 40%, è costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo mentre la maggior parte del foglio, nord-orientale, appartiene alla Pianura Padana
Le unità geologiche affioranti nel settore appenninico appartengono alla Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola (da qui in avanti UMR), alla Successione evaporitica messiniana e alla Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico
Si tratta di successioni che non hanno subito importanti traslazioni orizzontali e perciò ritenute autoctone. Le successioni affioranti si immergono a monoclinale, piuttosto regolarmente, verso nord-est e in pianura sono ricoperte dai depositi alluvionali padani (fig. 2).
Per la regolare immersione verso nord-est, l'età delle formazioni affioranti è sempre più giovane procedendo da sud-ovest verso nord-est.

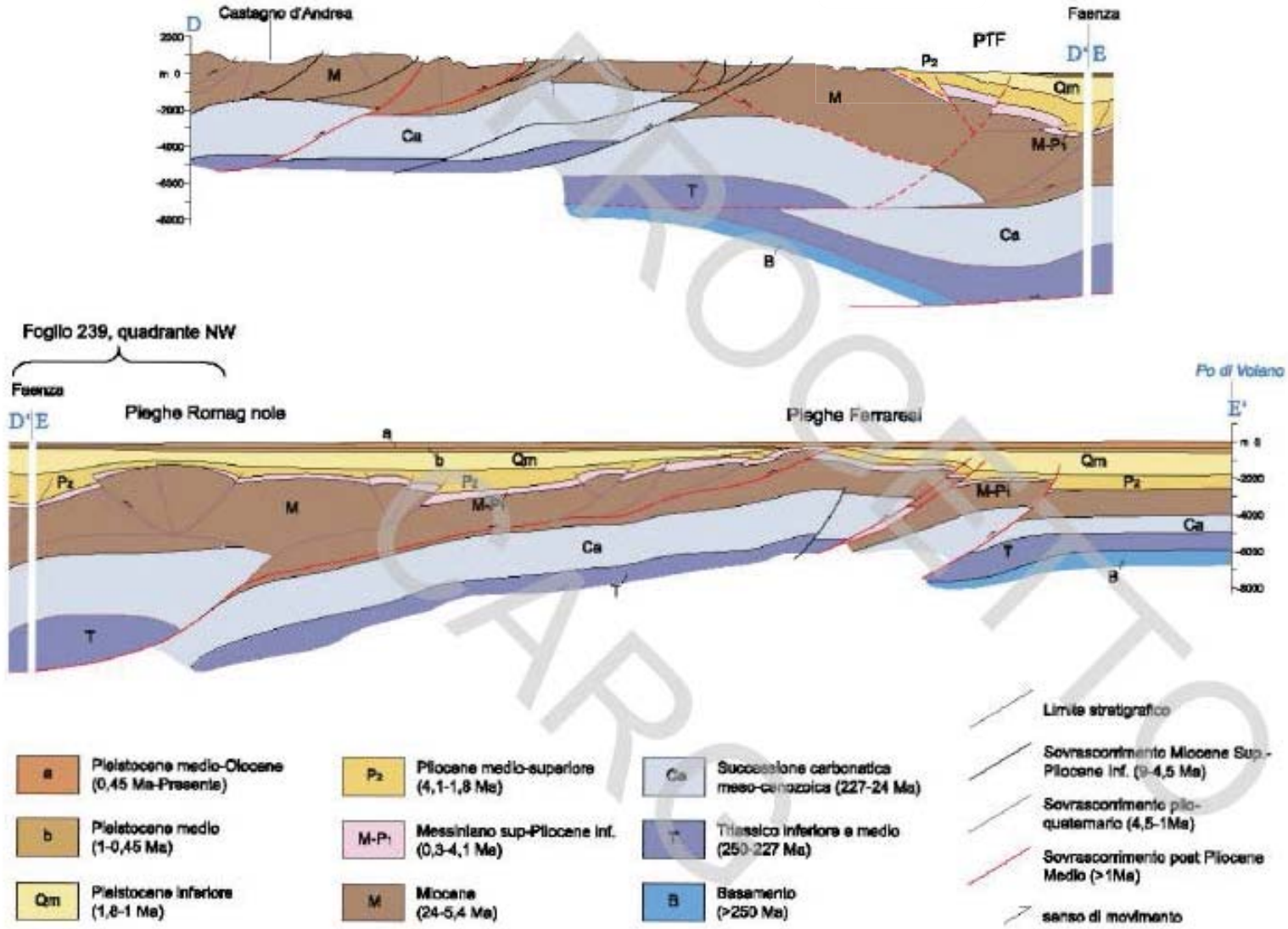


Fig. 2 - *Sezione geologico-strutturale dal crinale dell'Appenino tosco-romagnolo al Po (da* BOCCALETTI *et alii*, 2004*).*

PROGETTO CARG

Arealmente la maggior estensione delle unità appenniniche affioranti è rappresentata dai terreni plio-pleistocenici, mentre la maggiore caratterizzazione dei rilievi è dovuta alla “vena del gesso” messiniana, che per la sua peculiarità lito- logica caratterizza in modo evidente da un lato gli aspetti naturalistici, quali ad esempio geositi e clima, dall’altro gli insediamenti umani e la storia dell’area

Altra particolarità di questo foglio è, per le unità appenniniche, la notevole estensione dei depositi marini pleistocenici, di solito scarsamente rappresentati nei fogli limitrofi.

L’unità stratigrafica affiorante più antica è la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA), di cui il Membro di Dovadola (Tortoniano inferiore) costituisce nel foglio in esame l’unità stratigraficamente più bassa mentre la parte alta è rappresentata dal Membro di Borgo Tossignano (Tortoniano superiore) che rappresenta la fine della sedimentazione torbiditica nell’avanfossa miocenica.

Il passaggio al Messiniano presenta iniziali condizioni di mare aperto (ambiente epibatiale dell’unità Ghioli di Letto, GHL) a cui fa seguito il graduale abbassamento relativo del livello del mare che porta all’instaurarsi di bacini confinati caratterizzati da forte evaporazione, fino ad ambienti di “sabka” in cui si è sedimentata la Formazione della Vena del Gesso (VGS) Dopo la crisi di salinità del Messiniano si instaurano condizioni di lago-mare e laguna, testimoniati dai depositi della Formazione a Colombacci (FCO) (ricci Lucchi et alii, 1982)

Le unità messiniane, tuttavia, sono qui rappresentate da una successione incompleta per la presenza di una superficie inconforme che oblitera di frequente i termini più alti quali la FCO, mentre forti disturbi tettonici in destra del torrente Sintria (un affluente di destra del torrente Senio), alterano il passaggio dai depositi fini appartenenti a GHL e VGS.

Un contatto paraconcordante separa i depositi continentali e di laguna appartenenti a FCO da quelli francamente marini delle Marne di Cella (CEA) e di avanfossa appartenenti alle Argille Azzurre (FAA) di età compresa tra il Pliocene basale, età delle Marne di Cella, e la parte alta del Pleistocene inferiore, tetto delle Argille Azzurre Per tutta la durata del Pliocene si mantengono condizioni di sedimentazione bacinali; tuttavia, nel Pliocene Medio, si depositano anche sedimenti legati a locali condizioni euxiniche (litofacies tripolacea, FAAtr) e depositi clastici organogeni

Dal Pleistocene inferiore si instaura un trend marcatamente regressivo; entro i depositi di FAA si osserva infatti un graduale passaggio da condizioni di scarpata continentale ad ambienti litorali, come evidenziato dalle peliti di Terra del Sole (FAAts) Nell’area del foglio è stato inoltre descritto, per la prima volta, un ulteriore ciclo trasgressivo-regressivo (Arenarie e Argille di Savignano) al tetto di FAA, attribuito alla parte terminale del Pleistocene inferiore (Amorosi et alii, 1998b; Vaiani, 2000) e correlato con le Arenarie e Argille di Savignano (Farabegoli, 1987), già descritte nel Foglio 256 Rimini (2005) Al di sopra di questi sedimenti con una superficie discordante erosiva su FAAts e localmente sulle Arenarie e Argille di Savignano si hanno le Sabbie di Imola (Amorosi et alii,

1998a). Si tratta di depositi medio pleistocenici, essenzialmente litorali, che costituiscono le unità marine più alte del margine appenninico.
La successione marina è troncata al tetto dai depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Supersintema Emiliano-Romagnolo di età Pleistocene medio- Olocene. Questi depositi sono presenti in lembi discontinui nelle valli appenniniche, dove corrispondono a depositi di terrazzi intravallivi, mentre occupano interamente il settore di pianura del foglio 239.

3 Stratigrafia

Come descritto nell'inquadramento geologico, il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano. La maggior parte del foglio è costituita dai depositi alluvionali della Pianura Padana che costituiscono il Supersintema Emiliano-Romagnolo; solo nella porzione sud-occidentale, costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo, sono presenti esposizioni in cui è possibile studiare, direttamente in affioramento, le unità geologiche marine che costituiscono il foglio.
Nel settore collinare affiorano soprattutto formazioni marine, costiere, lagunari e transizionali le cui età sono comprese tra il Tortoniano inferiore ed il Pleistocene medio. Nelle valli appenniniche e nel settore del margine catena- pianura tali depositi vengono ricoperti dai depositi alluvionali (Supersintema Emiliano-Romagnolo) che costituiscono la parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico
Nella descrizione delle unità litostratigrafiche si procederà seguendo l'ordine deposizionale, dai termini più antichi ai più recenti.
Come già accennato, per i diversi criteri di riconoscimento, descrizione e cartografia, i terreni continentali e quelli marini saranno descritti separatamente nei due sottocapitoli "settore appenninico" e "settore di pianura"
Per quanto riguarda il settore appenninico si prenderanno inconsiderazione solo le unità della parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quanto sono quelle che interagiscono con i depositi alluvionali della pianure e con le aree di alimentazioni dei pozzi oggetto di quest'indagine.

3.1 Settore Appenninico

3.1.1 - SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE PADANO-ADRIATICO

Questa successione comprende tutti i depositi successivi alla crisi di salinità del Messiniano, costituiti, in questo foglio, dalle Marne di Cella del Pliocene inferiore, dalle Argille azzurre del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, dalle Sabbie di Imola del Pleistocene medio e dai depositi alluvionali del Pleistocene medio-Olocene (Superisintema Emiliano-Romagnolo).

3.1.2 ARGILLE AZZURRE (Faa) (Cfr Ril In 254 E 238)

Rappresentano i due terzi degli affioramenti del territorio collinare, che caratterizzano con estese forme calanchive.

Questi terreni sono rappresentati da argille e argille marnose grigie e grigio - azzurre in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o per nulla visibili per bioturbazione e/o scarsa classazione granulometrica, con rari strati arenacei sottili risedimentati e lamine siltose

Sono stati distinti diversi membri e litozone, descritti di seguito: membro dello Spungone (**fAA3**), la litozona tripolacea (**fAAtr**) la litozona arenacea (**fAAa**) e le peliti di Terra del Sole (**fAAts**)

Nella parte alta sono presenti due lenti di ghiaia spesse alcuni metri ed estese al massimo 150 metri, non distinte in carta, affioranti in località Ca' Creta, nel T Samoggia

Sono sempre presenti i microfossili, mentre i macrofossili tendono a concentrarsi in panchine o appaiono sparsi un po' ovunque.

L'ambiente di sedimentazione è quindi di scarpata continentale con locali passaggi a piattaforma continentale esterna

La potenza totale della formazione affiorante è di circa 1 200 metri

Il limite inferiore è graduale ed eteropico con CEA, oppure netto e discordante o paraconcordante su FCO e VGS

Il limite superiore è netto con SVG e discordante con IMO o con i depositi alluvionali

La microfauna a foraminiferi planctonici e bentonici è generalmente abbondante e diversificata É possibile osservare la presenza dei principali bioeventi plio-pleistocenici riportati in fig 1 Ciò consente di riconoscere la successione di tutte le biozone a foraminiferi planctonici dalla zona *a Globorotalia margaritae* del Pliocene Inferiore alla zona a *Neogloboquadrina pachyderma* sin del Pleistocene inferiore In assenza del marker zonale, l'attribuzione dei sedimenti basali della formazione alla zona a *Sphaeroidinellopsis* spp non è sicura

Le microfaune bentoniche, pur con locali notevoli variazioni entro l'unità, presentano una relativa abbondanza di *Cibicidoides kullenbergi*, *Cibicidoides spp , Brizalina spp , Bulimina spp , Globobulimina spp , Gyroidinoides altiformis, Gyroidinoides soldanii, Gyroidinoides spp , Miliolidae, Planulina arimi- nensis, Sphaeroidina bulloides e Uvigerina spp e sono indicative di un ambiente di scarpata continentale La locale presenza, in particolare nella parte alta della formazione, di elevate*

frequenze di Cassidulina laevigata carinata, Bulimina marginata e Textularia spp sono ritenute indicative di oscillazioni verso batimetrie più superficiali (piattaforma continentale esterna).

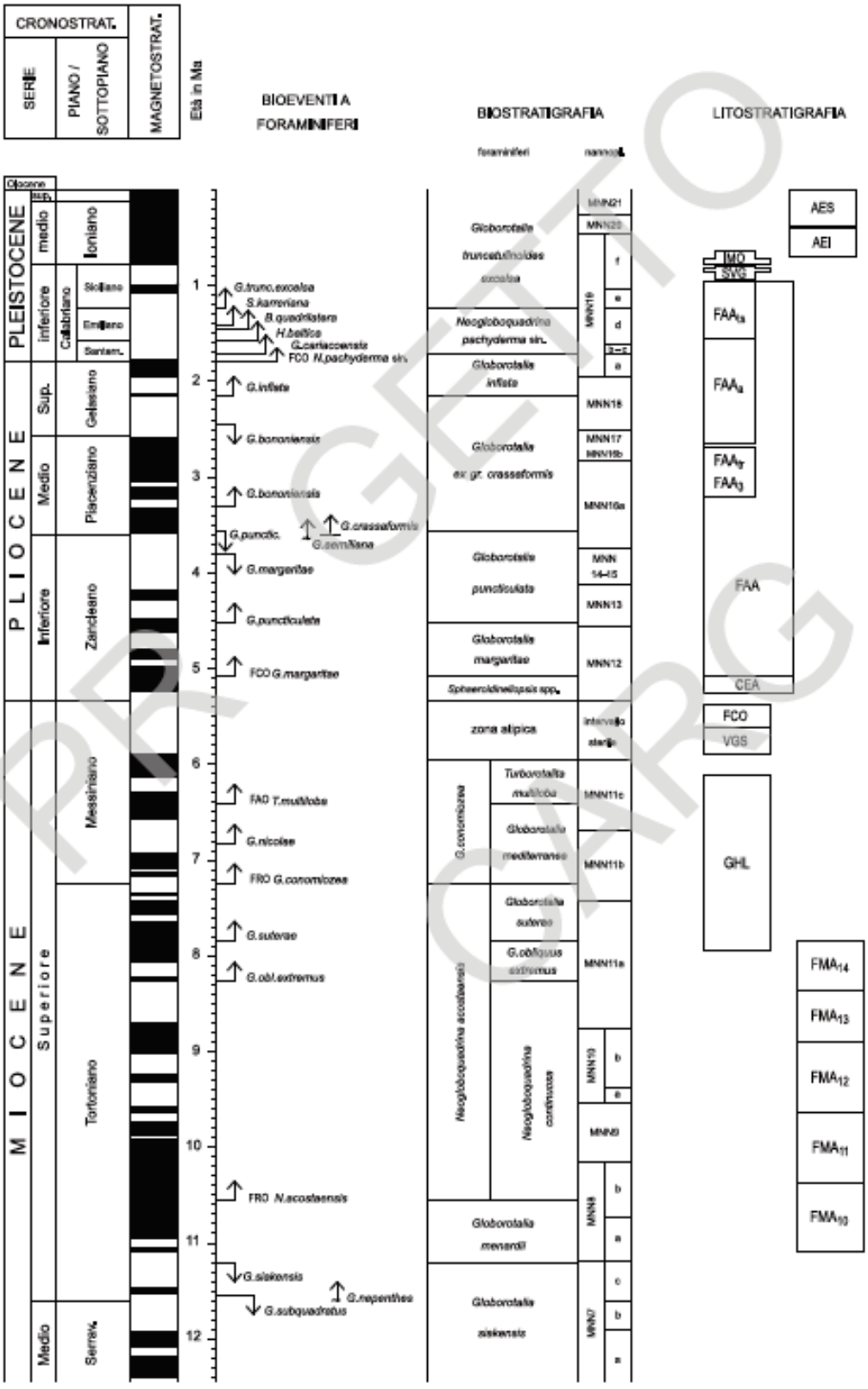


Fig. 1 - *Schema stratigrafico del Foglio 239.*

PROGETTO CARG

3.1.3 SABBIE DI IMOLA (IMO) (cfr Sabbie gialle di Imola, auctt)

L'unità è presente su un ampio settore del margine appenninico a partire dalla destra del fiume Santerno, fino alla sinistra del fiume Montone, essa rappresenta la più recente tra le unità marine dell'Appennino Settentrionale.

Questa unità è stata recentemente oggetto di un dettagliato studio di terreno corredato da numerose analisi biostratigrafiche e petrografiche (Amorosi *et alii*, 1998a) In questo lavoro all'interno delle Sabbie di Imola sono stati riconosciuti due cicli deposizionali: il ciclo inferiore è costituito da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia; il ciclo superiore è formato da una porzione inferiore prevalentemente argillosa di piana alluvionale, alla quale si sovrappongono in trasgressione delle sabbie di spiaggia simili a quelle sottostanti, ma generalmente meno ghiaiose. Il limite tra i cicli è una superficie di discontinuità marcata dal contatto brusco tra le sabbie di spiaggia sottostanti e peliti di piana alluvionale

In Amorosi *et alii* (1998a), a tale suddivisione in cicli deposizionali viene fatta corrispondere una suddivisione in membri e il quadro litostratigrafico proposto è il seguente: IMO1 (membro di Monte Castellaccio), corrispondente alle sabbie e ghiaie del ciclo basale; IMO2 (membro di Fossoveggia), corrispondente alle argille delle parte bassa del secondo ciclo; IMO3 (membro di Castel San Pietro) corrispondente alle sabbie di tetto del secondo ciclo

Nel foglio 239 le Sabbie di Imola sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale o laguna costiera

Il limite basale sulle argille plio-pleistoceniche è un contatto netto con discordanza angolare, che individua una superficie di discontinuità di carattere regionale. Anche il limite superiore è marcato da una discontinuità regionale che sovrappone i depositi quaternari continentali alle Sabbie di Imola

Età: parte inferiore del Pleistocene medio, Ioniano (Amorosi *et alii*, 1998a)

3.1.3.1 Membro di Monte Castellaccio (IMO1)

É costituito da sabbie ed arenarie poco cementate fini finissime e subordinata- mente medie e grossolane di colore giallo in strati amalgamati. Presenti livelli ghiaiosi in strati da sottili a spessi che si rilevano prevalentemente nel settore in destra del torrente Marzeno e sono costituiti da ghiaie poco cementate, prevalentemente fini, frequentemente silicee. Tali livelli ghiaiosi sono generalmente presenti verso la porzione alta di questa unità. Presenti a tratti intercalazioni pelitiche costituite da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui

L'analisi micropaleontologica ha evidenziato associazioni a foraminiferi e ostracodi rimaneggiate da unità antiche o trasportate da ambienti marini più profondi; sono inoltre localmente segnalate

ostracofaune ipoaline alla base del membro (Amorosi *et alii,* 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e delta conoide, lo spessore massimo di poche decine di metri.
Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA

3.1.3.2 Membro di Fossoveggia (IMO2)

L'unità è presente unicamente nel settore in destra del torrente Marzeno, dove si pone geometricamente in posizione intermedia tra i due membri sopra e sottostanti Il membro di Fossoveggia è costituito da limi ed argille prevalenti di colore grigio azzurro e subordinatamente giallastro, a stratificazione mal visibile con subordinate intercalazioni decimetriche di sabbie pelitiche. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali; presenti paleosuoli Le microfaune osservate sono costituite da ostracodi salmastri (*Cyprideis torosa*) e ipoalini, appartenenti principalmente al genere *Candona* (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e palude, lo spessore massimo è di una decina di metri circa
Contatto inferiore netto su IMO1 e FAA

3.1.3.3 Membro di Castel San Pietro (IMO3)

Questa unità è stata riconosciuta solamente in pochi affioramenti posti in destra idrografica del torrente Marzeno Essa è costituita da sabbie ed arenarie poco cementate fini e finissime di colore giallo, in strati amalgamati, alternate a rari livelli pelitici costituiti da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui, strati decimetri di peliti sabbiose A tratti, nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee. Le rare microfaune osservate sono costituite unicamente da foraminiferi e ostracodi rimaneggiati e trasportati (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e di delta conoide
La distinzione tra questa unità e IMO1 è resa possibile grazie alla presenza del livello fine costituito da IMO2 che è sempre presente, anche se in alcuni casi (esempio Monte Vescovado) con uno spessore non cartografabile, e dal fatto che l'unità in questione contiene complessivamente un minor volume di ghiaie.
Lo spessore massimo è di alcune decine di metri Contatto inferiore eteropico su IMO2.

3.2 Settore Di Pianura

L'evoluzione sedimentaria plio-quaternaria del bacino padano registra una generale tendenza "regressiva", identificata al margine appenninico da ricci Lucchi et alii (1982), da depositi marini di ambiente progressivamente meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una chiara superficie d'inconformità di significato regionale da parte di questi autori ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quaternaria affiorante al

margine appenninico, portando all'identificazione di due cicli sedimentari principali (fig. 3), uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). La superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata successivamente identificata da regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) anche nel sottosuolo della Pianura Padana (fig. 2), in corrispondenza del limite tra il Supersintema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di Ricci Lucchi et alii, 1982) e il sovrastante Supersintema Emiliano-Romagnolo (equivalente del ciclo Qc).

La successione quaternaria continentale del pedeappennino emiliano-romagnolo comprende da un lato l'insieme dei depositi alluvionali terrazzati affioranti nelle piane intravallive dei fiumi e torrenti appenninici e, dall'altro, i depositi di conoide e piana alluvionale della pianura antistante. La base della successione è marcata in affioramento da una superficie d'inconformità, associata a una discordanza angolare, che separa i depositi alluvionali del ciclo Qc dai sottostanti depositi marini, i cui termini più recenti sono costituiti da sabbie litorali (Sabbie di Imola o sequenza Qm3b di Amorosi et alii, 1998a).

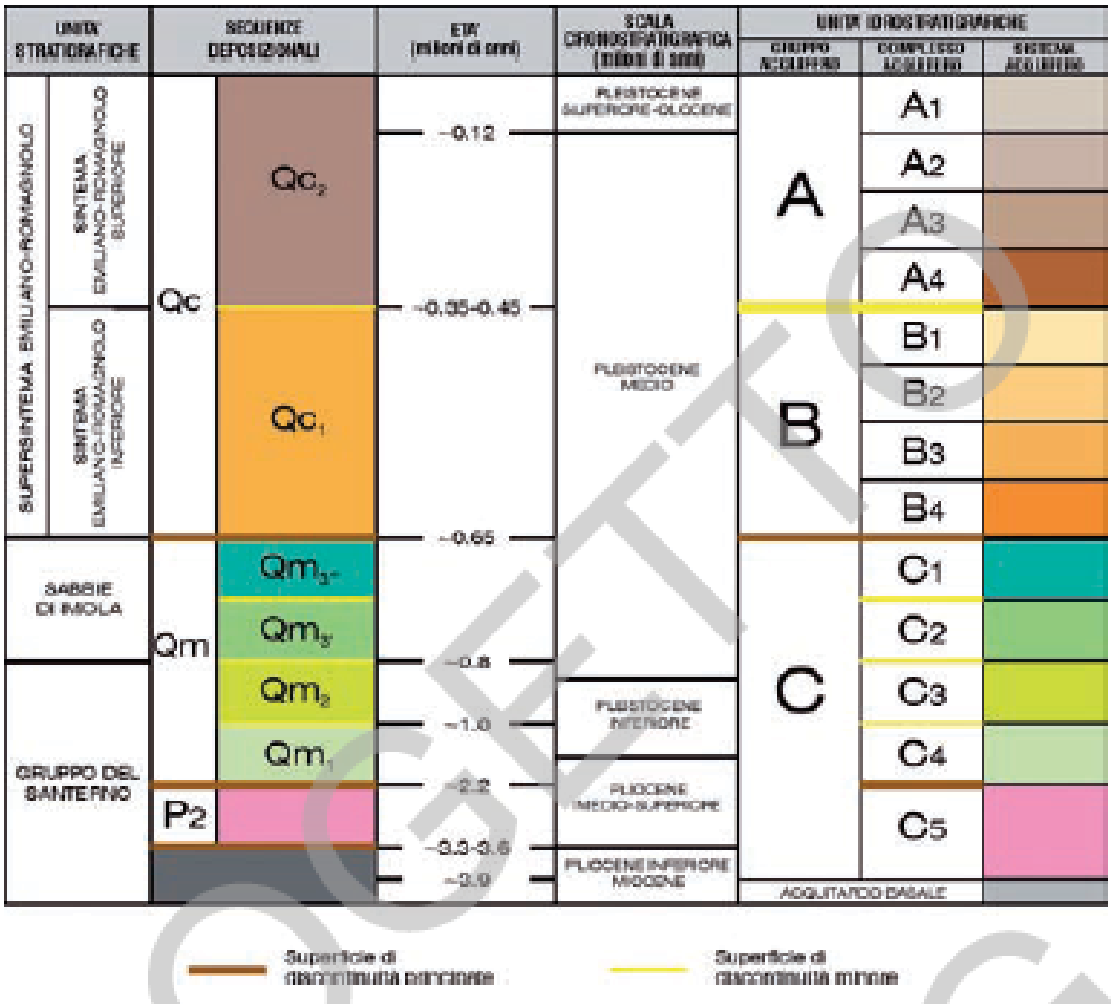


Fig.3 - Schema stratigrafico e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche di figura 2 (da Carta Geologica d'Italia in scala

1:50.000, Foglio 223 - Ravenna, 2002). Si precisa che il Gruppo del Santerno comprende le unità cartografate “Argille Azzurre”, “Formazione di Monte Adone” e “Marne di Cella”.

13

3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura

Nel settore meridionale del Bacino Padano, il limite inferiore dei depositi correlabili al ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii* (1982) è individuabile in sottosuolo sulle linee sismiche dell’AGIP (Pieri & Groppi, 1981; Dondi *et Alii*, 1982; Dondi & D’andrea, 1986; Dalla *et Alii*, 1992; Ori, 1993; Farabegoli *et Alii*, 1997), in coincidenza della base del Supersintema Emiliano-Romagnolo di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Lo spessore massimo di quest’ unità nel sottosuolo del Foglio Bologna, non definibile con precisione sulla base di dati di pozzo (Francavilla & Colombetti, 1980; Amorosi & Farina, 1995), aumenta progressivamente allontanandosi dalla catena, raggiungendo valori massimi superiori ai 500 m nell’area situata a nord dell’allineamento Castel Maggiore-Castenaso-Medicina (regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998 - figura 4).
L’individuazione su base sismica di una superficie di discontinuità all’interno della successione quaternaria continentale ha consentito la suddivisione di questa unità in due parti (unità 1 e 2 di Ori, 1993), definite anche come sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) o sequenze deposizionali (cicli Qc1 e Qc2 di Amorosi *et alii*, 1999c). Allontanandosi dal margine del Bacino Padano, i depositi continentali del Supersintema Emiliano-Romagnolo fanno transizione verso mare a depositi di ambiente deltizio-litorale (Ori, 1993; carta geologica d’Italia in scala 1:50.000, Fogli 223 - Ravenna, 2002 e 256 - Rimini, 2005).

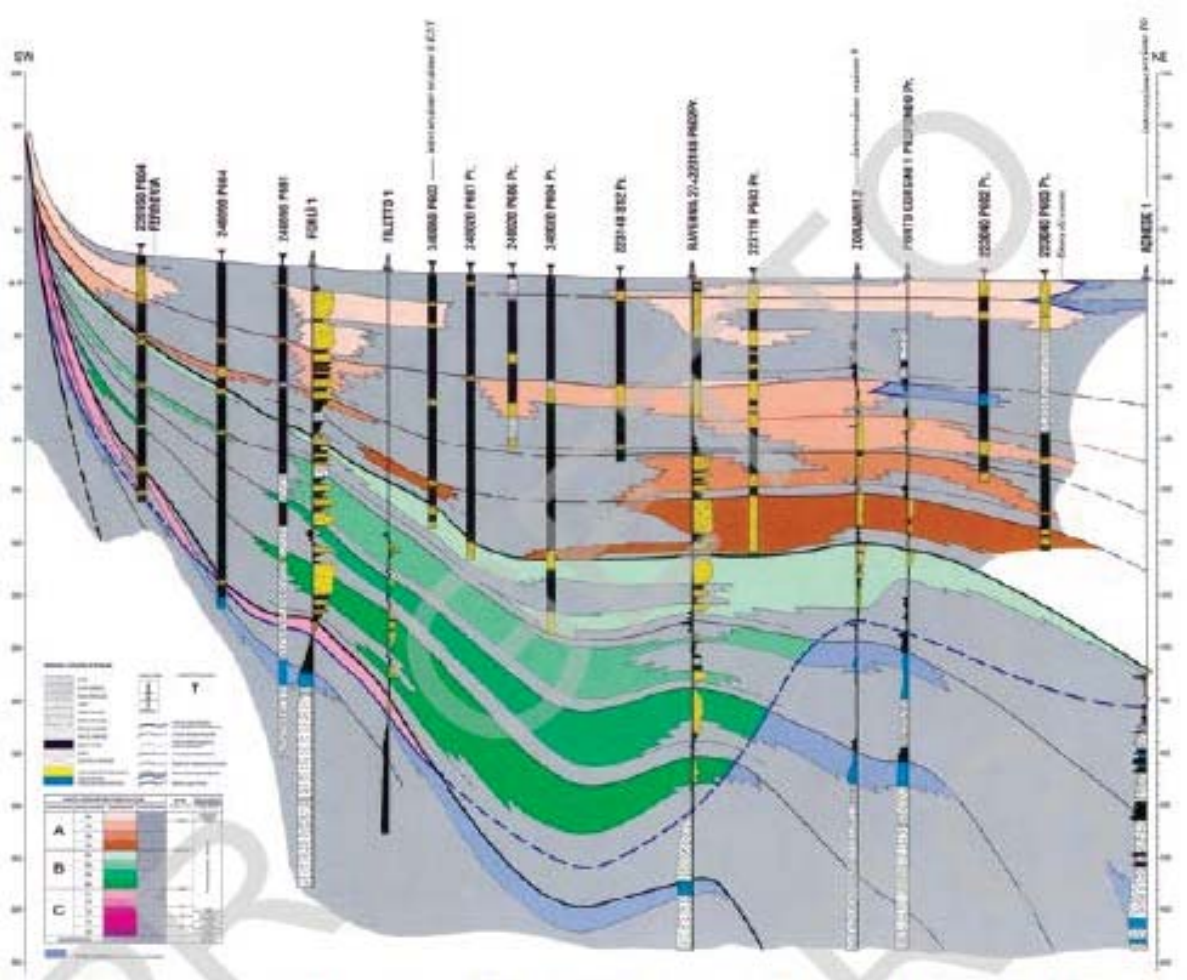


Fig. 3 - *Sezione geologica nel sottosuolo della Pianura Padana, con distinzione delle principali unità idrostratigrafiche all'interno della successione quaternaria (da* REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998*). L'esagerazione verticale è di 50x.*

4 Stratigrafia Delle Unità Quaternarie Continentali

4.1 Supersintema Emiliano-Romagnolo

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersintema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano il Supersintema Emiliano- Romagnolo appoggia in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola (ciclo Qm3 in fig 4) Il limite superiore coincide col piano topografico

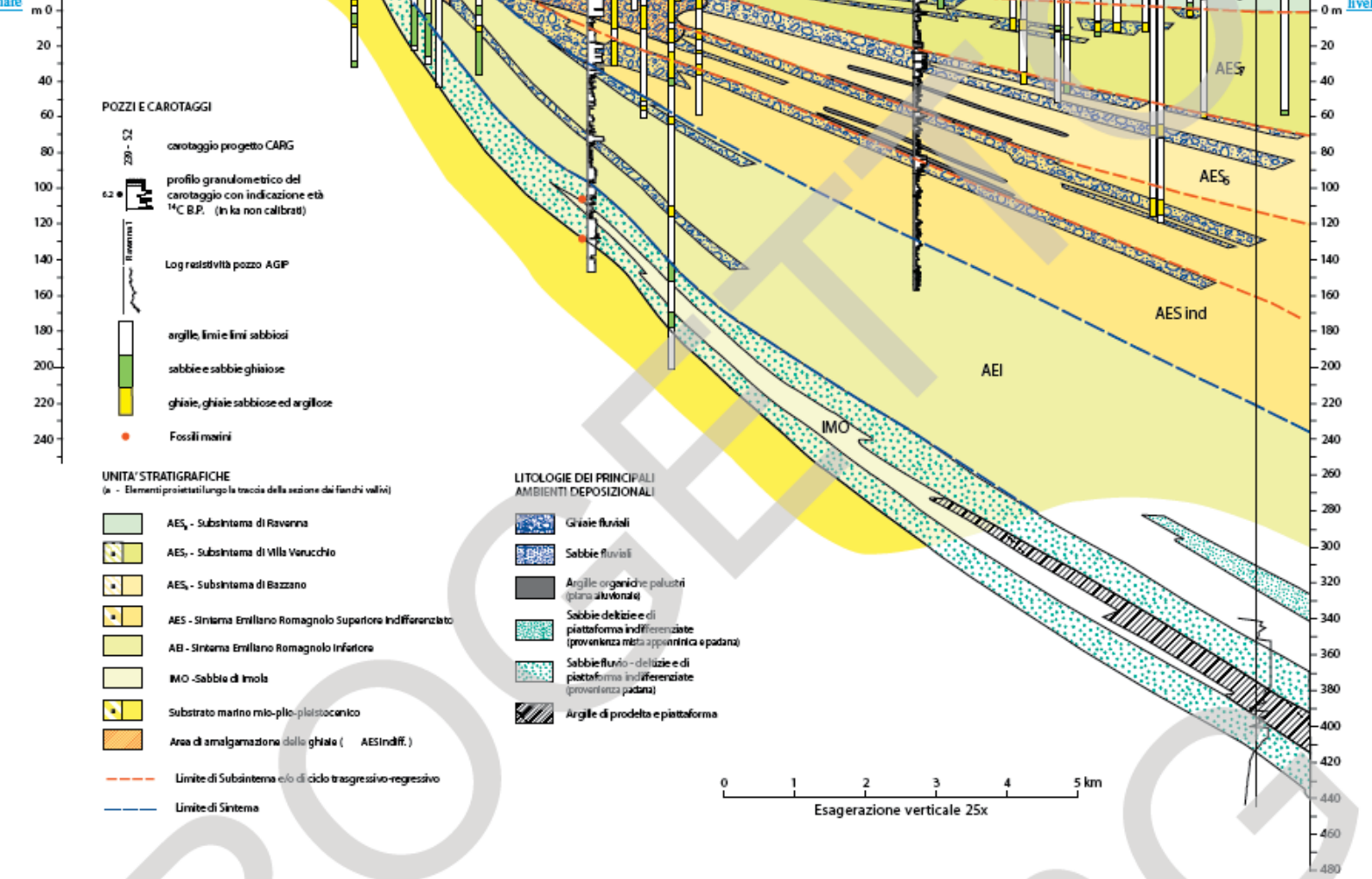
In numerosi fogli della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000, (fogli 199, 219, 240-241, 256, 2005; fogli 180, 220, 221, 238, 255, in stampa) il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura

Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale, ubicata nel settore settentrionale del Foglio (Fig. 12).

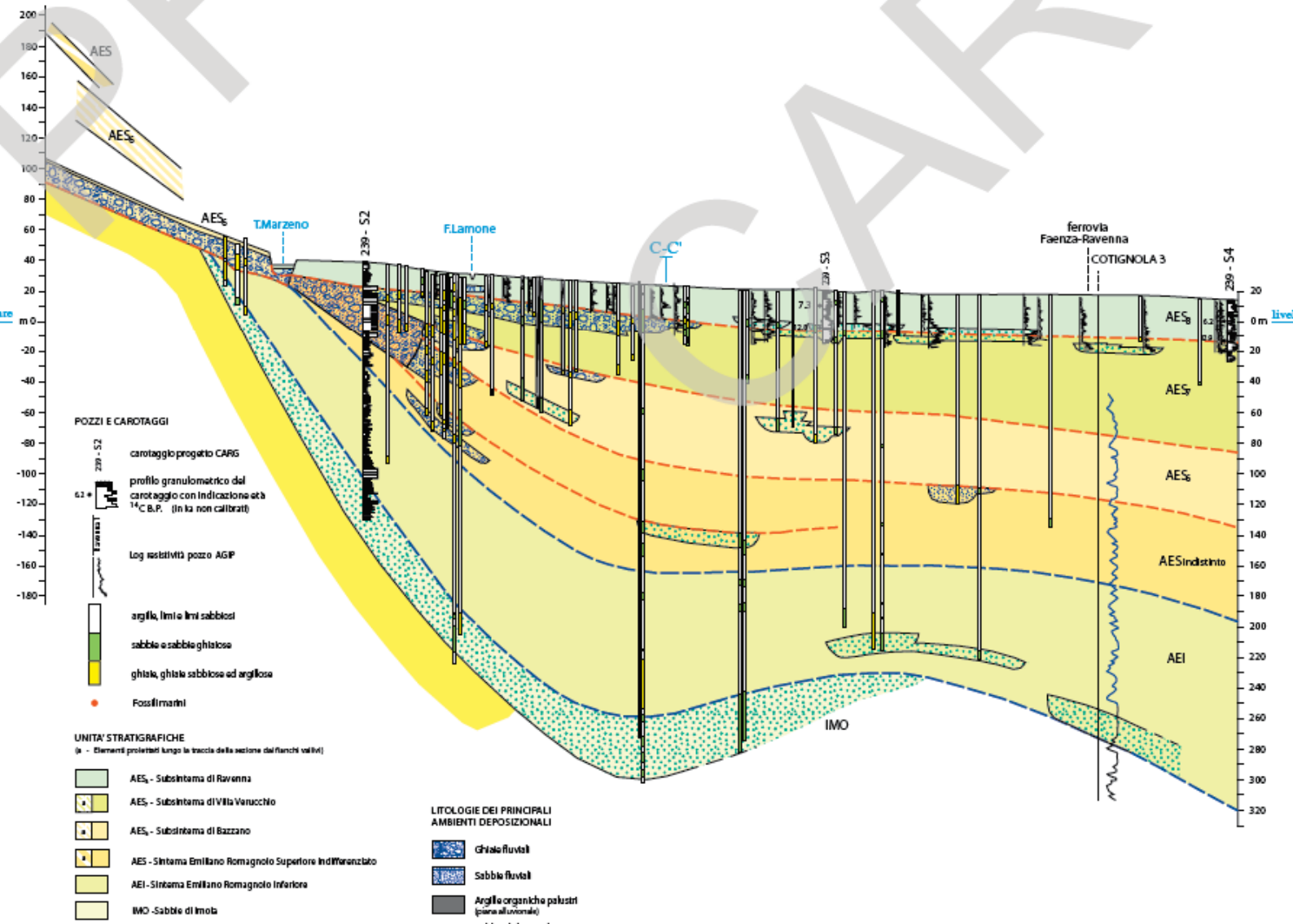
L'età del Supersintema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 700 000 anni B P - Attuale)

4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

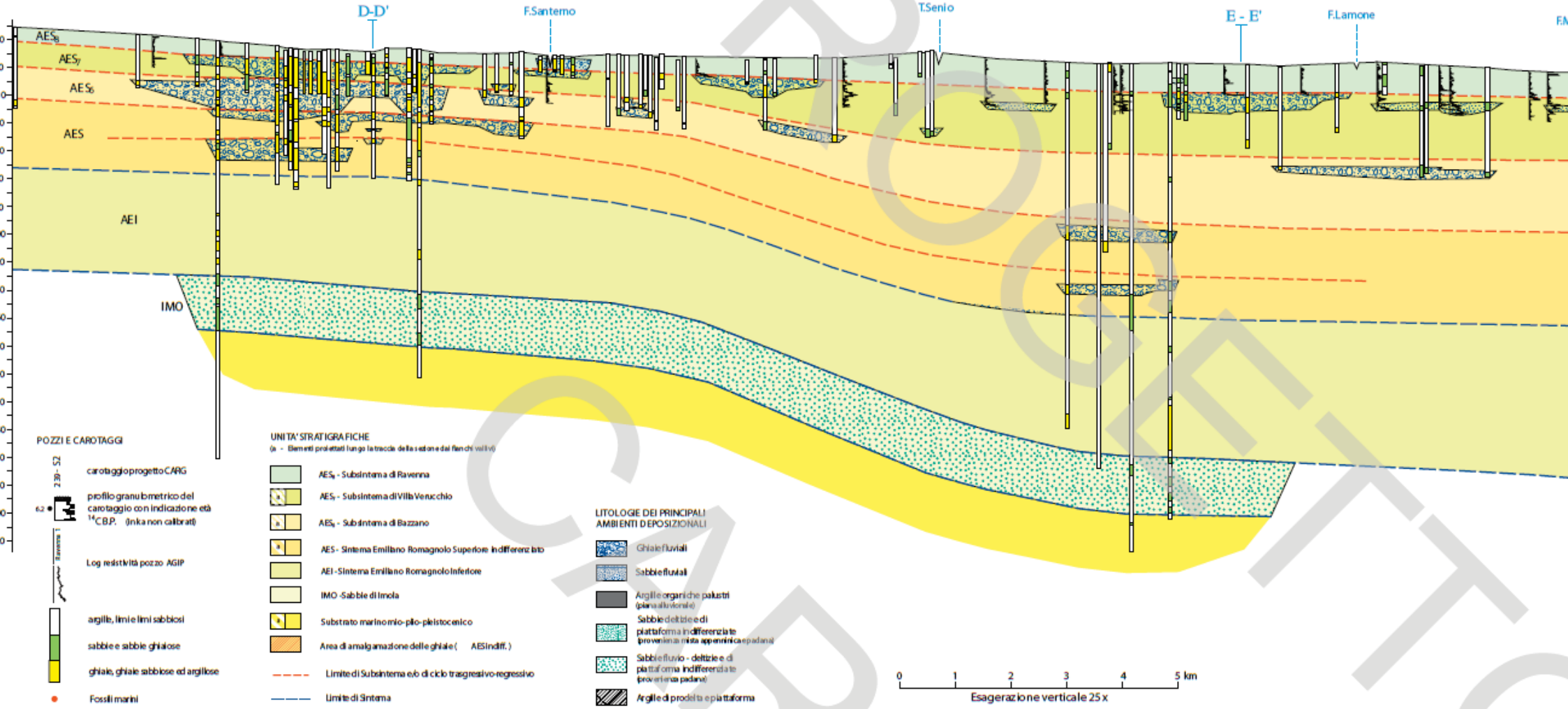
Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersintema Emiliano-Romagnolo Considerata la profondità media- mente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna – vedi figg 12 e 13) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura del Foglio 239, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies.



1 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Santerno.*



PROGETTO CARG



- Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico.

PROGETTO CARG

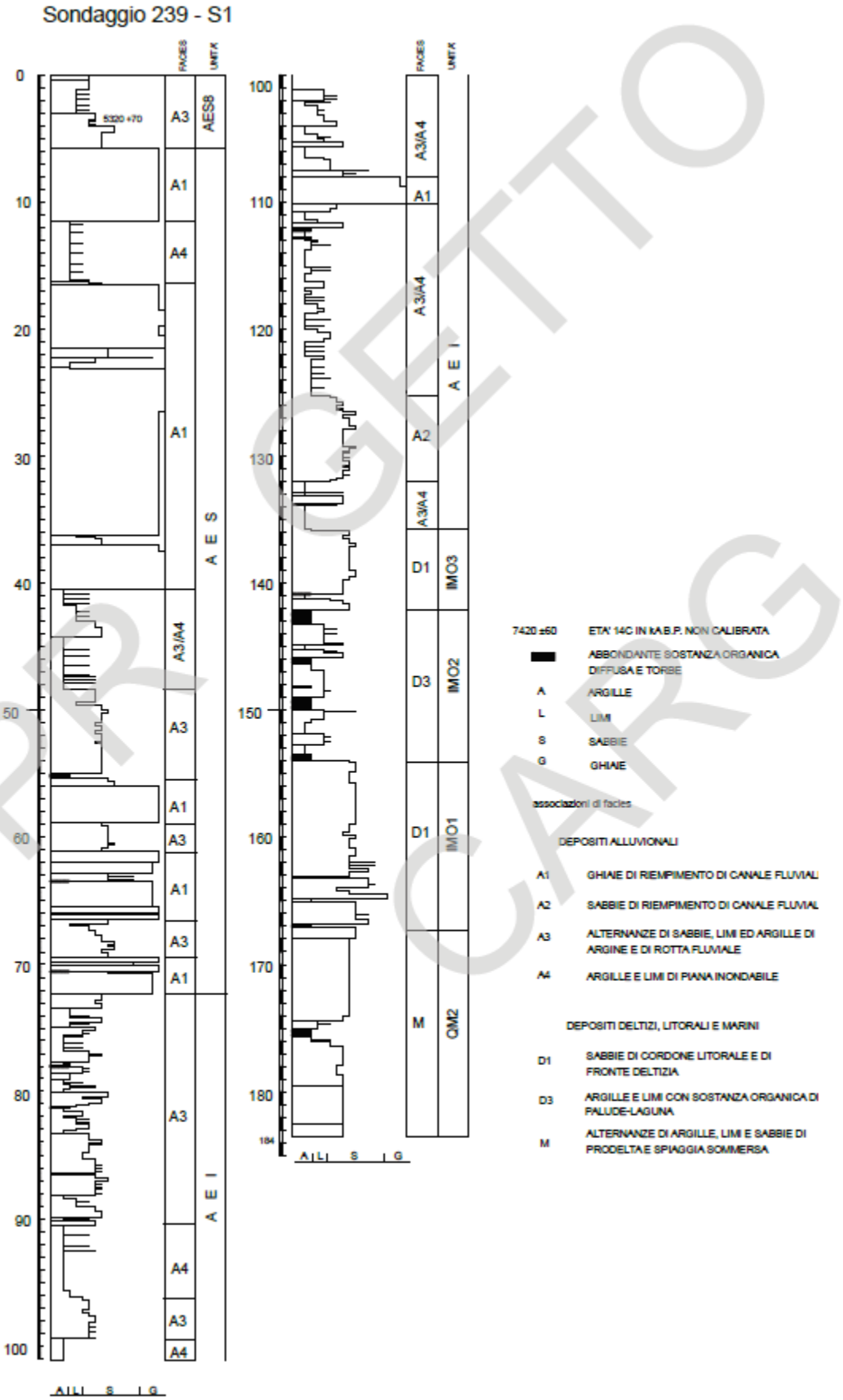


Fig. 14 - *Stratigrafia e facies del sondaggio a carotaggio continuo 239-S1.*

PROGETTO CARG

In corrispondenza del sondaggio 239-S1 (fig. 14), che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a – 140 m dal piano campagna (fig. 11), in accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. Caratteristica di questa unità è la frequente presenza di sequenze granulometriche negative alla scala dei 2-5 metri, associata allo scarso sviluppo di paleosuoli. Orizzonti di argille organiche e concentrazioni di legni sono frequenti a vari livelli stratigrafici. Sequenze positive di canale fluviale, a base erosiva e relativamente elevato contenuto in ghiaia, sono riconoscibili in corrispondenza delle principali aste fluviali sulla base della Banca Dati Geologici della Regione Emilia- Romagna L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale. Informazioni del tutto analoghe si traggono anche dall'osservazione del sondaggio 239 S2, l'altro che attraversa per intero l'unità in questione.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico (figg 11 e 12) Nel sondaggio 239 - S1, dove è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna (figg 11 e 14), AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri É da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Tutti i caratteri sopra descritti sono indicativi di questa unità nel settore più prossimo alla catena appenninica, tuttavia l'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in fig. 12 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri Come si vede dalla sezione tali livelli sabbiosi non proseguono verso il margine appenninico dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, ma al contrario paiono proseguire verso nord. Viste le caratteristiche geometriche, la natura di queste sabbie è probabilmente padana, in analogia con quanto osservato nei fogli più settentrionali e con quanto indicato in Riserve Idriche della Regione Emilia- Romagna (si veda in particolare la carta riportante lo spessore cumulativo dei depositi permeabili del gruppo acquifero B, cui l'unità AEI corrisponde, regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) Tali sabbie rappresenterebbero quindi degli apparati deltizi padani che giungevano sino a questo settore della pianura emiliano-romagnola all'epoca di AEI e trovavano il loro massimo sviluppo nella zona più subsidente posta a nord della anticlinale indicata in fig. 12.

L'età attribuita ad AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka

4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio Faenza Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale (figg 12 e 13) Nel settore occidentale del Foglio (poco a nord di Imola), dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri (figg 11 e 13)

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI (figg. 11 e 12). Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emiliano- romagnolo (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Fogli 240-241, 256, 2005; 220, 238, 255, in stampa; vedi anche Amorosi et alii, 1996 e Sarti et alii, 1997)

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per diversa giacitura e differente grado di evoluzione pedogenetica

Dei diversi subsintemi che compongono AES, cinque (AES4, AES5, AES6, AES7 e AES8) sono chiaramente identificabili nell'area del Foglio Faenza. AES4, AES5, AES6 e AES7 affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES8 affiora in tutta l'area di pianura

Nei settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue (interfluvi) la distinzione di AES in subsintemi non è facilmente eseguibile Qui infatti non sono più ben riconoscibili le scarpate di erosione fluviale che nelle aste vallive maggiori separano i diversi subsintemi Per questo motivo, nei settori di interfluvio si è provveduto a una generica attribuzione dei depositi ad AES In queste aree l'unità è caratterizzata da limi sabbiosi o sabbie limose, con rari livelli più grossolani. Al loro interno questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di paleosuoli con fronte di alterazione spesso fino ad alcuni metri. Anche la superficie topografica presenta depositi intensamente pedogenizzati Qui i suoli (Alfisuoli) sono generalmente policiclici e di spessore fino a cinque-sei

metri. Questi depositi presentano una caratteristica geometria cuneiforme, con spessori che vanno da pochi metri nei settori montani ad alcune decine di metri verso il limite con l'antistante pianura Dal punto di vista stratigrafico, essi generalmente costituiscono l'equivalente laterale indistinto di AES4 e AES5

Nel sottosuolo di pianura del Foglio Faenza, l'interpretazione di profili si smici ha messo in luce il limite localmente discordante tra AES e la sottostante AEI (regione emiLia-romagna & ENI-AGIP, 1998) (fig 3) Il limite superiore di AES corrisponde alla superficie topografica. Tra i pochi i sondaggi di qualità che attraversano interamente AES si segnalano i tre sondaggi 239 S1, 239 S2 e 239 S10 Dalla correlazione di questi è possibile ricostruire nel dettaglio caratteri di facies (fig 14) e stratigrafia (fig 11) del sintema

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE In particolare, in aree prossimali (sottosuolo di Imola e di Faenza) le ghiaie si presentano frequentemente amalgamate in corpi di circa 20 metri (sondaggio 239 – S1 in fig 11) o 30 metri (sondaggio 239 – S2 in fig 12) di spessore.

All'interno dei singoli cicli deposizionali i corpi grossolani passano verso l'alto da geometrie prevalentemente nastriformi, individuabili nella porzione pelitica dei cicli, a geometrie prevalentemente tabulari e tabulari-allungate, caratteristiche delle porzioni prevalentemente grossolane (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi *et alii*, 2003) Il caratteristico *pattern* radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi *et alii*, 1997)

Il lavoro condotto a scala dell'intera pianura emiliano-romagnola nell'ambito della realizzazione del presente progetto di cartografia geologica permette di inserire i cicli sopra descritti in una ciclicità di ordine gerarchico superiore, evidenziata da spessori pluridecametrici composti da depositi fini alla base e grossolani al tetto Questa ciclicità è ben osservabile in figg 11 e 12, dove è ben visibile il carattere di *marker* stratigrafico del tetto dei corpi ghiaiosi a elevata continuità laterale.

Analogamente a quanto operato nei fogli limitrofi, la base dei cicli sedimentari qui definiti come subsintemi è posta convenzionalmente in prossimità del tetto di questi corpi grossolani di canale fluviale. Questa scelta ha un significato essenzialmente operativo, in quanto permette una immediata correlazione con i cicli trasgressivo-regressivi cartografati nel sottosuolo della piana costiera romagnola (vedi anche l'approfondita discussione degli aspetti concettuali in Amorosi & Colalongo, 2005) In quest'ottica, le porzioni argilloso-limose basali dei cicli individuati nel

sottosuolo del Foglio 239 vengono correlate con i depositi marino marginali trasgressivi (TST) e di stazionamento alto (HST) che costituiscono le porzioni basali dei cicli riconosciuti nel sottosuolo della piana costiera, mentre i corpi ghiaiosi di canale fluviale corrisponderebbero ai depositi di caduta del livello marino (FST) e successivi sedimenti di stazionamento basso (LST)

L'architettura dei cicli deposizionali è chiaramente documentata lungo gli assi dei fiumi principali, laddove i contrasti litologici sono più marcati. In aree molto prossimali, dove i corpi ghiaiosi appartenenti a cicli deposizionali distinti sono frequentemente amalgamati, i diversi subsintemi sono virtualmente indistinguibili (figg 11 e 12) All'estremo opposto, in settori scarsamente interessati dall'attività fluviale, dove i depositi grossolani sono scarsi o assenti (aree interfluviali, di interconoide e nei settori più settentrionali), l'assenza di forti contrasti litologici determina problemi concreti nella definizione dei limiti di ciclo

La correlazione tra i subsintemi distinti in affioramento e i cicli deposizionali identificati in sottosuolo è problematica a causa della scarsa preservazione dei depositi alluvionali al margine appenninico, dell'assenza di superfici guida fisicamente tracciabili e di notevoli difficoltà nella datazione di depositi continentali oltre il limite di risoluzione del ^{14}C (Amorosi *et alii*, 1996)

Per quanto riguarda i subsintemi sommitali (AES8 e AES7), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al ^{14}C, forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte I subsintemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998)

L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998)

4.2.1 *Subsintema di Bazzano* (AES6)

L'unità è costituita da depositi di conoide alluvionale terrazzati e da depositi terrazzati di piana intravalliva, che affiorano allo sbocco vallivo delle valli dei fiumi Santerno, Lamone e Montone e del torrente Senio In pianura l'unità non è affiorante, essendo erosa o sepolta all'altezza del margine appenninico dal Subsintema di Villa Verucchio. AES6 presenta un limite inferiore inconforme su depositi marini più antichi.

In affioramento i depositi di AES6 sono generalmente costituiti prevalentemente da ghiaie di canale fluviale, caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa Lo spessore massimo è di una ventina di metri La porzione sommitale delle ghiaie si presenta intensamente pedogenizzata: il suolo (Alfisuolo) ha un fronte di alterazione spesso fino a 5 metri circa e un colore rosso brunastro. Le ghiaie sono generalmente sormontate da depositi fini di piana inondabile e/o eluvio-colluviali, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi. Anche questi depositi fini si presentano intensamente pedogenizzati; sulla superficie topografica affiora un suolo (Alfisuolo) tipicamente bruno giallastro, con fronte di alterazione spesso a 5 metri

Le coperture fini al di sopra delle ghiaie sono più spesse nei settori intravallivi, dove, come nel caso delle valli del Torrente Senio e del Fiume Lamone, possono raggiungere una ventina di metri di spessore (ex in località Pradella e la Mongardina sulla destra idrografica del torrente Senio) Qui al tetto dell'unità è presente un suolo meno evoluto (Inceptisuolo) rispetto a quello presente nelle zone di conoide

In questi settori le coperture fini hanno una natura francamente alluvionale, a testimonianza di un'aggradazione fluviale prolungata anche nei settori intravallivi.

La presenza di forti spessori di depositi fluviali fini in un contesto intravallivo è tentativamente correlata ad un episodio trasgressivo, presumibilmente riferibile alla trasgressione tirreniana

Nella zona di interfluvio tra il Fiume Montone ed il Torrente Marzeno l'unità è invece composta da depositi prevalentemente fini, costituiti da limi più o meno argillosi o sabbiosi con rare ghiaie, e frequenti suoli intercalati. Al tetto è presente un suolo bruno giallastro con fronte di alterazione spesso fino a 5 metri.

Sulla base della correlazione con le aree limitrofe (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna), l'età minima di AES6 si colloca su base archeologica nella parte terminale del Pleistocene medio. Non esistono invece dati relativi all'età della base di questa unità, che dovrebbe comunque collocarsi nella parte alta del Pleistocene medio

I depositi affioranti di AES6 sono tentativamente correlati nel sottosuolo a un ciclo composto da una porzione inferiore prevalentemente argillosa, localmente ricca in materiale organico, ed una sommitale ghiaiosa (figg. 11 e 12); questo ciclo corrisponde al complesso acquifero A2 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Le ghiaie sommitali fanno transizione sottocorrente a depositi prevalente- mente sabbiosi Parallelamente si registra una diminuzione verso NE del rapporto ghiaia/pelite. Lo spessore massimo di AES6, nel sottosuolo, è di circa 50 metri

Sulla base delle relazioni stratigrafiche con l'unità sovrastante (AES7) e dello schema di correlazione con i cicli glacio-eustatici del Quaternario, l'età del complesso acquifero A2 dovrebbe essere compresa tra 230 ka e 130 ka

Età: Pleistocene medio per posizione stratigrafica

4.2.2 Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

Nell'area del Foglio Faenza sono stati attribuiti al Subsintema di Villa Verucchio alcuni depositi terrazzati di piana intravalliva affioranti lungo le valli e agli sbocchi vallivi dei fiumi Santerno, Lamone e del torrente Senio e Sintria. L'unità è inoltre presente nel settore di interlfuvio tra il fiume Montone ed il torrente Marzeno Questi depositi sono correlabili per posizione stratigrafica e tipo di alterazione pedogenetica ai depositi di terrazzo alluvionale attribuiti a AES7 nell'area tipo (Foglio 256, 2005) Il limite inferiore del subsintema affiora lungo le aste vallive sopradette ed è costituito da una superficie di erosione fluviale che mette in contatto i terreni di AES7 con il sottostante substrato marino

Nelle porzioni intravallive l'unità è composta da alcuni ordini di terrazzi, ciascuno dei quali costituiti da corpi ghiaiosi di canale fluviale alla base, generalmente sormontati da sedimenti limoso-argillosi e subordinatamente sabbiosi di piana inondabile e/o eluvio-colluviali Lo spessore massimo dei singoli depositi di terrazzo che compongono l'unità è di una decina di metri.
Nelle porzioni terminali delle valli dei Fiumi Santerno e Lamone è a tratti presente il caratteristico suolo di colore bruno scuro e bruno rossastro (Alfisuolo) sviluppato direttamente sulle ghiaie, con fronte di alterazione di circa 2 m, già descritto da Gasperi *et alii* (1987) per l'unità di Vignola, nel margine appenninico modenese Nelle zone intravallive la pedogenesi si sviluppa invece a carico dei sedimenti fini di copertura delle ghiaie; anche in questi casi il fronte di alterazione è di un paio di metri.
Nella zona di interfluvio tra il Fiume Montone ed il Torrente Marzeno l'unità è invece composta da depositi prevalentemente fini, costituiti da limi più o meno argillosi o sabbiosi con rare ghiaie, e suoli intercalati. Al tetto è presente un suolo bruno con fronte di alterazione spesso 2 metri circa
Nel sottosuolo, AES7 presenta uno spessore massimo di 70 metri ed è caratterizzato nella parte inferiore del ciclo dallo sviluppo di depositi prevalentemente limoso-argillosi di piana alluvionale, sormontati da sedimenti prevalentemente ghiaiosi di conoide alluvionale (fig. 13). La base di AES7 viene posizionata in corrispondenza del brusco passaggio di facies da depositi prevalentemente ghiaiosi di conoide alluvionale (parte sommitale di AES6) a 25-30 m di limi, argille e sabbie di piana alluvionale

Il quadro delle conoscenze regionali (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 223, 2002; Foglio 256 e Foglio 240-241, 2005; Foglio 222 e 255, in stampa) permette di correlare la porzione inferiore, prevalentemente argillosa, di questo ciclo con i depositi marino-marginali, attribuiti alla trasgressione (e successiva fase di stazionamento alto) tirreniana, individuati nel sottosuolo della piana costiera La porzione superiore di AES7 è definita da un intervallo stratigrafico di circa 15 m di spessore, in corrispondenza del quale i depositi di canale fluviale presentano la massima concentrazione ed estensione laterale (figg 11 e 12) Dalla complessa sovrapposizione e giustapposizione di questi corpi lenticolari risulta un corpo sedimentario composito a geometria tabulare, che costituisce la prosecuzione fisica nel sottosuolo dei depositi ghiaiosi di terrazzo alluvionale affioranti lungo il margine appenninico e che rappresenta la fase di massima espansione e coalescenza dei conoidi alluvionali al margine meridionale del bacino padano Questa fase corrisponde all'ultimo acme glaciale ed è datata, grazie alle datazioni ^{14}C effettuate nei fogli limitrofi, intorno a 20-30 ka BP (si veda anche Amorosi *et alii*, 2004b) Granulometria, frequenza e spessore dei depositi di canale diminuiscono sottocorrente, dove è osservabile la transizione da corpi ghiaiosi tabulari a corpi sabbiosi nastriformi (fig. 12).

I depositi ghiaiosi che caratterizzano l'intervallo sommitale di AES7 sono sede della prima importante falda acquifera, ampiamente sfruttata nel territorio di pianura e corrispondente al sistema acquifero A1 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) In essi si concentra la gran parte dei pozzi per acqua raccolti nella Banca Dati Geognostici della Regione Emilia-Romagna Dato il loro particolare interesse dal punto di vista sia stratigrafico che geologico applicativo, sono oggetto specifico della carta riportata nel Foglio allegato alla Carta Geologica

Le datazioni radiometriche ^{14}C eseguite per la realizzazione del presente foglio hanno fornito età (B.P. non calibrate) di 43 ka per la parte inferiore del subsintema, e un'età di 13 ka per la base dei sedimenti basali del sovrastante Subsintema di Ravenna

Nell'area tipo l'età di AES7 è stata attribuita al Pleistocene superiore, tra circa e 18 ka B P (Foglio 256, 2005)

4.2.3 Subsintema di Ravenna (AES8)

É l'elemento sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende la maggior parte dei depositi quaternari affioranti nel Foglio Faenza.

Al tetto di AES8 è stata inoltre distinta e cartografata un'unità di rango inferiore denominata Unità di Modena (AES8a)

Nei settori intravallivi e allo sbocco delle valli appenniniche il Subsintema di Ravenna è costituito da depositi di terrazzo alluvionale I singoli ordini di terrazzo sono separati da scarpate di pochi metri. I depositi di terrazzo sono generalmente costituiti da circa due metri di ghiaie, sovrastati da una copertura limoso-sabbiosa il cui profilo di alterazione pedogenetica può raggiungere circa un metro di spessore

In posizione più distale rispetto allo sbocco delle valli appenniniche, AES8 affiora estesamente e la sua parte sommitale è costituita da depositi sabbioso-limosi di canale, argine e rotta fluviale, organizzati in corpi sedimentari di spessore plurimetrico a geometria prevalentemente nastriforme Questi fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente argillosi e subordinatamente limosi e sabbiosi di piana inondabile (bacino interfluviale). I corpi ghiaiosi sono rari.

Il tetto di AES8, che coincide col piano topografico, presenta suoli a diverso grado di evoluzione, con orizzonte superiore da calcareo (Entisuoli, tipici dell'unità di Modena) a non calcareo (Inceptisuoli)

In prossimità del margine del bacino e nei settori di pianura in cui AES8a non è presente, al tetto di AES8 si rinvengono suoli maggiormente evoluti, non calcarei o scarsamente calcarei, sviluppatisi in un intervallo di tempo superiore a 1500 anni Questi Inceptisuoli presentano un orizzonte superficiale decarbonatato di colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, di spessore variabile tra 0,5 e 1,5 m, al di sotto del quale è presente un orizzonte ad accumulo di carbonato di calcio sotto

forma di concrezioni o concentrazioni soffici Questi suoli sono associati a ritrovamenti di reperti archeologici di età variabile dal Neolitico, al Bronzo e Ferro, fino al Romano

Nel sottosuolo, analogamente a quanto riscontrato nell'area tipo (Amorosi et alii, 1999; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000, Foglio 223 - Ravenna (2002), la base di AES8 è caratterizzata da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di alcune migliaia di anni (la base dell'unità è datata a circa 13 ka BP) A differenza dell'area tipo, però, dove il limite basale di AES8 è marcato da un netto contrasto di facies tra depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di AES7) e sovrastanti depositi di ambiente paralico e marino-marginale riconducibili all'ultimo ciclo trasgressivo-regressivo di età olocenica, al margine del Bacino Padano la base di AES8 è localizzata all'interno di depositi alluvionali ed è per questo meno facilmente riconoscibile di quanto non avvenga per i settori di piana costiera Tuttavia, la comune presenza nella parte inferiore di AES8 di un orizzonte lateralmente esteso di argille organiche e torbe di ambiente palustre, di colore grigio scuro-nerastro, conferma il legame genetico di questi depositi con la fase trasgressiva olocenica. Ciò anche sulla scorta di quanto documentato nei fogli limitrofi, in cui è fisicamente riconoscibile la transizione laterale di facies tra i depositi marino marginali e le argille organiche alla base AES8

L'orizzonte di argille organiche palustri raggiunge il suo massimo spessore nei settori più distali della pianura (circa 5 metri), mentre tende a chiudersi a cuneo verso il margine appenninico, dove tuttavia è ancora a tratti riconoscibile come un orizzonte di circa 50 centimetri presente nel primo sottosuolo anche qui costituito da limi argillosi nerastri. Orizzonti del tutto analoghi sono presenti anche nelle porzioni intravallive al di sopra delle sequenze di terrazzo fluviale, dove hanno dato età variabili tra circa 10 e 11 ka (si veda la tabella 3 relativa ai dati 14C, affioramento 239090A501, ubicato in destra idrografica del torrente Senio, nei pressi di Riolo Terme)

In pianura, al di sopra dell'orizzonte palustre sono presenti depositi alluvionali I corpi ghiaiosi in questo caso si estendono su una superficie nettamente inferiore rispetto a quella relativa alle ghiaie al tetto di AES7, come documentato dalla cartografia riportata nel foglio allegato alla carta geologica. Al di sopra delle ghiaie, fino alla superficie topografica, sono presenti depositi prevalentemente limoso-sabbiosi di argine e rotta fluviale. Questi, nelle aree più prossime alla catena, sono frequentemente caratterizzati al loro interno da una successione spessa circa 4 metri, costituita da quattro sottili sequenze a gradazione positiva, ciascuna interessata al tetto da un Inceptisuolo variamente arricchito in sostanza organica, al cui interno si ritrovano reperti Neolitici ed Eneolitici sia rimaneggiati che in posto.

Lo spessore massimo del Subsintema di Ravenna nel sottosuolo del Foglio Faenza è di circa 20 m Nei casi in cui la parte sommitale di AES7 non sia contraddistinta da depositi grossolani di canale fluviale, il limite basale di AES8 è definito, analogamente a quanto recentemente documentato per

l'area ravennate (Amorosi & Marchi, 1999), da un orizzonte sovraconsolidato che, oltre che per un limitato incremento di resistenza alla punta, si caratterizza in prove penetrometriche con il piezocono per il brusco incremento di resistenza laterale e per la diminuzione della pressione interstiziale dovuta al passaggio verso il basso da argille molli grigio scure, ricche in legni e frustoli carboniosi, ad sedimenti fini più compatti grigio-nocciola ricchi in concrezioni carbonatiche. Allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, dove la base di AES8 è caratterizzata da depositi ghiaiosi amalgamati con quelli di AES7, il limite tra i due subsintemi è virtualmente indistinguibile. Età: Pleistocene superiore-Olocene (13 ka-Attuale), su base radiometrica.

5 Associazioni Di Facies

Utilizzando come riferimento la normativa per il rilevamento e la cartografia geologica proposta da CNR-CCGG (1992), all'interno dei sintemi descritti al Capitolo 4 è stata eseguita una suddivisione delle unità stratigrafiche sulla base di caratteri litologici e sedimentologici L'area del Foglio 239 - Faenza è composta da depositi quaternari di natura esclusivamente continentale, che possono essere ricondotti a complessi ambientali di piana intravalliva, conoide alluvionale e piana alluvionale In affioramento sono state distinte e cartografate tre associazioni di facies, descritte di seguito ai sottoparagrafi 5 1 1 - 5 1 3 Le associazioni di facies sono contraddistinte sulla carta geologica di superficie mediante sovrassegni che si accompagnano alla tradizionale colorazione delle unità stratigrafiche.

5.1 Depositi alluvionali

5.1.1 Ghiaie di canale fluviale

Affiorano principalmente al margine della pianura e nei settori più interni (aree di terrazzo fluviale e conoidi alluvionali, allo sbocco delle aste fluviali), mentre sono ampiamente sviluppate in sottosuolo. Comprendono ghiaie da fini a molto grossolane, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati, organizzati in corpi sedimentari a geometria nastriforme e tabulare-allungata, di spessore generalmente compreso tra 2 e 5 metri In aree di conoide alluvionale i corpi ghiaiosi sono generalmente amalgamati e raggiungono spessori di 20 m.

La maggior parte dei corpi sedimentari, specie in aree prossimali, rientra nella facies Gms dello schema classificativo di Miall (1978), presentando un grado di cernita estremamente basso, con ciottoli di varia dimensione immersi in una matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa. L'organizzazione interna è molto scarsa e non si osservano in genere tendenze granulometriche verticali di rilievo La dimensione del granulo massimo è di alcuni decimetri Sono tuttavia comunemente riconoscibili corpi ghiaiosi caratterizzati da un'organizzazione interna, definita dalla

presenza di stratificazione orizzontale ed embricazione dei ciottoli (facies Gm) In questo caso la dimensione modale dei ciottoli corrisponde a 3-5 cm (diametro massimo 10-15 cm). Tra le altre facies, tipiche di settori relativamente più distali, si riconoscono ghiaie a stratificazione obliqua di tipo concavo (facies Gt), con spessore dei set fino a 2 m, base erosiva e organizzazione in sequenze positive Localmente è osservabile la presenza di stratificazione diagonale

I corpi sedimentari privi di organizzazione interna e quelli a stratificazione obliqua di tipo concavo sono interpretati come il risultato della migrazione di barre longitudinali all'interno di una rete di canali di tipo intrecciato La presenza di stratificazione obliqua di tipo tabulare all'interno di ghiaie a prevalente stratificazione obliqua di tipo concavo è messa in relazione con l'accrezione di barre diagonali o laterali in fiumi di tipo intrecciato (Ori, 1993). Corpi ghiaiosi clino- stratificati all'interno di intervalli prevalentemente fini sono invece intepretabili come legati alla migrazione di barre di meandro (Ori, 1982)

5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale

Questa associazione di facies affiora quasi ininterrottamente su un'ampia fascia al margine della pianura, lungo la Via Emilia e nel quadrante nord-orientale del Foglio Si tratta di sabbie in genere finissime localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, alternati a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili Il rapporto tra sabbie e limi è complessivamente variabile; con riferimento all'unita AES8a, le prime sono predominanti nei settori più prossimi alle aste fluviali, mentre via via che ci si allontana da esse tendono a dominare le intercalazioni limose I passaggi tra le porzioni a dominanza sabbiosa e quelli a dominanza limosa avvengono in modo graduale

Si riconoscono occasionalmente, alla base di sequenze positive a base erosiva, sabbie medie e grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Queste ultime sono presenti in particolare nelle porzioni in cui i depositi di questa associazione di facies sono confinati entro scarpate di terrazzo fluviali, come ad esempio per unità AES8a il tratto del fiume Santerno tra Imola e Mordano, o del fiume Lamone in prossimità di Faenza

Nei settori più prossimi alle aree di canale, si concentrano i corpi più marcatamente sabbiosi, caratterizzati da stratificazione obliqua concava e tabulare, con *set* generalmente di alcuni dm di spessore Al tetto dei principali corpi sabbiosi e lateralmente ad essi sono tipicamente presenti alternanze di sabbia fine e finissima con limi e argille, in coppie di spessore generalmente inferiore a 10-20 cm

I limi e le argille sono tipicamente bioturbati al tetto. I corpi sabbiosi a tendenza granulometrica positiva sono interpretabili come canali di rotta

I settori laterali ai precedenti sono invece caratterizzati da alternanze di sabbia e limo e rappresentano depositi di argine; essi costituiscono in termini di volume la maggior parte dei depositi di questa associazione di facies.

In corrispondenza degli apparati di canale fluviale relativi al reticolo idrografico secondario è possibile osservare una sensibile riduzione della granulometria dei depositi e della dimensione dei corpi sedimentari, pur rimanendo comparabili le geometrie Il volume dei depositi sabbiosi di canale è in questo caso estremamente subordinato e i singoli riempimenti di canale sono intercettati molto di rado in sottosuolo L'associazione di facies è in questo caso dominata da limi e limi sabbiosi

5.1.3 Limi e argille di piana inondabile

Questa associazione di facies è caratterizzata dall'alternanza di limi prevalenti, argille limose e argille bioturbate, in strati da molto spessi a spessi, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini, in strati da molto sottili a medi, a base netta e caratterizzati da una tipica gradazione positiva Le sabbie presentano al loro interno laminazione obliqua o piano-parallela Accenni di laminazione parallela sono presenti all'interno di limi sabbiosi Le coppie limo-argilla fanno transizione laterale alle coppie sabbia-limo descritte alla sezione precedente Il passaggio verso l'alto da questa associazione di facies a depositi grossolani di canale avviene in genere attraverso un progressivo aumento della granulometria, che definisce caratteristiche sequenze negative. Complessivamente questi depositi formano corpi sedimentari a geometria lenti- colare, tabulare e nastriforme

Carattere diagnostico di questa associazione di facies è la presenza a vari livelli stratigrafici di paleosuoli relativamente poco evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli), costituiti da un orizzonte superficiale scuro totalmente decarbonatato e una porzione inferiore ricca in concrezioni carbonatiche. Amorosi & Marchi (1999) hanno mostrato che questi paleosuoli possono essere riconosciuti, oltre che in carota, anche su base geomeccanica, mediante l'utilizzo di prove penetrometriche con piezocono. Gli elementi che ne consentono il riconoscimento sono: un piccolo incremento verso il basso di resistenza alla punta, associato al rapido incremento di resistenza laterale e alla brusca diminuzione della pressione interstiziale

I depositi di questa associazione di facies, che fanno transizione laterale a depositi relativamente più grossolani di canale, argine e rotta fluviale, si sono formati in aree di piana inondabile La suddivisione verticale in piccole sequenze delimitate a base e a tetto da paleosuoli indica una ciclicità nella sedimentazione, con fasi di apporto terrigeno limitato o nullo che favoriva la pedogenesi.

6 Idrogeologia

I depositi ghiaiosi di canale fluviale che costituiscono le conoidi alluvionali (affioranti e sepolte) dei Fiumi Santerno, Lamone e marginalmente Montone, assieme a quella del torrente Senio, costituiscono le principali emergenze idro- geologiche del Foglio 239. Queste conoidi negli ultimi decenni sono state intensamente sfruttate, per fini idropotabili, agricoli e industriali

Lo sfruttamento a fini idropotabili si è tuttavia fortemente ridotto a seguito dell'utilizzo, a partire dalla metà degli anni '90, delle acque di superficie provenienti dall'invaso di Ridracoli nell'alto Appennino forlivese

Dati relativi alle caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche di queste conoidi sono riportati in vari lavori di carattere regionale, la sintesi più recente è nella "Relazione sullo stato dell'ambiente '99" (regione Emilia-Romagna, 2000)

Dal punto di vista della pianificazione della risorsa idrica di recente è stato realizzato il Piano di Tutela delle Acque (regione Emilia-Romagna, 2004), ai sensi di quanto indicato dal Decreto Legislativo 152/1999 Questo documento contiene anche numerosi approfondimenti tecnici relativi alle acque superficiali e sotterranee di tutta l'Emilia-Romagna

Con riferimento all'area del foglio 239, i lavori citati indicano che sulla base delle variazioni medie annue della piezometria la zona delle conoidi alluvionali risente di una certa tendenza alla diminuzione della risorsa, mentre gli acquiferi dell'antistante pianura alluvionale mostrano invece una tendenza all'aumento

Nonostante questi aumenti di piezometria, la zona della bassa pianura del foglio 239 registra elevati valori di subsidenza (fino a 2,5 circa centimetri all'anno nell'ultimo ventennio, al margine nord orientale del foglio) Tali abbassamenti sono di un ordine di grandezza maggiori a quelli naturali, deducibili dalle datazioni al ^{14}C effettuate nello stesso areale, che indicano nel sondaggio 239 S4 valori del tasso di sedimentazione di circa 2 millimetri all'anno per gli ultimi 13 000 anni .

La subsidenza pare quindi essere dovuta a prelievi idrici pregressi rispetto all'intervallo temporale utilizzato per la misurazione del trend della piezometria É noto infatti che l'interruzione o comunque il calo dei prelievi idrici di sottosuolo produce rapidamente una risalita della superficie piezometrica, mentre la compattazione dei livelli argillosi prossimi agli acquiferi captati permane più a lungo nel tempo, provocando quindi il perdurare del fenomeno della subsidenza

Dal punto di vista della qualità delle acque, la risorsa risulta abbastanza compromessa, essendo presenti nitrati in quantità vicine o anche maggiore rispetto al limite di legge nelle porzioni apicali delle conoidi del foglio 239, specialmente per il fiume Santerno e torrente Senio Le variazioni medie annue dell'andamento dei nitrati in falda mostrano una certa tendenza all'aumento per il Santerno ed il Senio ed una stazionarietà per il settore più orientale.

Gli elaborati prodotti permettono di notare che la porzione meridionale delle conoidi (si veda in particolare la sezione di figg 11 e 12) è costituita da una zona apicale in cui le ghiaie sono amalgamate tra loro e formano un acquifero freatico monostrato. La zona di amalgamazione delle ghiaie è quella in cui si ha la ricarica diretta di tutta la conoide, sia dalle infiltrazioni efficaci, sia dagli alvei; essa quindi costituisce l'areale in cui prestare la massima attenzione ai fini della protezione idrogeologica.

A valle della zona di amalgamazione i diversi lobi di conoide si separano e tra essi si interpongono dei depositi fini di spessore crescente procedendo verso nord (si vedano figg 11 e 12) I diversi acquiferi (acquifero multifalda) sono quindi disconnessi dalla superficie e acquisiscono tutti i caratteri di acquiferi confinati

Secondo quanto riportato nella descrizione stratigrafica delle singole unità si sottolinea come i principali acquiferi, ovvero quelli più spessi e arealmente più continui, corrispondano alle porzioni terminali delle unità riconosciute nel sottosuolo, caratterizzate per l'appunto dallo sviluppo di estesi lobi di conoide alluvionale. Gli acquitardi più estesi corrispondono invece ai depositi prevalentemente argillosi e limosi (talora organici) presenti nella parte inferiore delle unità Questi caratteri degli acquiferi e degli acquitardi del foglio 239 sono del tutto analoghi a quelli riconosciuti e descritti nella gran parte delle conoidi sepolte dei sistemi alluvionali appenninici emiliano-romagnoli (regione Emilia-Romagna & ENI- AGIP, 1998)

Il più superficiale degli acquiferi di cui sono composte le conoidi del foglio 239 corrisponde al lobo di conoide sommitale del Subsintema di Villa Verucchio (AES7); nelle porzioni più prossimali l'acquifero comprende anche la porzione di ghiaie del Subsintema di Ravenna (AES8) laddove esse si amalgamano con le precedenti.

7 Prove pregresse

7.1 Settore a nord della Via Emilia

In questo settore sono presenti i depositi "continentali" prevalentemente portati dai paleo-corsi d'acqua che avevano come recapito finale la depressione padana. Anche se si parla genericamente di depositi del "conoide del fiume Santerno" e si individuano i depositi grossolani (ghiaie) come rappresentativi di situazioni idrauliche di alta energia, e quelli fini (sabbie e limi) di bassa energia, in effetti la situazione stratigrafica profonda è molto più complessa, come evidenziato dai log litologici delle perforazioni per acqua. Da un punto di vista della distribuzione verticale dei livelli grossolani (ghiaie e sabbie) e di quelli prevalentemente fini (limi sabbiosi, limi), è stato possibile individuare delle aree omogenee utilizzate successivamente per le ricostruzioni idrogeologiche, sulla base delle percentuali caratteristiche di ghiaie e sabbie presenti nel sottosuolo entro la profondità di 50 e 70 m dal p.c.

Per questa elaborazione si sono considerate:

- le perforazioni con stratigrafia attendibile,
- lo spessore dei terreni argillosi (impermeabili) sopra il 1° livello di ghiaie e sabbie (permeabile);
- lo spessore totale (e la percentuale) dei livelli grossolani presenti entro i primi 50 m ed entro i primi 70 m dal p.c.;
- la distribuzione areale di queste perforazioni all'interno del territorio comunale e per una fascia NO-SE e parallela all'asse viario della Via Emilia, larga circa 6-8 km.

L'elaborazione dei dati stratigrafici, e i risultati delle indagini geoelettriche eseguite da AMI a partire dal 1978, ha portato alla ricostruzione della "Situazione geologico-stratigrafica dei depositi grossolani e fini per l'area di pianura a nord della Via Emilia". I risultati ottenuti consentono di riconoscere (Figura 2).

- L'area [A] di pianura compresa tra il Torrente Sellustra e la pianura, caratterizzata da forti spessori di terreni argillosi, argillo-sabbiosi superficiali con permeabilità molto bassa; i livelli di ghiaie e sabbie presentano spessori complessivi particolarmente ridotti e non esistono le condizioni per un loro affioramento. La situazione stratigrafica e le difficoltà di una comunicazione di questi livelli con la superficie topografica è ben evidenziata dalle stratigrafie riportate nella figura. L'ambiente ed i meccanismi di deposito sono riferibili a quelli caratteristici degli ambienti di interconoide, fuori dalle aree di deposito dei paleo-corsi d'acqua provenienti dai rilievi a sud: quindi una forte prevalenza dei depositi di materiali fini, mentre i livelli grossolani intercalati sono probabilmente riconducibili anche a ridistribuzioni areali di ghiaie e sabbie provenienti dalle aree marginali delle conoidi attigue.

- L'area [B] rappresenta l'area di prevalente deposito dei materiali alluvionali trasportati dal paleo-Santerno, cioè la conoide principale. I forti spessori di ghiaie rilevati nelle perforazioni AMI del campo di Ponte Santo (70 - 90 m), sono determinati anche da fenomeni di subsidenza che hanno determinato condizioni favorevoli di accumulo. Le stratigrafie di queste aree evidenziano la successione dei livelli che caratterizza il conoide.
- La delimitazione verso nord dei depositi del conoide è basata sulla forte riduzione dei depositi grossolani (ghiaie) rispetto a quelli fini (sabbie limose, limi) ed è rappresentata da una fascia di transizione che riflette le condizioni di più ridotta energia idraulica dei flussi idrici, dei paleo-corsi del fiume.
- Verso sud l'apice del conoide principale si ricollega ai depositi alluvionali presenti nella vallata del fiume, a sud della Via Emilia zona della Pedagna, ma risulta spostata verso est rispetto allo sbocco della vallata attuale. Gli effetti di questa localizzazione sulle valutazioni finali della vulnerabilità sono notevoli.
- Le aree [B1] [B2] ad est del conoide principale rappresentano zone di deposito di materiali grossolani (conoidi secondarie ancora collegabili ai meccanismi di deposito del conoide del Santerno, ma legati ad andamenti diversi (successivi ?) del paleo-Santerno). Le due aree hanno l'origine probabilmente differenziata verso monte, per la presenza di un'area interna [E1] caratterizzata da maggiori depositi di materiali poco permeabili Questa area [E1] separa l'area della conoide principale [B] da quella [B1] almeno nella parte più meridionale, mentre verso nord i depositi grossolani vanno a confluire in quelli della conoide principale. È presente anche un'altra area [E2] a forte sviluppo di depositi fini poco permeabili che separa le due conoidi secondarie [B1] e [B2], ma le correlazioni stratigrafiche non sono sufficienti a definirne i rapporti geometrici profondi.
- A nord, i depositi di pianura [C] sono caratterizzati da maggiori spessori di materiali fini, ma i livelli ghiaioso-sabbiosi intercalati sono difficilmente ricollegabili a quelli di maggior spessore presenti nei depositi di conoide [B] e [B1].

Si allegano le stratigrafie di diversi pozzi perforati da Hera per l'attingimento di acqua per uso idropotabile che testimoniano la presenza di uno spessore molto elevato di materiale alluvionale nell'area figura 3.

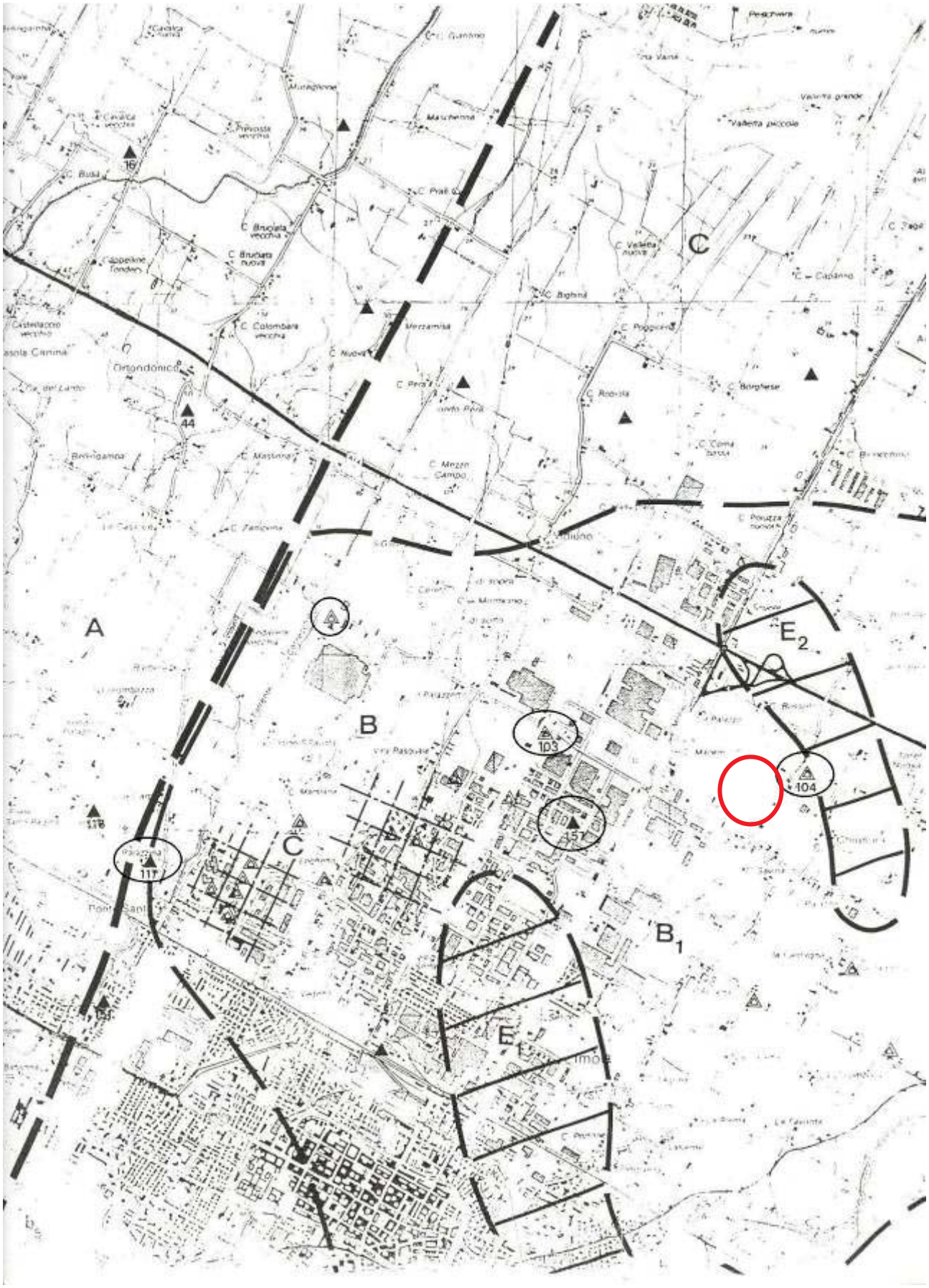


Figura 1: estensione del conoide imolese

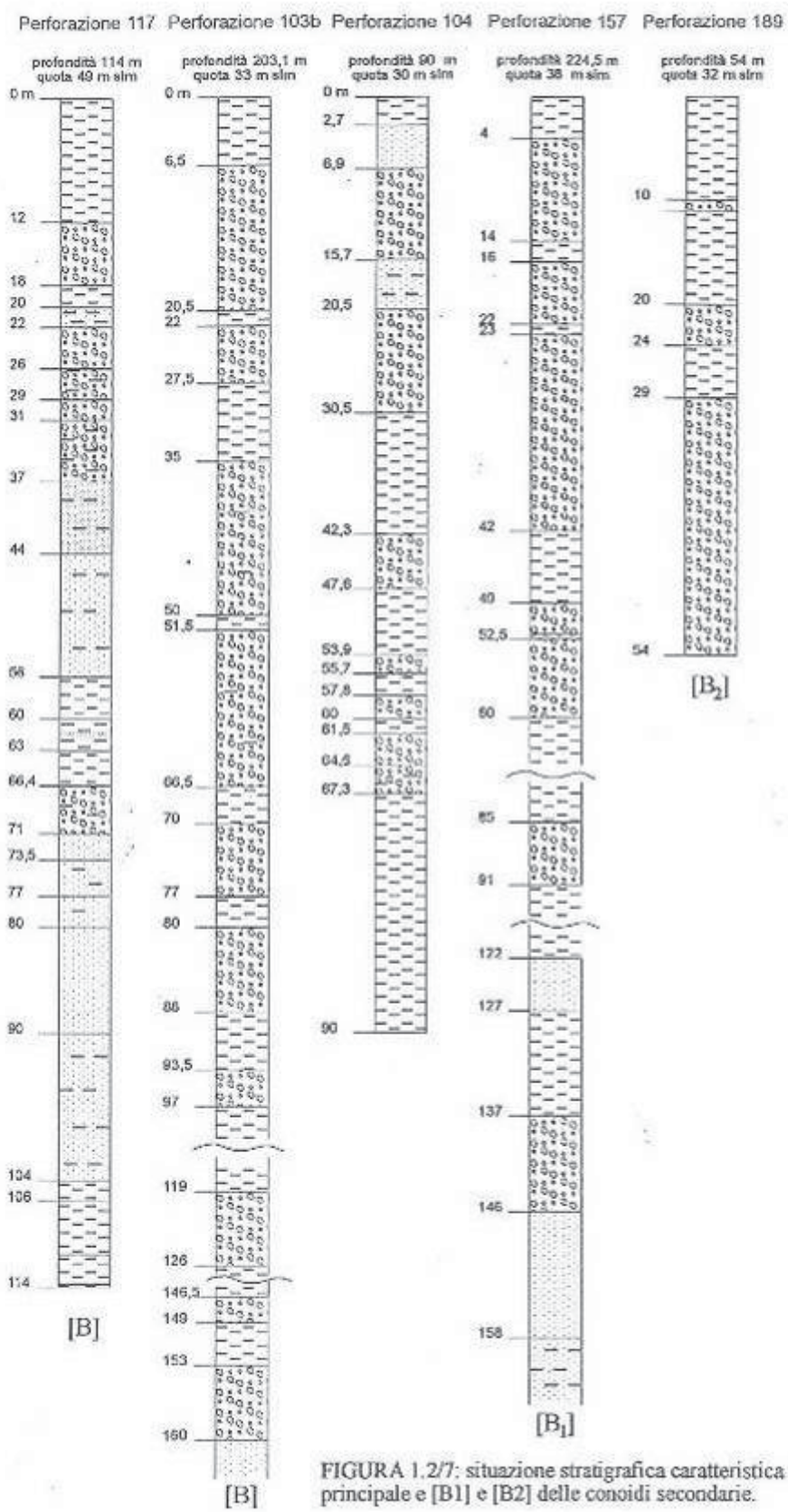


FIGURA 1.2/7: situazione stratigrafica caratteristica dell'area [B] della conoide principale e [B1] e [B2] delle conoidi secondarie.

Figura 2: stratigrafie del conoide imolese

7.2 Indagini geognostiche

L'area è stata indagata nel luglio 2017. In data 31/07/2017 è stato inoltre eseguito un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 15 m dal piano campagna

L'indagine geognostica, eseguita allo scopo di evidenziare la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo, è consistita nell'esecuzione di indagini in sito e di analisi di laboratorio effettuate su campioni indisturbati prelevati nel corso dei carotaggi continui.

7.3 Indagine in sito

L'indagine in sito è consistita nell'esecuzione di n° 12 prove penetrometriche con punta meccanica (PS), di n° 3 sondaggi a carotaggio continuo (PZ) trasformati in piezometri ed un sondaggio a distruzione per l'esecuzione della prova Down Hole che, rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto le seguenti profondità:

PS 1 = 6,40 m
PS 2 = 7,20 m
PS 3 = 9,60 m
PS 4 = 8,40 m
PS 5 = 8,20 m
PS 6 = 8,20 m
PS 7 = 7,40 m
PS 8 = 7,40 m
PS 9 = 7,20 m
PS 10 = 7,20 m
PS 11 = 7,80 m
PS 12 = 6,20 m
PZ 1 = 20,00 m
PZ 2 = 20,00 m
PZ 3 = 20,00 m
DOWN HOLE = 30,00 m

All'interno del foro di sondaggio S4 sono state eseguite prospezioni geofisiche con metodologia sismica in foro (down - hole).

I punti di indagine, compatibilmente all'accessibilità dei luoghi e alla presenza di utenze sotterranee, sono stati distribuiti per essere rappresentativi dell'intera area in esame; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3

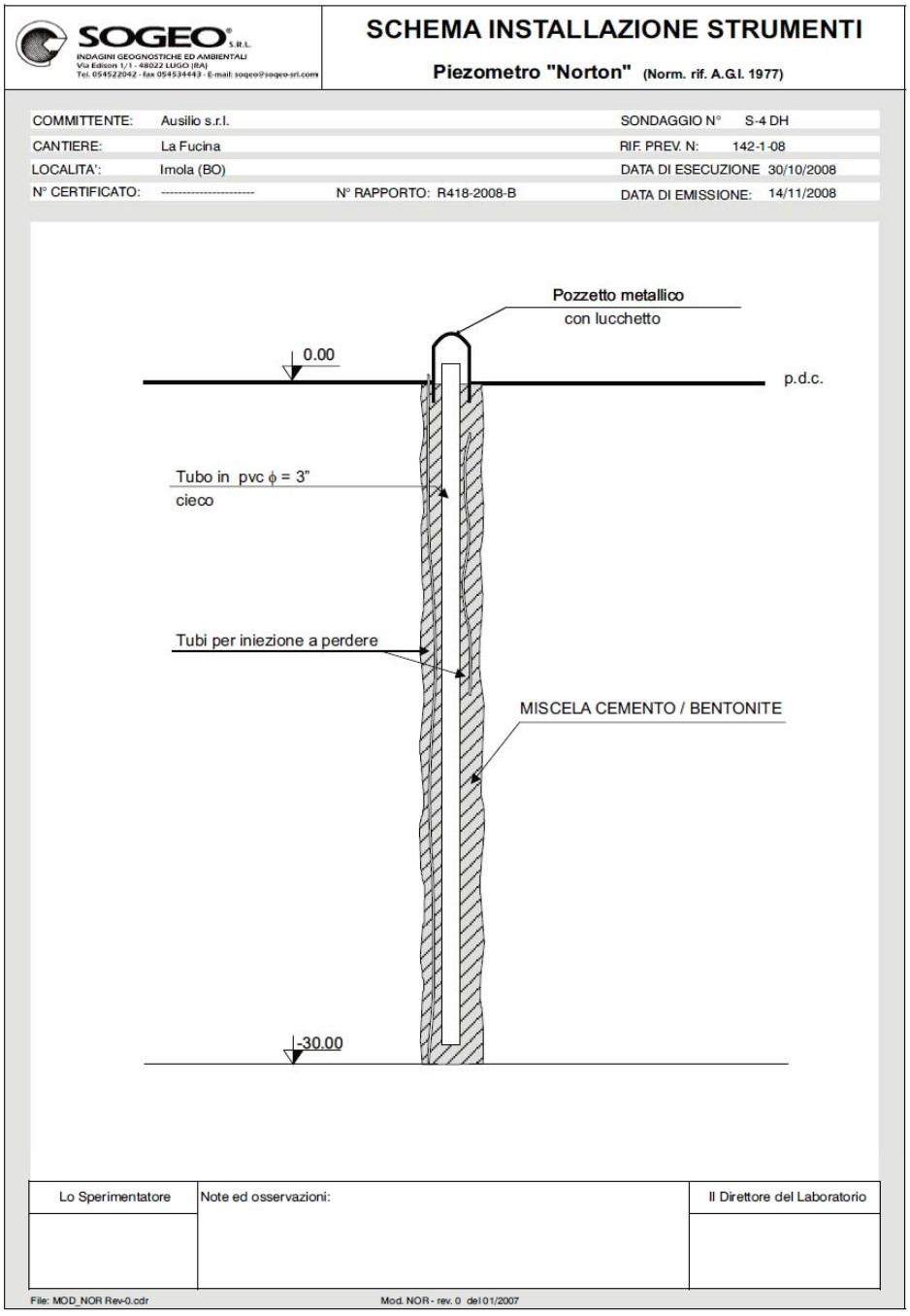
TAV. 3- UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



7.4 Prospezione sismica

All'interno del foro di carotaggio S4, in data febbraio 2006, da parte della ditta PROGEO s.r.l., è stata eseguita n° 1 prospezioni geofisiche con metodologia sismica (down hole), al fine di determinare le caratteristiche elastiche dei terreni; i moduli dinamici elastici sono correlati alle velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) per il loro modo di propagazione.

Le misure sono state effettuate in fori rivestiti con tubo in pvc del diametro interno di 3" con letture dei tempi ogni metro lineare di profondità, iniziando dal fondo del foro.



Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico i materiali sedimentari su cui si dovranno erigere le nuove strutture del centro commerciale 'La Fucina" è stata realizzata a scopo integrativo una indagine geofisica in foro con tecnica down hole.
L' indagine down hole è stata effettuata, fino alla profondità accessibile alla strumentazione (30 m), nel foro di sondaggio denominato S4.
Per la prova in foro con tecnica down hole è stata utilizzata una sonda Progeo realizzata in materiale plastico nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due triplette di ricevitori (uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 6 ricevitori) determinando così ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione, per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).
Le indagini geofisiche sono state finalizzate quindi, in funzione della classificazione del suolo di fondazione della struttura, alla determinazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione (Vp) e delle onde di taglio (Vsh) per ricavare moduli e parametri elastici dinamici (Elasticità Edin, Taglio Gdin, Compressibilità Kdin, Coefficiente di Poisson v).
La caratterizzazione dei materiali in oggetto, vista l'elaborazione su tutta la profondità delle onde di taglio S, può quindi soddisfare anche i requisiti relativi all'entrata in vigore della nuova normativa antisismica (P.C.M. — Ordinanza n° 3341 del 14 settembre 2005 e successive modifiche) come classificazione dei terreni locali.
Nel particolare l'oggetto della norma qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.

7.4.1 Sorgente di energia

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive similari; il generatore usato e denominato Hammer Blow" è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.

7.4.2 Apparato di ricezione

L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del toro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso; tale apparato ha la possibilità di essere orientato sul piano orizzontale mediante l'utilizzo di "aste in alluminio" (vedasi foto allegata a fianco).

Tale apparato (sonda 3D) è formato da due gruppi di sensori composti ciascuno da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) tra loro ortogonali; l'interdistanza fra i due gruppi è di 1 m. (vedasi foto a lato).

Oltre alla sonda calettata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato allapparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo affinchè tutti gli impulsi sismici siano in fase ed utilizzabili per le correzioni nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo tomografico.

Tali geofoni risultano superflui nel caso in cui si intraprenda l'iter elaborativo di tipo differenziale, cioè per ogni ordinata o step di misura, in quanto è sufficiente determinare, per differenza tra i tempi sismici di propagazione (At) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

7.4.3 Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 6 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

7.4.4 Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.02 millisec) tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1 - segnale del geofono orizzontale superiore direzione ortogonale (H2)

canale 2 - segnale del geofono orizzontale inferiore direzione ortogonale (H2)

canale 3 - segnale del geofono orizzontale superiore direzione parallela (H1)

canale 4 - segnale del geofono orizzontale inferiore direzione parallela (Hi)

canale 5 - segnale del geofono verticale superiore (V)

canale 6 - segnale del geofono verticale inferiore (V)

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 5 sia sul geofono del canale 6 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Analogamente per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (6) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

COMMITTENTE	SOGEO
CONO SISMICO	S4
Località	IMOLA
Data acquisizione	21/11/08

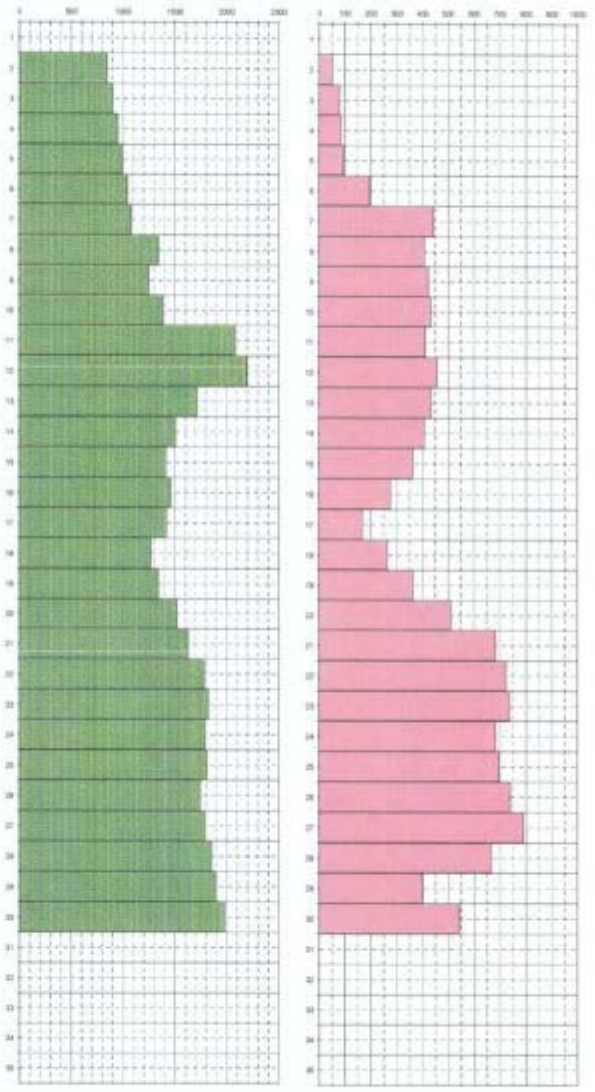
Codice lavoro 769/2006

PROGEO s.r.l.

Profondità	Vp m/sec	Vs m/sec	ν	γ T/m³	E_{din} Kg/cm²	G_{din} Kg/cm²	K_{din} Kg/cm²
0							
1							
2	844	52	0.50	1.83	152	51	13286
3	903	79	0.50	1.86	358	119	15288
4	948	85	0.50	1.88	412	138	17000
5	986	93	0.50	1.89	502	168	18504
6	1044	196	0.48	1.91	2220	749	20242
7	1080	441	0.40	1.92	10674	3812	17799
8	1339	409	0.45	2.00	9908	3420	32072
9	1247	423	0.44	1.98	10326	3597	26532
10	1386	432	0.45	2.02	11114	3843	34355
11	2081	411	0.48	2.18	11098	3750	91148
12	2194	456	0.48	2.20	13789	4667	101726
13	1715	432	0.47	2.10	11710	3994	57609
14	1511	408	0.46	2.05	10147	3473	43066
15	1413	362	0.46	2.02	7919	2703	37581
16	1461	277	0.48	2.04	4706	1588	42187
17	1420	167	0.49	2.03	1714	574	40646
18	1268	265	0.48	1.98	4193	1419	30624
19	1343	364	0.46	2.00	7921	2712	33229
20	1518	512	0.44	2.05	15741	5481	40889
21	1625	683	0.39	2.08	27511	9877	42743
22	1784	724	0.40	2.12	31677	11302	53552
23	1823	738	0.40	2.12	33023	11776	56248
24	1793	682	0.42	2.12	28416	10038	55997
25	1804	695	0.41	2.12	29497	10439	56398
26	1742	739	0.39	2.11	32588	11720	49506
27	1793	789	0.38	2.12	37046	13422	51486
28	1854	667	0.43	2.13	27531	9655	61782
29	1892	398	0.48	2.14	10199	3453	73443
30	1974	545	0.46	2.16	19015	6517	76952
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE
m/sec

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



Legenda parametri dinamici

Tp	Tempo onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempo onde di taglio	millisecondi	E_{din}	Modulo di Elasticità dinamico	kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G_{din}	Modulo di Taglio dinamico	kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K_{din}	Modulo di Compressibilità dinamico	kg/cm²
ν	Coefficiente di Poisson				

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI P.C.M. n° 3341 del 14/09/2005)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Vs_{30} = 253 m/sec

G_0 = 1321 kg/cm²

CATEGORIA SUOLO = C

8 Verifica a liquefazione

La composizione litologica nonché l'assenza delle acque di falda all'interno degli strati limoso sabbiosi e ghiaiosi fino ad almeno 15 dal piano campagna, permette di escludere la liquefazione dei terreni medesimi in presenza di evento sismico. In questo caso anche l'incremento dei cedimenti risulterà ininfluente sulla stabilità del manufatto. Questo cedimento sarà assorbito dalla struttura durante il tempo di costruzione e non si presenteranno problemi costruttivi.
L'indagine di dettaglio anche in questo caso conferma quanto già verificato con le indagini geologiche si scala più ampia.

9 Area di studio e indagini effettuate

L'area di studio è situata nel comune di Imola in prossimità del fiume Santerno all'interno del Sintema AES8 del descritto in precedenza costituito da un rilevante spessore di terreni ghiaioso sabbiosi cui sottostanno le Sabbie Gialle di Imola (IMO).
L'area in oggetto è situata tra via Lasie e L'autostrada A 14 Bologna Ancona.

Diversi studi effettuati sull'area, fra cui anche le analisi geologiche a corredo del Piano Infraregionale delle Attività Estrattive testimoniano che nell'area al di sotto delle alluvioni del fiume Santerno sono presenti le Sabbie di Imola e che queste si estendono in profondità almeno fino a 70 m dal piano campagna.

I terreni in posto non sono visibili direttamente, se n'è quindi ricavata la natura e le caratteristiche, in particolare la velocità sismica, mediante le prove MASW e HVSR. È stata acquisita una prova MASW, tramite uno stendimento di lunghezza 69 metri, lungo il lato nord dell'area in oggetto, e sono state acquisite due prove HVSR: una a metà dello stendimento sismico e l'altra al centro dell'area.
Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'interpolazione dei dati ricavati da bibliografia, dalle prove pregresse effettuate nei dintorni dell'area e dalle analisi sismiche effettuate a maggio 2018.

Nella zona indagata sono individuabili dall'alto verso il basso i seguenti orizzonti stratigrafici:

- Uno strato di limi sabbioso argillosi fino circa 5,0 m dal piano campagna,
- Uno strato di sabbie e ghiaie spesso da 5 m a 12 m dal piano campagna proveniente dai depositi grossolani del fiume Santerno ubicato ad est dell'area.
- la presenza di uno strato di limo argilloso di 2.20 m di spessore alla profondità di 12.10 m .

- Le ghiaie riprendono alla profondità 14.90 dal piano campagna e proseguono fino ad una profondità di circa 38 m.

Si precisa però che gli spessori possono non essere omogenei all'interno dell'area, a causa della genesi alluvionale dei terreni indagati.

Morfologicamente la zona interessata dall'intervento si presenta orizzontale. L'idrologia superficiale è regimata da una rete di fossi lato strada e agrari che drenano le acque superficiali al fiume Santerno.

Si riporta di seguito la Carta geologica dell'area elaborata dal Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia Romagna; in rosso è indicata la prova MASW e in giallo le prove HVSR.



Fig. 12: Ubicazione delle Prove MASW e HVSR



Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio Topografia RER 1:10.000 e foto <<Google Earth>>)

Imm. 1 e 2: ubicazione MASW e HVSR

10 Sismicità dell'area

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Imola, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

In riferimento a tale bozza il Comune di Imola ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Imola è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

hi spessore dell'i-esimo strato;

- *VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;*
- *N numero di strati;*
- *H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.*

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla categoria ***C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.***

10.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è

possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità Vs, compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a 32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 25 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

10.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale "TrominoR" in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto perio- do. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l'analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Iga- rashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L'elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo

*fr = Vs/4*H con H = spessore dello strato*

In questo modo, le misure tromografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un'indagine non invasiva e l'acquisizione avviene tramite l'utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d'indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita vie- ne elaborata tramite l'utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario "smoothing" (lisciamento) del segnale, poi la rappresenta- zione grafica dell'amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tromografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell'acquisizione di 20 minuti. L'elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per le prove espletate, la registrazioni hanno necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 17% e al 12% delle tracce acquisite.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.

10.3 Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2017)

Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alle frequenze di circa 4 e 8 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 me- tri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata una

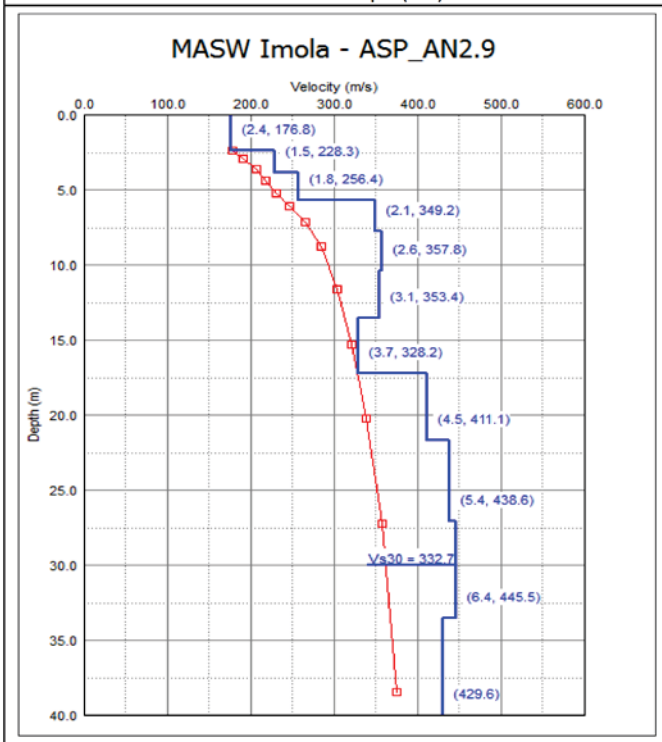
Vs30 a partire dal suolo pari circa a 332,7 m/s.

Sulla base dei dati geofisici si fornisce di seguito l'aggiornamento della caratterizza- zione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2015. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi del- la DAL 112/2007.

L'area di studio è classificabile nel macro contesto denominato <<*Pianura 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica re- sponsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.*>>.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 1,5;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 1,7;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 2,1;
- FA SI (0.5s-1.5s) = 2.2.



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_S (m/s)
1	2.4	2.4	176.8
2	3.9	1.5	228.3
3	5.7	1.8	256.4
4	7.8	2.1	349.2
5	10.4	2.6	357.8
6	13.5	3.1	353.4
7	17.2	3.7	328.2
8	21.7	4.5	411.1
9	27.1	5.4	438.6
10	33.5	6.4	445.5
11	∞	∞	429.6

V_{S30} = 332.7 ± 10% [m/s]

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

11 Microzonizzazione Sismica

Il Comune di Imola ha approvato la Microzonazione sismica individuando le aree suscettibili di effetti locali e costruendo una carta di Sintesi tavola 10 in cui sono riportate le aree oggetto di approfondimento di secondo o terzo livello.

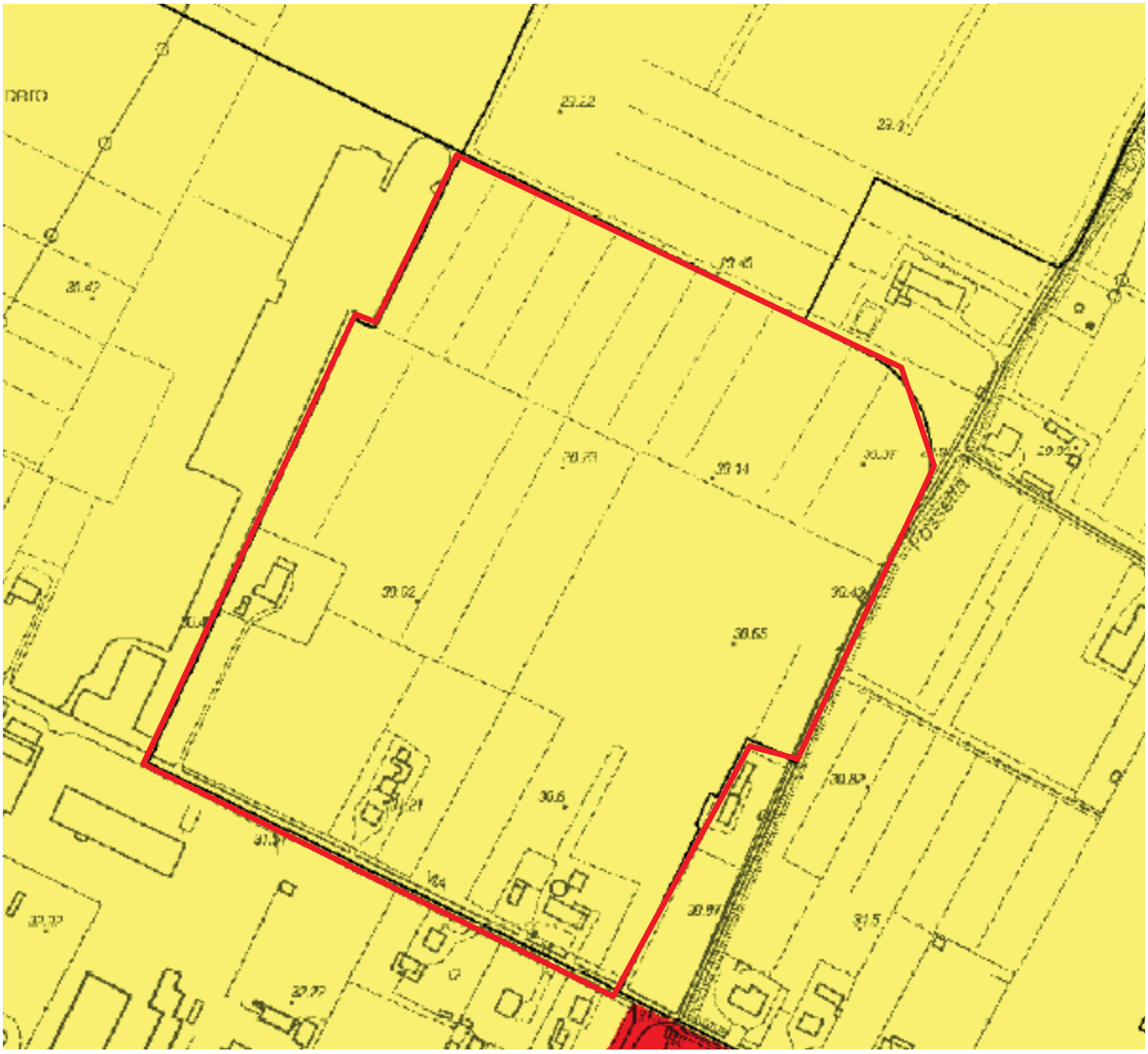
Il lotto oggetto di studio ricade all'interno delle aree oggetto di secondo livello di approfondimento. Le indagini effettuate hanno permesso di verificare tutti i fattori possibili di amplificazione:

- massima accelerazione PGA (Peak Gravitational Acceleration)
- Fattori di amplificazione SI di Housner nell'intervallo di periodi 0,1÷0,5 sec –
- Fattori di amplificazione SI di Housner nell'intervallo di periodi 0,5÷1,0 sec.

I risultati dell'analisi effettuata non hanno evidenziato fattori di rischio aggiuntivi ed i valori di amplificazione sono risultati coerenti con quanto determinato dalla microzonazione sismica.

Di seguito si riportano degli estratti delle tavole della Microzonazione sismica.

Carta di Sintesi Tavola 10



Legenda

- Ambiti del territorio urbanizzato e urbanizzabile
- Aree oggetto di approfondimento di secondo livello
- Aree oggetto di approfondimento di terzo livello

Carta di analisi - Potenziale liquefazione nelle aree di pianura

Tavola 2



Analisi liquefazione banca dati Regione Emilia-Romagna

Negativo

Positivo

Carta di analisi - Potenziali cedimenti post-sismici nelle aree di pianura

Tavola 3



Pianura analisi cedimenti

Area con ininfluente presenza di depositi coesivi molto soffici

Area con depositi coesivi molto soffici (Cu<70 KPa)

Analisi cedimenti banca dati Regione Emilia-Romagna

▲ Cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con Cu<70KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

▲ Cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

▲ Potenziali cedimenti post-sismici per presenza di spessori comulati compresi tra 3 e 10 m di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Analisi cedimenti banca dati Circondario Imolese

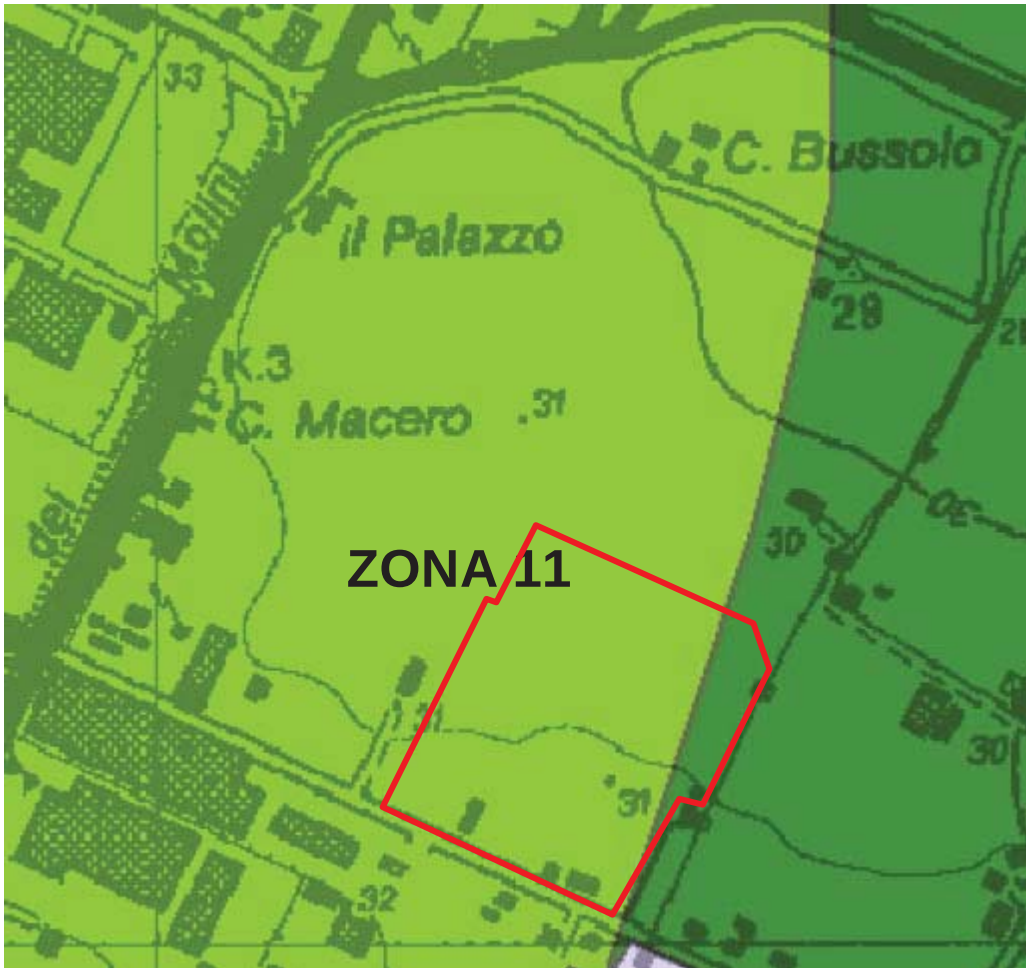
● Cedimenti post-sismici non attesi per assenza di sedimenti con Cu<70KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

● Cedimenti post-sismici non attesi per ridotto spessore cumulato (max 2 m) di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

● Potenziali cedimenti post-sismici per presenza di spessori cumulati compresi tra 3 e 10 m di sedimenti con Cu<70 KPa entro la profondità di 10 m dal p.c.

Carta di analisi - Modelli geologici nelle aree di pianura

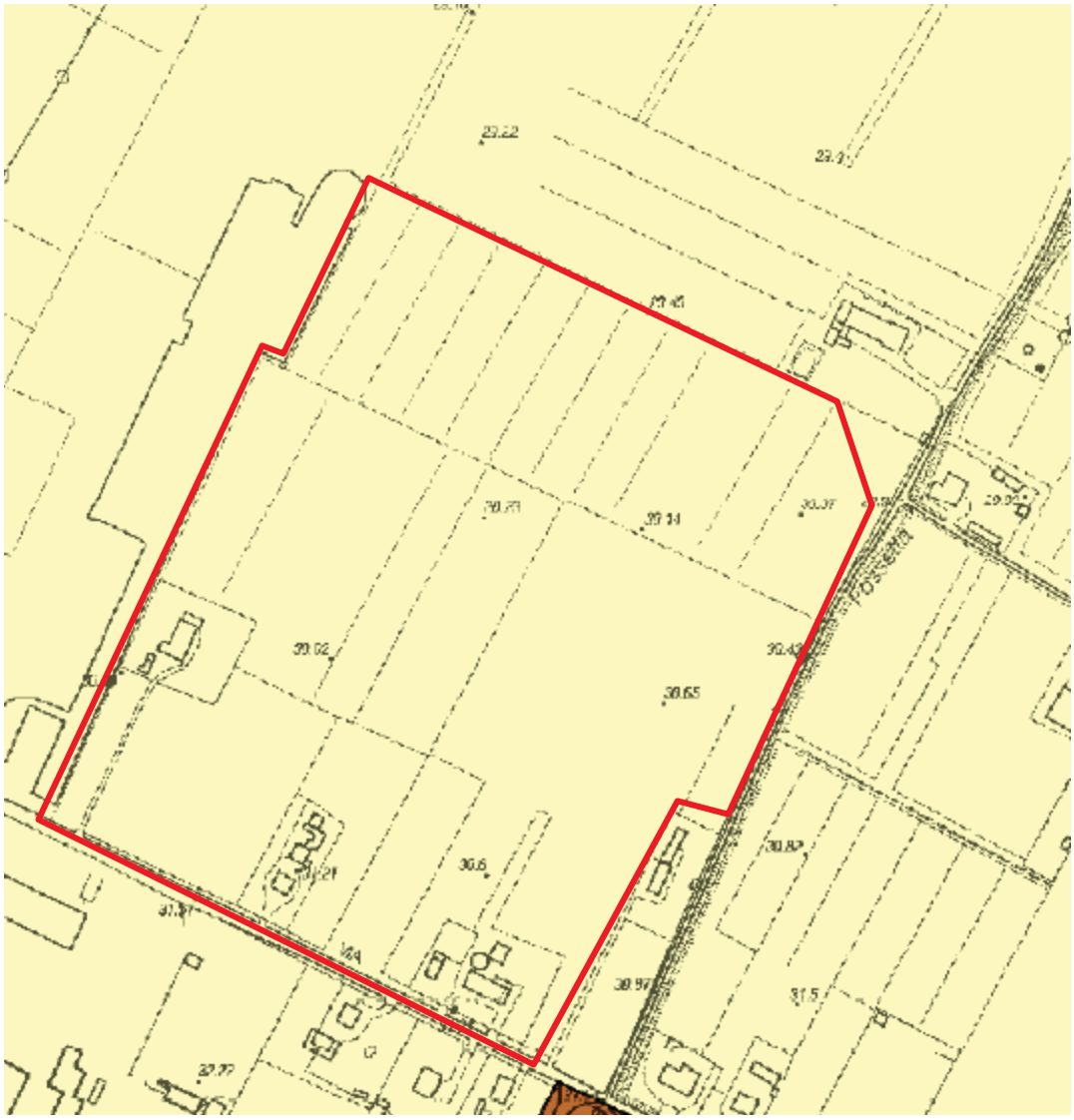
Tavola 4



Zona 11		
	Descrizione litologico-tessiturale	Note
Unità 1	Depositi di copertura prevalentemetne limosi (con argille più raramente sabbie) di spessore limitato a pochi metri (massimo 5-6)	Conoide del Santerno. Localmente (estremità settore a NO della Zona) nell'Unità 1 possono essere presenti strati sabbiosi potenzialmente liquefacibili
Unità 2	Depositi prevalentemente ghiaiosi pluridecametrici derivanti dall'amalgamazione di orizzonti grossolani riferibili a unità stratigrafiche diverse. Sono presenti intercalazioni sporadiche (1-2m) di peliti e/o sabbie	

Zona 12		
	Descrizione litologico-tessiturale	Note
Unità 1	Depositi di copertura prevalentemetne limosi (con argille più raramente sabbie) di spessore limitato a pochi metri (massimo 5-6) che localmente sono sostituiti da ghiaie per gran parte del loro spessore	Conoide del Santerno (parte apicale)
Unità 2	Depositi prevalentemente ghiaiosi di 5-10 di spessore	
Unità 3	Argille e sabbie antiche, localmente riferibili alle formaizoni marine (Argille Azzurre e Sabbie di Imola)	

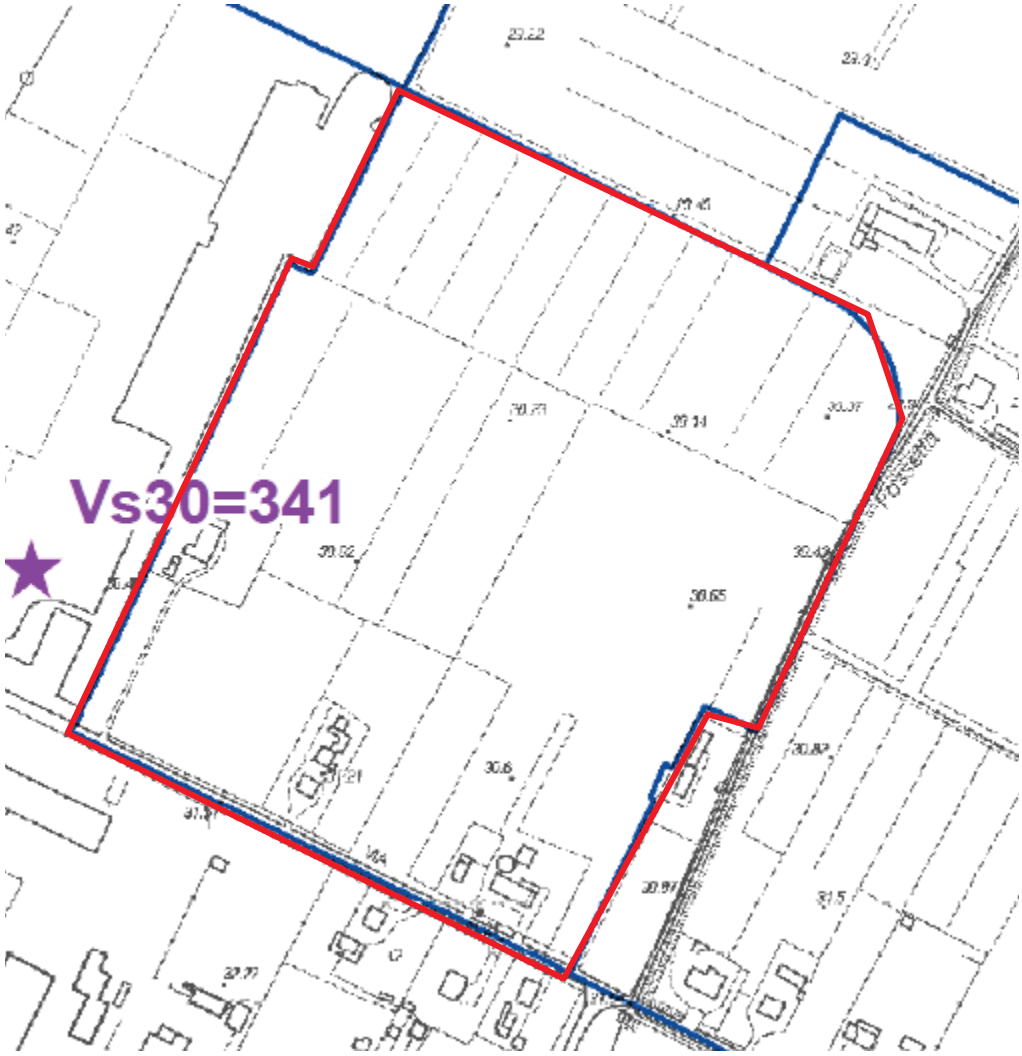
Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali (Analisi di I livello) Tavola 5



A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
Studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico.
Microzonazione sismica di secondo livello

Microzonazione Sismica

Carta delle velocità Tavola 6



Legenda

Confini comunali

Ambiti del territorio urbanizzato e urbanizzabile

Velocità

★ Vs30 [Vs30 = 315 (m/s)]

★ Vsh [Vs16 (m) = 457 (m/s)]

Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione PGA (Analisi di II livello) Tavola 7



Fattore di amplificazione PGA

1,3		1,8	
1,4		1,9	
1,5		2,0	
1,6		2,1	
1,7			

Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi) (Analisi di II livello) Tavola 8



Fattore di amplificazione SI (0.1-0.5 secondi)

1,3		2,0	
1,5		2,1	
1,6		2,2	
1,7		2,3	
1,8		2,4	
1,9			

Carta di microzonazione sismica - Fattori di amplificazione SI (0.5-1.0 secondi) (Analisi di II livello) Tavola 9



Fattore di amplificazione SI (0.5-1.0 secondi)

1,0		1,9	
1,1		2,0	
1,2		2,1	
1,3		2,3	
1,4		2,4	
1,5		2,5	
1,6		2,6	
1,7		2,8	
1,8			

12 Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- I terreni sono omogenei nell'area infatti. Nella zona indagata sono individuabili dall'alto verso il basso i seguenti orizzonti stratigrafici:

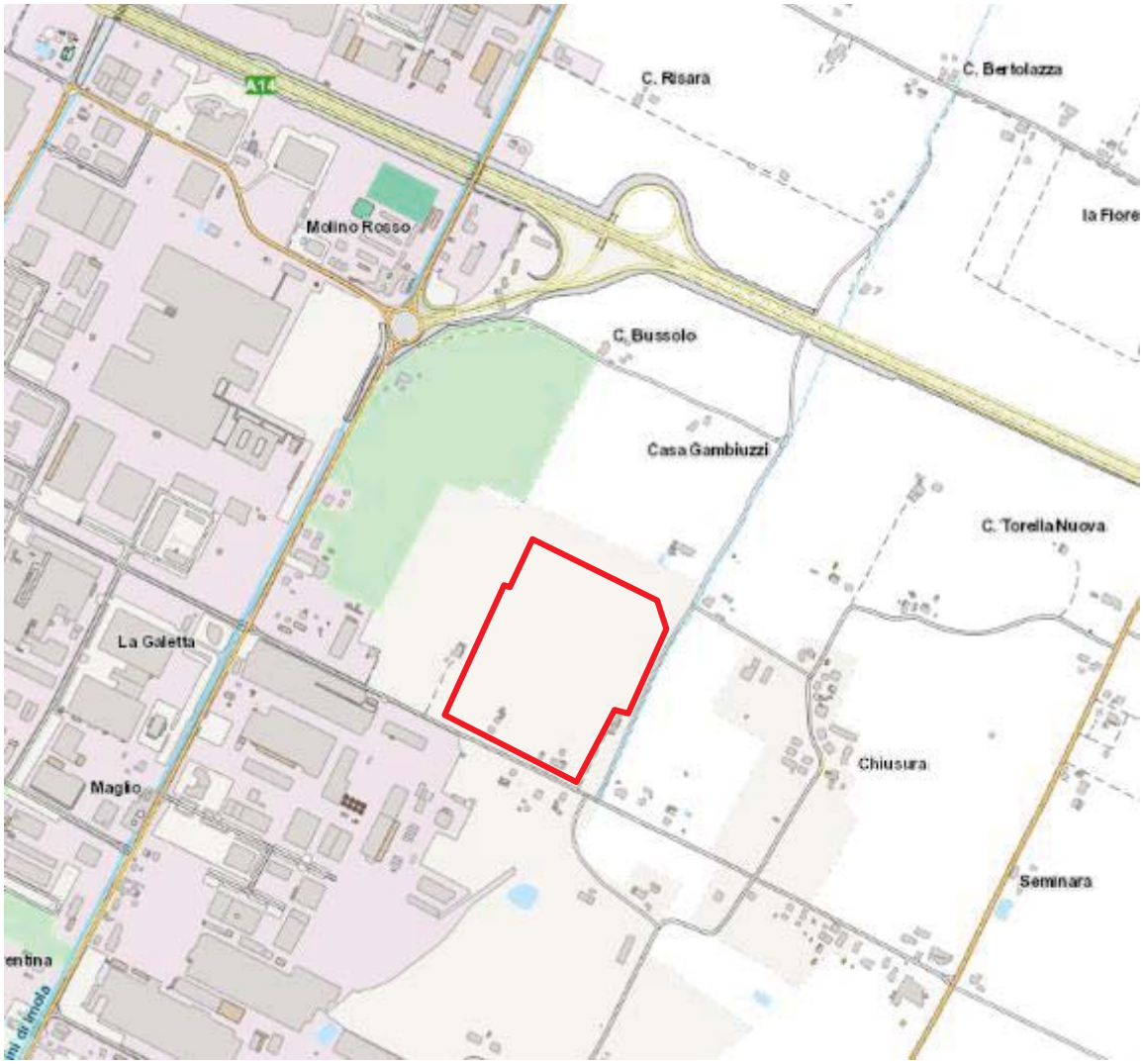
- Uno strato di limi sabbioso argillosi fino circa 6 m dal piano campagna,
- Uno strato di sabbie e ghiaie spesso da 6 m a 15 m dal piano campagna.
- la presenza di uno strato di sabbie limosa da 15 m a 19 m dal piano campagna m .
- Le ghiaie riprendono alla profondità 19 dal piano campagna e proseguono fino ad una profondità di circa 30 m.

- Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito (MASW riportata in allegato 2) si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)**
- Le caratteristiche di consistenza dei terreni, l'assenza di falda idrica ed i calcoli effettuati assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alla frequenza di circa 8,5 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).
- Il fattori di amplificazione derivanti dalla microzonazione sismica regionale come da D.G.R. 2193/2015 riportati sono da interpretare come un supporto alla pianificazione individuando aree in cui il fenomeno dell'amplificazione sismica si può verificare.
- Dalle indagini effettuate nell'area che sarà oggetto di costruzione, non si sono evidenziate condizioni che possano provocare effetti di amplificazione del fenomeno sismico e, pertanto, è possibile calcolare le strutture con le strutture applicando quando indicato dalle N.T.C. 2008

Imola 09 maggio 2018

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
Ordine Geologi Emilia-Romagna
GEOLOGO
SEZ.A
N. 544 A.L.BO.

Allegato 1
Ubicazione intervento



Allegato 2

Indagine Sismica

Studio Samuel Sangiorgi
Geologia Applicata

Via Valsellustra 32
40060 Dozza - BOLOGNA

Comune: COMUNE DI IMOLA (BO)

Oggetto: ***Indagine geofisica di superficie mediante tecnica combinata MASW/Re.Mi. e registrazioni HVSR in via della Fossetta, Ambito ASP_AN2.9, Comune di Imola (BO)***

RELAZIONE GEOFISICA (DGR 2193/2015)

Stesura: Maggio 2018

Elaborazione: Dott. Geol. Antonio Milioto



Committente: Dott. Geol. Maurizio Castellari

tel/fax 0542 640279 mail info@studiosamuelsangiorgi.eu
www.studiosamuelsangiorgi.eu

1. Premessa

Lo Studio scrivente è stato incaricato dal dott. geol. Maurizio Castellari di eseguire un'indagine finalizzata alla stima delle velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) ai fini della caratterizzazione sismica dei terreni di un'area da inserire all'interno del POC del Comune di Imola (BO). L'area di studio è localizzata in via della Fossetta, all'interno dell'Ambito ASP_AN2.9, in Comune di Imola (Figura 1).

Le Vs sono state valutate sulla base di uno stendimento sismico attivo/passivo tipo MASW/Re.Mi. e di una prova sismica speditiva di acquisizione passiva del rumore sismico ambientale, effettuata con strumento tromografico portatile ad alta risoluzione.

Si fornisce infine la stima delle velocità equivalenti di legge (VsH; Vs_{30}) ai sensi della DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna.

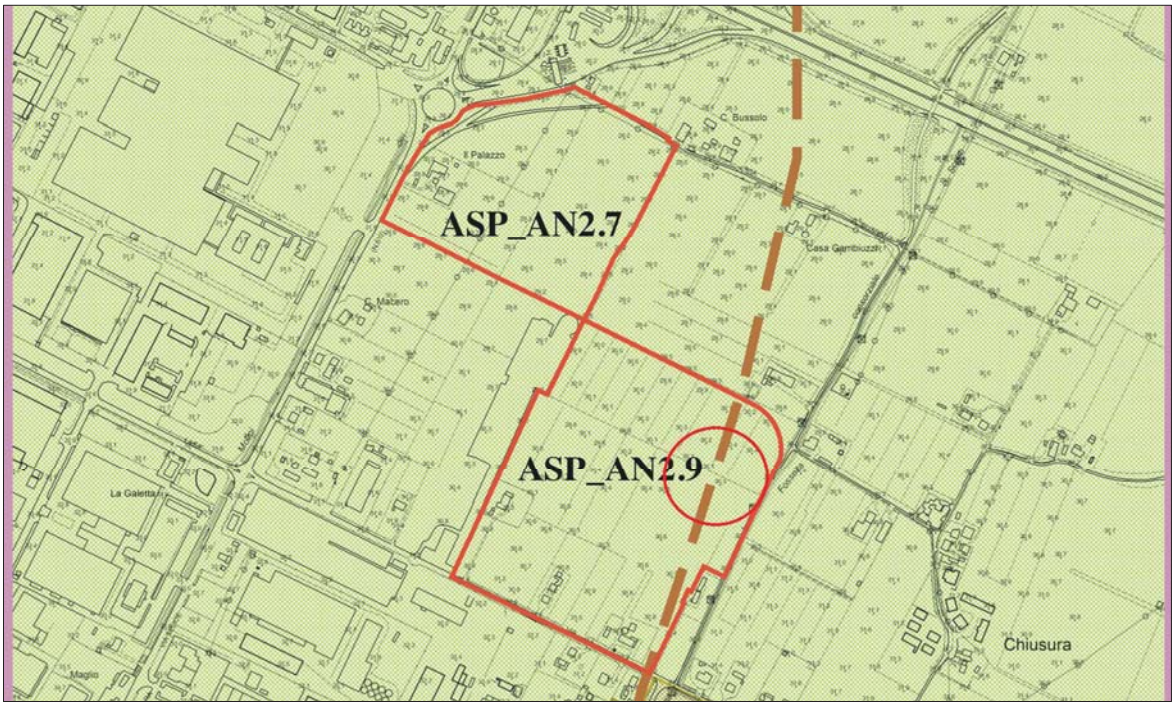




Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio e delle indagini geofisiche eseguite (stralcio Topografia RER 1:10.000 e foto <<Google Earth>>)

2. Modalità d'indagine

2.1 Stendimento MASW/Re.Mi.

Si tratta di una prova geofisica basata sull'analisi delle onde sismiche superficiali e mediante la quale è possibile ricostruire un profilo verticale monodimensionale della velocità delle onde "S" fino alla profondità di 30 m ed oltre. Tale risultato è ottenuto mediante registrazioni di segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (piastra-martello), registrazioni del rumore sismico ambientale (tecnica passiva) e, successivamente, dall'analisi delle onde superficiali registrate. La combinazione delle due acquisizioni offre il vantaggio che la curva di dispersione sperimentale "combinata" può essere definita tra 0 e 60 Hz, quindi sia a basse che ad alte frequenze, e che è possibile determinare il profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità maggiori di 30 metri, in funzione del sito e delle caratteristiche della sorgente.

Le acquisizioni sono state elaborate con il software GEOGIGA SURFACE PLUS. L'analisi dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata FK o FV) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Il risultato di tale analisi permette di costruire lo spettro di potenza mediante il quale è possibile ricavare la curva di dispersione sperimentale delle onde "R". Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica permette di determinare un profilo 1D verticale della velocità Vs, compatibile con la curva sperimentale ottenuta.

L'acquisizione dei dati è stata condotta mediante l'utilizzo di un sismografo digitale a 24 bit di marca ABEM (mod. RAS-24) e 24 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz. La lunghezza totale della linea sismica è stata di 69 m, con un intervallo costante tra i ricevitori pari a 3 m. Il campionamento temporale per le registrazioni passive è stato pari a 2 ms e la durata pari a 32 s, mentre per le registrazioni attive il campionamento è stato pari a 0,5 ms e la durata pari a 2 s. Per questa indagine sono state acquisite complessivamente 15 registrazioni.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 2 - Stendimento sismico MASW/Re.Mi.

2.2 Registrazione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale “TrominoR” in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto periodo. Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l’analisi tromografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR. Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale. Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione. L’elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza fr del sottosuolo

$$fr = Vs/4*H \quad con \quad H = spessore\ dello\ strato$$

In questo modo, le misure tromografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno. Si tratta dunque di un’indagine non invasiva e l’acquisizione avviene tramite l’utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso. Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d’indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo. La traccia acquisita viene elaborata tramite l’utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario “smoothing” (lisciamento) del segnale, poi la rappresentazione grafica dell’amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tromografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell’acquisizione di 20 minuti. L’elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per la prova espletata, la registrazione ha necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 13% della traccia acquisita.

In appendice si allegano i grafici relativi ai principali parametri di acquisizione ed elaborazione della prova.



Figura 3 – Registrazione HVSR

3. Risultati dell'indagine e caratterizzazione sismica (DGR 2193/2015)

Le registrazioni HVSR non hanno evidenziato particolari alti spettrali se non una blanda amplificazione alle frequenze di circa 4 e 8 Hz (basso rapporto spettrale H/V<2), indotta dal riflettore sismico costituito dal tetto delle ghiaie meno profonde (circa 5-6 metri).

Tramite l'elaborazione dei risultati della prova MASW/Re.Mi. si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti (Vs), e in particolare si è misurata una Vs30 a partire dal suolo pari circa a 332,7 m/s.

Sulla base dei dati geofisici si fornisce di seguito l'aggiornamento della caratterizzazione sismica dell'Ambito ai sensi della DGR 2193/2015. Si precisa che l'area di studio è già inclusa nella microzonazione sismica comunale di "livello 2" elaborata ai sensi della DAL 112/2007.

L'area di studio è classificabile nel macro contesto denominato <<*Pianura 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.*>>.

Ciò detto, si possono ricavare i seguenti fattori di amplificazione semplificati (DGR 2193/2015):

- FA (PGA) = 1,5;
- FA SI (0.1s-0.5s) = 1,7;
- FA SI (0.5s-1.0s) = 2,1;
- FA SI (0.5s-1.5s) = 2.2.

Elaborazione: dott. geol. Antonio Milioto

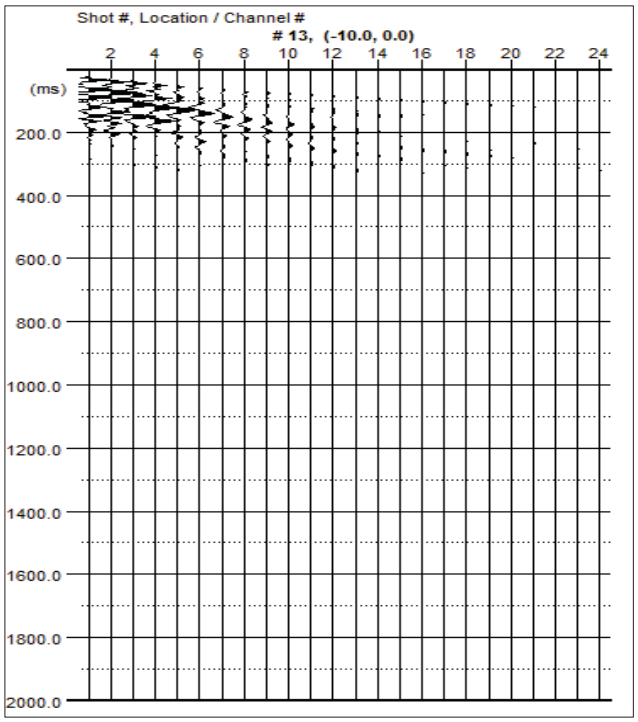


PROSPEZIONE SISMICA CON METODOLOGIA ATTIVA MASW/PASSIVA MASW/Re.Mi.

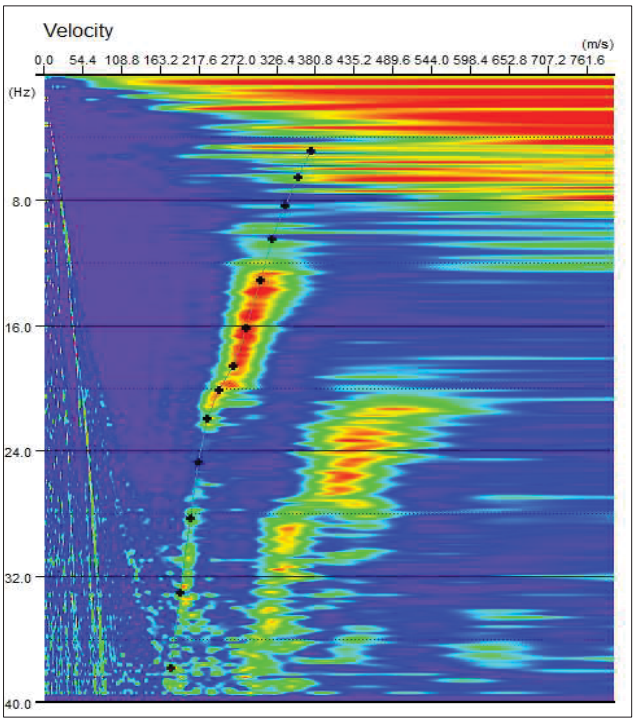
Ambito ASP_AN2.9, via della Fossetta – Comune di Imola (BO)

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
15	3,0	69,0	0,5/2,0	2,0/32,0

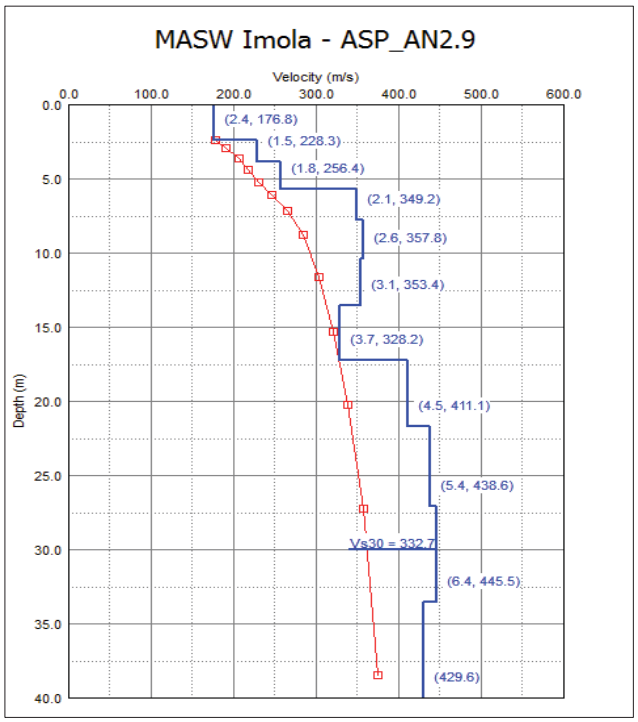
Δx: interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt: passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio *f-v* e Picking della curva sperimentali delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_S (m/s)
1	2.4	2.4	176.8
2	3.9	1.5	228.3
3	5.7	1.8	256.4
4	7.8	2.1	349.2
5	10.4	2.6	357.8
6	13.5	3.1	353.4
7	17.2	3.7	328.2
8	21.7	4.5	411.1
9	27.1	5.4	438.6
10	33.5	6.4	445.5
11	∞	∞	429.6

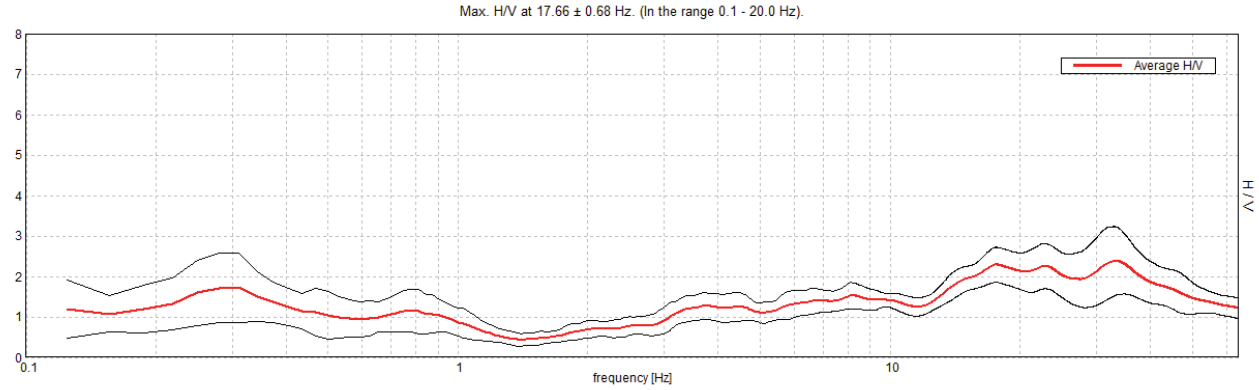
V_{S30} = 332.7 ± 10% [m/s]

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

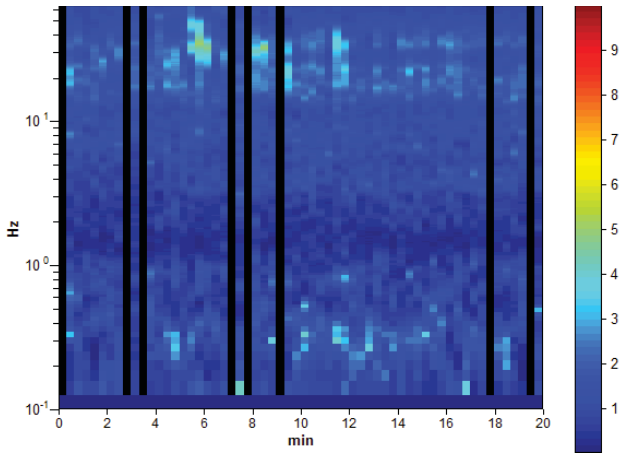
IMOLA - ASP_N2.9, via della Fossetta, TR1

Instrument: TRZ-0108/01-10
Start recording: 30/04/18 11:04:59 End recording: 30/04/18 11:25:00
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h20'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

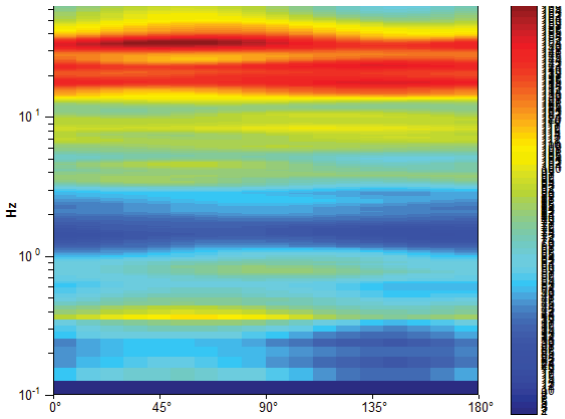
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



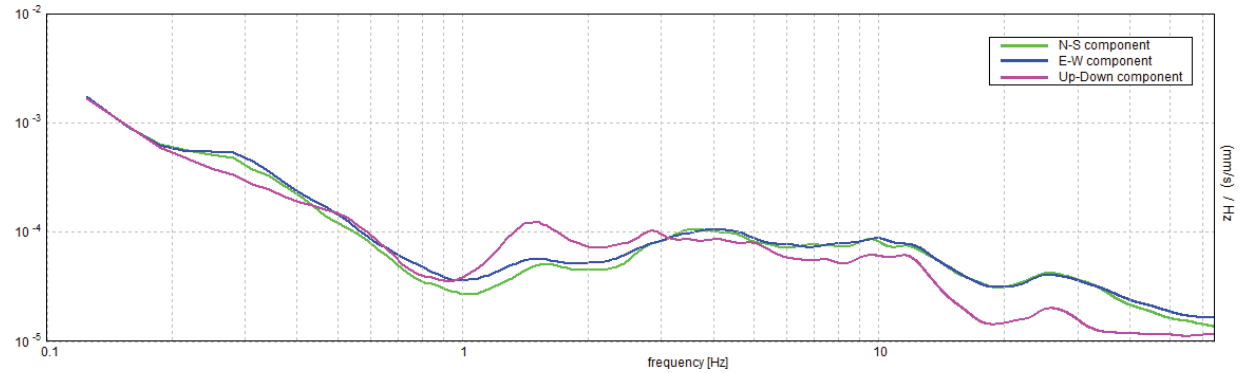
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

Max. H/V at 17.66 ± 0.68 Hz (in the range 0.1 - 20.0 Hz).

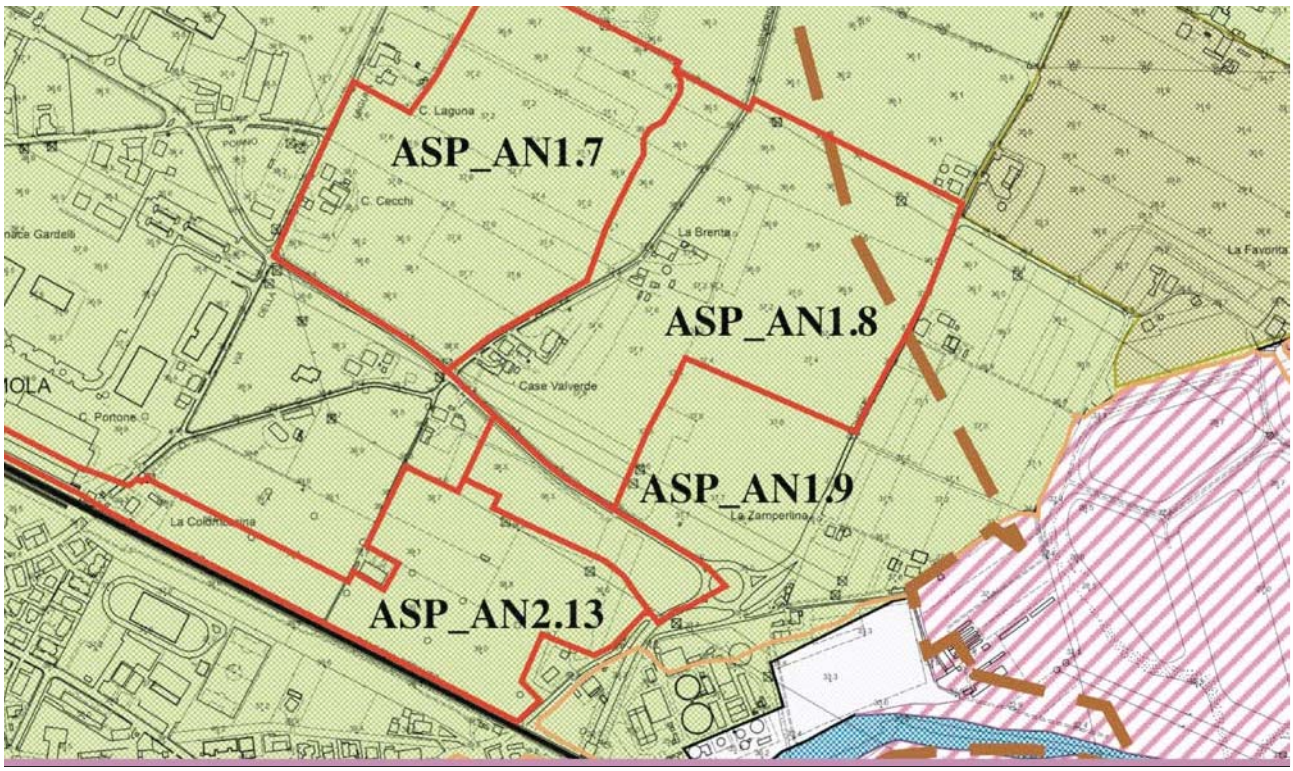
Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	17.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	18362.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 848 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.29 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.01899| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.3353 < 0.88281	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2138 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Indagini Geologiche e Ambientali

Indagini geognostiche sull'indagine geologica e sismica relativa all'ambito ASP_AN2.9 - Lasie sito a nord della via Lasie, Comune di Imola



Committente:

Zini Elio s.r.l.

Via Bacchini 2/A

40026 Imola (BO)

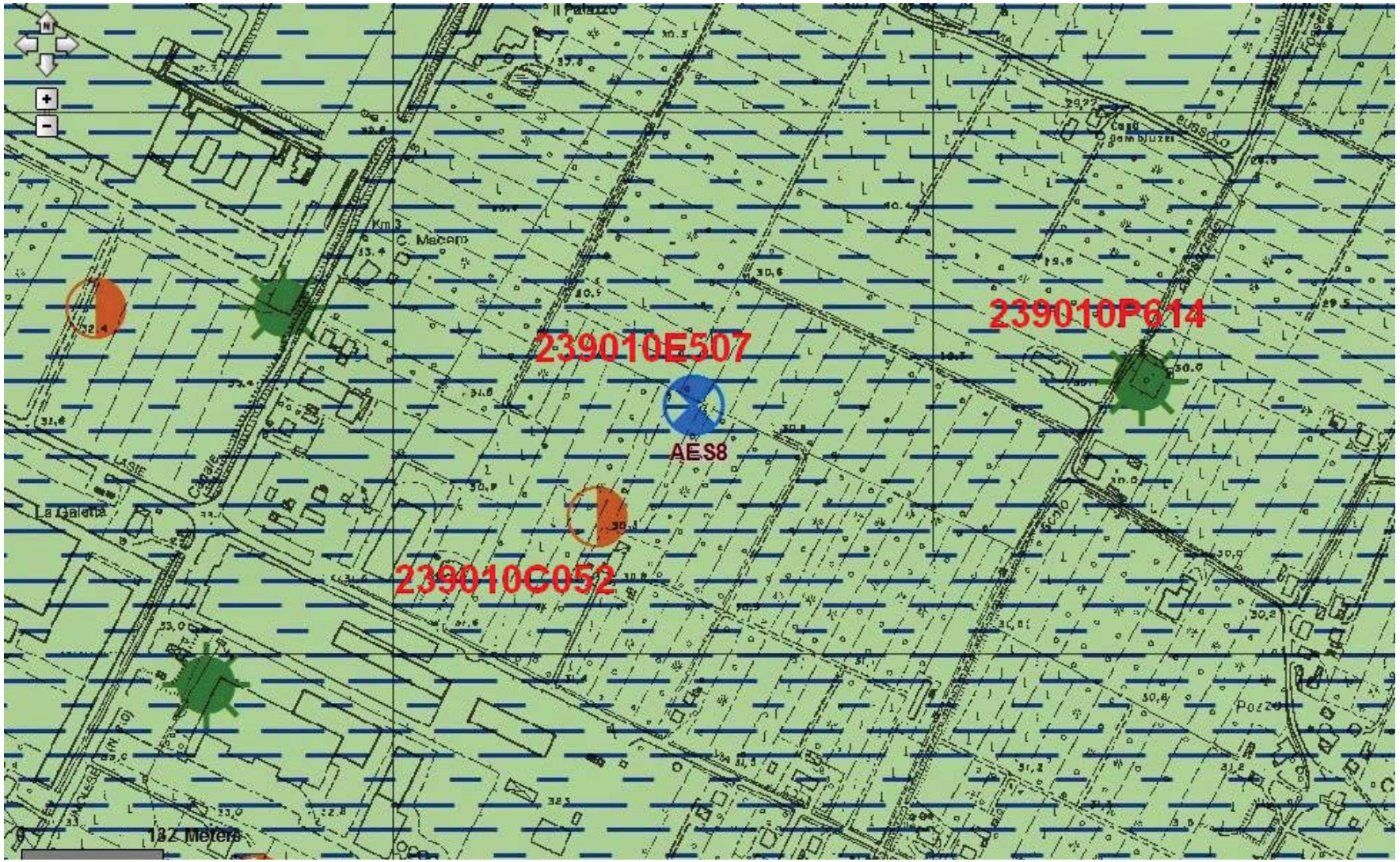
Imola 26 luglio '18

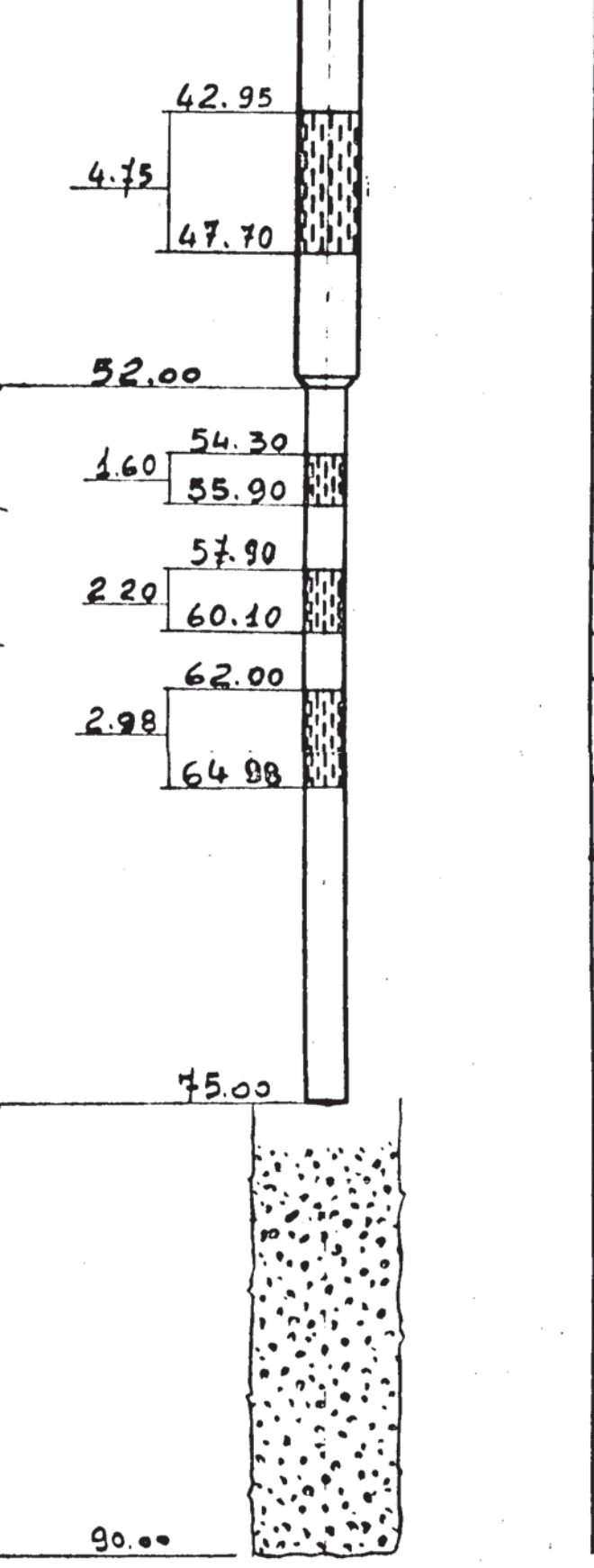
Dott. Maurizio Castellari Via P. Mascagni 3 - 40026 Imola (BO) Tel 334 2075125 - 0542 682776
mail: castellari.geo@gmail.com P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

1 Premessa

A seguito della richiesta della Città Metropolitana nell'ambito della procedura del POC di integrare l'indagine geologica e sismica relativa all'ambito ASP_AN2.9 - Lasie sito a nord della via Lasie, Comune di Imola con i report delle indagini geognostiche utilizzate per le elaborazioni geofisiche si allegano alla presente l'ubicazione e i report delle indagini utilizzate per l'elaborazione della relazione.

2 Banca dati regionale





42.30

40

GHIAIA GHIAIETTO CON SABBIA GRIGIA & CIOTTOLI

47.60

45

ARGILLA GIALLA E BLEU

50

53.90

55.20 — GHIAIA E GHIAIETTO CON STRATI DI CONGL

55.70 — GHIAIA E GHIAIETTO CON SABBIA

57.80 — ARGILLA GIALLA E CENERE

60.00 — GHIAIA E GHIAIETTO CON STRATI DI CONGL

61.50 — ARGILLA GIALLA E CENERE

GHIAIA E GHIAIETTO E CIOTTOLI ROSSASTRI CON STRADI DI CONGLOME

64.60

65

ARGILLA CON GHIAIA

67.30

70

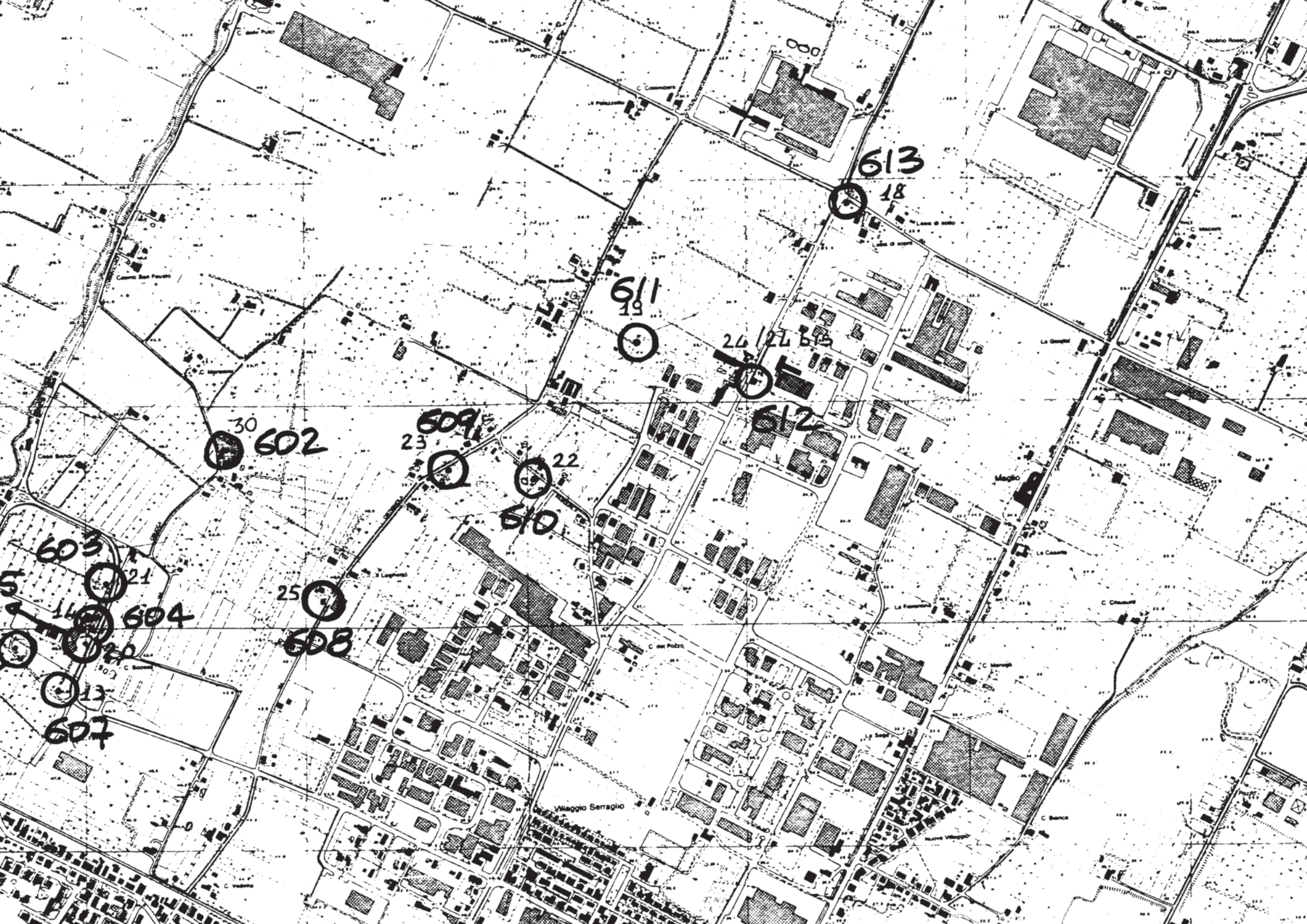
ARGILLA CENERE

75

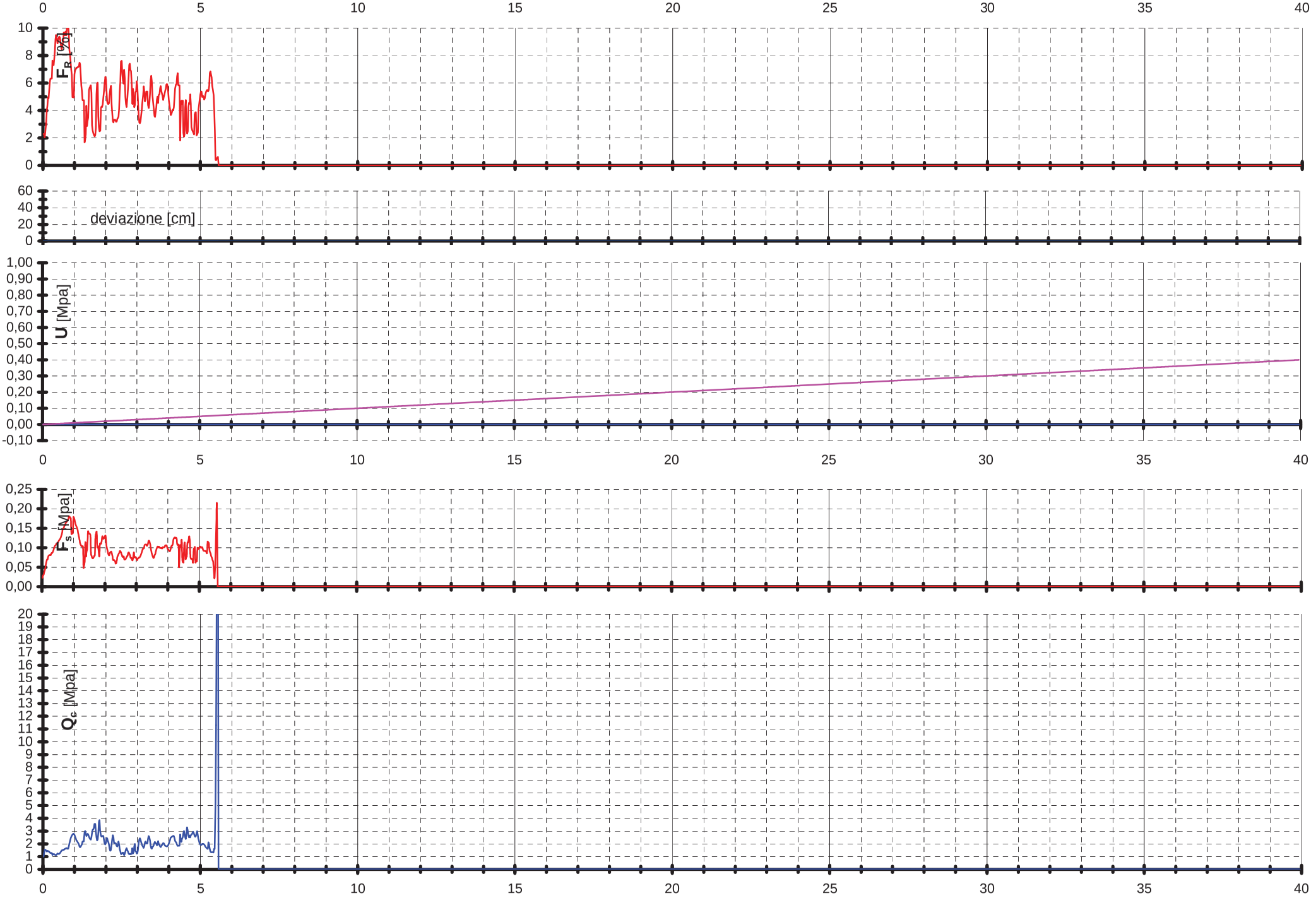
80

85

90


613
18
611
19
24 / 24 615
612
30
602
609
23
22
610
603
21
5
14
604
20
13
607
25
608
Villaggio Serraglio
Maglio
La Casetta
C. Chiusura
C. del Pozzo
C. Bianca
Nuova Villaggio
C. Vedetta
C. Colombara
C. Canna
C. Marmora
Casino San Fausto
Case Bandini
La Gaiette
La Fiorentina
La Sega
C. Marugli
C. Socorri
C. Pozzo
Molino Rosso
C. Viola
Lesa di sotto
Lesa di sopra
Pozzo

cpte 507	CTR: 239010	17/3/1998	Falda non segnalata



239010

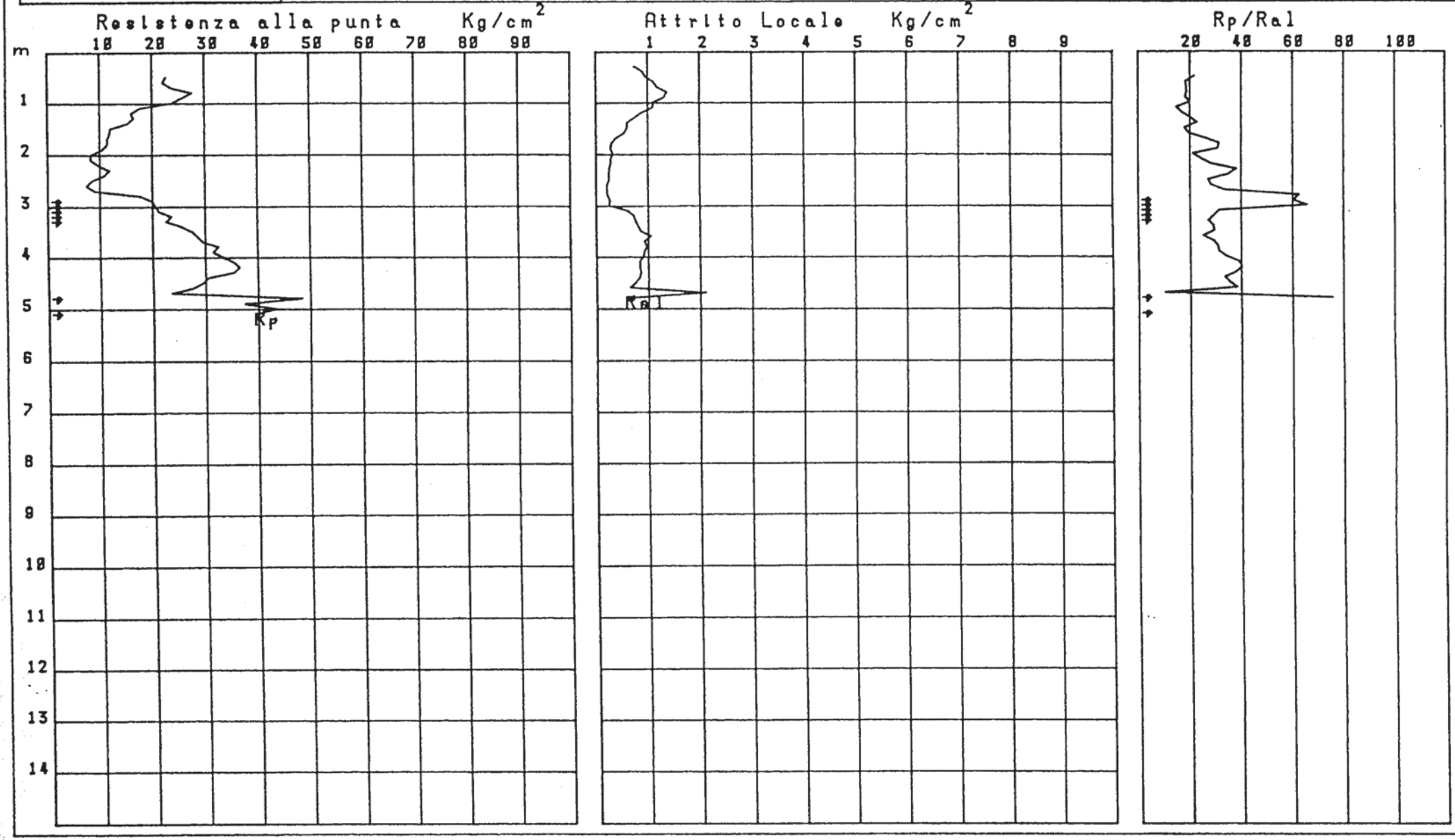
geoLOG

Committente: Comune di IMOLA
Localita': Imola
Cantiere: via Lasie

SONDAGGIO PENETROMETRICO STATICO N. 22

Data: 23/5/86

DINASTAR C052



tav. 8a


di sotto
Palazzina
37
MOLINO
C. Viola
ROSSO
C. Colombara
Il Palazzetto
GAMBELLARA
PASQUALE
VIA
Lesia di sotto
Lesia di sopra
35
21
34
18
LASIE
Canale
La Galetta
Km,3

3 Indagini geognostiche

L'area è stata indagata nel luglio 2017. In data 31/07/2017 è stato inoltre eseguito un sondaggio a carotaggio continuo fino alla profondità di 15 m dal piano campagna

L'indagine geognostica, eseguita allo scopo di evidenziare la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo, è consistita nell'esecuzione di indagini in sito e di analisi di laboratorio effettuate su campioni indisturbati prelevati nel corso dei carotaggi continui.

3.1 Indagine in sito

L'indagine in sito è consistita nell'esecuzione di n° 12 prove penetrometriche con punta meccanica (PS), di n° 3 sondaggi a carotaggio continuo (PZ) trasformati in piezometri ed un sondaggio a distruzione per l'esecuzione della prova Down Hole che, rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto le seguenti profondità:

PS 1 = 6,40 m
PS 2 = 7,20 m
PS 3 = 9,60 m
PS 4 = 8,40 m
PS 5 = 8,20 m
PS 6 = 8,20 m
PS 7 = 7,40 m
PS 8 = 7,40 m
PS 9 = 7,20 m
PS 10 = 7,20 m
PS 11 = 7,80 m
PS 12 = 6,20 m
PZ 1 = 20,00 m
PZ 2 = 20,00 m
PZ 3 = 20,00 m
DOWN HOLE = 30,00 m

All'interno del foro di sondaggio S4 sono state eseguite prospezioni geofisiche con metodologia sismica in foro (down - hole).

I punti di indagine, compatibilmente all'accessibilità dei luoghi e alla presenza di utenze sotterranee, sono stati distribuiti per essere rappresentativi dell'intera area in esame; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3

TAV. 3- UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA

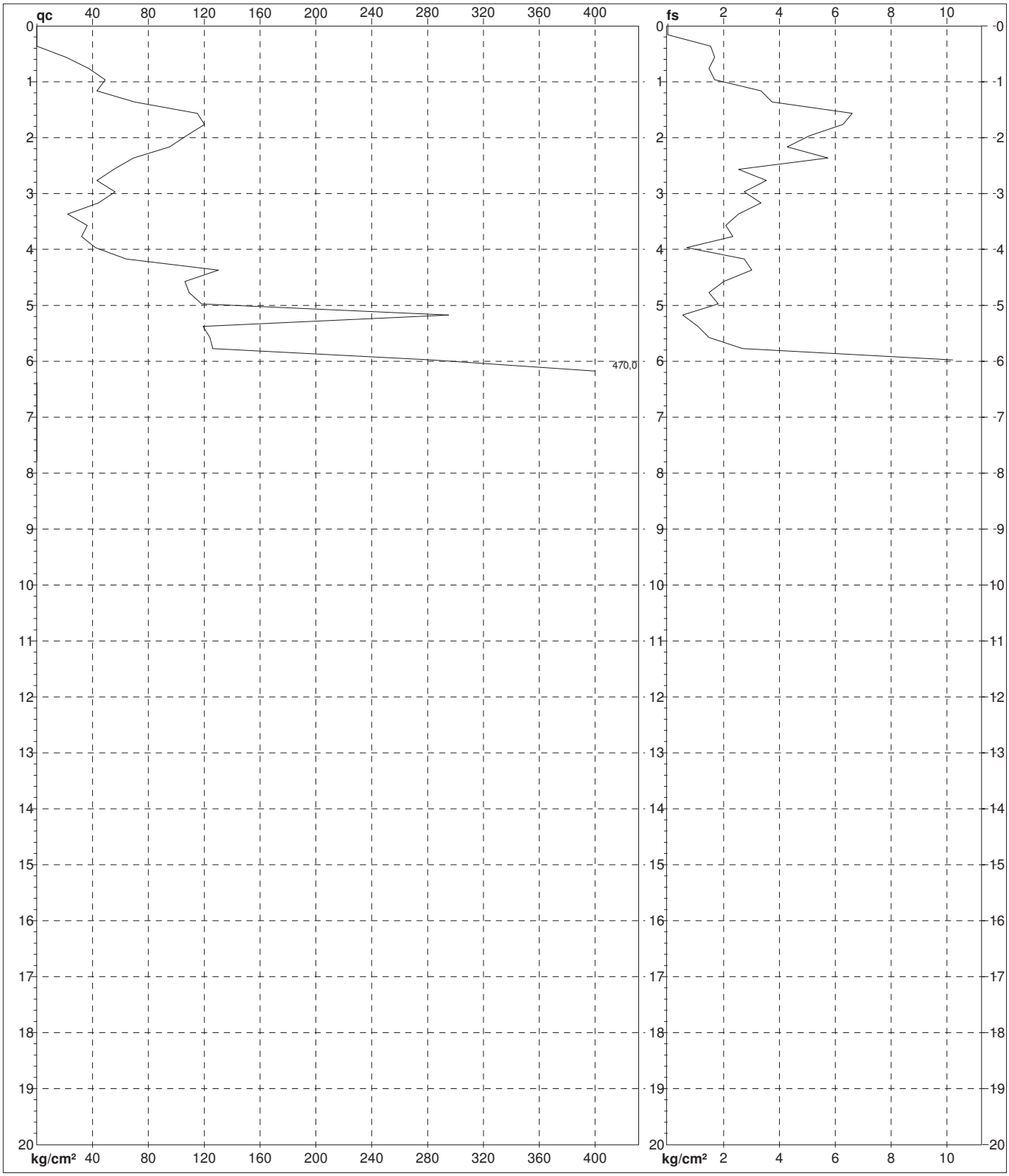


SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS12**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R430-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 30/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

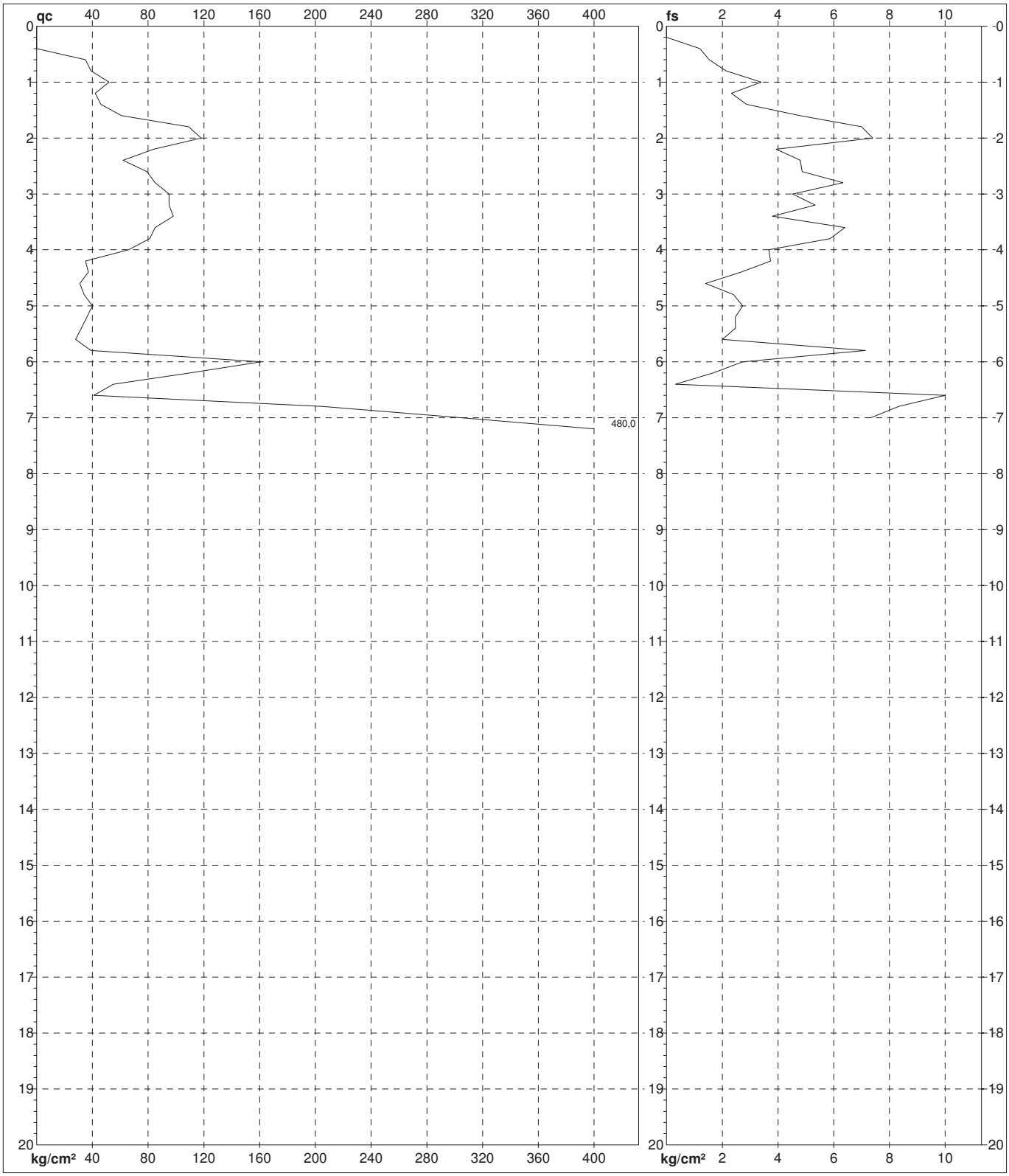
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS2**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R420-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

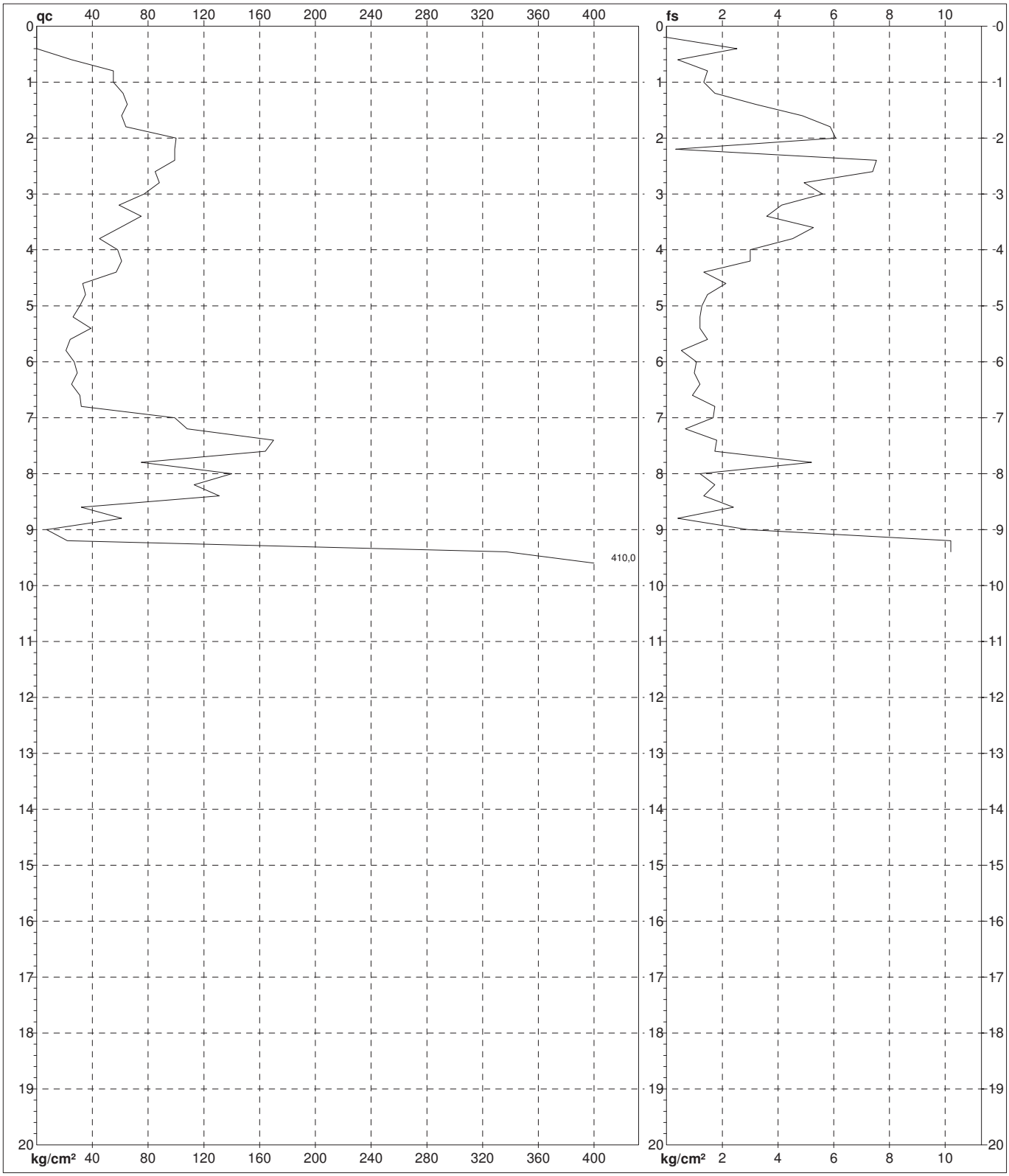
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS3**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R421-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

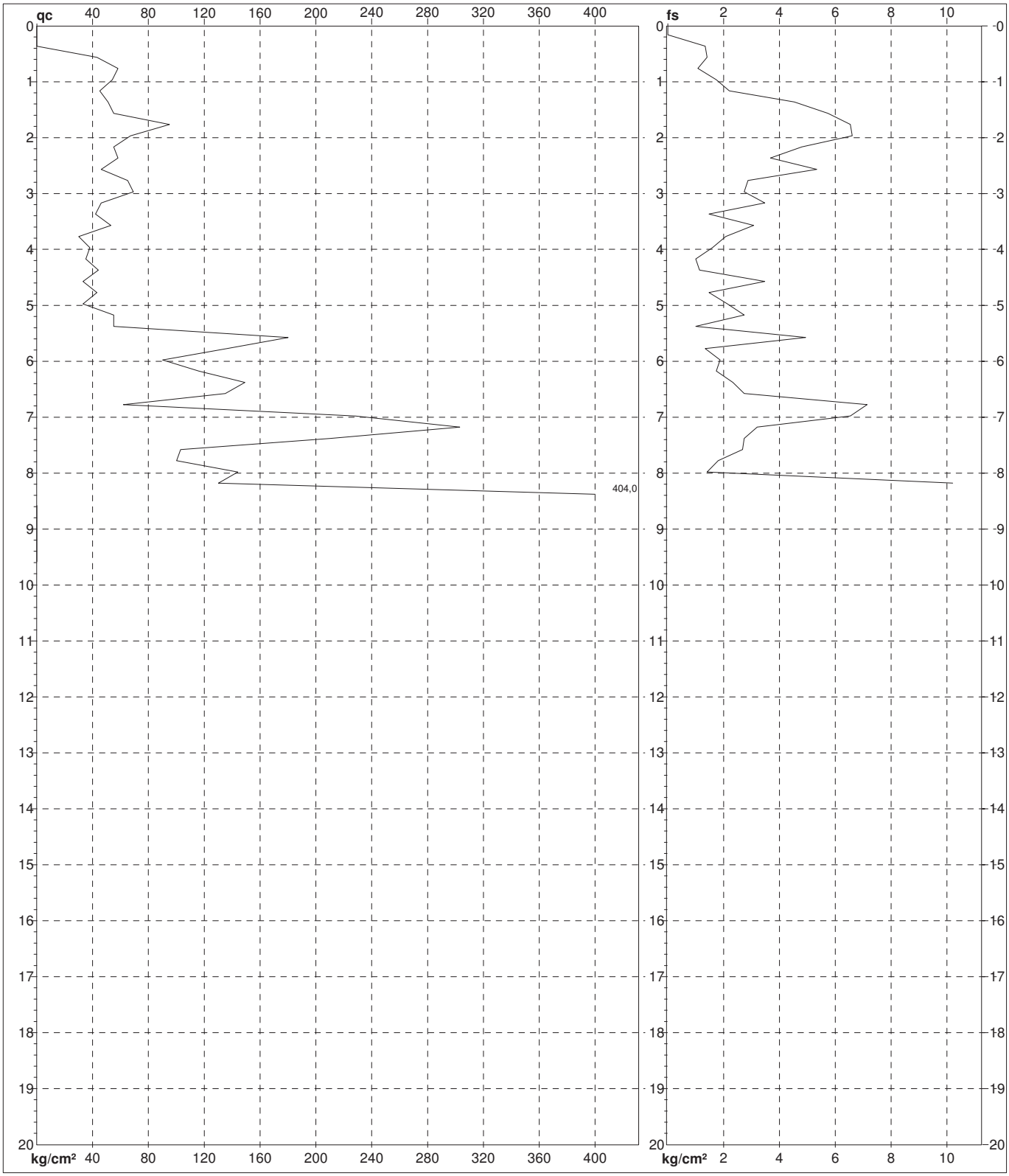
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS4**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R422-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

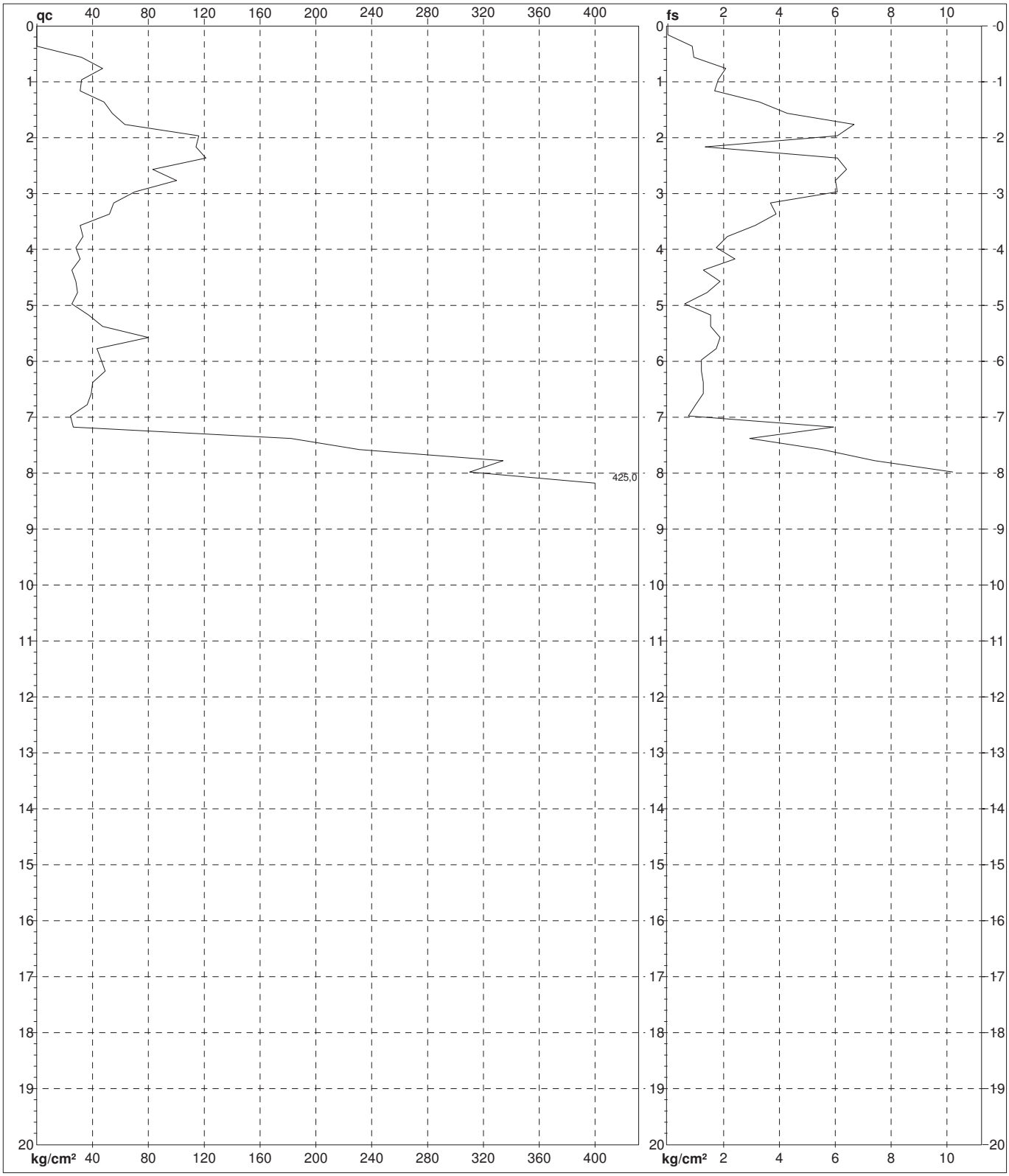
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS5**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R423-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 13/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

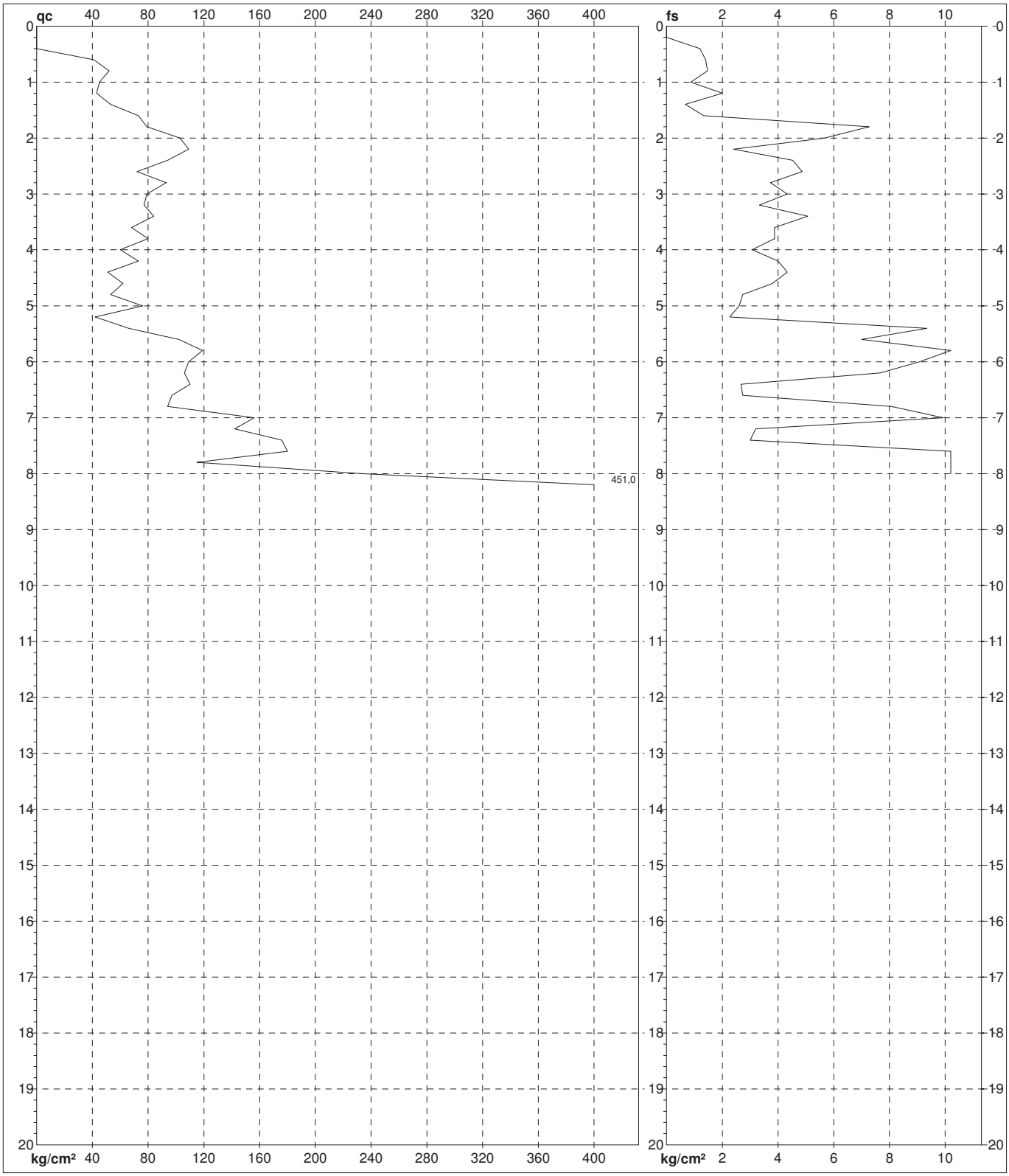
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS6**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R424-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	2/17	Preforo: m	
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

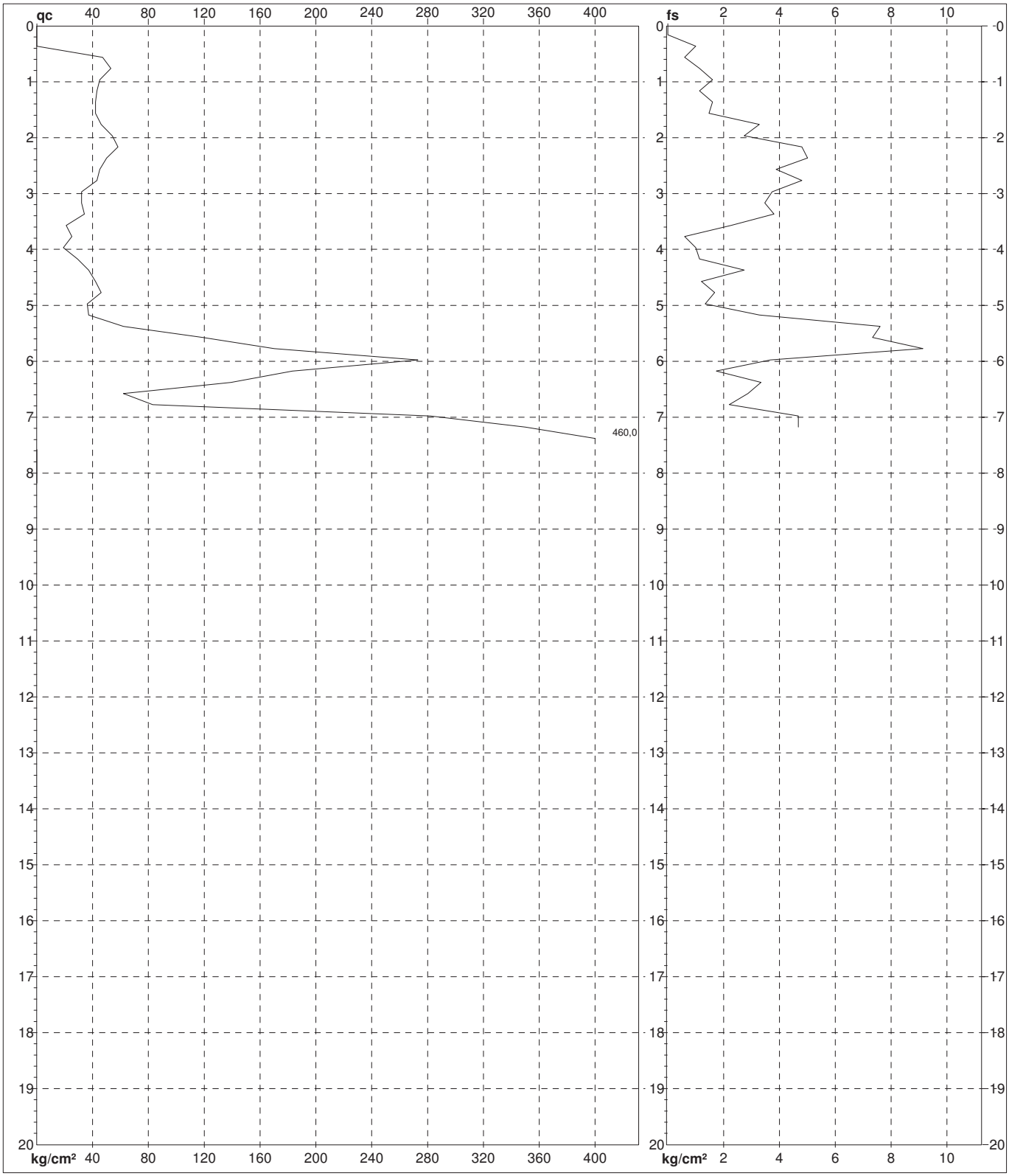
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS7**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R425-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	2/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

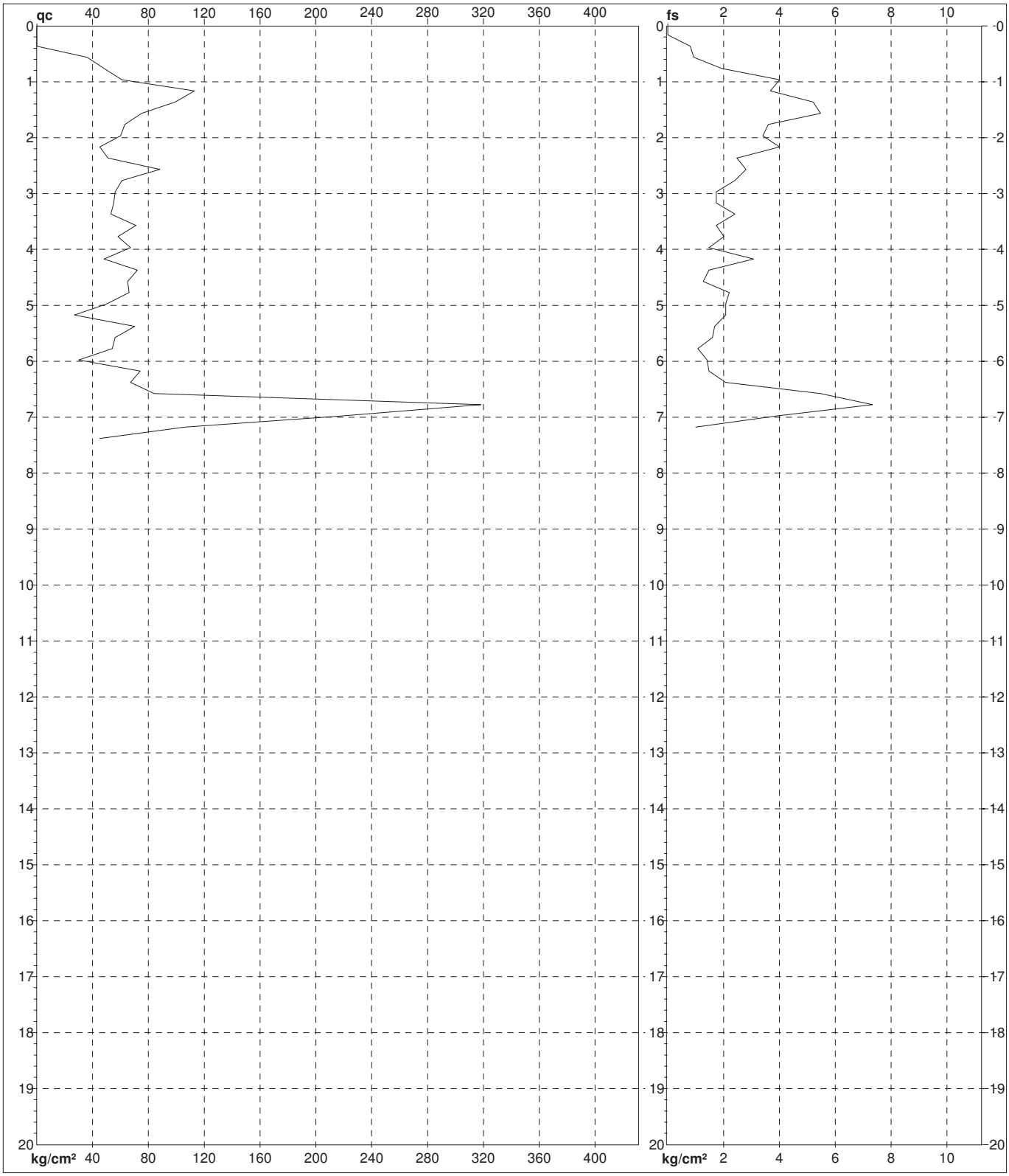
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS8**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R426-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

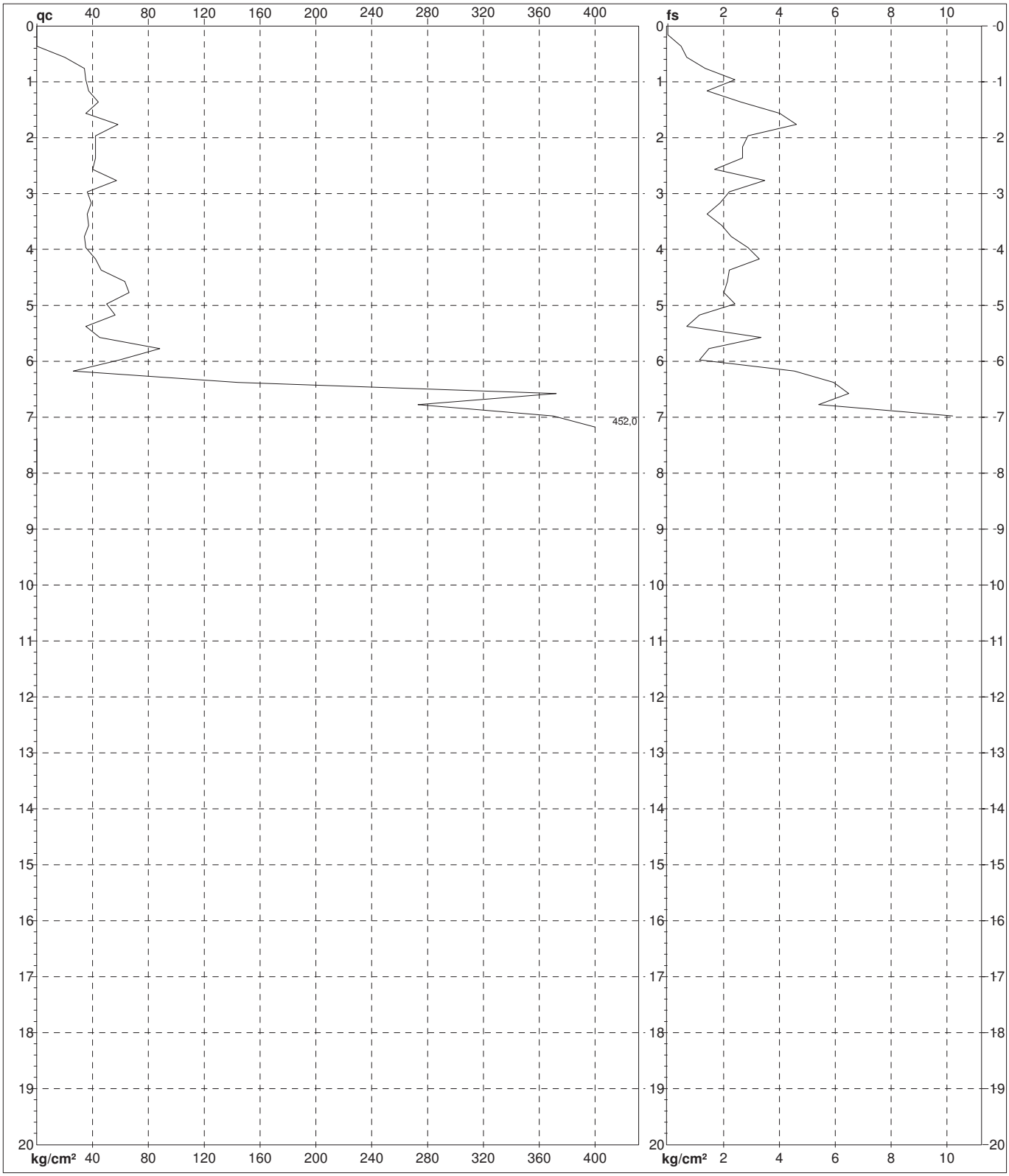
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS9**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R427-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

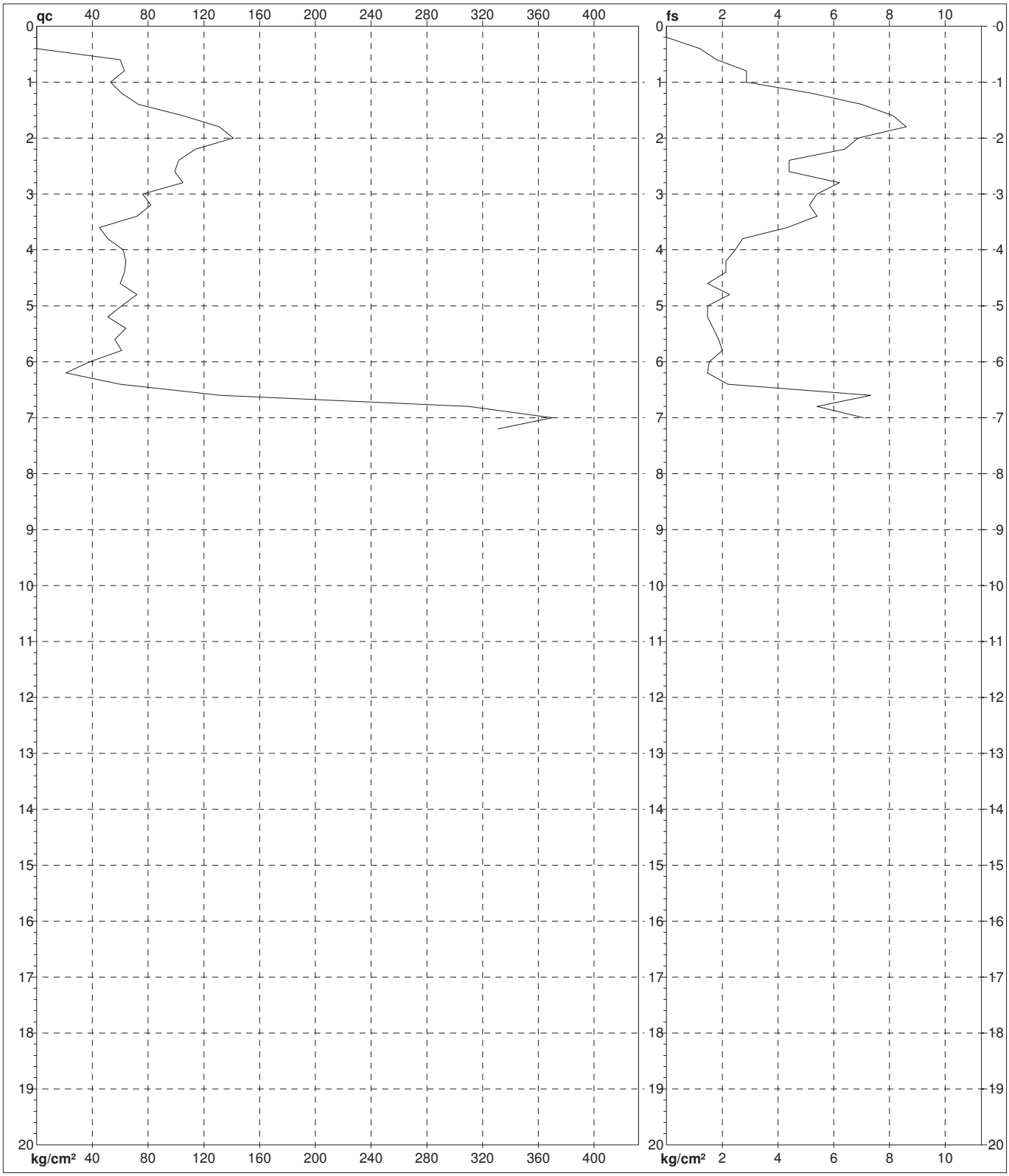
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS10**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R428-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

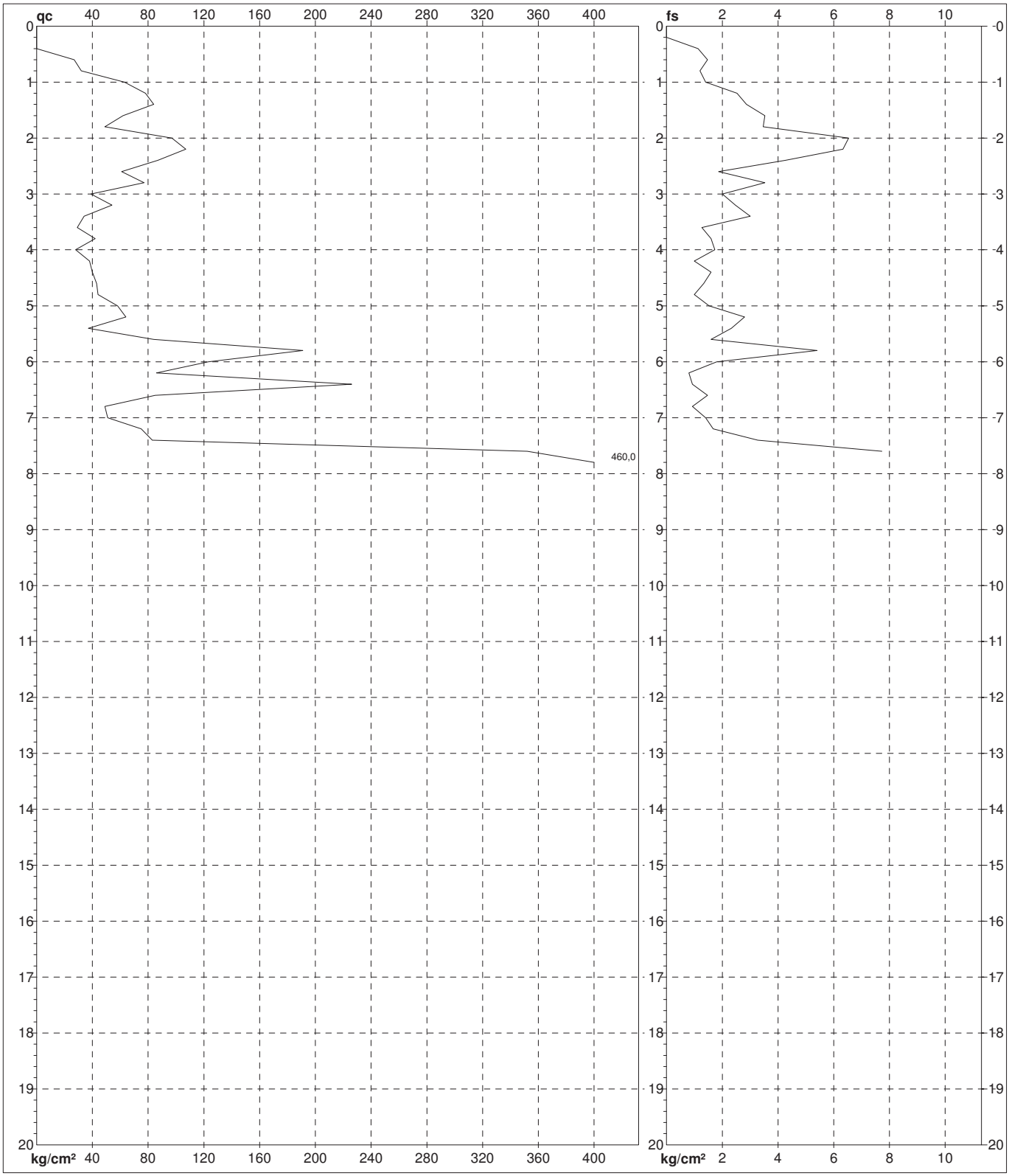
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS11**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R429-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	2/17	Preforo: m	
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

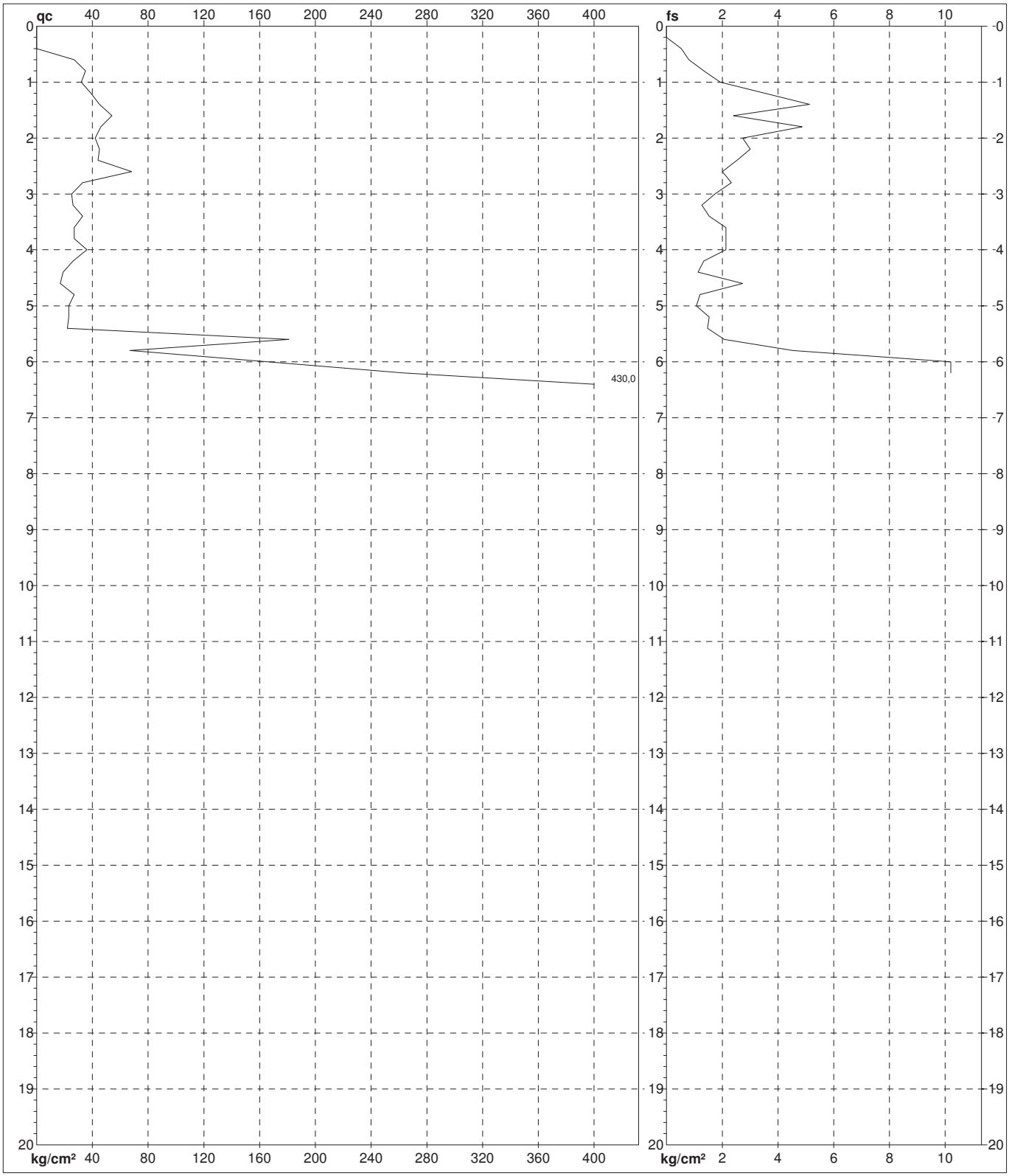
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

n°	**PS1**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R419-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola**	Pagina: 2/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Coord. Relative		**Coord. Geografiche**	Penetrometro: TG73-200	Quota inizio :
Xr:	m	Xg:	Responsabile:	Corr.astine: kg/ml
Yr:	m	Yg:	Assistente:	
Zr:	m	Zg:		

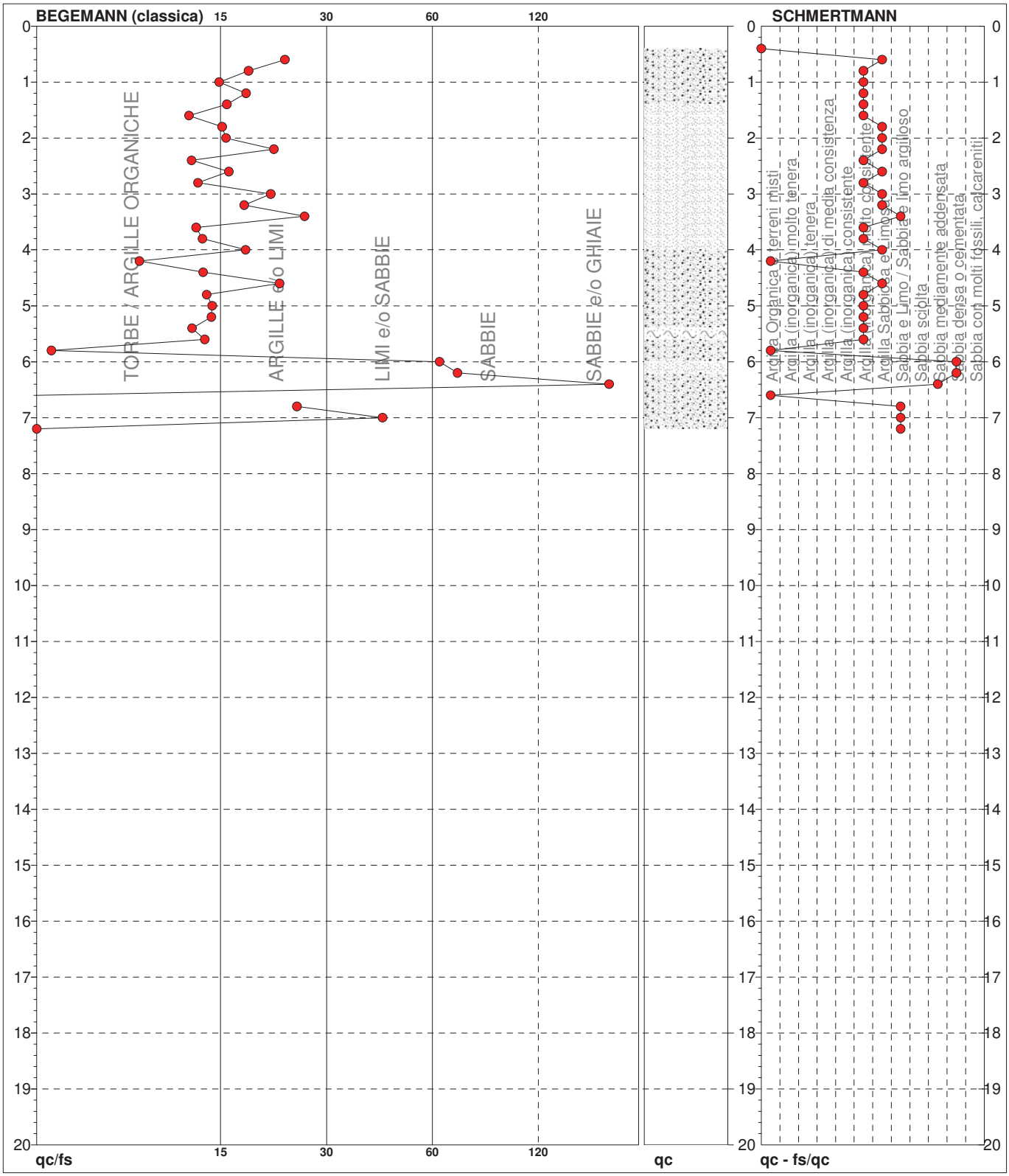
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS2**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R420-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	81 punti, 81,82%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 3,03%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	9 punti, 9,09%
Argille e/o Limi :	15 punti, 15,15%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti, 3,03%
Limi e/o Sabbie :	2 punti, 2,02%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1,01%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,02%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	15 punti, 15,15%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

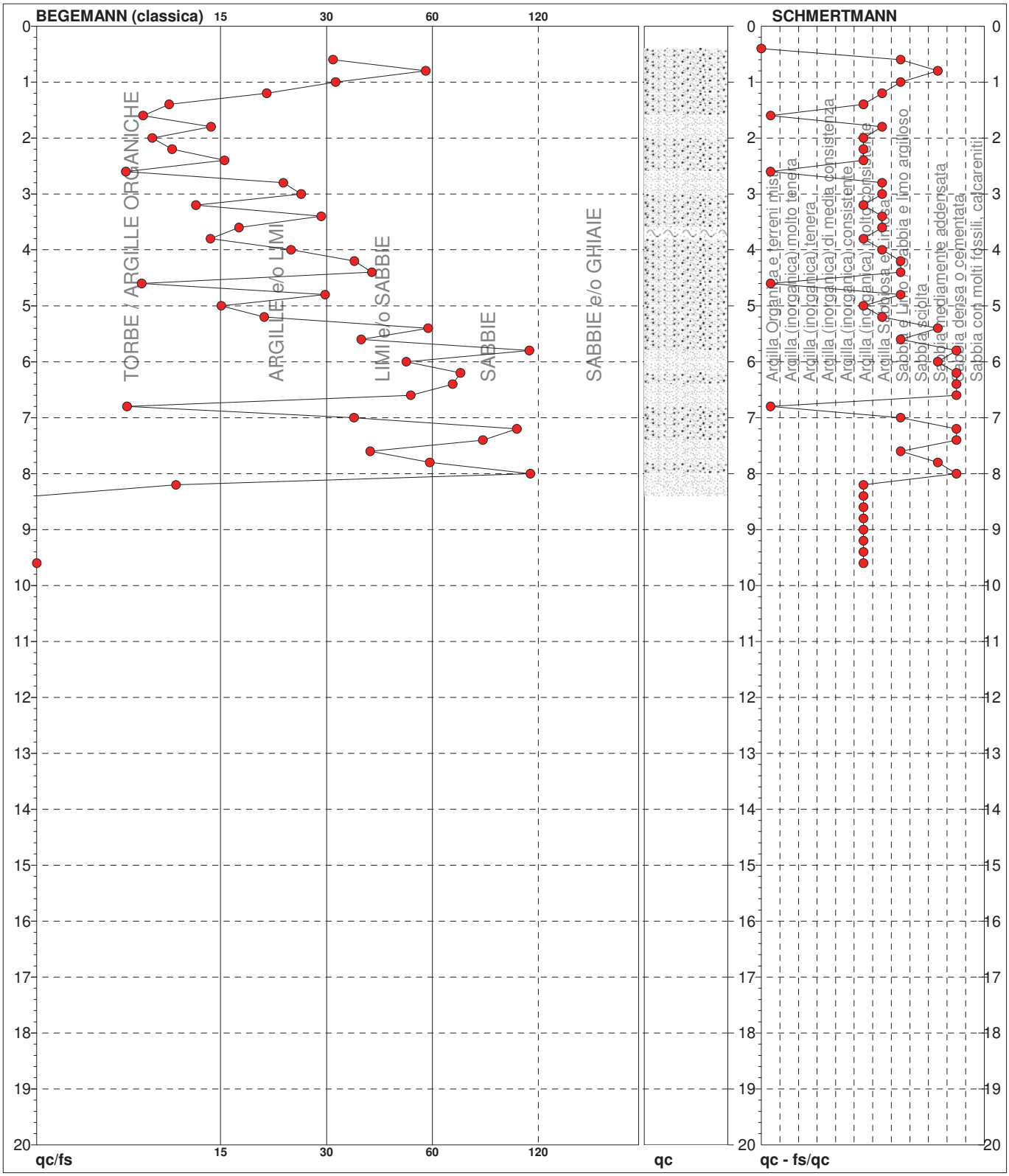
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS4**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R422-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	72 punti, 72,73%	Argilla Organica e terreni misti:	4 punti, 4,04%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	8 punti, 8,08%
Argille e/o Limi :	10 punti, 10,10%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 8,08%
Limi e/o Sabbie :	12 punti, 12,12%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	6 punti, 6,06%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	4 punti, 4,04%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	7 punti, 7,07%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	8 punti, 8,08%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

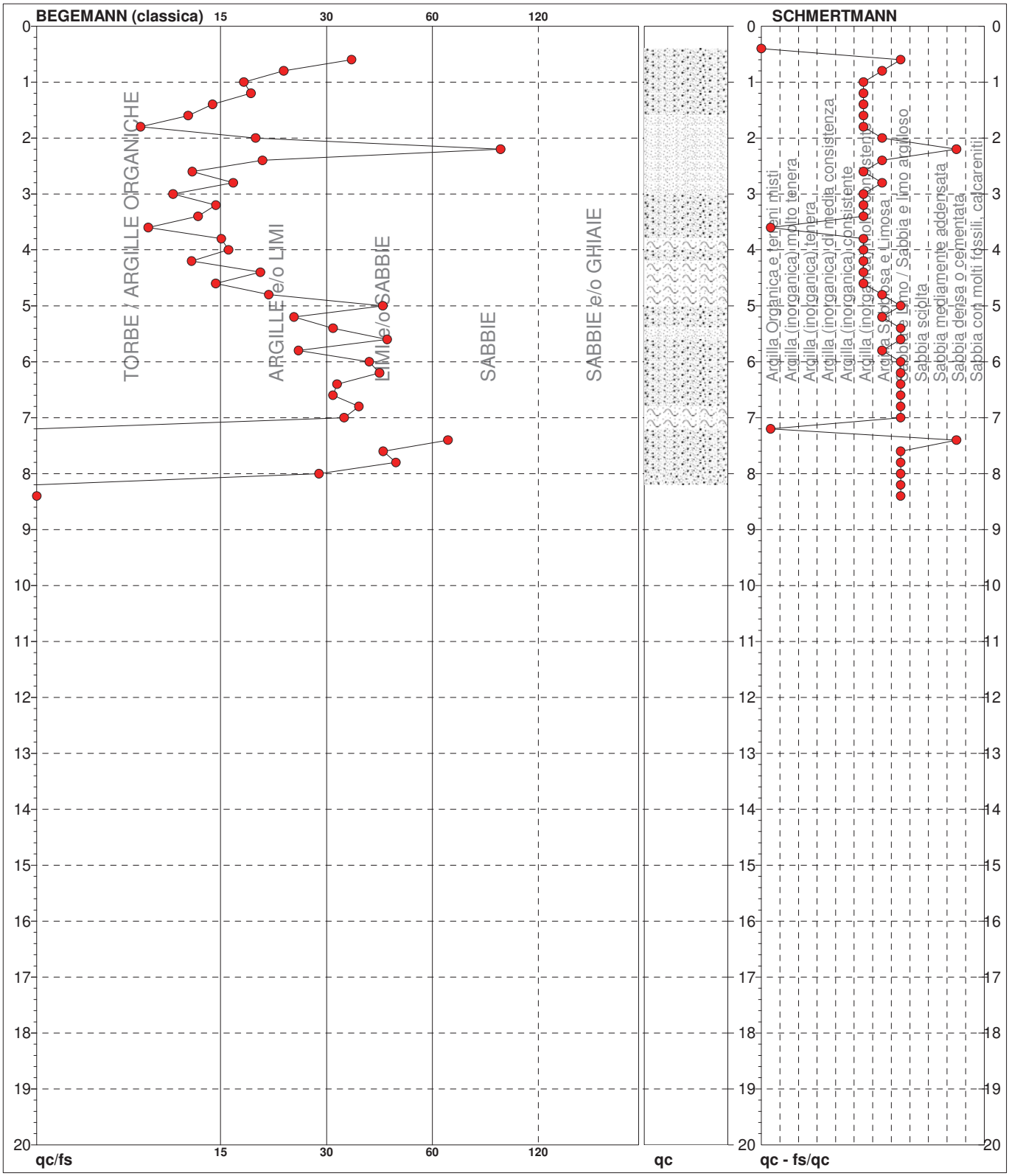
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS5**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R423-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	13/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	73 punti, 73,74%	Argilla Organica e terreni misti:	2 punti, 2,02%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	7 punti, 7,07%
Argille e/o Limi :	13 punti, 13,13%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	13 punti, 13,13%
Limi e/o Sabbie :	12 punti, 12,12%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	2 punti, 2,02%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	0 punti, 0,00%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,02%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	14 punti, 14,14%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

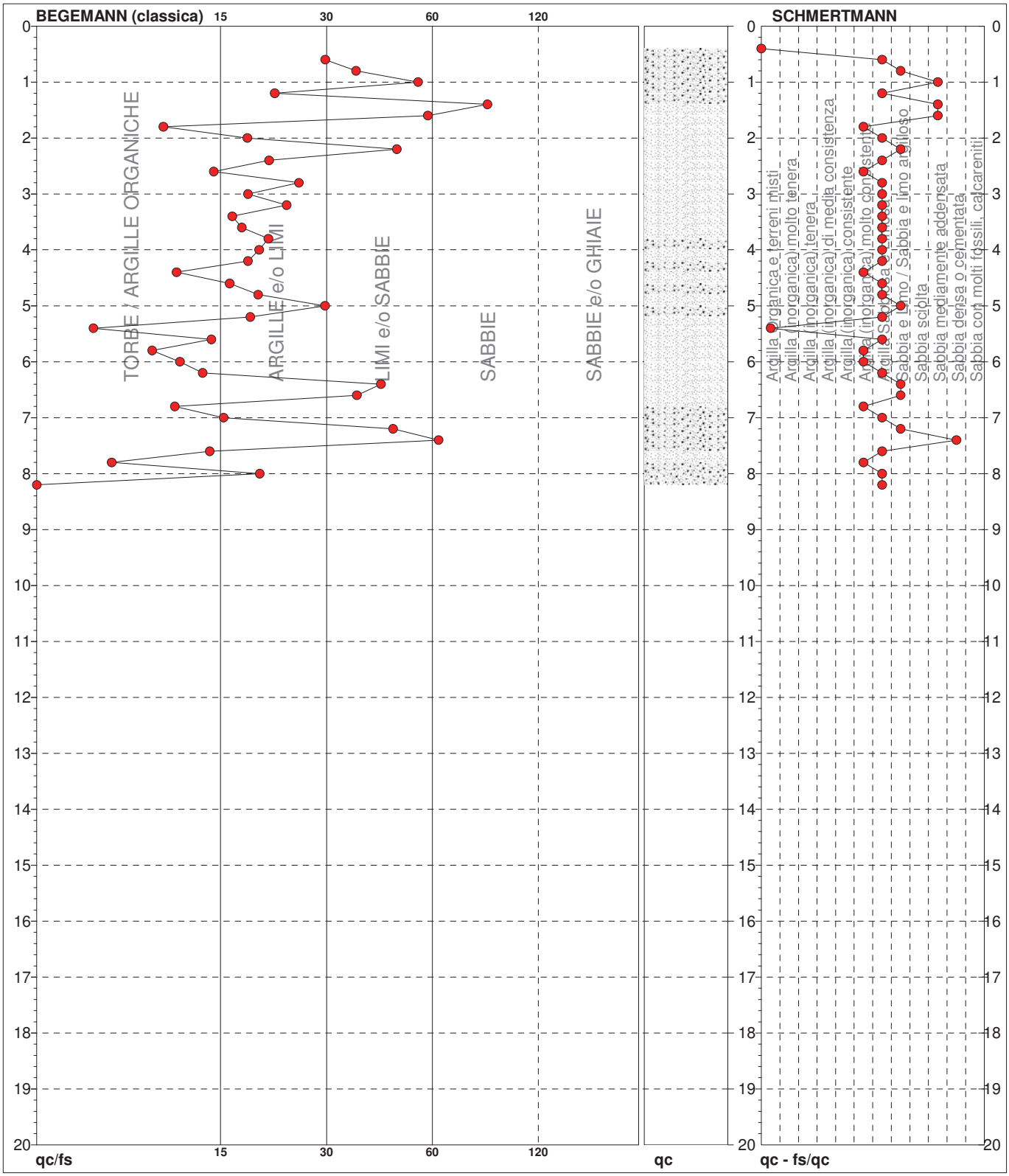
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS6**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R424-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 3/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Torbe / Argille org. :	73 punti, 73,74%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 1,01%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	20 punti, 20,20%
Argille e/o Limi :	18 punti, 18,18%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6,06%
Limi e/o Sabbie :	8 punti, 8,08%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	3 punti, 3,03%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,01%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	7 punti, 7,07%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

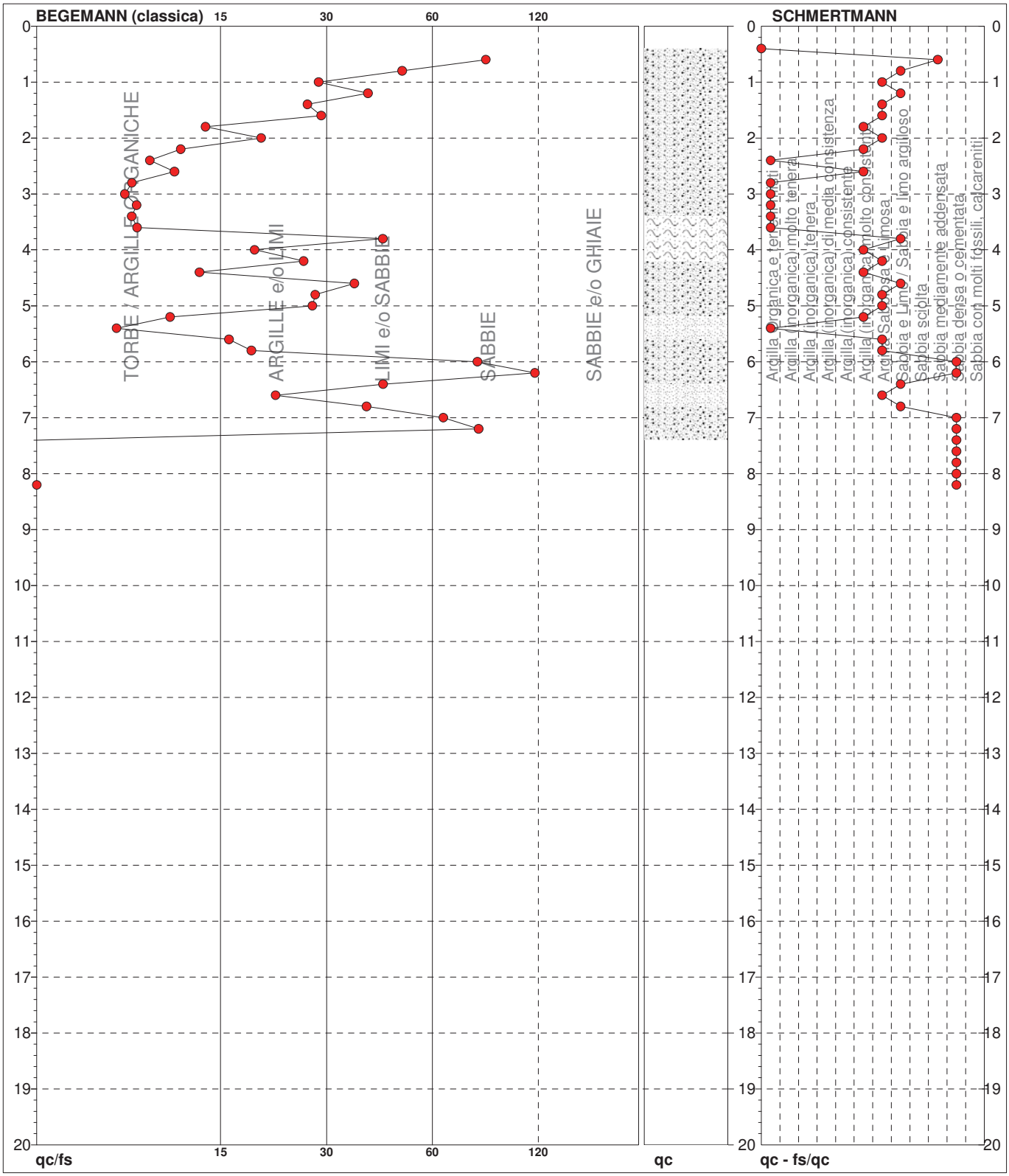
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS7**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R425-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	78 punti, 78,79%	Argilla Organica e terreni misti:	7 punti, 7,07%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	10 punti, 10,10%
Argille e/o Limi :	11 punti, 11,11%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6,06%
Limi e/o Sabbie :	6 punti, 6,06%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	5 punti, 5,05%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1,01%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	4 punti, 4,04%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	6 punti, 6,06%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

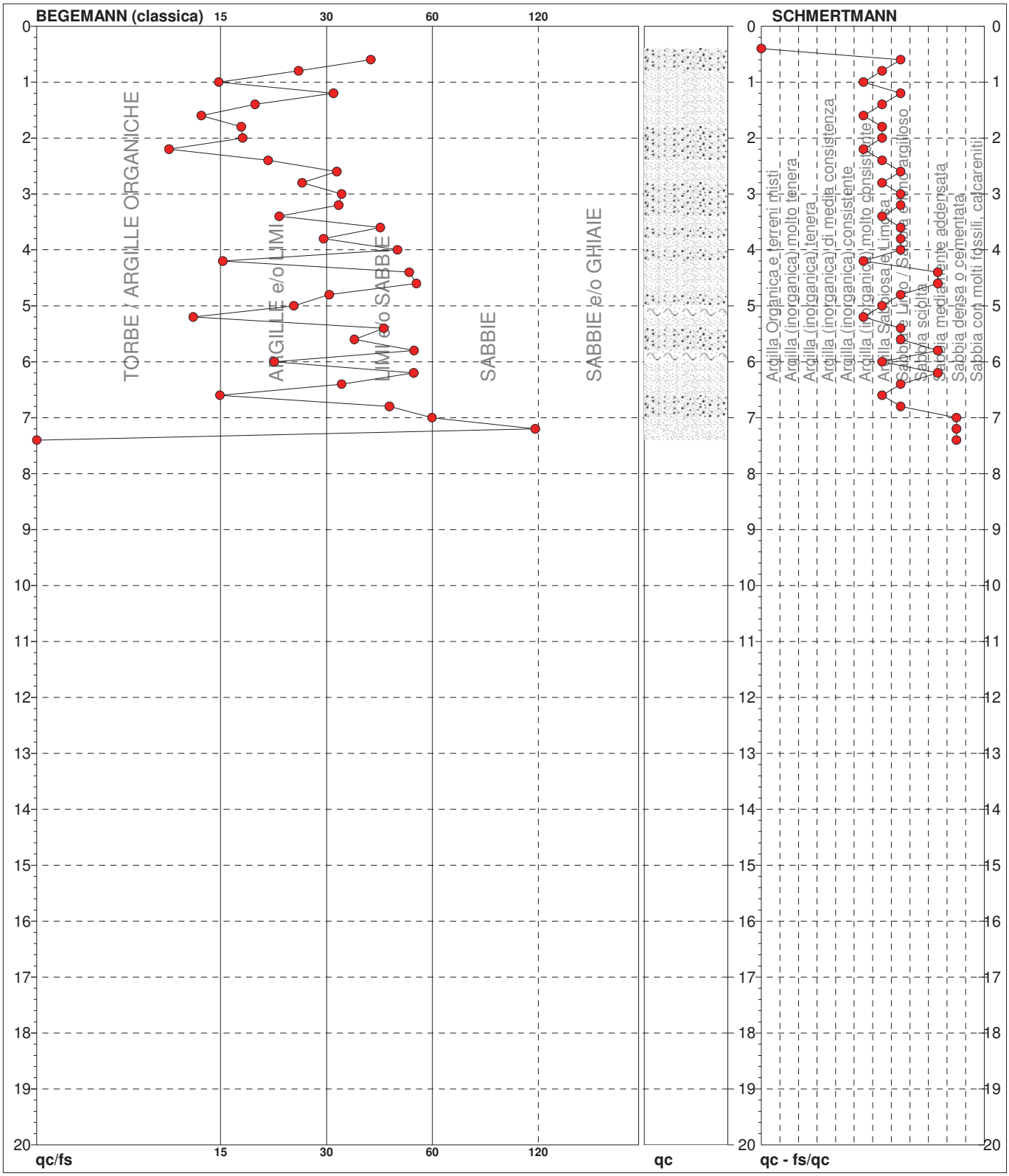
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS8**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R426-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	69 punti, 69,70%	Argilla Organica e terreni misti:	0 punti, 0,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	10 punti, 10,10%
Argille e/o Limi :	14 punti, 14,14%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	13 punti, 13,13%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 16,16%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	4 punti, 4,04%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,02%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	5 punti, 5,05%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

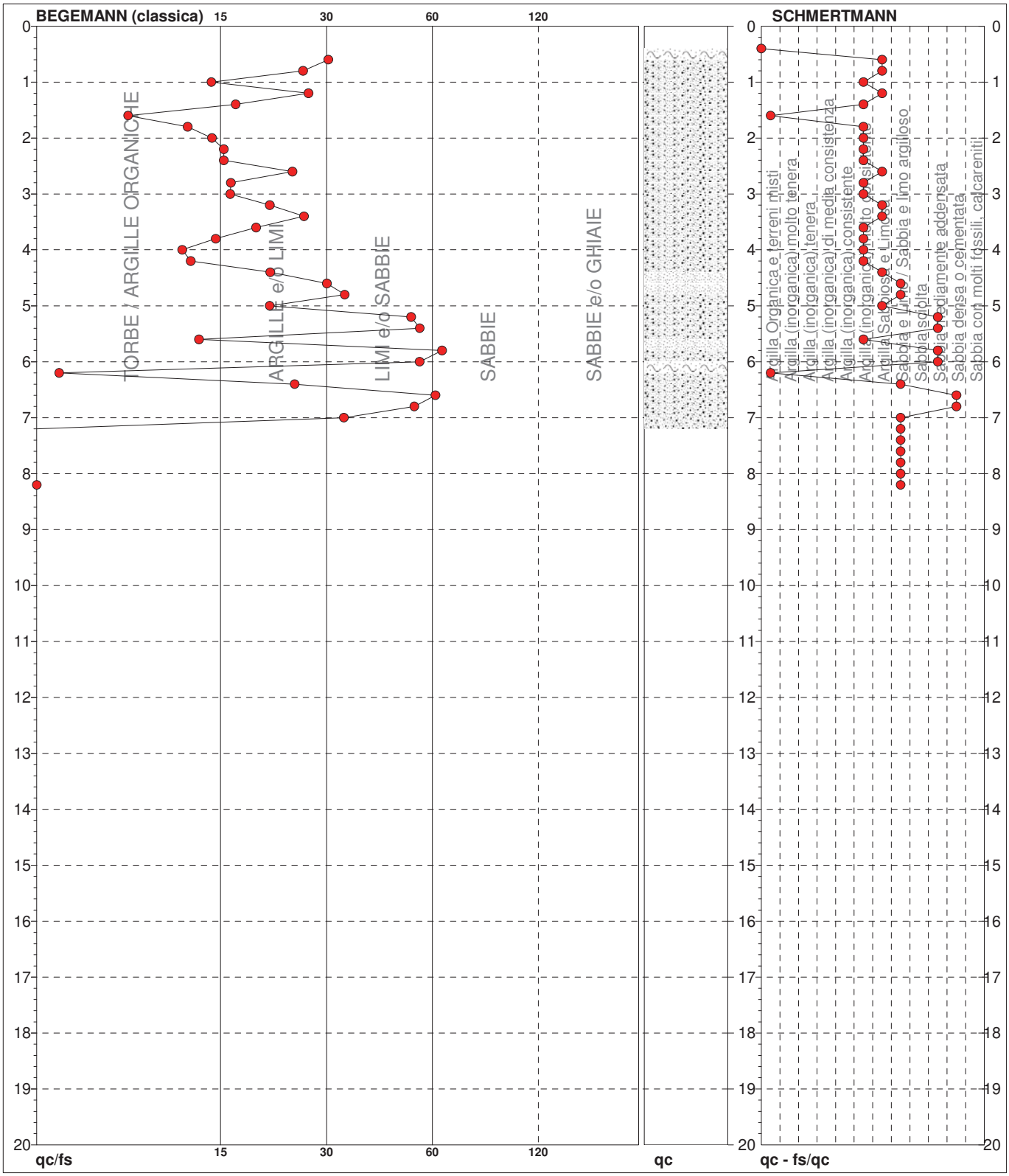
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS9**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R427-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	76 punti, 76,77%	Argilla Organica e terreni misti:	2 punti, 2,02%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	8 punti, 8,08%
Argille e/o Limi :	16 punti, 16,16%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	4 punti, 4,04%
Limi e/o Sabbie :	8 punti, 8,08%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	4 punti, 4,04%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,02%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	13 punti, 13,13%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

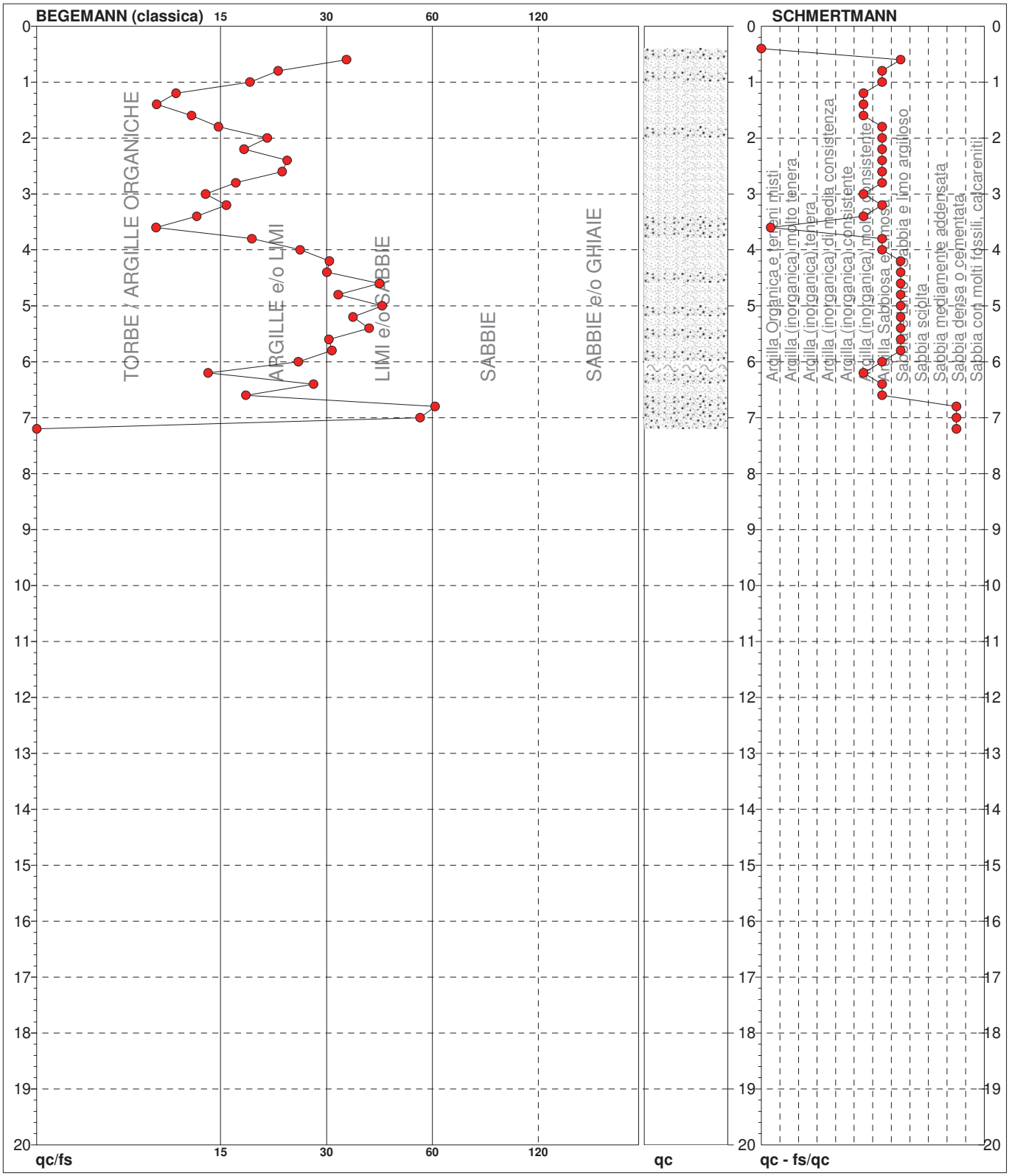
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS10**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R428-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala: 1:100	Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 3/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Torbe / Argille org. :	74 punti, 74,75%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 1,01%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	14 punti, 14,14%
Argille e/o Limi :	16 punti, 16,16%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	10 punti, 10,10%
Limi e/o Sabbie :	10 punti, 10,10%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	0 punti, 0,00%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	2 punti, 2,02%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	6 punti, 6,06%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

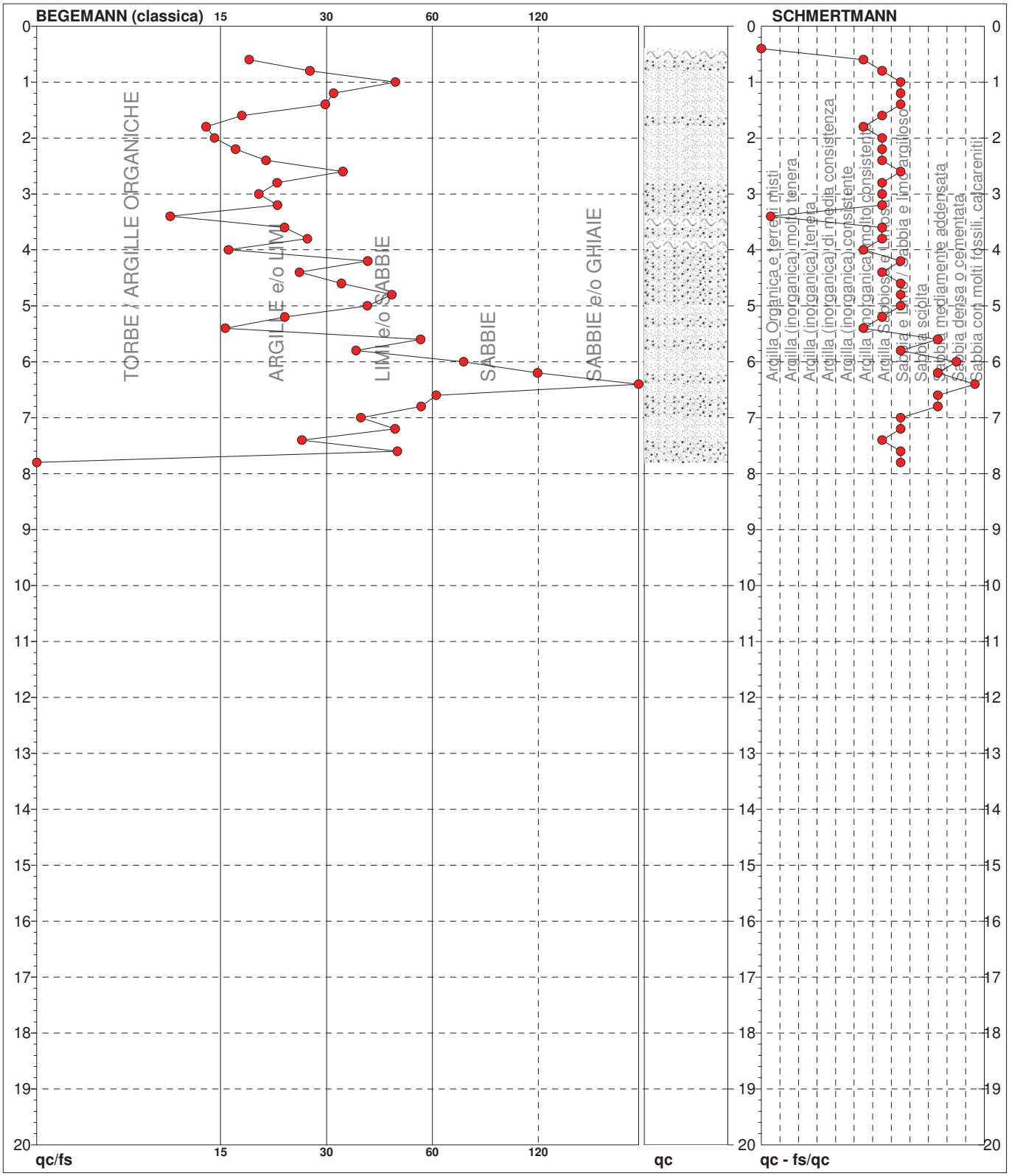
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS11**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R429-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	67 punti, 67,68%	Argilla Organica e terreni misti:	1 punti, 1,01%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	13 punti, 13,13%
Argille e/o Limi :	16 punti, 16,16%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	12 punti, 12,12%
Limi e/o Sabbie :	14 punti, 14,14%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	2 punti, 2,02%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	4 punti, 4,04%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,01%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	4 punti, 4,04%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,01%

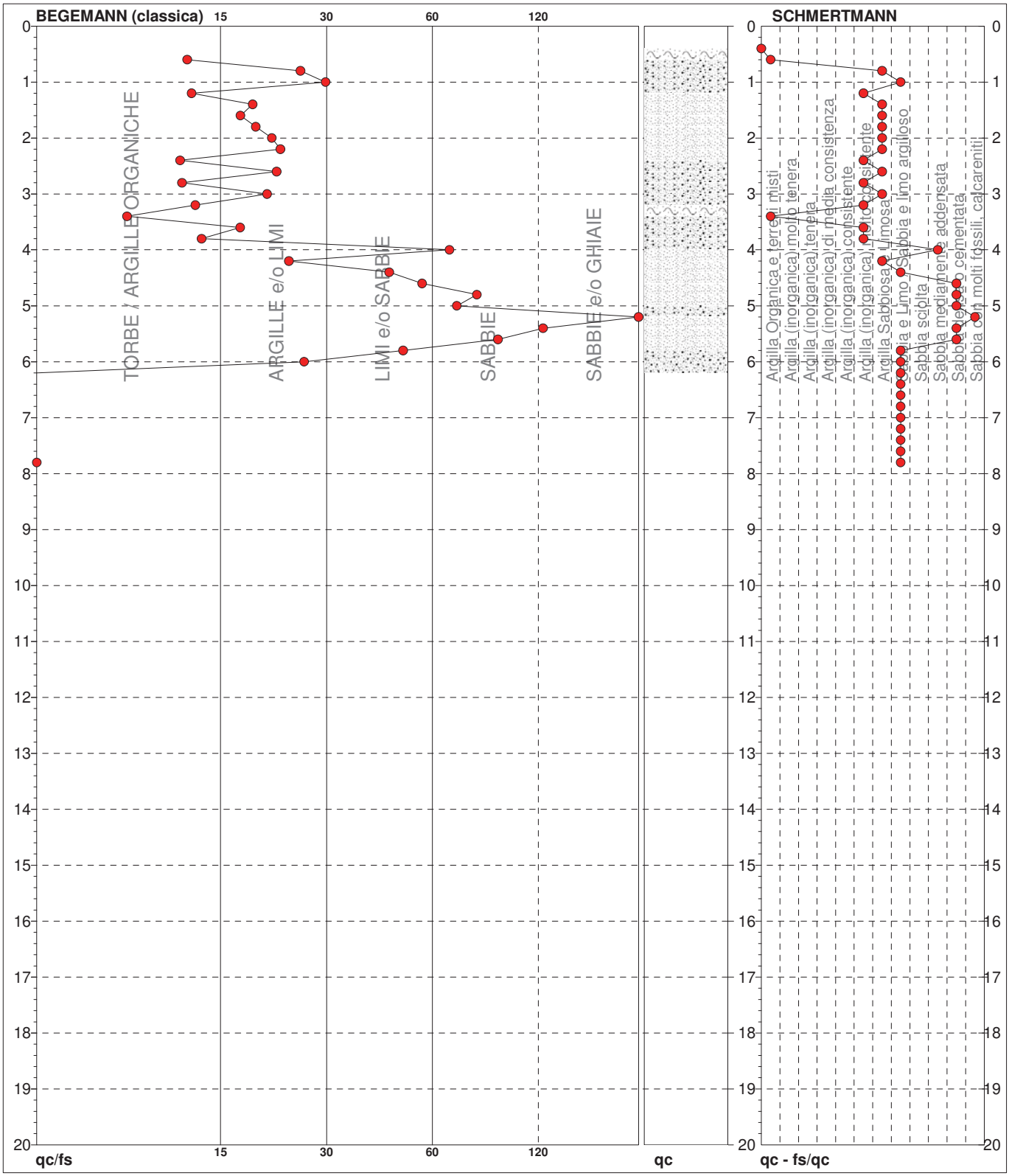
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	**PS12**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R430-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	30/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	79 punti, 79,80%	Argilla Organica e terreni misti:	2 punti, 2,02%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	9 punti, 9,09%
Argille e/o Limi :	12 punti, 12,12%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	4 punti, 4,04%
Limi e/o Sabbie :	3 punti, 3,03%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	5 punti, 5,05%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1,01%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	5 punti, 5,05%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	6 punti, 6,06%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,01%

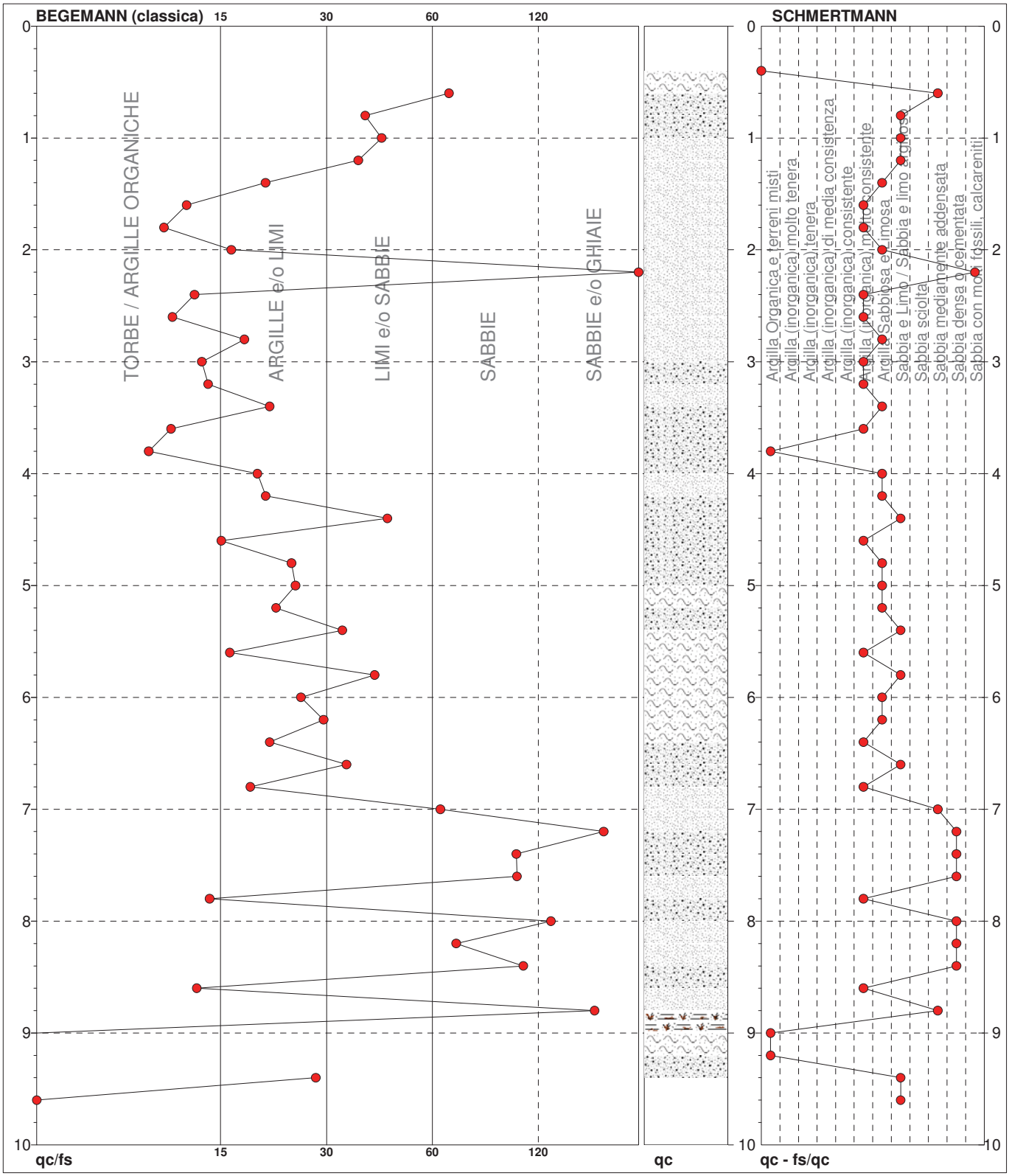
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	PS3
riferimento	142-1-08
certificato n°	R421-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:50	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	17 punti, 34,69%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 6,12%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	11 punti, 22,45%
Argille e/o Limi :	16 punti, 32,65%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	8 punti, 16,33%
Limi e/o Sabbie :	8 punti, 16,33%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	6 punti, 12,24%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	3 punti, 6,12%
Sabbie e/o Ghiaie :	3 punti, 6,12%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	6 punti, 12,24%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	13 punti, 26,53%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 2,04%

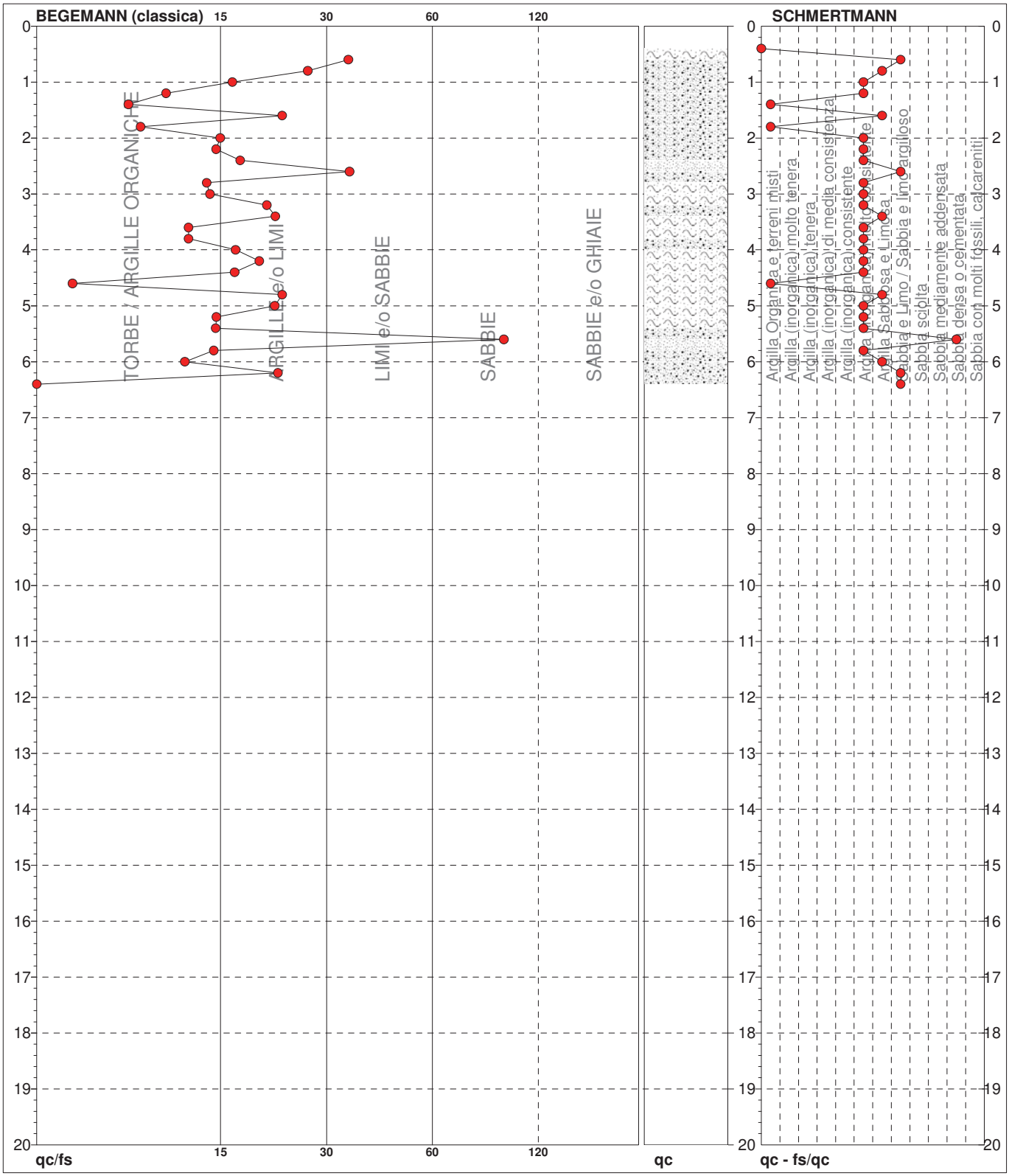
FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

n°	PS1
riferimento	142-1-08
certificato n°	R419-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.:	**kg/cm²**	Data esec.:	31/10/2008
Cantiere:	**La Fucina**	Scala:	1:100	Data certificato:	14/11/2008
Località:	**Imola**	Pagina:	3/17	Preforo:	m
		Elaborato:		Falda:	Non rilevata



Torbe / Argille org. :	83 punti, 83,84%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 3,03%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	5 punti, 5,05%
Argille e/o Limi :	14 punti, 14,14%	Argilla (inorganica) molto tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti, 3,03%
Limi e/o Sabbie :	2 punti, 2,02%	Argilla (inorganica) tenera:	0 punti, 0,00%	Sabbia sciolta:	0 punti, 0,00%
Sabbie:	1 punti, 1,01%	Argilla (inorganica) media consist.:	0 punti, 0,00%	Sabbia mediamente addensata:	0 punti, 0,00%
Sabbie e/o Ghiaie :	0 punti, 0,00%	Argilla (inorganica) consistente:	0 punti, 0,00%	Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,01%
		Argilla (inorganica) molto consist.:	17 punti, 17,17%	Sabbia con molti fossili, calcareniti:	0 punti, 0,00%

FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS3**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R421-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	25,0	62,5		1,85	0,11	186	--	--	--	--	--	78	41	37	34	32	41	28	--	42	63	75
0,80	55,0	37,4		1,85	0,15	251	--	--	--	--	--	98	43	39	37	34	43	31	--	92	138	165
1,00	55,0	41,4		1,85	0,19	251	--	--	--	--	--	93	42	38	35	33	42	31	--	92	138	165
1,20	62,0	35,8		1,85	0,22	262	--	--	--	--	--	92	42	38	35	33	41	32	--	103	155	186
1,40	65,0	20,3		1,85	0,26	267	2,17	89,3	368	553	195	90	42	37	35	32	41	32	--	108	163	195
1,60	61,0	12,5		1,85	0,30	260	2,03	69,8	346	519	183	85	41	36	34	31	40	32	--	102	153	183
1,80	64,0	10,9		1,85	0,33	265	2,13	64,0	363	544	192	83	41	36	33	31	40	32	--	107	160	192
2,00	100,0	16,5		1,85	0,37	314	3,33	98,0	567	850	300	96	43	38	35	33	41	34	--	167	250	300
2,20	99,0	300,0		1,85	0,41	313	--	--	--	--	--	94	42	37	34	32	41	34	--	165	248	297
2,40	99,0	13,1		1,85	0,44	313	3,30	77,0	561	842	297	91	42	37	34	32	41	34	--	165	248	297
2,60	85,0	11,5		1,85	0,48	295	2,83	57,6	482	723	255	84	41	35	33	31	40	33	--	142	213	255
2,80	88,0	17,8		1,85	0,52	299	2,93	54,8	499	748	264	84	41	35	33	30	39	33	--	147	220	264
3,00	77,0	13,8		1,85	0,56	284	2,57	42,6	436	655	231	77	41	34	31	29	39	33	--	128	193	231
3,20	59,0	14,3		1,85	0,59	257	1,97	28,2	334	502	177	67	39	33	30	28	37	32	--	98	148	177
3,40	75,0	20,8		1,85	0,63	282	2,50	35,2	425	638	225	73	40	34	31	29	38	32	--	125	188	225
3,60	60,0	11,4		1,85	0,67	259	2,00	24,8	340	510	180	64	39	32	29	27	36	32	--	100	150	180
3,80	45,0	9,9		1,85	0,70	232	1,50	16,2	255	383	135	53	38	30	27	26	34	31	--	75	113	135
4,00	58,0	19,3		1,85	0,74	256	1,93	20,9	329	493	174	61	39	31	28	27	36	31	--	97	145	174
4,20	61,0	20,3		1,85	0,78	260	2,03	20,9	346	519	183	61	39	31	28	27	36	32	--	102	153	183
4,40	57,0	42,9		1,85	0,81	254	--	--	--	--	--	58	38	31	28	26	35	31	--	95	143	171
4,60	33,0	15,5		1,85	0,85	207	1,10	8,7	202	302	99	38	36	28	25	23	32	29	--	55	83	99
4,80	35,0	23,8		1,85	0,89	211	1,17	8,8	210	316	105	39	36	28	25	23	32	29	--	58	88	105
5,00	31,0	24,4		1,85	0,93	202	1,03	7,2	230	344	93	34	35	27	24	23	31	29	--	52	78	93
5,20	26,0	21,7		1,85	0,96	189	0,93	6,0	255	382	78	27	34	26	23	22	30	28	--	43	65	78
5,40	39,0	32,5		1,85	1,00	220	--	--	--	--	--	40	36	28	25	23	32	30	--	65	98	117
5,60	24,0	16,3		1,85	1,04	183	0,89	5,2	284	426	72	22	34	25	22	21	29	28	--	40	60	72
5,80	21,0	39,6		1,85	1,07	174	--	--	--	--	--	17	33	25	21	20	28	27	--	35	53	63
6,00	27,0	25,2		1,85	1,11	192	0,95	5,2	305	457	81	24	34	26	22	21	29	28	--	45	68	81
6,20	29,0	29,0		1,85	1,15	197	0,98	5,2	315	472	87	26	34	26	23	21	29	29	--	48	73	87
6,40	25,0	20,8		1,85	1,18	186	0,91	4,5	330	495	75	20	34	25	22	20	28	28	--	42	63	75
6,60	31,0	33,3		1,85	1,22	202	--	--	--	--	--	27	34	26	23	21	29	29	--	52	78	93
6,80	32,0	18,5		1,85	1,26	204	1,07	5,1	346	519	96	27	35	26	23	21	29	29	--	53	80	96
7,00	99,0	59,3		1,85	1,30	313	--	--	--	--	--	65	39	31	28	27	35	34	--	165	248	297
7,20	108,0	161,2		1,85	1,33	323	--	--	--	--	--	68	39	32	29	27	36	34	--	180	270	324
7,40	170,0	94,4		1,85	1,37	383	--	--	--	--	--	83	41	34	31	29	38	37	--	283	425	510
7,60	164,0	94,8		1,85	1,41	378	--	--	--	--	--	81	41	33	31	29	38	37	--	273	410	492
7,80	75,0	14,4		1,85	1,44	282	2,50	12,5	425	638	225	53	38	29	26	25	33	32	--	125	188	225
8,00	140,0	116,7		1,85	1,48	356	--	--	--	--	--	74	40	32	29	28	37	36	--	233	350	420
8,20	113,0	65,3		1,85	1,52	329	--	--	--	--	--	66	39	31	28	26	35	34	--	188	283	339
8,40	131,0	98,5		1,85	1,55	347	--	--	--	--	--	71	40	32	29	27	36	35	--	218	328	393
8,60	32,0	13,3		1,85	1,59	204	1,07	3,8	448	672	96	21	34	25	21	20	28	29	--	53	80	96
8,80	61,0	152,5		1,85	1,63	260	--	--	--	--	--	43	36	28	25	23	31	32	--	102	153	183
9,00	7,0	2,4		1,85	1,67	115	0,35	0,9	46	68	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,20	22,0	2,2		1,85	1,70	177	0,85	2,6	441	662	66	7	32	22	19	18	26	28	--	37	55	66
9,40	337,0	27,6		1,85	1,74	496	9,99	55,8	1698	2547	1011	100	43	36	33	31	40	40	--	562	843	1011
9,60	410,0	--		1,85	1,78	534	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	683	1025	1230

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS2**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R420-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	35,0	22,9	∿∿	1,85	0,11	211	1,17	99,9	198	298	105	90	42	38	36	33	42	29	--	58	88	105
0,80	39,0	18,3	∿∿	1,85	0,15	220	1,30	94,9	221	332	117	86	42	37	35	32	41	30	--	65	98	117
1,00	52,0	15,3	∿∿	1,85	0,19	245	1,73	99,9	295	442	156	91	42	38	35	33	42	31	--	87	130	156
1,20	42,0	18,0	∿∿	1,85	0,22	226	1,40	62,7	238	357	126	79	41	36	33	31	40	30	--	70	105	126
1,40	46,0	16,0	∿∿	1,85	0,26	234	1,53	58,0	261	391	138	78	41	35	33	31	40	31	--	77	115	138
1,60	61,0	12,7	∿∿	1,85	0,30	260	2,03	69,8	346	519	183	85	41	36	34	31	40	32	--	102	153	183
1,80	109,0	15,6	∿∿	1,85	0,33	324	3,63	99,9	618	927	327	100	43	39	36	33	42	34	--	182	273	327
2,00	118,0	15,9	∿∿	1,85	0,37	334	3,93	99,9	669	1003	354	100	43	38	36	33	42	35	--	197	295	354
2,20	84,0	21,4	∿∿	1,85	0,41	294	2,80	70,0	476	714	252	88	42	36	34	31	40	33	--	140	210	252
2,40	62,0	12,9	∿∿	1,85	0,44	262	2,07	42,9	351	527	186	75	40	34	31	29	39	32	--	103	155	186
2,60	79,0	16,2	∿∿	1,85	0,48	287	2,63	52,6	448	672	237	82	41	35	32	30	39	33	--	132	198	237
2,80	85,0	13,4	∿∿	1,85	0,52	295	2,83	52,5	482	723	255	82	41	35	32	30	39	33	--	142	213	255
3,00	95,0	21,0	∿∿	1,85	0,56	308	3,17	55,4	538	808	285	85	41	35	33	30	39	34	--	158	238	285
3,20	95,0	17,8	∿∿	1,85	0,59	308	3,17	51,1	538	808	285	83	41	35	32	30	39	34	--	158	238	285
3,40	98,0	25,8	∿∿	1,85	0,63	311	3,27	49,2	555	833	294	83	41	35	32	30	39	34	--	163	245	294
3,60	85,0	13,3	∿∿	1,85	0,67	295	2,83	38,4	482	723	255	76	40	34	31	29	38	33	--	142	213	255
3,80	81,0	13,8	∿∿	1,85	0,70	290	2,70	33,8	459	689	243	73	40	33	30	28	38	33	--	135	203	243
4,00	66,0	18,0	∿∿	1,85	0,74	268	2,20	24,5	374	561	198	65	39	32	29	27	36	32	--	110	165	198
4,20	35,0	9,4	∿∿	1,85	0,78	211	1,17	10,4	198	298	105	42	36	29	26	24	33	29	--	58	88	105
4,40	37,0	13,9	∿∿	1,85	0,81	216	1,23	10,6	210	315	111	43	36	29	26	24	33	30	--	62	93	111
4,60	31,0	22,1	∿∿	1,85	0,85	202	1,03	8,0	204	306	93	36	36	28	24	23	31	29	--	52	78	93
4,80	34,0	14,2	∿∿	1,85	0,89	209	1,13	8,5	211	316	102	38	36	28	25	23	32	29	--	57	85	102
5,00	40,0	14,7	∿∿	1,85	0,93	222	1,33	9,9	227	340	120	42	36	28	25	24	32	30	--	67	100	120
5,20	36,0	14,6	∿∿	1,85	0,96	214	1,20	8,3	229	344	108	38	36	28	25	23	31	30	--	60	90	108
5,40	32,0	13,0	∿∿	1,85	1,00	204	1,07	6,8	253	380	96	33	35	27	24	22	31	29	--	53	80	96
5,60	28,0	14,0	∿∿	1,85	1,04	194	0,97	5,7	278	416	84	27	35	26	23	22	30	28	--	47	70	84
5,80	39,0	5,5	∿∿	1,85	1,07	220	1,30	8,0	258	387	117	38	36	28	24	23	31	30	--	65	98	117
6,00	161,0	59,0	⋰⋱	1,85	1,11	376	--	--	--	--	--	86	42	34	32	30	39	36	--	268	403	483
6,20	110,0	65,9	⋰⋱	1,85	1,15	325	--	--	--	--	--	72	40	32	30	28	37	34	--	183	275	330
6,40	55,0	166,7	⋰⋱	1,85	1,18	251	--	--	--	--	--	47	37	29	26	24	33	31	--	92	138	165
6,60	41,0	4,1	∿∿	1,85	1,22	224	1,37	7,2	303	454	123	36	36	27	24	23	31	30	--	68	103	123
6,80	205,0	24,6	∿∿	1,85	1,26	411	6,83	52,1	1162	1743	615	91	42	35	32	30	39	38	--	342	513	615
7,00	305,0	41,6	⋰⋱	1,85	1,30	478	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	508	763	915
7,20	480,0	--	⋰⋱	1,85	1,33	567	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	43	40	--	800	1200	1440

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS4**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R422-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 03/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	43,0	30,7		1,85	0,11	228	--	--	--	--	--	97	43	39	37	34	43	30	--	72	108	129
0,80	58,0	54,2		1,85	0,15	256	--	--	--	--	--	100	43	39	37	34	43	31	--	97	145	174
1,00	54,0	31,2		1,85	0,19	249	--	--	--	--	--	92	42	38	35	33	42	31	--	90	135	162
1,20	45,0	20,5		1,85	0,22	232	1,50	68,4	255	383	135	81	41	36	33	31	40	31	--	75	113	135
1,40	51,0	11,3		1,85	0,26	243	1,70	66,0	289	434	153	82	41	36	33	31	40	31	--	85	128	153
1,60	55,0	9,6		1,85	0,30	251	1,83	61,3	312	468	165	81	41	36	33	31	40	31	--	92	138	165
1,80	95,0	14,5		1,85	0,33	308	3,17	99,9	538	808	285	97	43	38	35	33	42	34	--	158	238	285
2,00	67,0	10,2		1,85	0,37	270	2,23	59,4	380	570	201	82	41	36	33	31	40	32	--	112	168	201
2,20	55,0	11,5		1,85	0,41	251	1,83	41,2	312	468	165	73	40	34	31	29	38	31	--	92	138	165
2,40	58,0	15,8		1,85	0,44	256	1,93	39,5	329	493	174	73	40	34	31	29	38	31	--	97	145	174
2,60	46,0	8,6		1,85	0,48	234	1,53	26,7	261	391	138	63	39	32	30	28	37	31	--	77	115	138
2,80	65,0	22,6		1,85	0,52	267	2,17	37,6	368	553	195	73	40	34	31	29	38	32	--	108	163	195
3,00	69,0	25,3		1,85	0,56	273	2,30	37,1	391	587	207	74	40	34	31	29	38	32	--	115	173	207
3,20	46,0	13,3		1,85	0,59	234	1,53	20,6	261	391	138	58	38	31	28	27	36	31	--	77	115	138
3,40	42,0	28,6		1,85	0,63	226	1,40	17,1	238	357	126	53	38	31	28	26	35	30	--	70	105	126
3,60	53,0	17,3		1,85	0,67	247	1,77	21,3	300	451	159	60	38	32	29	27	36	31	--	88	133	159
3,80	30,0	14,5		1,85	0,70	199	1,00	9,8	171	256	90	39	36	28	25	24	32	29	--	50	75	90
4,00	38,0	23,8		1,85	0,74	218	1,27	12,3	215	323	114	46	37	29	26	25	33	30	--	63	95	114
4,20	35,0	35,0		1,85	0,78	211	--	--	--	--	--	42	36	29	26	24	33	29	--	58	88	105
4,40	44,0	38,9		1,85	0,81	230	--	--	--	--	--	49	37	30	27	25	34	31	--	73	110	132
4,60	33,0	9,5		1,85	0,85	207	1,10	8,7	202	302	99	38	36	28	25	23	32	29	--	55	83	99
4,80	43,0	29,3		1,85	0,89	228	1,43	11,4	244	366	129	46	37	29	26	24	33	30	--	72	108	129
5,00	33,0	15,5		1,85	0,93	207	1,10	7,8	224	336	99	36	36	28	24	23	31	29	--	55	83	99
5,20	55,0	20,1		1,85	0,96	251	1,83	14,1	312	468	165	52	38	30	27	25	34	31	--	92	138	165
5,40	55,0	55,0		1,85	1,00	251	--	--	--	--	--	51	37	30	27	25	34	31	--	92	138	165
5,60	180,0	36,5		1,85	1,04	392	--	--	--	--	--	91	42	35	33	30	40	37	--	300	450	540
5,80	136,0	102,3		1,85	1,07	352	--	--	--	--	--	81	41	34	31	29	38	35	--	227	340	408
6,00	90,0	48,1		1,85	1,11	302	--	--	--	--	--	66	39	32	29	27	36	33	--	150	225	270
6,20	116,0	67,1		1,85	1,15	332	--	--	--	--	--	74	40	33	30	28	37	35	--	193	290	348
6,40	149,0	63,9		1,85	1,18	365	--	--	--	--	--	82	41	34	31	29	38	36	--	248	373	447
6,60	135,0	49,5		1,85	1,22	351	--	--	--	--	--	77	41	33	30	28	38	35	--	225	338	405
6,80	62,0	8,7		1,85	1,26	262	2,07	11,7	351	527	186	50	37	29	26	24	33	32	--	103	155	186
7,00	228,0	34,9		1,85	1,30	428	--	--	--	--	--	94	43	35	33	31	40	39	--	380	570	684
7,20	303,0	94,7		1,85	1,33	477	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	505	758	909
7,40	210,0	76,9		1,85	1,37	415	--	--	--	--	--	90	42	35	32	30	39	38	--	350	525	630
7,60	103,0	38,6		1,85	1,41	317	--	--	--	--	--	65	39	31	28	26	35	34	--	172	258	309
7,80	100,0	55,6		1,85	1,44	314	--	--	--	--	--	63	39	31	28	26	35	34	--	167	250	300
8,00	144,0	102,9		1,85	1,48	360	--	--	--	--	--	75	40	33	30	28	37	36	--	240	360	432
8,20	130,0	11,7		1,85	1,52	346	4,33	23,3	737	1105	390	71	40	32	29	27	36	35	--	217	325	390
8,40	404,0	--		1,85	1,55	531	--	--	--	--	--	100	43	37	35	32	41	40	--	673	1010	1212
8,60	404,0	--		1,85	1,59	531	--	--	--	--	--	100	43	37	35	32	41	40	--	673	1010	1212
8,80	404,0	--		1,85	1,63	531	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	673	1010	1212
9,00	404,0	--		1,85	1,67	531	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	673	1010	1212
9,20	404,0	--		1,85	1,70	531	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	673	1010	1212
9,40	404,0	--		1,85	1,74	531	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	673	1010	1212
9,60	404,0	--		1,85	1,78	531	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	673	1010	1212

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS5**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R423-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 13/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	32,0	34,4		1,85	0,11	204	--	--	--	--	--	86	42	38	35	33	42	29	--	53	80	96
0,80	47,0	22,7		1,85	0,15	236	1,57	99,9	266	400	141	93	42	38	36	33	42	31	--	78	118	141
1,00	32,0	17,8		1,85	0,19	204	1,07	56,1	181	272	96	74	40	35	33	30	40	29	--	53	80	96
1,20	31,0	18,6		1,85	0,22	202	1,03	42,9	176	264	93	68	39	34	31	29	39	29	--	52	78	93
1,40	48,0	14,7		1,85	0,26	238	1,60	61,1	272	408	144	80	41	36	33	31	40	31	--	80	120	144
1,60	54,0	12,6		1,85	0,30	249	1,80	60,0	306	459	162	81	41	36	33	31	40	31	--	90	135	162
1,80	63,0	9,4		1,85	0,33	264	2,10	62,7	357	536	189	83	41	36	33	31	40	32	--	105	158	189
2,00	116,0	19,1		1,85	0,37	332	3,87	99,9	657	986	348	100	43	38	36	33	42	35	--	193	290	348
2,20	114,0	85,7		1,85	0,41	330	--	--	--	--	--	98	43	38	35	33	42	34	--	190	285	342
2,40	121,0	19,9		1,85	0,44	337	4,03	99,0	686	1029	363	98	43	38	35	33	41	35	--	202	303	363
2,60	83,0	13,0		1,85	0,48	293	2,77	55,9	470	706	249	83	41	35	33	30	40	33	--	138	208	249
2,80	100,0	16,7		1,85	0,52	314	3,33	64,3	567	850	300	88	42	36	33	31	40	34	--	167	250	300
3,00	70,0	11,5		1,85	0,56	274	2,33	37,8	397	595	210	74	40	34	31	29	38	32	--	117	175	210
3,20	55,0	15,0		1,85	0,59	251	1,83	25,8	312	468	165	64	39	32	29	27	37	31	--	92	138	165
3,40	52,0	13,4		1,85	0,63	245	1,73	22,3	295	442	156	61	39	32	29	27	36	31	--	87	130	156
3,60	31,0	9,9		1,85	0,67	202	1,03	10,9	176	264	93	42	36	29	26	24	33	29	--	52	78	93
3,80	33,0	15,5		1,85	0,70	207	1,10	11,0	187	281	99	42	36	29	26	24	33	29	--	55	83	99
4,00	28,0	16,2		1,85	0,74	194	0,97	8,8	175	263	84	36	36	28	25	23	32	28	--	47	70	84
4,20	31,0	12,9		1,85	0,78	202	1,03	9,0	184	276	93	38	36	28	25	23	32	29	--	52	78	93
4,40	25,0	19,7		1,85	0,81	186	0,91	7,2	202	303	75	29	35	27	24	22	30	28	--	42	63	75
4,60	28,0	15,0		1,85	0,85	194	0,97	7,4	210	315	84	32	35	27	24	23	31	28	--	47	70	84
4,80	29,0	20,7		1,85	0,89	197	0,98	7,1	221	332	87	32	35	27	24	22	31	29	--	48	73	87
5,00	25,0	41,7		1,85	0,93	186	--	--	--	--	--	26	34	26	23	22	30	28	--	42	63	75
5,20	37,0	24,2		1,85	0,96	216	1,23	8,6	228	342	111	39	36	28	25	23	32	30	--	62	93	111
5,40	47,0	30,7		1,85	1,00	236	--	--	--	--	--	46	37	29	26	24	33	31	--	78	118	141
5,60	80,0	42,8		1,85	1,04	289	--	--	--	--	--	63	39	31	28	27	36	33	--	133	200	240
5,80	43,0	24,9		1,85	1,07	228	1,43	9,0	254	382	129	41	36	28	25	23	32	30	--	72	108	129
6,00	46,0	38,3		1,85	1,11	234	--	--	--	--	--	43	36	28	25	24	32	31	--	77	115	138
6,20	49,0	40,8		1,85	1,15	240	--	--	--	--	--	44	37	28	25	24	32	31	--	82	123	147
6,40	40,0	31,5		1,85	1,18	222	--	--	--	--	--	36	36	27	24	23	31	30	--	67	100	120
6,60	39,0	30,7		1,85	1,22	220	--	--	--	--	--	35	35	27	24	22	31	30	--	65	98	117
6,80	36,0	36,0		1,85	1,26	214	--	--	--	--	--	31	35	26	23	22	30	30	--	60	90	108
7,00	24,0	32,9		1,85	1,30	183	--	--	--	--	--	17	33	24	21	20	28	28	--	40	60	72
7,20	26,0	4,4		1,85	1,33	189	0,93	4,0	372	557	78	19	33	25	21	20	28	28	--	43	65	78
7,40	182,0	62,1		1,85	1,37	393	--	--	--	--	--	85	41	34	31	29	38	37	--	303	455	546
7,60	231,0	41,8		1,85	1,41	430	--	--	--	--	--	92	42	35	32	30	39	39	--	385	578	693
7,80	334,0	45,1		1,85	1,44	495	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	557	835	1002
8,00	310,0	28,2		1,85	1,48	481	9,99	68,3	1698	2547	930	100	43	36	34	31	40	40	--	517	775	930
8,20	425,0	--		1,85	1,52	542	--	--	--	--	--	100	43	38	35	33	42	40	--	708	1063	1275
8,40	425,0	--		1,85	1,55	542	--	--	--	--	--	100	43	38	35	33	41	40	--	708	1063	1275

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	PS6
riferimento	142-1-08
certificato n°	R424-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	41,0	29,3		1,85	0,11	224	1,37	99,9	232	349	123	95	43	39	37	34	43	30	--	68	103	123
0,80	52,0	35,4		1,85	0,15	245	--	--	--	--	--	96	43	39	36	34	42	31	--	87	130	156
1,00	45,0	51,7		1,85	0,19	232	--	--	--	--	--	86	42	37	34	32	41	31	--	75	113	135
1,20	43,0	21,5		1,85	0,22	228	1,43	64,6	244	366	129	80	41	36	33	31	40	30	--	72	108	129
1,40	53,0	79,1		1,85	0,26	247	--	--	--	--	--	83	41	36	33	31	40	31	--	88	133	159
1,60	73,0	54,9		1,85	0,30	279	--	--	--	--	--	91	42	37	34	32	41	32	--	122	183	219
1,80	79,0	10,9		1,85	0,33	287	2,63	83,3	448	672	237	91	42	37	34	32	41	33	--	132	198	237
2,00	103,0	18,2		1,85	0,37	317	3,43	99,9	584	876	309	97	43	38	35	33	41	34	--	172	258	309
2,20	109,0	45,4		1,85	0,41	324	--	--	--	--	--	97	43	38	35	33	41	34	--	182	273	327
2,40	94,0	20,8		1,85	0,44	307	3,13	72,2	533	799	282	90	42	36	34	31	40	34	--	157	235	282
2,60	72,0	14,8		1,85	0,48	277	2,40	46,8	408	612	216	79	41	35	32	30	39	32	--	120	180	216
2,80	93,0	24,9		1,85	0,52	305	3,10	58,8	527	791	279	86	42	36	33	31	40	33	--	155	233	279
3,00	79,0	18,2		1,85	0,56	287	2,63	44,0	448	672	237	78	41	34	32	30	39	33	--	132	198	237
3,20	77,0	23,1		1,85	0,59	284	2,57	39,3	436	655	231	76	40	34	31	29	38	33	--	128	193	231
3,40	84,0	16,6		1,85	0,63	294	2,80	40,6	476	714	252	77	41	34	31	29	38	33	--	140	210	252
3,60	68,0	17,6		1,85	0,67	271	2,27	29,0	385	578	204	69	39	33	30	28	37	32	--	113	170	204
3,80	80,0	20,7		1,85	0,70	289	2,67	33,2	453	680	240	73	40	33	30	28	38	33	--	133	200	240
4,00	60,0	19,5		1,85	0,74	259	2,00	21,8	340	510	180	62	39	32	29	27	36	32	--	100	150	180
4,20	73,0	18,3		1,85	0,78	279	2,43	26,2	414	621	219	67	39	32	29	28	37	32	--	122	183	219
4,40	51,0	11,8		1,85	0,81	243	1,70	15,8	289	434	153	54	38	30	27	26	34	31	--	85	128	153
4,60	62,0	16,3		1,85	0,85	262	2,07	19,0	351	527	186	59	38	31	28	26	35	32	--	103	155	186
4,80	53,0	19,4		1,85	0,89	247	1,77	14,8	300	451	159	53	38	30	27	25	34	31	--	88	133	159
5,00	76,0	29,2		1,85	0,93	283	2,53	22,1	431	646	228	64	39	32	29	27	36	33	--	127	190	228
5,20	42,0	18,5		1,85	0,96	226	1,40	10,0	238	357	126	43	36	29	25	24	32	30	--	70	105	126
5,40	66,0	7,1		1,85	1,00	268	2,20	16,8	374	561	198	58	38	31	28	26	35	32	--	110	165	198
5,60	102,0	14,6		1,85	1,04	316	3,40	27,7	578	867	306	72	40	33	30	28	37	34	--	170	255	306
5,80	119,0	10,1		1,85	1,07	335	3,97	32,2	674	1012	357	76	40	33	30	28	38	35	--	198	298	357
6,00	109,0	12,0		1,85	1,11	324	3,63	27,6	618	927	327	72	40	33	30	28	37	34	--	182	273	327
6,20	106,0	13,8		1,85	1,15	321	3,53	25,6	601	901	318	71	40	32	29	27	37	34	--	177	265	318
6,40	110,0	41,2		1,85	1,18	325	--	--	--	--	--	71	40	32	29	27	37	34	--	183	275	330
6,60	97,0	35,5		1,85	1,22	310	--	--	--	--	--	66	39	32	29	27	36	34	--	162	243	291
6,80	94,0	11,6		1,85	1,26	307	3,13	19,6	533	799	282	64	39	31	28	26	35	34	--	157	235	282
7,00	156,0	15,7		1,85	1,30	371	5,20	35,7	884	1326	468	81	41	34	31	29	38	36	--	260	390	468
7,20	142,0	44,4		1,85	1,33	358	--	--	--	--	--	77	40	33	30	28	37	36	--	237	355	426
7,40	176,0	58,7		1,85	1,37	388	--	--	--	--	--	84	41	34	31	29	38	37	--	293	440	528
7,60	180,0	14,4		1,85	1,41	392	6,00	38,5	1020	1530	540	84	41	34	31	29	38	37	--	300	450	540
7,80	115,0	7,9		1,85	1,44	331	3,83	21,3	652	978	345	68	39	32	29	27	36	35	--	192	288	345
8,00	234,0	19,6		1,85	1,48	432	7,80	50,1	1326	1989	702	92	42	35	32	30	39	39	--	390	585	702
8,20	451,0	--		1,85	1,52	554	--	--	--	--	--	100	43	38	35	33	42	40	--	752	1128	1353

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS7**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R425-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 03/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	47,0	78,3		1,85	0,11	236	--	--	--	--	--	100	43	40	37	35	43	31	--	78	118	141
0,80	53,0	46,9		1,85	0,15	247	--	--	--	--	--	97	43	39	36	34	43	31	--	88	133	159
1,00	45,0	28,1		1,85	0,19	232	1,50	85,9	255	383	135	86	42	37	34	32	41	31	--	75	113	135
1,20	43,0	38,1		1,85	0,22	228	--	--	--	--	--	80	41	36	33	31	40	30	--	72	108	129
1,40	42,0	26,3		1,85	0,26	226	1,40	51,7	238	357	126	75	40	35	32	30	39	30	--	70	105	126
1,60	42,0	28,6		1,85	0,30	226	1,40	43,8	238	357	126	72	40	34	32	29	39	30	--	70	105	126
1,80	46,0	14,1		1,85	0,33	234	1,53	42,3	261	391	138	72	40	34	31	29	39	31	--	77	115	138
2,00	54,0	19,8		1,85	0,37	249	1,80	45,4	306	459	162	75	40	35	32	30	39	31	--	90	135	162
2,20	58,0	12,1		1,85	0,41	256	1,93	44,0	329	493	174	75	40	34	32	30	39	31	--	97	145	174
2,40	50,0	10,0		1,85	0,44	242	1,67	32,8	283	425	150	68	39	33	30	28	38	31	--	83	125	150
2,60	45,0	11,6		1,85	0,48	232	1,50	26,0	255	383	135	62	39	32	29	28	37	31	--	75	113	135
2,80	43,0	9,0		1,85	0,52	228	1,43	22,4	244	366	129	59	38	32	29	27	36	30	--	72	108	129
3,00	32,0	8,6		1,85	0,56	204	1,07	14,2	181	272	96	47	37	30	27	25	34	29	--	53	80	96
3,20	32,0	9,2		1,85	0,59	204	1,07	13,1	181	272	96	46	37	30	27	25	34	29	--	53	80	96
3,40	34,0	8,9		1,85	0,63	209	1,13	13,1	193	289	102	46	37	30	27	25	34	29	--	57	85	102
3,60	21,0	9,3		1,85	0,67	174	0,82	8,2	159	239	63	28	35	27	24	22	31	27	--	35	53	63
3,80	25,0	41,7		1,85	0,70	186	--	--	--	--	--	33	35	28	24	23	31	28	--	42	63	75
4,00	19,0	19,0		1,85	0,74	168	0,78	6,7	189	284	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	29,0	25,7		1,85	0,78	197	0,98	8,4	185	277	87	36	36	28	25	23	31	29	--	48	73	87
4,40	37,0	13,6		1,85	0,81	216	1,23	10,6	210	315	111	43	36	29	26	24	33	30	--	62	93	111
4,60	42,0	35,0		1,85	0,85	226	--	--	--	--	--	46	37	29	26	24	33	30	--	70	105	126
4,80	46,0	27,5		1,85	0,89	234	1,53	12,4	261	391	138	48	37	29	26	25	33	31	--	77	115	138
5,00	36,0	27,1		1,85	0,93	214	1,20	8,7	219	329	108	39	36	28	25	23	32	30	--	60	90	108
5,20	37,0	11,3		1,85	0,96	216	1,23	8,6	228	342	111	39	36	28	25	23	32	30	--	62	93	111
5,40	62,0	8,2		1,85	1,00	262	2,07	15,6	351	527	186	56	38	30	27	26	34	32	--	103	155	186
5,60	119,0	16,2		1,85	1,04	335	3,97	33,6	674	1012	357	77	41	33	30	28	38	35	--	198	298	357
5,80	170,0	18,6		1,85	1,07	383	5,67	50,3	963	1445	510	89	42	35	32	30	39	37	--	283	425	510
6,00	273,0	74,4		1,85	1,11	458	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	455	683	819
6,20	183,0	105,8		1,85	1,15	394	--	--	--	--	--	89	42	35	32	30	39	37	--	305	458	549
6,40	139,0	41,7		1,85	1,18	355	--	--	--	--	--	79	41	33	31	29	38	36	--	232	348	417
6,60	62,0	21,6		1,85	1,22	262	2,07	12,1	351	527	186	51	37	29	26	25	33	32	--	103	155	186
6,80	83,0	37,7		1,85	1,26	293	--	--	--	--	--	60	38	31	28	26	35	33	--	138	208	249
7,00	282,0	60,4		1,85	1,30	464	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	40	40	--	470	705	846
7,20	350,0	74,9		1,85	1,33	503	--	--	--	--	--	100	43	37	35	32	41	40	--	583	875	1050
7,40	460,0	--		1,85	1,37	558	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	40	--	767	1150	1380
7,60	460,0	--		1,85	1,41	558	--	--	--	--	--	100	43	39	36	33	42	40	--	767	1150	1380
7,80	460,0	--		1,85	1,44	558	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	767	1150	1380
8,00	460,0	--		1,85	1,48	558	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	767	1150	1380
8,20	460,0	--		1,85	1,52	558	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	767	1150	1380

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS8**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R426-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 03/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	36,0	38,7		1,85	0,11	214	--	--	--	--	--	91	42	38	36	33	42	30	--	60	90	108
0,80	48,0	24,9		1,85	0,15	238	1,60	99,9	272	408	144	93	42	38	36	33	42	31	--	80	120	144
1,00	61,0	15,3		1,85	0,19	260	2,03	99,9	346	519	183	96	43	39	36	33	42	32	--	102	153	183
1,20	113,0	30,8		1,85	0,22	329	--	--	--	--	--	100	43	41	38	36	44	34	--	188	283	339
1,40	99,0	19,0		1,85	0,26	313	3,30	99,9	561	842	297	100	43	39	37	34	43	34	--	165	248	297
1,60	75,0	13,7		1,85	0,30	282	2,50	90,4	425	638	225	92	42	37	35	32	41	32	--	125	188	225
1,80	63,0	17,5		1,85	0,33	264	2,10	62,7	357	536	189	83	41	36	33	31	40	32	--	105	158	189
2,00	60,0	17,6		1,85	0,37	259	2,00	51,7	340	510	180	79	41	35	32	30	39	32	--	100	150	180
2,20	45,0	11,3		1,85	0,41	232	1,50	32,1	255	383	135	66	39	33	30	28	38	31	--	75	113	135
2,40	51,0	20,6		1,85	0,44	243	1,70	33,6	289	434	153	69	39	33	30	28	38	31	--	85	128	153
2,60	88,0	31,4		1,85	0,48	299	--	--	--	--	--	85	42	36	33	31	40	33	--	147	220	264
2,80	61,0	25,4		1,85	0,52	260	2,03	34,7	346	519	183	71	40	33	31	29	38	32	--	102	153	183
3,00	56,0	32,4		1,85	0,56	252	--	--	--	--	--	66	39	33	30	28	37	31	--	93	140	168
3,20	55,0	31,8		1,85	0,59	251	--	--	--	--	--	64	39	32	29	27	37	31	--	92	138	165
3,40	53,0	22,1		1,85	0,63	247	1,77	22,8	300	451	159	61	39	32	29	27	36	31	--	88	133	159
3,60	71,0	41,0		1,85	0,67	276	--	--	--	--	--	70	40	33	30	28	37	32	--	118	178	213
3,80	58,0	29,0		1,85	0,70	256	1,93	22,2	329	493	174	62	39	32	29	27	36	31	--	97	145	174
4,00	67,0	45,6		1,85	0,74	270	--	--	--	--	--	66	39	32	29	27	36	32	--	112	168	201
4,20	48,0	15,6		1,85	0,78	238	1,60	15,5	272	408	144	53	38	30	27	26	34	31	--	80	120	144
4,40	72,0	49,0		1,85	0,81	277	--	--	--	--	--	66	39	32	29	27	36	32	--	120	180	216
4,60	65,0	51,2		1,85	0,85	267	--	--	--	--	--	61	39	31	28	27	35	32	--	108	163	195
4,80	66,0	30,0		1,85	0,89	268	2,20	19,5	374	561	198	61	39	31	28	26	35	32	--	110	165	198
5,00	50,0	24,2		1,85	0,93	242	1,67	13,1	283	425	150	50	37	30	27	25	34	31	--	83	125	150
5,20	27,0	13,0		1,85	0,96	192	0,95	6,2	253	379	81	28	35	26	23	22	30	28	--	45	68	81
5,40	70,0	41,9		1,85	1,00	274	--	--	--	--	--	60	38	31	28	26	35	32	--	117	175	210
5,60	56,0	35,0		1,85	1,04	252	--	--	--	--	--	51	37	30	27	25	34	31	--	93	140	168
5,80	54,0	50,5		1,85	1,07	249	--	--	--	--	--	49	37	29	26	25	33	31	--	90	135	162
6,00	30,0	21,4		1,85	1,11	199	1,00	5,5	301	451	90	28	35	26	23	22	30	29	--	50	75	90
6,20	74,0	50,3		1,85	1,15	280	--	--	--	--	--	58	38	30	27	26	35	32	--	123	185	222
6,40	67,0	32,4		1,85	1,18	270	--	--	--	--	--	54	38	30	27	25	34	32	--	112	168	201
6,60	84,0	15,4		1,85	1,22	294	2,80	17,7	476	714	252	61	39	31	28	26	35	33	--	140	210	252
6,80	318,0	43,4		1,85	1,26	485	--	--	--	--	--	100	43	37	35	32	41	40	--	530	795	954
7,00	218,0	56,3		1,85	1,30	421	--	--	--	--	--	92	42	35	32	30	39	38	--	363	545	654
7,20	106,0	106,0		1,85	1,33	321	--	--	--	--	--	67	39	32	29	27	36	34	--	177	265	318
7,40	45,0	--		1,85	1,37	232	--	--	--	--	--	37	36	27	24	23	31	31	--	75	113	135

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS9**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R427-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	20,0	29,9		1,85	0,11	171	0,80	74,1	136	204	60	70	40	36	33	31	40	27	--	33	50	60
0,80	34,0	25,6		1,85	0,15	209	1,13	80,0	193	289	102	82	41	37	34	32	41	29	--	57	85	102
1,00	35,0	14,6		1,85	0,19	211	1,17	62,7	198	298	105	77	40	36	33	31	40	29	--	58	88	105
1,20	37,0	26,4		1,85	0,22	216	1,23	53,5	210	315	111	75	40	35	32	30	39	30	--	62	93	111
1,40	44,0	16,9		1,85	0,26	230	1,47	54,8	249	374	132	77	40	35	33	30	39	31	--	73	110	132
1,60	35,0	8,8		1,85	0,30	211	1,17	34,9	198	298	105	66	39	33	31	29	38	29	--	58	88	105
1,80	58,0	12,6		1,85	0,33	256	1,93	56,6	329	493	174	80	41	35	33	30	40	31	--	97	145	174
2,00	42,0	14,6		1,85	0,37	226	1,40	33,1	238	357	126	66	39	33	30	28	38	30	--	70	105	126
2,20	42,0	15,7		1,85	0,41	226	1,40	29,4	238	357	126	64	39	33	30	28	37	30	--	70	105	126
2,40	42,0	15,7		1,85	0,44	226	1,40	26,4	238	357	126	62	39	32	29	28	37	30	--	70	105	126
2,60	40,0	24,0		1,85	0,48	222	1,33	22,5	227	340	120	58	38	32	29	27	36	30	--	67	100	120
2,80	57,0	16,4		1,85	0,52	254	1,90	31,9	323	485	171	69	39	33	30	28	38	31	--	95	143	171
3,00	36,0	16,4		1,85	0,56	214	1,20	16,5	204	306	108	51	37	30	27	26	35	30	--	60	90	108
3,20	39,0	20,9		1,85	0,59	220	1,30	16,8	221	332	117	52	38	31	28	26	35	30	--	65	98	117
3,40	36,0	25,7		1,85	0,63	214	1,20	14,1	204	306	108	48	37	30	27	25	34	30	--	60	90	108
3,60	37,0	19,2		1,85	0,67	216	1,23	13,6	210	315	111	48	37	30	27	25	34	30	--	62	93	111
3,80	34,0	15,0		1,85	0,70	209	1,13	11,4	193	289	102	44	36	29	26	24	33	29	--	57	85	102
4,00	35,0	12,2		1,85	0,74	211	1,17	11,1	198	298	105	43	36	29	26	24	33	29	--	58	88	105
4,20	42,0	12,8		1,85	0,78	226	1,40	13,1	238	357	126	48	37	30	27	25	34	30	--	70	105	126
4,40	46,0	20,9		1,85	0,81	234	1,53	13,9	261	391	138	50	37	30	27	25	34	31	--	77	115	138
4,60	63,0	29,6		1,85	0,85	264	2,10	19,4	357	536	189	60	38	31	28	26	35	32	--	105	158	189
4,80	66,0	33,0		1,85	0,89	268	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	32	--	110	165	198
5,00	50,0	20,8		1,85	0,93	242	1,67	13,1	283	425	150	50	37	30	27	25	34	31	--	83	125	150
5,20	56,0	49,6		1,85	0,96	252	--	--	--	--	--	53	38	30	27	25	34	31	--	93	140	168
5,40	35,0	52,2		1,85	1,00	211	--	--	--	--	--	36	36	27	24	23	31	29	--	58	88	105
5,60	45,0	13,5		1,85	1,04	232	1,50	10,0	255	383	135	44	36	29	25	24	32	31	--	75	113	135
5,80	88,0	59,9		1,85	1,07	299	--	--	--	--	--	66	39	32	29	27	36	33	--	147	220	264
6,00	59,0	52,2		1,85	1,11	257	--	--	--	--	--	51	37	30	26	25	33	32	--	98	148	177
6,20	26,0	5,7		1,85	1,15	189	0,93	4,8	318	477	78	22	34	25	22	21	29	28	--	43	65	78
6,40	144,0	24,3		1,85	1,18	360	4,80	36,1	816	1224	432	80	41	34	31	29	38	36	--	240	360	432
6,60	372,0	57,5		1,85	1,22	515	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	620	930	1116
6,80	273,0	50,6		1,85	1,26	458	--	--	--	--	--	100	43	36	34	32	40	40	--	455	683	819
7,00	370,0	32,8		1,85	1,30	514	--	--	--	--	--	100	43	38	35	33	42	40	--	617	925	1110
7,20	452,0	--		1,85	1,33	554	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	40	--	753	1130	1356
7,40	452,0	--		1,85	1,37	554	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	40	--	753	1130	1356
7,60	452,0	--		1,85	1,41	554	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	753	1130	1356
7,80	452,0	--		1,85	1,44	554	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	753	1130	1356
8,00	452,0	--		1,85	1,48	554	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	753	1130	1356
8,20	452,0	--		1,85	1,52	554	--	--	--	--	--	100	43	38	35	33	42	40	--	753	1130	1356

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS10**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R428-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	60,0	33,3		1,85	0,11	259	--	--	--	--	--	100	43	41	39	36	44	32	--	100	150	180
0,80	63,0	22,0		1,85	0,15	264	2,10	99,9	357	536	189	100	43	40	37	35	43	32	--	105	158	189
1,00	53,0	18,5		1,85	0,19	247	1,77	99,9	300	451	159	91	42	38	35	33	42	31	--	88	133	159
1,20	61,0	11,7		1,85	0,22	260	2,03	99,9	346	519	183	92	42	38	35	33	41	32	--	102	153	183
1,40	73,0	10,4		1,85	0,26	279	2,43	99,9	414	621	219	94	43	38	35	33	42	32	--	122	183	219
1,60	105,0	12,9		1,85	0,30	320	3,50	99,9	595	893	315	100	43	39	36	34	42	34	--	175	263	315
1,80	131,0	15,2		1,85	0,33	347	4,37	99,9	742	1114	393	100	43	39	37	34	43	35	--	218	328	393
2,00	141,0	20,5		1,85	0,37	357	4,70	99,9	799	1199	423	100	43	39	37	34	43	36	--	235	353	423
2,20	114,0	17,8		1,85	0,41	330	3,80	99,9	646	969	342	98	43	38	35	33	42	34	--	190	285	342
2,40	102,0	23,2		1,85	0,44	316	3,40	80,0	578	867	306	92	42	37	34	32	41	34	--	170	255	306
2,60	99,0	22,5		1,85	0,48	313	3,30	69,7	561	842	297	89	42	36	34	31	40	34	--	165	248	297
2,80	105,0	16,9		1,85	0,52	320	3,50	68,4	595	893	315	90	42	36	33	31	40	34	--	175	263	315
3,00	76,0	14,1		1,85	0,56	283	2,53	41,9	431	646	228	77	40	34	31	29	39	33	--	127	190	228
3,20	82,0	16,0		1,85	0,59	291	2,73	42,5	465	697	246	78	41	34	31	29	39	33	--	137	205	246
3,40	72,0	13,3		1,85	0,63	277	2,40	33,5	408	612	216	72	40	33	30	28	38	32	--	120	180	216
3,60	45,0	10,4		1,85	0,67	232	1,50	17,3	255	383	135	54	38	31	28	26	35	31	--	75	113	135
3,80	51,0	18,7		1,85	0,70	243	1,70	18,9	289	434	153	57	38	31	28	26	35	31	--	85	128	153
4,00	62,0	25,1		1,85	0,74	262	2,07	22,7	351	527	186	63	39	32	29	27	36	32	--	103	155	186
4,20	64,0	30,0		1,85	0,78	265	--	--	--	--	--	63	39	32	29	27	36	32	--	107	160	192
4,40	63,0	29,6		1,85	0,81	264	2,10	20,5	357	536	189	61	39	31	28	27	36	32	--	105	158	189
4,60	60,0	40,8		1,85	0,85	259	--	--	--	--	--	58	38	31	28	26	35	32	--	100	150	180
4,80	72,0	31,7		1,85	0,89	277	--	--	--	--	--	64	39	32	29	27	36	32	--	120	180	216
5,00	61,0	41,5		1,85	0,93	260	--	--	--	--	--	57	38	31	28	26	35	32	--	102	153	183
5,20	51,0	34,7		1,85	0,96	243	--	--	--	--	--	50	37	29	26	25	33	31	--	85	128	153
5,40	64,0	38,3		1,85	1,00	265	--	--	--	--	--	57	38	30	27	26	34	32	--	107	160	192
5,60	56,0	29,9		1,85	1,04	252	1,87	13,1	317	476	168	51	37	30	27	25	34	31	--	93	140	168
5,80	61,0	30,5		1,85	1,07	260	--	--	--	--	--	53	38	30	27	25	34	32	--	102	153	183
6,00	38,0	24,8		1,85	1,11	218	1,27	7,4	273	409	114	36	36	27	24	23	31	30	--	63	95	114
6,20	21,0	14,3		1,85	1,15	174	0,82	4,1	320	480	63	15	33	24	21	20	27	27	--	35	53	63
6,40	60,0	27,3		1,85	1,18	259	2,00	12,1	340	510	180	50	37	29	26	25	33	32	--	100	150	180
6,60	132,0	18,0		1,85	1,22	348	4,40	31,2	748	1122	396	77	40	33	30	28	37	35	--	220	330	396
6,80	310,0	57,4		1,85	1,26	481	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	517	775	930
7,00	370,0	52,3		1,85	1,30	514	--	--	--	--	--	100	43	38	35	33	42	40	--	617	925	1110
7,20	331,0	--		1,85	1,33	493	--	--	--	--	--	100	43	37	34	32	41	40	--	552	828	993

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS11**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R429-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	27,0	18,4		1,85	0,11	192	0,95	91,6	161	242	81	81	41	37	34	32	41	28	--	45	68	81
0,80	32,0	26,7		1,85	0,15	204	1,07	74,1	181	272	96	79	41	36	34	31	40	29	--	53	80	96
1,00	63,0	45,0		1,85	0,19	264	--	--	--	--	--	97	43	39	36	34	42	32	--	105	158	189
1,20	78,0	30,8		1,85	0,22	286	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	33	--	130	195	234
1,40	84,0	29,3		1,85	0,26	294	2,80	99,9	476	714	252	99	43	38	36	33	42	33	--	140	210	252
1,60	62,0	17,6		1,85	0,30	262	2,07	71,3	351	527	186	85	41	36	34	31	40	32	--	103	155	186
1,80	49,0	14,1		1,85	0,33	240	1,63	45,8	278	417	147	74	40	35	32	30	39	31	--	82	123	147
2,00	97,0	14,9		1,85	0,37	310	3,23	94,3	550	825	291	95	43	37	35	32	41	34	--	162	243	291
2,20	107,0	16,9		1,85	0,41	322	3,57	94,7	606	910	321	96	43	37	35	32	41	34	--	178	268	321
2,40	87,0	20,4		1,85	0,44	298	2,90	65,6	493	740	261	87	42	36	33	31	40	33	--	145	218	261
2,60	61,0	32,6		1,85	0,48	260	--	--	--	--	--	73	40	34	31	29	38	32	--	102	153	183
2,80	77,0	21,8		1,85	0,52	284	2,57	46,4	436	655	231	79	41	35	32	30	39	33	--	128	193	231
3,00	39,0	19,5		1,85	0,56	220	1,30	18,2	221	332	117	54	38	31	28	26	35	30	--	65	98	117
3,20	54,0	21,9		1,85	0,59	249	1,80	25,2	306	459	162	64	39	32	29	27	36	31	--	90	135	162
3,40	34,0	11,3		1,85	0,63	209	1,13	13,1	193	289	102	46	37	30	27	25	34	29	--	57	85	102
3,60	29,0	22,8		1,85	0,67	197	0,98	10,2	167	251	87	39	36	29	25	24	32	29	--	48	73	87
3,80	42,0	26,3		1,85	0,70	226	1,40	14,9	238	357	126	51	37	30	27	25	34	30	--	70	105	126
4,00	28,0	16,2		1,85	0,74	194	0,97	8,8	175	263	84	36	36	28	25	23	32	28	--	47	70	84
4,20	38,0	38,0		1,85	0,78	218	--	--	--	--	--	45	37	29	26	24	33	30	--	63	95	114
4,40	40,0	25,0		1,85	0,81	222	1,33	11,6	227	340	120	46	37	29	26	24	33	30	--	67	100	120
4,60	43,0	32,3		1,85	0,85	228	--	--	--	--	--	47	37	29	26	25	33	30	--	72	108	129
4,80	44,0	44,0		1,85	0,89	230	--	--	--	--	--	47	37	29	26	24	33	31	--	73	110	132
5,00	58,0	37,9		1,85	0,93	256	--	--	--	--	--	55	38	30	27	26	34	31	--	97	145	174
5,20	64,0	22,9		1,85	0,96	265	2,13	17,0	363	544	192	58	38	31	28	26	35	32	--	107	160	192
5,40	37,0	15,9		1,85	1,00	216	1,23	8,2	239	358	111	38	36	28	25	23	31	30	--	62	93	111
5,60	84,0	52,5		1,85	1,04	294	--	--	--	--	--	65	39	32	29	27	36	33	--	140	210	252
5,80	191,0	35,4		1,85	1,07	401	--	--	--	--	--	93	42	36	33	31	40	37	--	318	478	573
6,00	123,0	68,3		1,85	1,11	339	--	--	--	--	--	77	40	33	30	28	38	35	--	205	308	369
6,20	86,0	107,5		1,85	1,15	297	--	--	--	--	--	63	39	31	28	26	35	33	--	143	215	258
6,40	226,0	243,0		1,85	1,18	427	--	--	--	--	--	96	43	36	33	31	40	39	--	377	565	678
6,60	85,0	57,8		1,85	1,22	295	--	--	--	--	--	62	39	31	28	26	35	33	--	142	213	255
6,80	49,0	52,7		1,85	1,26	240	--	--	--	--	--	42	36	28	25	23	32	31	--	82	123	147
7,00	51,0	36,4		1,85	1,30	243	--	--	--	--	--	43	36	28	25	23	32	31	--	85	128	153
7,20	75,0	44,9		1,85	1,33	282	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	--	125	188	225
7,40	83,0	25,4		1,85	1,37	293	2,77	15,1	470	706	249	58	38	30	27	25	34	33	--	138	208	249
7,60	352,0	45,5		1,85	1,41	504	--	--	--	--	--	100	43	37	35	32	41	40	--	587	880	1056
7,80	460,0	--		1,85	1,44	558	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	767	1150	1380

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS12**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R430-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 30/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	21,0	12,6		1,85	0,11	174	0,82	76,9	140	210	63	72	40	36	33	31	40	27	--	35	53	63
0,80	37,0	25,2		1,85	0,15	216	1,23	88,9	210	315	111	84	41	37	35	32	41	30	--	62	93	111
1,00	49,0	29,3		1,85	0,19	240	1,63	95,5	278	417	147	89	42	37	35	32	41	31	--	82	123	147
1,20	43,0	12,9		1,85	0,22	228	1,43	64,6	244	366	129	80	41	36	33	31	40	30	--	72	108	129
1,40	70,0	18,8		1,85	0,26	274	2,33	98,0	397	595	210	93	42	38	35	33	41	32	--	117	175	210
1,60	115,0	17,4		1,85	0,30	331	3,83	99,9	652	978	345	100	43	39	37	34	43	35	--	192	288	345
1,80	120,0	19,1		1,85	0,33	336	4,00	99,9	680	1020	360	100	43	39	36	34	43	35	--	200	300	360
2,00	107,0	21,1		1,85	0,37	322	3,57	99,9	606	910	321	99	43	38	35	33	42	34	--	178	268	321
2,20	95,0	22,2		1,85	0,41	308	3,17	81,6	538	808	285	92	42	37	34	32	41	34	--	158	238	285
2,40	69,0	12,0		1,85	0,44	273	2,30	49,1	391	587	207	79	41	35	32	30	39	32	--	115	173	207
2,60	55,0	21,7		1,85	0,48	251	1,83	33,4	312	468	165	69	40	33	30	28	38	31	--	92	138	165
2,80	43,0	12,2		1,85	0,52	228	1,43	22,4	244	366	129	59	38	32	29	27	36	30	--	72	108	129
3,00	56,0	20,5		1,85	0,56	252	1,87	28,6	317	476	168	66	39	33	30	28	37	31	--	93	140	168
3,20	44,0	13,2		1,85	0,59	230	1,47	19,5	249	374	132	57	38	31	28	26	35	31	--	73	110	132
3,40	22,0	8,7		1,85	0,63	177	0,85	9,1	149	224	66	31	35	27	24	23	31	28	--	37	55	66
3,60	36,0	17,4		1,85	0,67	214	1,20	13,1	204	306	108	47	37	30	27	25	34	30	--	60	90	108
3,80	32,0	13,7		1,85	0,70	204	1,07	10,6	181	272	96	41	36	29	26	24	33	29	--	53	80	96
4,00	42,0	62,7		1,85	0,74	226	--	--	--	--	--	50	37	30	27	25	34	30	--	70	105	126
4,20	64,0	23,4		1,85	0,78	265	2,13	22,2	363	544	192	63	39	32	29	27	36	32	--	107	160	192
4,40	130,0	43,3		1,85	0,81	346	--	--	--	--	--	86	42	35	32	30	39	35	--	217	325	390
4,60	106,0	53,0		1,85	0,85	321	--	--	--	--	--	78	41	34	31	29	38	34	--	177	265	318
4,80	109,0	74,1		1,85	0,89	324	--	--	--	--	--	78	41	34	31	29	38	34	--	182	273	327
5,00	118,0	65,6		1,85	0,93	334	--	--	--	--	--	80	41	34	31	29	38	35	--	197	295	354
5,20	295,0	556,6		1,85	0,96	472	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	492	738	885
5,40	119,0	111,2		1,85	1,00	335	--	--	--	--	--	78	41	34	31	29	38	35	--	198	298	357
5,60	124,0	84,4		1,85	1,04	340	--	--	--	--	--	79	41	34	31	29	38	35	--	207	310	372
5,80	126,0	47,2		1,85	1,07	342	--	--	--	--	--	78	41	33	31	29	38	35	--	210	315	378
6,00	283,0	25,7		1,85	1,11	465	9,43	91,1	1604	2406	849	100	43	37	35	32	41	40	--	472	708	849
6,20	470,0	--		1,85	1,15	562	--	--	--	--	--	100	43	40	37	35	43	40	--	783	1175	1410
6,40	470,0	--		1,85	1,18	562	--	--	--	--	--	100	43	39	37	34	43	40	--	783	1175	1410
6,60	470,0	--		1,85	1,22	562	--	--	--	--	--	100	43	39	37	34	43	40	--	783	1175	1410
6,80	470,0	--		1,85	1,26	562	--	--	--	--	--	100	43	39	37	34	43	40	--	783	1175	1410
7,00	470,0	--		1,85	1,30	562	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	43	40	--	783	1175	1410
7,20	470,0	--		1,85	1,33	562	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	40	--	783	1175	1410
7,40	470,0	--		1,85	1,37	562	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	40	--	783	1175	1410
7,60	470,0	--		1,85	1,41	562	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	42	40	--	783	1175	1410
7,80	470,0	--		1,85	1,44	562	--	--	--	--	--	100	43	38	36	33	42	40	--	783	1175	1410

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

n°	**PS1**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R419-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 4/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE									
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'vo	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	øSc	øCa	øKo	øDB	øDM	øMe	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	kg/cm²			t/m³	kg/cm²	m/s	kg/cm²	%	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
0,20	--	--	? ? ?	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	? ? ?	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	27,0	33,8		1,85	0,11	192	--	--	--	--	--	81	41	37	34	32	41	28	--	45	68	81
0,80	35,0	26,3		1,85	0,15	211	1,17	82,9	198	298	105	83	41	37	34	32	41	29	--	58	88	105
1,00	32,0	16,6		1,85	0,19	204	1,07	56,1	181	272	96	74	40	35	33	30	40	29	--	53	80	96
1,20	39,0	11,0		1,85	0,22	220	1,30	57,2	221	332	117	76	40	35	33	31	40	30	--	65	98	117
1,40	45,0	8,8		1,85	0,26	232	1,50	56,4	255	383	135	78	41	35	33	30	40	31	--	75	113	135
1,60	54,0	22,5		1,85	0,30	249	1,80	60,0	306	459	162	81	41	36	33	31	40	31	--	90	135	162
1,80	46,0	9,4		1,85	0,33	234	1,53	42,3	261	391	138	72	40	34	31	29	39	31	--	77	115	138
2,00	42,0	15,4		1,85	0,37	226	1,40	33,1	238	357	126	66	39	33	30	28	38	30	--	70	105	126
2,20	45,0	15,0		1,85	0,41	232	1,50	32,1	255	383	135	66	39	33	30	28	38	31	--	75	113	135
2,40	44,0	17,4		1,85	0,44	230	1,47	28,0	249	374	132	64	39	33	30	28	37	31	--	73	110	132
2,60	68,0	34,0		1,85	0,48	271	--	--	--	--	--	77	40	34	32	29	39	32	--	113	170	204
2,80	33,0	14,2		1,85	0,52	207	1,10	16,1	187	281	99	50	37	30	27	26	34	29	--	55	83	99
3,00	25,0	14,5		1,85	0,56	186	0,91	11,6	155	232	75	39	36	29	26	24	33	28	--	42	63	75
3,20	26,0	20,5		1,85	0,59	189	0,93	11,0	158	237	78	38	36	29	25	24	32	28	--	43	65	78
3,40	33,0	21,6		1,85	0,63	207	1,10	12,6	187	281	99	45	37	29	26	25	33	29	--	55	83	99
3,60	27,0	12,7		1,85	0,67	192	0,95	9,8	162	243	81	37	36	28	25	24	32	28	--	45	68	81
3,80	27,0	12,7		1,85	0,70	192	0,95	9,1	167	250	81	36	36	28	25	23	32	28	--	45	68	81
4,00	36,0	16,9		1,85	0,74	214	1,20	11,5	204	306	108	44	37	29	26	24	33	30	--	60	90	108
4,20	26,0	19,5		1,85	0,78	189	0,93	7,8	188	281	78	32	35	27	24	23	31	28	--	43	65	78
4,40	19,0	16,8		1,85	0,81	168	0,78	5,9	216	325	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	17,0	6,2		1,85	0,85	161	0,72	5,1	234	351	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	27,0	22,5		1,85	0,89	192	0,95	6,8	225	338	81	30	35	27	24	22	30	28	--	45	68	81
5,00	23,0	21,5		1,85	0,93	180	0,87	5,8	247	371	69	23	34	26	23	21	29	28	--	38	58	69
5,20	23,0	15,0		1,85	0,96	180	0,87	5,5	260	391	69	22	34	26	22	21	29	28	--	38	58	69
5,40	22,0	15,0		1,85	1,00	177	0,85	5,1	275	412	66	20	34	25	22	21	29	28	--	37	55	66
5,60	181,0	87,4		1,85	1,04	393	--	--	--	--	--	92	42	35	33	30	40	37	--	302	453	543
5,80	67,0	14,8		1,85	1,07	270	2,23	15,7	380	570	201	57	38	30	27	26	34	32	--	112	168	201
6,00	166,0	12,4		1,85	1,11	380	5,53	46,8	941	1411	498	87	42	35	32	30	39	37	--	277	415	498
6,20	263,0	21,9		1,85	1,15	452	8,77	79,8	1490	2236	789	100	43	37	34	32	41	40	--	438	658	789
6,40	430,0	--		1,85	1,18	544	--	--	--	--	--	100	43	39	36	34	43	40	--	717	1075	1290

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS2**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R420-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,20	0	
0,60	35,0	53,0		35,0	1,53	23	4,4
0,80	39,0	62,0		39,0	2,13	18	5,5
1,00	52,0	84,0		52,0	3,40	15	6,5
1,20	42,0	93,0		42,0	2,33	18	5,5
1,40	46,0	81,0		46,0	2,87	16	6,2
1,60	61,0	104,0		61,0	4,80	13	7,9
1,80	109,0	181,0		109,0	7,00	16	6,4
2,00	118,0	223,0		118,0	7,40	16	6,3
2,20	84,0	195,0		84,0	3,93	21	4,7
2,40	62,0	121,0		62,0	4,80	13	7,7
2,60	79,0	151,0		79,0	4,87	16	6,2
2,80	85,0	158,0		85,0	6,33	13	7,4
3,00	95,0	190,0		95,0	4,53	21	4,8
3,20	95,0	163,0		95,0	5,33	18	5,6
3,40	98,0	178,0		98,0	3,80	26	3,9
3,60	85,0	142,0		85,0	6,40	13	7,5
3,80	81,0	177,0		81,0	5,87	14	7,2
4,00	66,0	154,0		66,0	3,67	18	5,6
4,20	35,0	90,0		35,0	3,73	9	10,7
4,40	37,0	93,0		37,0	2,67	14	7,2
4,60	31,0	71,0		31,0	1,40	22	4,5
4,80	34,0	55,0		34,0	2,40	14	7,1
5,00	40,0	76,0		40,0	2,73	15	6,8
5,20	36,0	77,0		36,0	2,47	15	6,9
5,40	32,0	69,0		32,0	2,47	13	7,7
5,60	28,0	65,0		28,0	2,00	14	7,1
5,80	39,0	69,0		39,0	7,13	5	18,3
6,00	161,0	268,0		161,0	2,73	59	1,7
6,20	110,0	151,0		110,0	1,67	66	1,5
6,40	55,0	80,0		55,0	0,33	167	0,6
6,60	41,0	46,0		41,0	10,00	4	24,4
6,80	205,0	355,0		205,0	8,33	25	4,1
7,00	305,0	430,0		305,0	7,33	42	2,4
7,20	480,0	590,0		480,0			

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS3**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R421-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	2,53	0	
0,60	25,0	63,0		25,0	0,40	63	1,6
0,80	55,0	61,0		55,0	1,47	37	2,7
1,00	55,0	77,0		55,0	1,33	41	2,4
1,20	62,0	82,0		62,0	1,73	36	2,8
1,40	65,0	91,0		65,0	3,20	20	4,9
1,60	61,0	109,0		61,0	4,87	13	8,0
1,80	64,0	137,0		64,0	5,87	11	9,2
2,00	100,0	188,0		100,0	6,07	16	6,1
2,20	99,0	190,0		99,0	0,33	300	0,3
2,40	99,0	104,0		99,0	7,53	13	7,6
2,60	85,0	198,0		85,0	7,40	11	8,7
2,80	88,0	199,0		88,0	4,93	18	5,6
3,00	77,0	151,0		77,0	5,60	14	7,3
3,20	59,0	143,0		59,0	4,13	14	7,0
3,40	75,0	137,0		75,0	3,60	21	4,8
3,60	60,0	114,0		60,0	5,27	11	8,8
3,80	45,0	124,0		45,0	4,53	10	10,1
4,00	58,0	126,0		58,0	3,00	19	5,2
4,20	61,0	106,0		61,0	3,00	20	4,9
4,40	57,0	102,0		57,0	1,33	43	2,3
4,60	33,0	53,0		33,0	2,13	15	6,5
4,80	35,0	67,0		35,0	1,47	24	4,2
5,00	31,0	53,0		31,0	1,27	24	4,1
5,20	26,0	45,0		26,0	1,20	22	4,6
5,40	39,0	57,0		39,0	1,20	33	3,1
5,60	24,0	42,0		24,0	1,47	16	6,1
5,80	21,0	43,0		21,0	0,53	40	2,5
6,00	27,0	35,0		27,0	1,07	25	4,0
6,20	29,0	45,0		29,0	1,00	29	3,4
6,40	25,0	40,0		25,0	1,20	21	4,8
6,60	31,0	49,0		31,0	0,93	33	3,0
6,80	32,0	46,0		32,0	1,73	18	5,4
7,00	99,0	125,0		99,0	1,67	59	1,7
7,20	108,0	133,0		108,0	0,67	161	0,6
7,40	170,0	180,0		170,0	1,80	94	1,1
7,60	164,0	191,0		164,0	1,73	95	1,1
7,80	75,0	101,0		75,0	5,20	14	6,9
8,00	140,0	218,0		140,0	1,20	117	0,9
8,20	113,0	131,0		113,0	1,73	65	1,5
8,40	131,0	157,0		131,0	1,33	98	1,0
8,60	32,0	52,0		32,0	2,40	13	7,5
8,80	61,0	97,0		61,0	0,40	153	0,7
9,00	7,0	13,0		7,0	2,93	2	41,9
9,20	22,0	66,0		22,0	10,20	2	46,4
9,40	337,0	490,0		337,0	12,20	28	3,6
9,60	410,0	593,0		410,0			

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS4**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R422-2008

Committente:	**AUSILIO**	U.M.: **kg/cm²**	Data esec.: 03/11/2008
Cantiere:	**La Fucina**		Data certificato: 14/11/2008
Località:	**Imola (BO)**	Pagina: 1/17	Preforo: m
		Elaborato:	Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,33	0	
0,60	43,0	63,0		43,0	1,40	31	3,3
0,80	58,0	79,0		58,0	1,07	54	1,8
1,00	54,0	70,0		54,0	1,73	31	3,2
1,20	45,0	71,0		45,0	2,20	20	4,9
1,40	51,0	84,0		51,0	4,53	11	8,9
1,60	55,0	123,0		55,0	5,73	10	10,4
1,80	95,0	181,0		95,0	6,53	15	6,9
2,00	67,0	165,0		67,0	6,60	10	9,9
2,20	55,0	154,0		55,0	4,80	11	8,7
2,40	58,0	130,0		58,0	3,67	16	6,3
2,60	46,0	101,0		46,0	5,33	9	11,6
2,80	65,0	145,0		65,0	2,87	23	4,4
3,00	69,0	112,0		69,0	2,73	25	4,0
3,20	46,0	87,0		46,0	3,47	13	7,5
3,40	42,0	94,0		42,0	1,47	29	3,5
3,60	53,0	75,0		53,0	3,07	17	5,8
3,80	30,0	76,0		30,0	2,07	14	6,9
4,00	38,0	69,0		38,0	1,60	24	4,2
4,20	35,0	59,0		35,0	1,00	35	2,9
4,40	44,0	59,0		44,0	1,13	39	2,6
4,60	33,0	50,0		33,0	3,47	10	10,5
4,80	43,0	95,0		43,0	1,47	29	3,4
5,00	33,0	55,0		33,0	2,13	15	6,5
5,20	55,0	87,0		55,0	2,73	20	5,0
5,40	55,0	96,0		55,0	1,00	55	1,8
5,60	180,0	195,0		180,0	4,93	37	2,7
5,80	136,0	210,0		136,0	1,33	102	1,0
6,00	90,0	110,0		90,0	1,87	48	2,1
6,20	116,0	144,0		116,0	1,73	67	1,5
6,40	149,0	175,0		149,0	2,33	64	1,6
6,60	135,0	170,0		135,0	2,73	49	2,0
6,80	62,0	103,0		62,0	7,13	9	11,5
7,00	228,0	335,0		228,0	6,53	35	2,9
7,20	303,0	401,0		303,0	3,20	95	1,1
7,40	210,0	258,0		210,0	2,73	77	1,3
7,60	103,0	144,0		103,0	2,67	39	2,6
7,80	100,0	140,0		100,0	1,80	56	1,8
8,00	144,0	171,0		144,0	1,40	103	1,0
8,20	130,0	151,0		130,0	11,07	12	8,5
8,40	404,0	570,0		404,0			
8,60							
8,80							
9,00							
9,20							
9,40							
9,60							

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS5**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R423-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 13/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	0,87	0	
0,60	32,0	45,0		32,0	0,93	34	2,9
0,80	47,0	61,0		47,0	2,07	23	4,4
1,00	32,0	63,0		32,0	1,80	18	5,6
1,20	31,0	58,0		31,0	1,67	19	5,4
1,40	48,0	73,0		48,0	3,27	15	6,8
1,60	54,0	103,0		54,0	4,27	13	7,9
1,80	63,0	127,0		63,0	6,67	9	10,6
2,00	116,0	216,0		116,0	6,07	19	5,2
2,20	114,0	205,0		114,0	1,33	86	1,2
2,40	121,0	141,0		121,0	6,07	20	5,0
2,60	83,0	174,0		83,0	6,40	13	7,7
2,80	100,0	196,0		100,0	6,00	17	6,0
3,00	70,0	160,0		70,0	6,07	12	8,7
3,20	55,0	146,0		55,0	3,67	15	6,7
3,40	52,0	107,0		52,0	3,87	13	7,4
3,60	31,0	89,0		31,0	3,13	10	10,1
3,80	33,0	80,0		33,0	2,13	15	6,5
4,00	28,0	60,0		28,0	1,73	16	6,2
4,20	31,0	57,0		31,0	2,40	13	7,7
4,40	25,0	61,0		25,0	1,27	20	5,1
4,60	28,0	47,0		28,0	1,87	15	6,7
4,80	29,0	57,0		29,0	1,40	21	4,8
5,00	25,0	46,0		25,0	0,60	42	2,4
5,20	37,0	46,0		37,0	1,53	24	4,1
5,40	47,0	70,0		47,0	1,53	31	3,3
5,60	80,0	103,0		80,0	1,87	43	2,3
5,80	43,0	71,0		43,0	1,73	25	4,0
6,00	46,0	72,0		46,0	1,20	38	2,6
6,20	49,0	67,0		49,0	1,20	41	2,4
6,40	40,0	58,0		40,0	1,27	31	3,2
6,60	39,0	58,0		39,0	1,27	31	3,3
6,80	36,0	55,0		36,0	1,00	36	2,8
7,00	24,0	39,0		24,0	0,73	33	3,0
7,20	26,0	37,0		26,0	5,93	4	22,8
7,40	182,0	271,0		182,0	2,93	62	1,6
7,60	231,0	275,0		231,0	5,53	42	2,4
7,80	334,0	417,0		334,0	7,40	45	2,2
8,00	310,0	421,0		310,0	11,00	28	3,5
8,20	425,0	590,0		425,0			
8,40							

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS6**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R424-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,20	0	
0,60	41,0	59,0		41,0	1,40	29	3,4
0,80	52,0	73,0		52,0	1,47	35	2,8
1,00	45,0	67,0		45,0	0,87	52	1,9
1,20	43,0	56,0		43,0	2,00	22	4,7
1,40	53,0	83,0		53,0	0,67	79	1,3
1,60	73,0	83,0		73,0	1,33	55	1,8
1,80	79,0	99,0		79,0	7,27	11	9,2
2,00	103,0	212,0		103,0	5,67	18	5,5
2,20	109,0	194,0		109,0	2,40	45	2,2
2,40	94,0	130,0		94,0	4,53	21	4,8
2,60	72,0	140,0		72,0	4,87	15	6,8
2,80	93,0	166,0		93,0	3,73	25	4,0
3,00	79,0	135,0		79,0	4,33	18	5,5
3,20	77,0	142,0		77,0	3,33	23	4,3
3,40	84,0	134,0		84,0	5,07	17	6,0
3,60	68,0	144,0		68,0	3,87	18	5,7
3,80	80,0	138,0		80,0	3,87	21	4,8
4,00	60,0	118,0		60,0	3,07	20	5,1
4,20	73,0	119,0		73,0	4,00	18	5,5
4,40	51,0	111,0		51,0	4,33	12	8,5
4,60	62,0	127,0		62,0	3,80	16	6,1
4,80	53,0	110,0		53,0	2,73	19	5,2
5,00	76,0	117,0		76,0	2,60	29	3,4
5,20	42,0	81,0		42,0	2,27	19	5,4
5,40	66,0	100,0		66,0	9,33	7	14,1
5,60	102,0	242,0		102,0	7,00	15	6,9
5,80	119,0	224,0		119,0	11,73	10	9,9
6,00	109,0	285,0		109,0	9,07	12	8,3
6,20	106,0	242,0		106,0	7,67	14	7,2
6,40	110,0	225,0		110,0	2,67	41	2,4
6,60	97,0	137,0		97,0	2,73	36	2,8
6,80	94,0	135,0		94,0	8,07	12	8,6
7,00	156,0	277,0		156,0	9,93	16	6,4
7,20	142,0	291,0		142,0	3,20	44	2,3
7,40	176,0	224,0		176,0	3,00	59	1,7
7,60	180,0	225,0		180,0	12,47	14	6,9
7,80	115,0	302,0		115,0	14,53	8	12,6
8,00	234,0	452,0		234,0	11,93	20	5,1
8,20	451,0	630,0		451,0			

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS7**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R425-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 03/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,00	0	
0,60	47,0	62,0		47,0	0,60	78	1,3
0,80	53,0	62,0		53,0	1,13	47	2,1
1,00	45,0	62,0		45,0	1,60	28	3,6
1,20	43,0	67,0		43,0	1,13	38	2,6
1,40	42,0	59,0		42,0	1,60	26	3,8
1,60	42,0	66,0		42,0	1,47	29	3,5
1,80	46,0	68,0		46,0	3,27	14	7,1
2,00	54,0	103,0		54,0	2,73	20	5,1
2,20	58,0	99,0		58,0	4,80	12	8,3
2,40	50,0	122,0		50,0	5,00	10	10,0
2,60	45,0	120,0		45,0	3,87	12	8,6
2,80	43,0	101,0		43,0	4,80	9	11,2
3,00	32,0	104,0		32,0	3,73	9	11,7
3,20	32,0	88,0		32,0	3,47	9	10,8
3,40	34,0	86,0		34,0	3,80	9	11,2
3,60	21,0	78,0		21,0	2,27	9	10,8
3,80	25,0	59,0		25,0	0,60	42	2,4
4,00	19,0	28,0		19,0	1,00	19	5,3
4,20	29,0	44,0		29,0	1,13	26	3,9
4,40	37,0	54,0		37,0	2,73	14	7,4
4,60	42,0	83,0		42,0	1,20	35	2,9
4,80	46,0	64,0		46,0	1,67	28	3,6
5,00	36,0	61,0		36,0	1,33	27	3,7
5,20	37,0	57,0		37,0	3,27	11	8,8
5,40	62,0	111,0		62,0	7,60	8	12,3
5,60	119,0	233,0		119,0	7,33	16	6,2
5,80	170,0	280,0		170,0	9,13	19	5,4
6,00	273,0	410,0		273,0	3,67	74	1,3
6,20	183,0	238,0		183,0	1,73	106	0,9
6,40	139,0	165,0		139,0	3,33	42	2,4
6,60	62,0	112,0		62,0	2,87	22	4,6
6,80	83,0	126,0		83,0	2,20	38	2,7
7,00	282,0	315,0		282,0	4,67	60	1,7
7,20	350,0	420,0		350,0	4,67	75	1,3
7,40	460,0	530,0		460,0			
7,60							
7,80							
8,00							
8,20							

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS8**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R426-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 03/11/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	0,80	0	
0,60	36,0	48,0		36,0	0,93	39	2,6
0,80	48,0	62,0		48,0	1,93	25	4,0
1,00	61,0	90,0		61,0	4,00	15	6,6
1,20	113,0	173,0		113,0	3,67	31	3,2
1,40	99,0	154,0		99,0	5,20	19	5,3
1,60	75,0	153,0		75,0	5,47	14	7,3
1,80	63,0	145,0		63,0	3,60	18	5,7
2,00	60,0	114,0		60,0	3,40	18	5,7
2,20	45,0	96,0		45,0	4,00	11	8,9
2,40	51,0	111,0		51,0	2,47	21	4,8
2,60	88,0	125,0		88,0	2,80	31	3,2
2,80	61,0	103,0		61,0	2,40	25	3,9
3,00	56,0	92,0		56,0	1,73	32	3,1
3,20	55,0	81,0		55,0	1,73	32	3,1
3,40	53,0	79,0		53,0	2,40	22	4,5
3,60	71,0	107,0		71,0	1,73	41	2,4
3,80	58,0	84,0		58,0	2,00	29	3,4
4,00	67,0	97,0		67,0	1,47	46	2,2
4,20	48,0	70,0		48,0	3,07	16	6,4
4,40	72,0	118,0		72,0	1,47	49	2,0
4,60	65,0	87,0		65,0	1,27	51	2,0
4,80	66,0	85,0		66,0	2,20	30	3,3
5,00	50,0	83,0		50,0	2,07	24	4,1
5,20	27,0	58,0		27,0	2,07	13	7,7
5,40	70,0	101,0		70,0	1,67	42	2,4
5,60	56,0	81,0		56,0	1,60	35	2,9
5,80	54,0	78,0		54,0	1,07	50	2,0
6,00	30,0	46,0		30,0	1,40	21	4,7
6,20	74,0	95,0		74,0	1,47	50	2,0
6,40	67,0	89,0		67,0	2,07	32	3,1
6,60	84,0	115,0		84,0	5,47	15	6,5
6,80	318,0	400,0		318,0	7,33	43	2,3
7,00	218,0	328,0		218,0	3,87	56	1,8
7,20	106,0	164,0		106,0	1,00	106	0,9
7,40	480,0	600,0		45,0			

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS9**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R427-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	0,47	0	
0,60	20,0	27,0		20,0	0,67	30	3,4
0,80	34,0	44,0		34,0	1,33	26	3,9
1,00	35,0	55,0		35,0	2,40	15	6,9
1,20	37,0	73,0		37,0	1,40	26	3,8
1,40	44,0	65,0		44,0	2,60	17	5,9
1,60	35,0	74,0		35,0	4,00	9	11,4
1,80	58,0	118,0		58,0	4,60	13	7,9
2,00	42,0	111,0		42,0	2,87	15	6,8
2,20	42,0	85,0		42,0	2,67	16	6,4
2,40	42,0	82,0		42,0	2,67	16	6,4
2,60	40,0	80,0		40,0	1,67	24	4,2
2,80	57,0	82,0		57,0	3,47	16	6,1
3,00	36,0	88,0		36,0	2,20	16	6,1
3,20	39,0	72,0		39,0	1,87	21	4,8
3,40	36,0	64,0		36,0	1,40	26	3,9
3,60	37,0	58,0		37,0	1,93	19	5,2
3,80	34,0	63,0		34,0	2,27	15	6,7
4,00	35,0	69,0		35,0	2,87	12	8,2
4,20	42,0	85,0		42,0	3,27	13	7,8
4,40	46,0	95,0		46,0	2,20	21	4,8
4,60	63,0	96,0		63,0	2,13	30	3,4
4,80	66,0	98,0		66,0	2,00	33	3,0
5,00	50,0	80,0		50,0	2,40	21	4,8
5,20	56,0	92,0		56,0	1,13	50	2,0
5,40	35,0	52,0		35,0	0,67	52	1,9
5,60	45,0	55,0		45,0	3,33	14	7,4
5,80	88,0	138,0		88,0	1,47	60	1,7
6,00	59,0	81,0		59,0	1,13	52	1,9
6,20	26,0	43,0		26,0	4,53	6	17,4
6,40	144,0	212,0		144,0	5,93	24	4,1
6,60	372,0	461,0		372,0	6,47	57	1,7
6,80	273,0	370,0		273,0	5,40	51	2,0
7,00	370,0	451,0		370,0	11,27	33	3,0
7,20	452,0	621,0		452,0			
7,40							
7,60							
7,80							
8,00							
8,20							

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS10**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R428-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,20	0	
0,60	60,0	78,0		60,0	1,80	33	3,0
0,80	63,0	90,0		63,0	2,87	22	4,6
1,00	53,0	96,0		53,0	2,87	18	5,4
1,20	61,0	104,0		61,0	5,20	12	8,5
1,40	73,0	151,0		73,0	7,00	10	9,6
1,60	105,0	210,0		105,0	8,13	13	7,7
1,80	131,0	253,0		131,0	8,60	15	6,6
2,00	141,0	270,0		141,0	6,87	21	4,9
2,20	114,0	217,0		114,0	6,40	18	5,6
2,40	102,0	198,0		102,0	4,40	23	4,3
2,60	99,0	165,0		99,0	4,40	23	4,4
2,80	105,0	171,0		105,0	6,20	17	5,9
3,00	76,0	169,0		76,0	5,40	14	7,1
3,20	82,0	163,0		82,0	5,13	16	6,3
3,40	72,0	149,0		72,0	5,40	13	7,5
3,60	45,0	126,0		45,0	4,33	10	9,6
3,80	51,0	116,0		51,0	2,73	19	5,4
4,00	62,0	103,0		62,0	2,47	25	4,0
4,20	64,0	101,0		64,0	2,13	30	3,3
4,40	63,0	95,0		63,0	2,13	30	3,4
4,60	60,0	92,0		60,0	1,47	41	2,5
4,80	72,0	94,0		72,0	2,27	32	3,2
5,00	61,0	95,0		61,0	1,47	41	2,4
5,20	51,0	73,0		51,0	1,47	35	2,9
5,40	64,0	86,0		64,0	1,67	38	2,6
5,60	56,0	81,0		56,0	1,87	30	3,3
5,80	61,0	89,0		61,0	2,00	31	3,3
6,00	38,0	68,0		38,0	1,53	25	4,0
6,20	21,0	44,0		21,0	1,47	14	7,0
6,40	60,0	82,0		60,0	2,20	27	3,7
6,60	132,0	165,0		132,0	7,33	18	5,6
6,80	310,0	420,0		310,0	5,40	57	1,7
7,00	370,0	451,0		370,0	7,07	52	1,9
7,20	413,0	593,0		331,0			

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS11**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R429-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,13	0	
0,60	27,0	44,0		27,0	1,47	18	5,4
0,80	32,0	54,0		32,0	1,20	27	3,8
1,00	63,0	81,0		63,0	1,40	45	2,2
1,20	78,0	99,0		78,0	2,53	31	3,2
1,40	84,0	122,0		84,0	2,87	29	3,4
1,60	62,0	105,0		62,0	3,53	18	5,7
1,80	49,0	102,0		49,0	3,47	14	7,1
2,00	97,0	149,0		97,0	6,53	15	6,7
2,20	107,0	205,0		107,0	6,33	17	5,9
2,40	87,0	182,0		87,0	4,27	20	4,9
2,60	61,0	125,0		61,0	1,87	33	3,1
2,80	77,0	105,0		77,0	3,53	22	4,6
3,00	39,0	92,0		39,0	2,00	20	5,1
3,20	54,0	84,0		54,0	2,47	22	4,6
3,40	34,0	71,0		34,0	3,00	11	8,8
3,60	29,0	74,0		29,0	1,27	23	4,4
3,80	42,0	61,0		42,0	1,60	26	3,8
4,00	28,0	52,0		28,0	1,73	16	6,2
4,20	38,0	64,0		38,0	1,00	38	2,6
4,40	40,0	55,0		40,0	1,60	25	4,0
4,60	43,0	67,0		43,0	1,33	32	3,1
4,80	44,0	64,0		44,0	1,00	44	2,3
5,00	58,0	73,0		58,0	1,53	38	2,6
5,20	64,0	87,0		64,0	2,80	23	4,4
5,40	37,0	79,0		37,0	2,33	16	6,3
5,60	84,0	119,0		84,0	1,60	53	1,9
5,80	191,0	215,0		191,0	5,40	35	2,8
6,00	123,0	204,0		123,0	1,80	68	1,5
6,20	86,0	113,0		86,0	0,80	108	0,9
6,40	226,0	238,0		226,0	0,93	243	0,4
6,60	85,0	99,0		85,0	1,47	58	1,7
6,80	49,0	71,0		49,0	0,93	53	1,9
7,00	51,0	65,0		51,0	1,40	36	2,7
7,20	75,0	96,0		75,0	1,67	45	2,2
7,40	83,0	108,0		83,0	3,27	25	3,9
7,60	352,0	401,0		352,0	7,73	46	2,2
7,80	460,0	576,0		460,0			

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS12**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R430-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola (BO)**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 30/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	1,53	0	
0,60	21,0	44,0		21,0	1,67	13	8,0
0,80	37,0	62,0		37,0	1,47	25	4,0
1,00	49,0	71,0		49,0	1,67	29	3,4
1,20	43,0	68,0		43,0	3,33	13	7,7
1,40	70,0	120,0		70,0	3,73	19	5,3
1,60	115,0	171,0		115,0	6,60	17	5,7
1,80	120,0	219,0		120,0	6,27	19	5,2
2,00	107,0	201,0		107,0	5,07	21	4,7
2,20	95,0	171,0		95,0	4,27	22	4,5
2,40	69,0	133,0		69,0	5,73	12	8,3
2,60	55,0	141,0		55,0	2,53	22	4,6
2,80	43,0	81,0		43,0	3,53	12	8,2
3,00	56,0	109,0		56,0	2,73	21	4,9
3,20	44,0	85,0		44,0	3,33	13	7,6
3,40	22,0	72,0		22,0	2,53	9	11,5
3,60	36,0	74,0		36,0	2,07	17	5,8
3,80	32,0	63,0		32,0	2,33	14	7,3
4,00	42,0	77,0		42,0	0,67	63	1,6
4,20	64,0	74,0		64,0	2,73	23	4,3
4,40	130,0	171,0		130,0	3,00	43	2,3
4,60	106,0	151,0		106,0	2,00	53	1,9
4,80	109,0	139,0		109,0	1,47	74	1,3
5,00	118,0	140,0		118,0	1,80	66	1,5
5,20	295,0	322,0		295,0	0,53	557	0,2
5,40	119,0	127,0		119,0	1,07	111	0,9
5,60	124,0	140,0		124,0	1,47	84	1,2
5,80	126,0	148,0		126,0	2,67	47	2,1
6,00	283,0	323,0		283,0	11,00	26	3,9
6,20	470,0	635,0		470,0			
6,40							
6,60							
6,80							
7,00							
7,20							
7,40							
7,60							
7,80							

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

FON032

SOGEO s.r.l.
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

n°	**PS1**
riferimento	142-1-08
certificato n°	R419-2008

Committente: **AUSILIO**
Cantiere: **La Fucina**
Località: **Imola**

U.M.: **kg/cm²**
Pagina: 1/17
Elaborato:

Data esec.: 31/10/2008
Data certificato: 14/11/2008
Preforo: m
Falda: Non rilevata

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %
0,20	0,0	0,0		0,0	0,00		
0,40	0,0	0,0		0,0	0,53	0	
0,60	27,0	35,0		27,0	0,80	34	3,0
0,80	35,0	47,0		35,0	1,33	26	3,8
1,00	32,0	52,0		32,0	1,93	17	6,0
1,20	39,0	68,0		39,0	3,53	11	9,1
1,40	45,0	98,0		45,0	5,13	9	11,4
1,60	54,0	131,0		54,0	2,40	23	4,4
1,80	46,0	82,0		46,0	4,87	9	10,6
2,00	42,0	115,0		42,0	2,73	15	6,5
2,20	45,0	86,0		45,0	3,00	15	6,7
2,40	44,0	89,0		44,0	2,53	17	5,8
2,60	68,0	106,0		68,0	2,00	34	2,9
2,80	33,0	63,0		33,0	2,33	14	7,1
3,00	25,0	60,0		25,0	1,73	14	6,9
3,20	26,0	52,0		26,0	1,27	20	4,9
3,40	33,0	52,0		33,0	1,53	22	4,6
3,60	27,0	50,0		27,0	2,13	13	7,9
3,80	27,0	59,0		27,0	2,13	13	7,9
4,00	36,0	68,0		36,0	2,13	17	5,9
4,20	26,0	58,0		26,0	1,33	20	5,1
4,40	19,0	39,0		19,0	1,13	17	5,9
4,60	17,0	34,0		17,0	2,73	6	16,1
4,80	27,0	68,0		27,0	1,20	23	4,4
5,00	23,0	41,0		23,0	1,07	21	4,7
5,20	23,0	39,0		23,0	1,53	15	6,7
5,40	22,0	45,0		22,0	1,47	15	6,7
5,60	181,0	203,0		181,0	2,07	87	1,1
5,80	67,0	98,0		67,0	4,53	15	6,8
6,00	166,0	234,0		166,0	13,40	12	8,1
6,20	263,0	464,0		263,0	12,00	22	4,6
6,40	430,0	610,0		430,0			

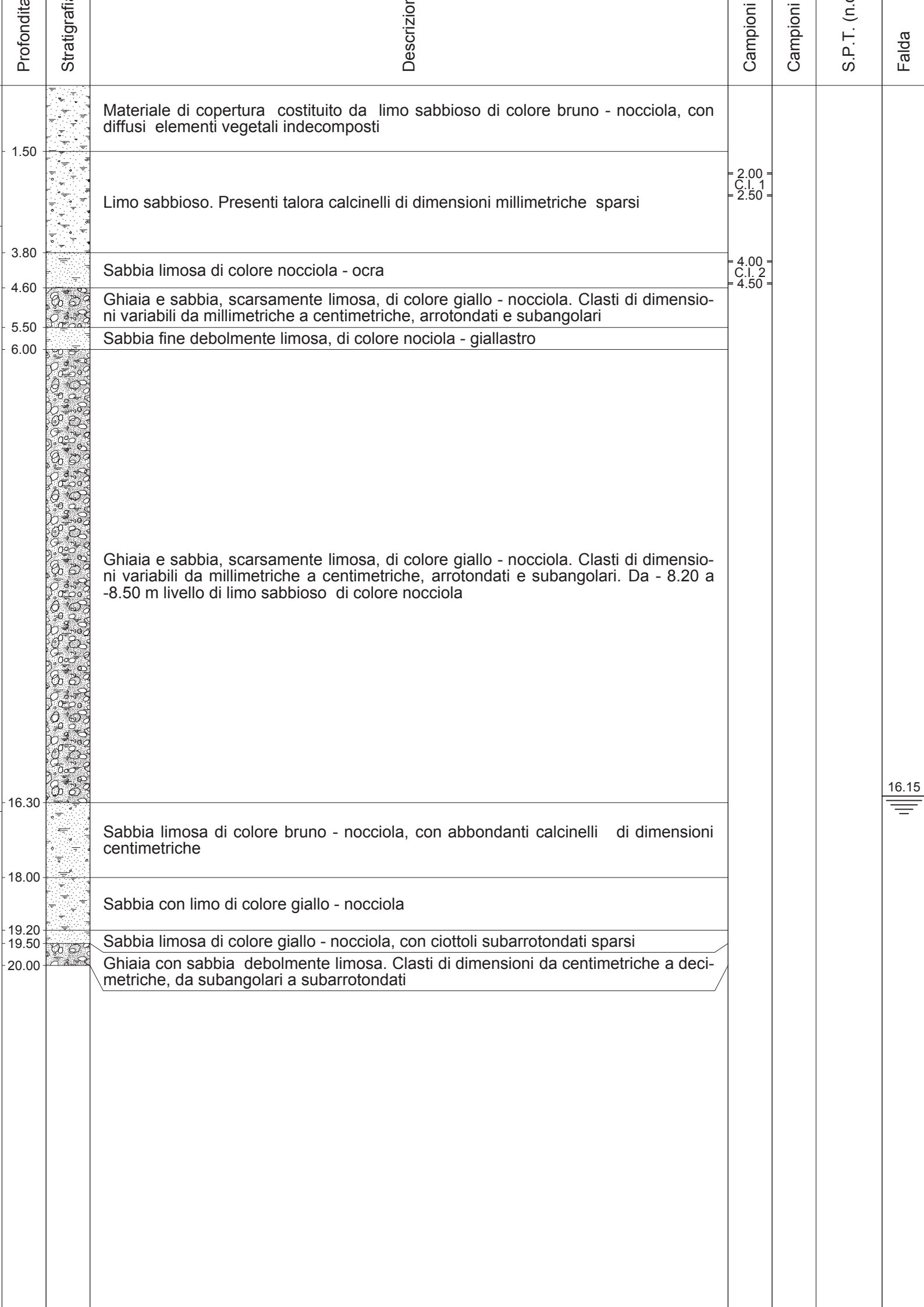
H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Fr %

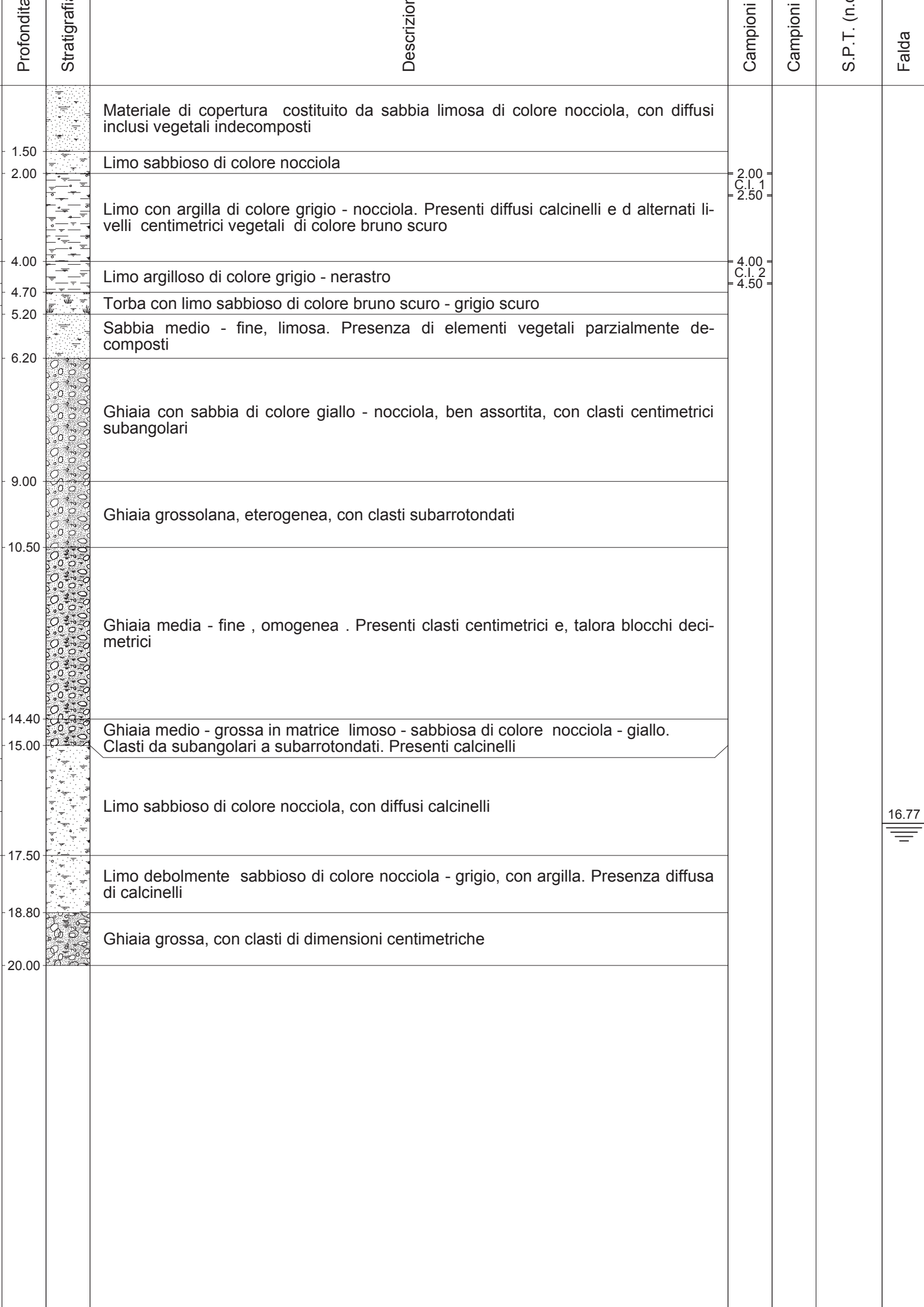
H = profondità
L1 = prima lettura (punta)
L2 = seconda lettura (punta + laterale)
Lt = terza lettura (totale)
CT =10,00 costante di trasformazione

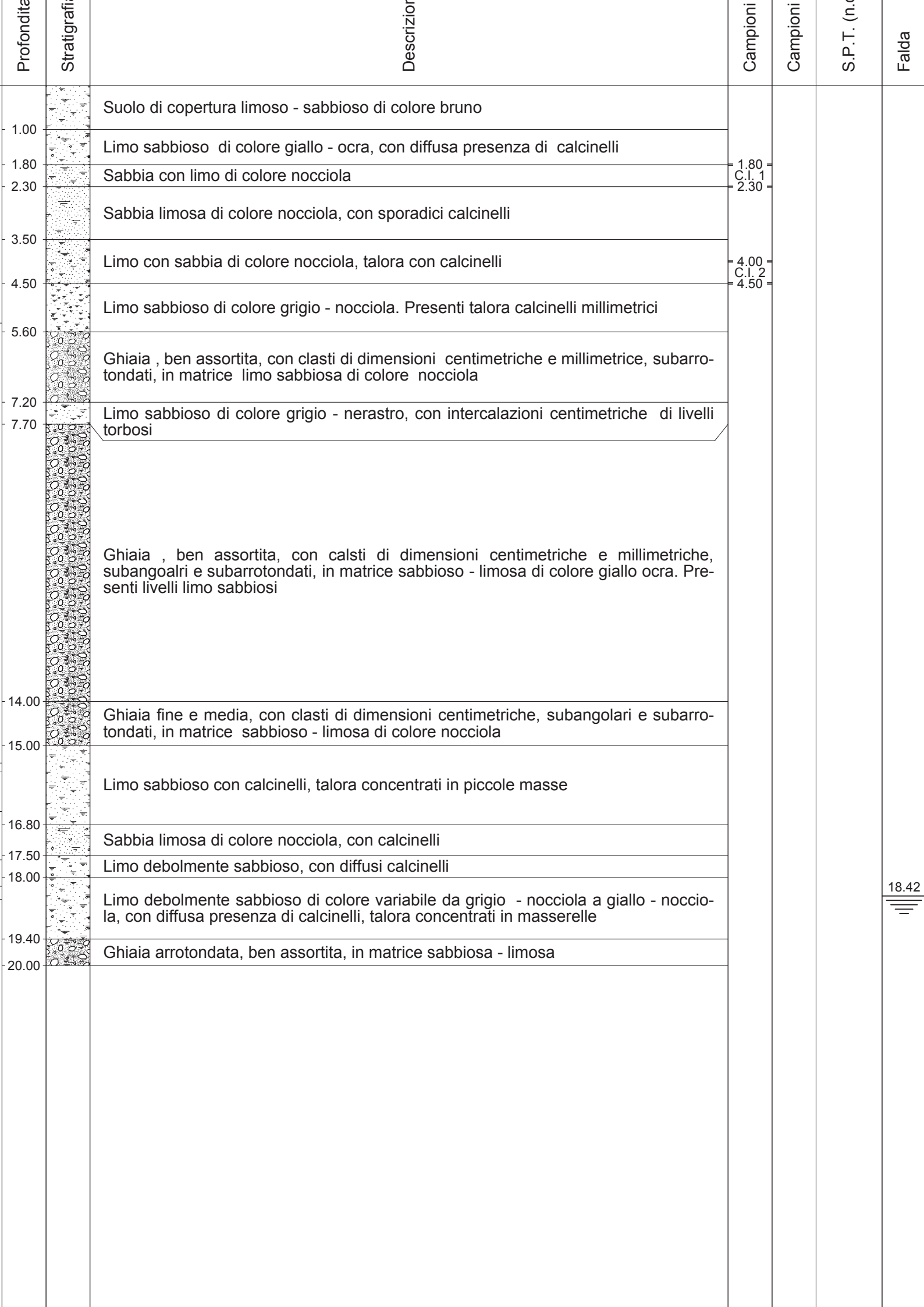
qc = resistenza di punta
fs = resistenza laterale calcolata 0.20 m sopra quota qc
F = rapporto Begemann (qc / fs)
Fr = rapporto Schmertmann (fs / qc)

FON032

Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni	S.P.T. (n.c	Falda	Pz.Norton
		Perforazione a distruzione di nucleo. Litologia desunta: argilla e limo					
3.00		Perforazione a distruzione di nucleo. Litologia desunta: limo sabbioso					
7.00		Perforazione a distruzione di nucleo. Litologia desunta: ghiaia					
15.50		Perforazione a distruzione di nucleo. Litologia desunta: limo e limo sabbioso					
19.50		Perforazione a distruzione di nucleo. Litologia desunta: ghiaia					
27.50							


Profondità
Stratigrafia
Descrizione
Campioni
Campioni
S.P.T. (n.c
Falda
Materiale di copertura costituito da limo sabbioso di colore bruno - nocciola, con diffusi elementi vegetali indecomposti
1.50
Limo sabbioso. Presenti talora calcinelli di dimensioni millimetriche sparsi
2.00
C.I. 1
2.50
3.80
Sabbia limosa di colore nocciola - ocra
4.00
C.I. 2
4.50
4.60
Ghiaia e sabbia, scarsamente limosa, di colore giallo - nocciola. Clasti di dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche, arrotondati e subangolari
5.50
Sabbia fine debolmente limosa, di colore nociola - giallastro
6.00
Ghiaia e sabbia, scarsamente limosa, di colore giallo - nocciola. Clasti di dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche, arrotondati e subangolari. Da - 8.20 a -8.50 m livello di limo sabbioso di colore nocciola
16.15
16.30
Sabbia limosa di colore bruno - nocciola, con abbondanti calcinelli di dimensioni centimetriche
18.00
Sabbia con limo di colore giallo - nocciola
19.20
19.50
Sabbia limosa di colore giallo - nocciola, con ciottoli subarrotondati sparsi
20.00
Ghiaia con sabbia debolmente limosa. Clasti di dimensioni da centimetriche a decimetriche, da subangolari a subarrotondati

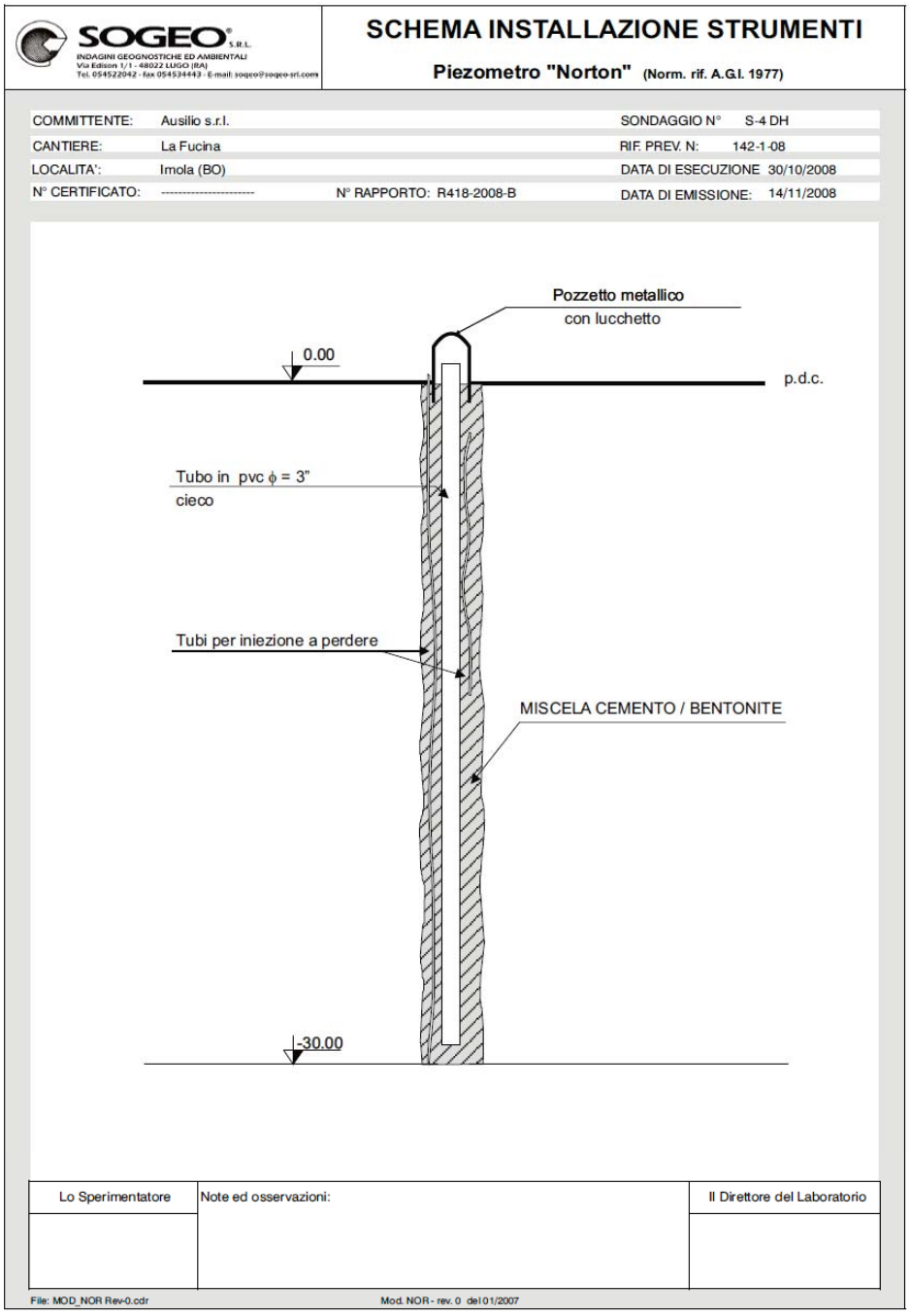

Profondità
Stratigrafia
Descrizione
Campioni
Campioni
S.P.T. (n.c
Falda
Materiale di copertura costituito da sabbia limosa di colore nocciola, con diffusi inclusi vegetali indecomposti
1.50
Limo sabbioso di colore nocciola
2.00
2.00
C.I. 1
2.50
Limo con argilla di colore grigio - nocciola. Presenti diffusi calcinelli e d alternati livelli centimetrici vegetali di colore bruno scuro
4.00
4.00
Limo argilloso di colore grigio - nerastro
C.I. 2
4.50
4.70
Torba con limo sabbioso di colore bruno scuro - grigio scuro
5.20
Sabbia medio - fine, limosa. Presenza di elementi vegetali parzialmente decomposti
6.20
Ghiaia con sabbia di colore giallo - nocciola, ben assortita, con clasti centimetrici subangolari
9.00
Ghiaia grossolana, eterogenea, con clasti subarrotondati
10.50
Ghiaia media - fine , omogenea . Presenti clasti centimetrici e, talora blocchi decimetrici
14.40
Ghiaia medio - grossa in matrice limoso - sabbiosa di colore nocciola - giallo.
15.00
Clasti da subangolari a subarrotondati. Presenti calcinelli
Limo sabbioso di colore nocciola, con diffusi calcinelli
16.77
17.50
Limo debolmente sabbioso di colore nocciola - grigio, con argilla. Presenza diffusa di calcinelli
18.80
Ghiaia grossa, con clasti di dimensioni centimetriche
20.00


Profondità
Stratigrafia
Descrizione
Campioni
Campioni
S.P.T. (n.c
Falda
Suolo di copertura limoso - sabbioso di colore bruno
1.00
Limo sabbioso di colore giallo - ocra, con diffusa presenza di calcinelli
1.80
Sabbia con limo di colore nocciola
2.30
Sabbia limosa di colore nocciola, con sporadici calcinelli
3.50
Limo con sabbia di colore nocciola, talora con calcinelli
4.50
Limo sabbioso di colore grigio - nocciola. Presenti talora calcinelli millimetrici
5.60
Ghiaia , ben assortita, con clasti di dimensioni centimetriche e millimetrice, subarrotondati, in matrice limo sabbiosa di colore nocciola
7.20
Limo sabbioso di colore grigio - nerastro, con intercalazioni centimetriche di livelli torbosi
7.70
Ghiaia , ben assortita, con calsti di dimensioni centimetriche e millimetriche, subangoalri e subarrotondati, in matrice sabbioso - limosa di colore giallo ocra. Presenti livelli limo sabbiosi
14.00
Ghiaia fine e media, con clasti di dimensioni centimetriche, subangolari e subarrotondati, in matrice sabbioso - limosa di colore nocciola
15.00
Limo sabbioso con calcinelli, talora concentrati in piccole masse
16.80
Sabbia limosa di colore nocciola, con calcinelli
17.50
Limo debolmente sabbioso, con diffusi calcinelli
18.00
Limo debolmente sabbioso di colore variabile da grigio - nocciola a giallo - nocciola, con diffusa presenza di calcinelli, talora concentrati in masserelle
19.40
Ghiaia arrotondata, ben assortita, in matrice sabbiosa - limosa
20.00
1.80
C.I. 1
2.30
4.00
C.I. 2
4.50
18.42

3.2 Prospezione sismica

All'interno del foro di carotaggio S4, in data febbraio 2006, da parte della ditta PROGEO s.r.l., è stata eseguita n° 1 prospezioni geofisiche con metodologia sismica (down hole), al fine di determinare le caratteristiche elastiche dei terreni; i moduli dinamici elastici sono correlati alle velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) per il loro modo di propagazione.

Le misure sono state effettuate in fori rivestiti con tubo in pvc del diametro interno di 3" con letture dei tempi ogni metro lineare di profondità, iniziando dal fondo del foro.



SOGEO S.R.L.

Sondaggi - Indagini geologiche e geotecniche

CENTRO COMMERCIALE "LA FUCINA"

INDAGINI GEOFISICHE

INDAGINI DOWN HOLE
SONDAGGIO S4
RELAZIONE TECNICA

Impresa esecutrice delle indagini

PROGEO

PROGEO S.r.l.
Via Talete 10/8
47100 Forlì
tel. 0543 723580
fax. 0543 721486
Email: Progeo@tin.it

CERMET
SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO
REG. N. 2619 - A
UNI EN ISO 9001 - 2000

DATA: Febbraio 2006

IL DIRETTORE TECNICO PER L'IMPRESA
Dott. Gabriele Pulelli

ORDINE DEI GEOLOGI
Dott. Geol. GABRIELE PULELLI
N. 496
REGIONE EMILIA-ROMAGNA

INDICE

1. INDICAZIONI GENERALI 3

2. NORMATIVA ANTISISMICA 3

3. PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE 5

3.1. Modalità operative 5
3.1.1. Sorgente di energia 5
3.1.2. Apparato di ricezione 5
3.1.3. Operazioni di campagna 6
3.1.4. Acquisizione dati 6

3.2. Elaborazione dati 7
3.2.1. Down hole tomografico 7
3.2.2. Down hole differenziale (cross correlazione) 10

3.3. Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici 12

3.4. Elaborati prove down hole 15

4. CONCLUSIONI 16

SOGEO
LUGO (RA)

CENTRO COMMERCIALE
"LA FUCINA"
IMOLA (BO)

INDAGINE GEOFISICA IN FORO
CON TECNICA DOWN HOLE
SONDAGGIO S4

1. INDICAZIONI GENERALI

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico i materiali sedimentari su cui si dovranno erigere le nuove strutture del centro commerciale "La Fucina" è stata realizzata a scopo integrativo una indagine geofisica in foro con tecnica down hole.

L' indagine down hole è stata effettuata, fino alla profondità accessibile alla strumentazione (30 m), nel foro di sondaggio denominato S4.

Per la prova in foro con tecnica down hole è stata utilizzata una sonda Progeo realizzata in materiale plastico nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due triplette di ricevitori (uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 6 ricevitori) determinando così ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione, per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

Le indagini geofisiche sono state finalizzate quindi, in funzione della classificazione del suolo di fondazione della struttura, alla determinazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione (Vp) e delle onde di taglio (Vsh) per ricavare moduli e parametri elastici dinamici (Elasticità Edin, Taglio Gdin, Compressibilità Kdin, Coefficiente di Poisson ν).

2. NORMATIVA ANTISISMICA

La caratterizzazione dei materiali in oggetto, vista l'elaborazione su tutta la profondità delle onde di taglio S, può quindi soddisfare anche i requisiti relativi all'entrata in vigore della nuova normativa antisismica (P.C.M. – Ordinanza n° 3341 del 14 settembre 2005 e successive modifiche) come classificazione dei terreni locali.

Nel particolare, l'oggetto della norma qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al § "Categorie di suolo di fondazione" si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di Vs_{30} cioè del valore medio della velocità delle onde di taglio fino a 30 metri di profondità e comunque fino alla profondità significativa.

Riportiamo di seguito il paragrafo 5 d'interesse dell'ordinanza suindicata riferito ai ponti (analogo paragrafo è quello al cap. 3 riferito agli edifici).

2.1 Categorie di suolo *di fondazione*

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs_{30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica N SPT > 50, o coesione non drenata c_u>250 kPa).

C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs_{30} compresi tra 180 e 360 m/s (15 < N SPT < 50, 70 <c_u<250 kPa).

D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs_{30} < 180 m/s (N SPT < 15, c_u <70 kPa).

E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs_{30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs_{30} > 800 m/s.

S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di Vs_{30} < 100 m/s (10 < c_u < 20 kPa)

S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

Nelle definizioni precedenti Vs_{30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di Vs_{30} , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di NSPT.

3. PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

3.1. Modalità operative

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.

3.1.1. Sorgente di energia

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive similari; il generatore usato e denominato "Hammer Blow" è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.

3.1.2. Apparato di ricezione



L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso; tale apparato ha la possibilità di essere orientato sul piano orizzontale mediante l'utilizzo di "aste in alluminio" (vedasi foto allegata a fianco).

Tale apparato (sonda 3D) è formato da due gruppi di sensori composti ciascuno da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali; l'interdistanza fra i due gruppi è di 1 m. (vedasi foto a lato).

Oltre alla sonda calettata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo affinché tutti gli impulsi sismici siano in fase ed utilizzabili per le correzioni nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo tomografico.

Tali geofoni risultano superflui nel caso in cui si intraprenda l'iter elaborativo di tipo differenziale, cioè per ogni ordinata o step di misura, in quanto è sufficiente determinare, per

differenza tra i tempi sismici di propagazione (Δt) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

3.1.3. Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 6 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

3.1.4. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.02 millisec) tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

canale 1	-	segnale del geofono orizzontale superiore direzione ortogonale	(H2)
canale 2	-	segnale del geofono orizzontale inferiore direzione ortogonale	(H2)
canale 3	-	segnale del geofono orizzontale superiore direzione parallela	(H1)
canale 4	-	segnale del geofono orizzontale inferiore direzione parallela	(H1)
canale 5	-	segnale del geofono verticale superiore	(V)
canale 6	-	segnale del geofono verticale inferiore	(V)

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 5 sia sul geofono del canale 6 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Analogamente per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

3.2. Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati down hole può essere sviluppato secondo due differenti modalità:

- down hole tomografico,
- down hole differenziale.

3.2.1. Down hole tomografico

Si sviluppa fondamentalmente in due fasi.

1) Elaborazione sismogrammi:

- display sismogrammi,
- convoluzione,
- lettura first break (realizzazione dromocrone per analisi down hole).

2) Elaborazione delle sezioni down-hole:

- analisi delle velocità – generalizzazione tempo-profondità,
- routine di ottimizzazione,
- routine per trasferimento dati in un sistema C.A.D.

Esprimendo in parole i punti sopraindicati si può affermare che una volta ottenute le velocità delle onde di compressione (Vp) e di taglio (Vs) entro i fori vengono calcolate tramite programmi all'elaboratore le distribuzioni areali di Vp e Vs ottimizzando l'elaborazione mediante assemblaggio delle risultanze di una multiplicità di registrazioni sismiche e tramite trasformazioni dei dati da valori numerici ad informazioni grafiche per plot delle risultanze.

Come si è visto il procedimento elaborativo si sviluppa fondamentalmente in due fasi: la prima è relativa allo studio delle tracce sismiche, la seconda riguarda lo studio delle velocità Vp e Vs lungo la verticale del foro.

Vengono riportati qui di seguito i principali step dell'elaborazione dove viene fatta una differenziazione del materiale in celle unitarie (una cella per ogni sensore).

Preprocessing

In questa fase si utilizzano sia programmi originali all'elaboratore sia routine sviluppate dalla I.C.I. (Interactive Concepts Incorporated) distribuite dal Kansas Geological Survey.

a) Traduzione tracce sismiche

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello dei programmi elaborativi.

b) Gathering dei canali 1, 2, 3 e 4

Fase di preprocessing nella quale vengono riunite le tracce omologhe dei sismogrammi acquisiti in un unico file di dati: si realizzano pertanto n° 4 file, ognuno dei quali rappresenta la raccolta di tutte le tracce corrispondenti.

Gather 1 traccia 1 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie=riferimento "T_0" per correzioni time break)

Gather 2 traccia 2 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale V nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)

Gather 3 traccia 3 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H1 nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)

Gather 4 traccia 4 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H2, ortogonale all'H1 nella sonda 3D, alle varie profondità nel foro)

c) Analisi dei singoli gather

Viene effettuata l'analisi del gather 1 onde ricavare, traccia per traccia, la correzione da apportare, in millisecondi alle corrispondenti tracce 2, 3 e 4 (della stessa profondità) relative ai diversi shot effettuati in ciascun foro per investigare l'intera profondità.

L'analisi, che si sviluppa con criteri statistici, definisce un termine di riferimento 0 e gli spostamenti positivi o negativi di ciascuna traccia.

d) Analisi spettrale (F.F.T.)

Vengono realizzate le analisi spettrali in frequenza (Fast Fourier Transform) di alcune tracce campione relative ai gather 2, 3 e 4 a finestre sia nei settori con rumore di fondo sia in quelli con segnale utile (onda P e onda S).

Note queste frequenze fondamentali si procede alla costruzione di appositi filtri digitali per ridurre il rumore di fondo ed esaltare i segnali utili.

e) Stacking canali 3 e 4

Somma dei canali 3 e 4 (orizzontali) con rotazione dell'asse di vibrazione lungo la direzione della massima fase coerente.

Il procedimento viene realizzato mediante elaborazioni statistiche con ricerca automatica delle massime fasi coerenti delle onde di taglio (S).

Si ottiene pertanto un nuovo file di dati (canale 5) delle onde di taglio.

f) First break peak canali 2 e 5

Lettura dei primi arrivi dell'onda di compressione P e di taglio S. Nei nuovi files di dati creati al punto b) e al punto e) dall'assemblaggio delle varie tracce sismiche vengono considerati i files dei canali 2 (assemblaggio onde P) e dei canali 5 (assemblaggio onde S).

g) Muting

Operazione che riduce il segnale sismico dal tempo 0 al time break letto sulle singole tracce al passo (f) e che accentua visivamente i primi arrivi. Viene così ridotto il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo non eliminabile dall'operatore in fase di filtraggio (punto c) in quanto caratterizzato dalle stesse frequenze del segnale utile.

h) Plot

Stampa finale delle tracce sismiche relative alle onde di compressione e di taglio.

Processing tomografico

Questo consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S. Per l'analisi di questi dati vengono utilizzati programmi al calcolatore di utilità, originali della Progeo.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti ulteriori step.

i) Definizione della geometria della ricerca

- coordinate del sensore in pozzo (3D),
- posizionamento punto di shot.

l) Input tempi di arrivo onde P e onde S

Realizzazione dei file dei dati relativi ai tempi di arrivo delle onde P ed S associate alle coordinate spaziali delle stazioni di misura.

m) Input modello di velocità

In base alle conoscenze stratigrafiche e sismiche vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il ray tracing (step n).

n) Ray tracing

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità definiti allo step m).
Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

- anisotropia ellittica (massima velocità in senso verticale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (500)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

o) Definizione dei parametri di calcolo

Il programma utilizzato necessita, per il calcolo della sezione in profondità lungo la verticale del foro e in funzione dei valori di velocità , dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia (1 cella ogni m)
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (verticale)
- numero di iterazioni (500)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, sufficientemente stabile e che converge velocemente verso i valori sperimentali.

p) Analisi delle risultanze

Queste vengono inizialmente valutate dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input.In base a tali valori possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione.Si passa in seguito all'analisi delle velocità intergeofoniche relative alle onde P ed S dalla quale si ricava un modello di velocità più adeguato (a tale modello si farà riferimento in seguito come velocità intervallari).Il calcolo riprende perciò dallo step m) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

q) Predisposizione tabelle e grafici dei dati

I dati calcolati al punto p) vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

r) Conversione in immagini computerizzate

La prospezione down hole con elaborazione tomografica si concretizza nella definizione di celle analitiche elementari; per ogni cella il valore della velocità tomografica rappresenta il valore medio risultante dei valori differenziali relativi a tutti i tragitti elementari dei raggi di investigazione che attraversano la cella considerata.La determinazione delle celle elementari che definiscono la rappresentazione tomografica deriva dalle variazioni dei parametri cinematici Vp e Vs in funzione del grado di consistenza differenziata del materiale.

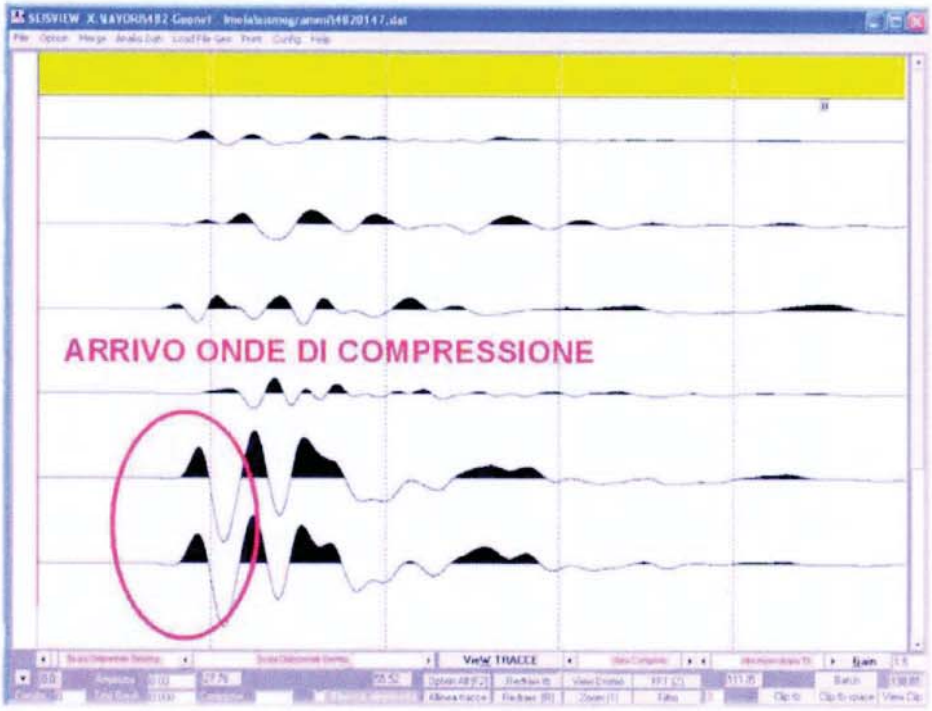
3.2.2. Down hole differenziale (cross correlazione)

In questo caso specifico si è utilizzata questa tecnica elaborativa perché è stato possibile utilizzare in foro una sonda ricevente con spaziatura intergeofonica di 1 metro la quale, grazie anche al ridotto intervallo di campionamento (0.020 millisecondi) consentito dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE consente di determinare per partizioni discrete direttamente nel tratto interessato i valori cinematici differenziali.

La valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio è stata effettuata mediante Cross Correlazione di cui si riporta un esempio alla pagina successiva.

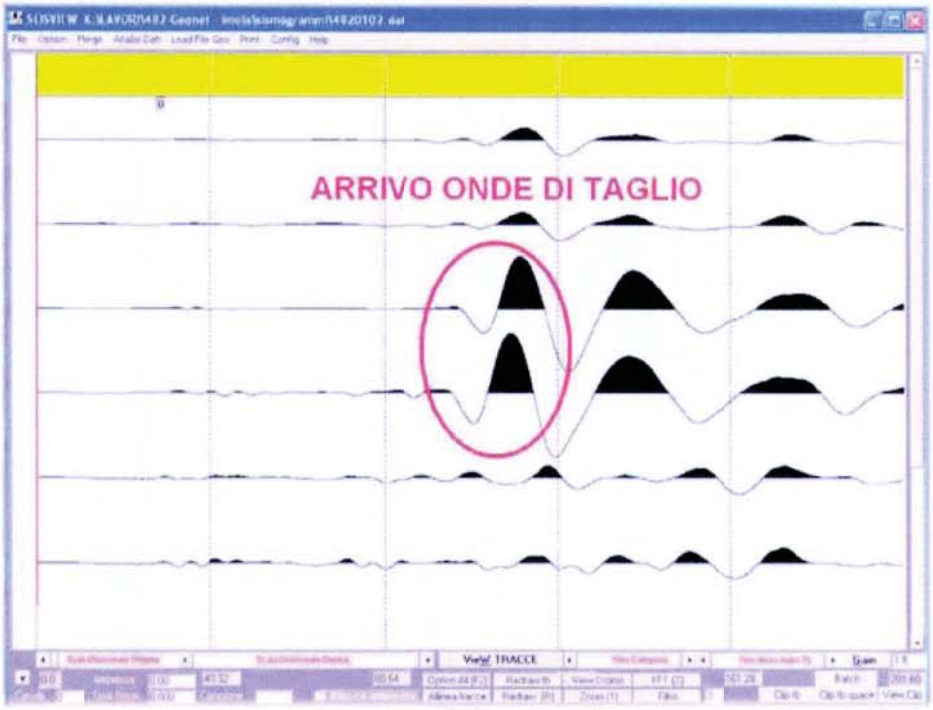
Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.

Questa metodologia è indicata e sufficientemente precisa per la valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P; nell'immagine sottostante si ha un esempio di quanto indicato.

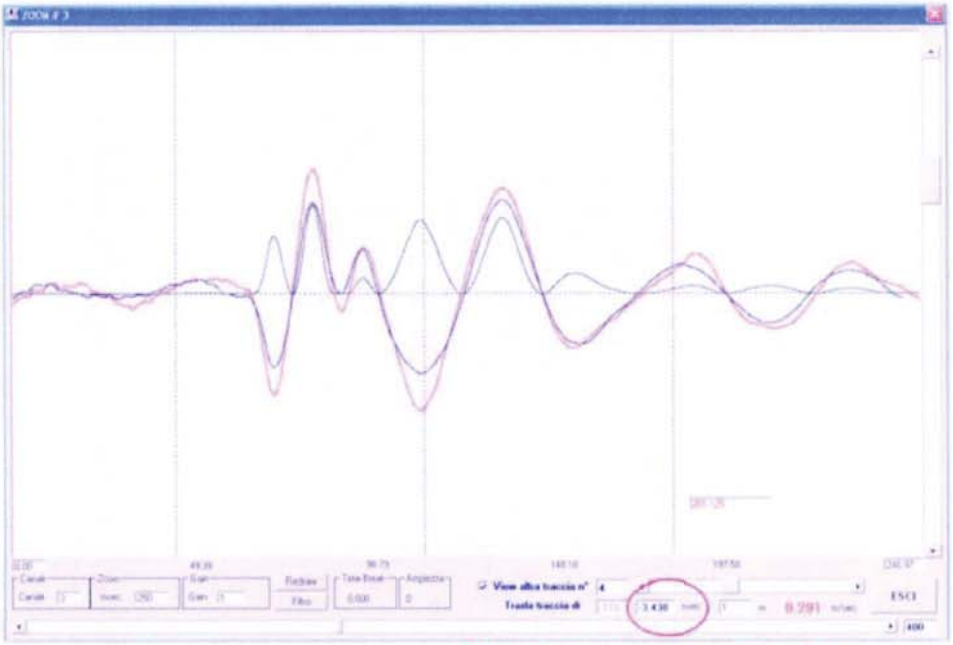


Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz - 1983-) e si determina così il valore del tempo differenziale fra le due tracce omologhe.

Nell'immagine sottostante si evidenzia il primo arrivo delle onde di taglio fra le tracce sismografiche relative ai geofoni dei canali 3 e 4.



Una volta individuato il primo arrivo dell'onda di taglio (con procedura analoga per le onde di compressione) si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare la massima verosimiglianza tra le tracce dei canali indicati nelle tabelle dei down hole riportate alle pagine precedenti. Tale tecnica in pratica consiste nel valutare il "ritardo" di arrivo dell'onda di compressione e/o di taglio fra il geofono inferiore e quello superiore valutando unicamente su base sismografica il valore di tempo che intercorre fra i due arrivi; qui di seguito è riportato un esempio di tale tecnica elaborativa.



Differenziale tempi onde di taglio
fra canale 3 e canale 4

3.3. Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici

Dopo aver inserito nel programma elaborativo le geometrie di ricerca (distanza punto di energizzazione in superficie, coordinate della sonda in profondità) ed elaborato per ciascun canale di ricezione i tempi di arrivo dell'energia sismica prodotta dalla superficie topografica e registrata sulla verticale del punto di indagine secondo la tecnica down hole differenziale (cross correlazione), sono state realizzate tabelle e diagrafie (per step di misura di metro) relative ai parametri sismici cinematici Vp e Vs ed ai corrispondenti moduli elastici dinamici che si possono ottenere dalle interrelazioni che collegano le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio.

Infatti, per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, può essere opportuno fornire al Committente altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) che la prova down hole è in grado di fornire contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):

- Coefficiente di Poisson	(ν)	
- Peso di volume	(γ_{din})	in t/m³
- Modulo di Elasticità dinamico	(E_{din})	in Kg/cm²
- Modulo di Taglio dinamico	(G_{din})	in Kgcm²
- Modulo di Compressibilità dinamico	(K_{din})	in Kgcm²

Il *Coefficiente di Poisson (v)*, noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

Coefficiente di Poisson

$$\nu = \frac{Vp^2 - 2 \cdot Vs^2}{2 \cdot (Vp^2 - Vs^2)}.$$

Il *Peso di volume* (γ_{din}) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

Peso di volume $\gamma_{din} = 0.51 \cdot Vp_{m/sec}^{0.19}$ (γ_{din} in T/m³).

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

Densità geofisica $\delta_{din} = \frac{\gamma}{g}$ (g = 9.8 – accelerazione di gravità m/sec),

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale* E_{din} definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione Vp, della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

Modulo di Elasticità $E_{din} = Vp^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1+v)\cdot(1-2v)}{(1-v)}$ (E_{din} in Kg/cm²).

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità* G_{din} definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio Vs e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

Modulo di Taglio $G_{din} = \delta_{din} \cdot Vs^2$ (G_{din} in Kg/cm²).

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

Modulo di Compressibilità $K_{din} = \frac{E_{din}}{3\cdot(1-2\cdot v)}$ (K_{din} in Kg/cm²).

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Il modulo di taglio G_{din}, oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di G_{din} dei due strati):

Rigidità sismica $$R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}$$ (**R** in t/(m²*sec))

Periodo proprio $$T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}}$$ (**T** in sec)

Rapporto di Impedenza $$\lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}}$$ (λ adimensionale)

Il modulo di compressibilità K_{din} o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico B o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità C_c.

Tutti questi parametri elastici infine possono essere utilizzati per l'applicazione del metodo degli elementi finiti a problemi geotecnici.

Tali metodi offrono notevoli vantaggi rispetto ai metodi di calcolo tradizionali come ad esempio:

- l'opera geotecnica può avere una forma qualsiasi;
- nel calcolo si può tener conto del comportamento non lineare sia del terreno sia della struttura;
- è possibile effettuare simulazioni per ottimizzare la costruzione dell'opera d'arte anche in condizioni sismiche.

Mediante la prova down hole potrà altresì essere caratterizzato il sito d'indagine in corrispondenza del sondaggio meccanico secondo le classi di terreno previste dalla nuova normativa sismica (P.C.M. - Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 e successive modifiche, vedasi precedente paragrafo 2) fino alle profondità raggiunte dalla prova stessa (Vs_{30} solo se la prova raggiungerà tale profondità).

3.4. Elaborati prove down hole

Nella documentazione down hole riportata al termine della presente relazione sono presentate in 2 tavole distinte le tabelle numeriche e i grafici (log) relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati. Nell'ordine e in dettaglio sono riportati in ciascuna delle 2 tavole:

Tabelle

Nella prima tavola è rappresentata la tabella numerica dei parametri geofisici intergeofonici rilevati ogni metro di profondità mediante tecnica down hole differenziale (cross correlazione).
Più in dettaglio, sono riportati in tabella numerica i seguenti dati distinti per colonna:

1. Profondità (m);
2. V_p velocità onde di compressione (m/sec);
3. V_s velocità onde di taglio (m/sec);
4. μ coefficiente di Poisson;
5. γ peso di volume (t/m³);
6. E_{din} modulo di elasticità dinamico -Young- (kg/cm²);
7. G_{din} modulo di taglio dinamico (kg/cm²);
8. K_{din} modulo di compressibilità dinamico (kg/cm²)

A lato della tabella numerica sono riportati i log di velocità delle onde di taglio (in rosso) e delle onde di compressione (in verde); le scale delle diagrafie sono in m/sec.

Grafici

Nella seconda tavola sono rappresentati i grafici dei parametri elastici dinamici relativi ai valori di velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) nonché ai valori dei moduli elastici dinamici (elasticità o di Young, taglio, compressibilità) e del coefficiente di Poisson; i log dei valori rilevati ogni metro di profondità lungo la verticale del foro sono riportati nel seguente ordine:

- velocità onde P e onde S;
- coefficiente di Poisson;
- modulo di elasticità E_{din};
- modulo di taglio G_{din};
- modulo di compressibilità K_{din}.

4. CONCLUSIONI

Per il progetto del centro commerciale "La Fucina" di Imola (Bo), a seguito della imminente entrata in vigore della nuova normativa antisismica (P.C.M. – Ordinanza n° 3341 del 14 settembre 2005 e successive modifiche) si sono eseguite indagini geofisiche per valutare le caratteristiche elastiche e di consistenza del sottosuolo in esame.

Le indagini geofisiche sono consistite nella realizzazione di una prova in foro eseguita con tecnica down hole e spinta fino alla profondità massima raggiungibile dalla strumentazione (30 m) nel sondaggio geognostico S4 realizzato allo scopo. L'indagine in oggetto ha consentito di ottenere una distribuzione nel sottosuolo, con partizioni ogni metro, delle velocità delle onde di taglio S nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna.

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi soddisfare i requisiti relativi alla entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale.

Alla luce di quanto suesposto e dall'analisi della prova down-hole nel sondaggio S4 risulta che i terreni di fondazione appartengono alla categoria di suolo **C** (vedasi il precedente paragrafo 2.1 per la definizione delle classi secondo la normativa suddetta).

E' stato calcolato il valore di Vs_{30} a partire da 1 metro dal piano campagna fino a fondo foro (30 m); tale valore è di **253 m/sec** e, come prescrive la legge, rientra nella classificazione del terreno secondo la classe **C.**

PROGEO
Dott. Gabriele Pulelli

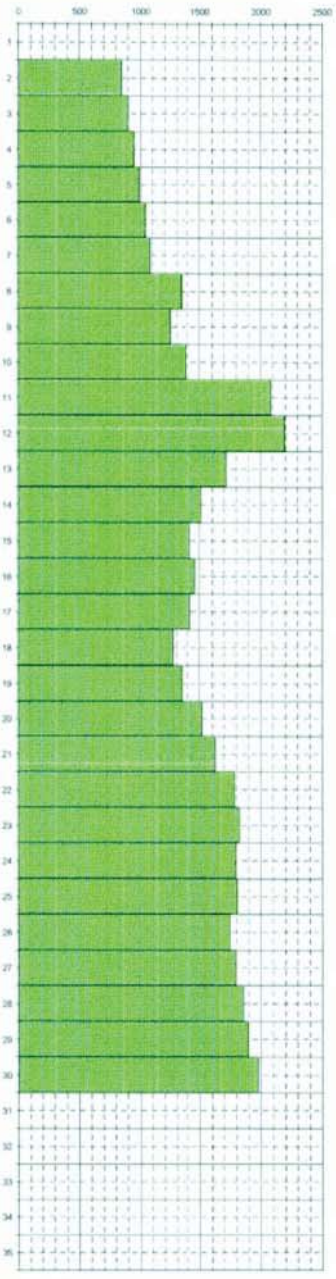
COMMITTENTE	SOGEO
CONO SISMICO	S4
Località	IMOLA
Data acquisizione	21/11/08

Codice lavoro 769/2006

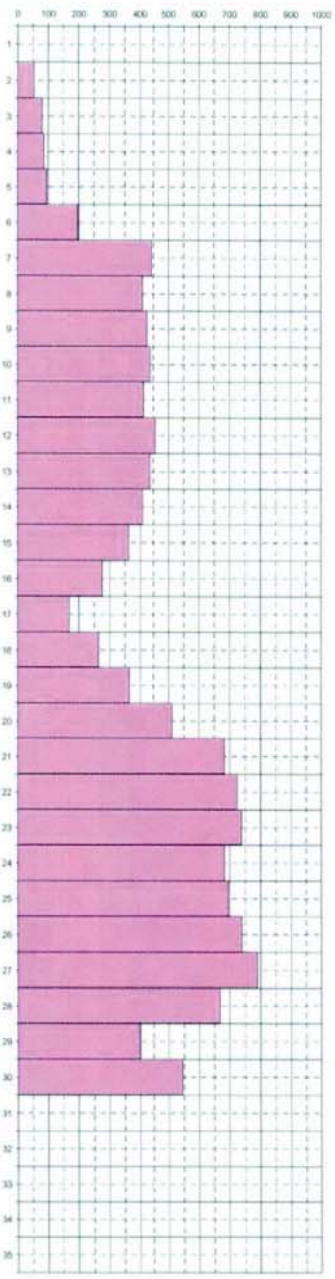
PROGEO s.r.l.

Profondità	Vp	Vs	ν	γ	Edin	Gdin	Kdin
	m/sec	m/sec		T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²
0							
1							
2	844	52	0.50	1.83	152	51	13266
3	903	79	0.50	1.86	358	119	15288
4	948	85	0.50	1.88	412	138	17000
5	986	93	0.50	1.89	502	168	18504
6	1044	196	0.48	1.91	2220	749	20242
7	1080	441	0.40	1.92	10674	3812	17799
8	1339	409	0.45	2.00	9908	3420	32072
9	1247	423	0.44	1.98	10326	3597	26532
10	1386	432	0.45	2.02	11114	3843	34355
11	2081	411	0.48	2.18	11098	3750	91148
12	2194	456	0.48	2.20	13789	4667	101726
13	1715	432	0.47	2.10	11710	3994	57609
14	1511	408	0.46	2.05	10147	3473	43066
15	1413	362	0.46	2.02	7919	2703	37581
16	1461	277	0.48	2.04	4706	1588	42187
17	1420	167	0.49	2.03	1714	574	40846
18	1268	265	0.48	1.98	4193	1419	30624
19	1343	364	0.46	2.00	7921	2712	33229
20	1518	512	0.44	2.05	15741	5481	40889
21	1625	683	0.39	2.08	27511	9877	42743
22	1784	724	0.40	2.12	31677	11302	53552
23	1823	738	0.40	2.12	33023	11776	56248
24	1793	682	0.42	2.12	28416	10038	55997
25	1804	695	0.41	2.12	29497	10439	56398
26	1742	739	0.39	2.11	32588	11720	49506
27	1793	789	0.38	2.12	37046	13422	51486
28	1854	667	0.43	2.13	27531	9655	61782
29	1892	398	0.48	2.14	10199	3453	73443
30	1974	545	0.46	2.16	19015	6517	76952
31							
32							
33							
34							
35							

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



Legenda parametri dinamici

Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ	Peso di volume	T/m³
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	Edin	Modulo di Elasticità dinamico	Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	Gdin	Modulo di Taglio dinamico	Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	Kdin	Modulo di Compressibilità dinamica	Kg/cm²
ν	Coefficiente di Poisson				

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI P.C.M. n° 3341 del 14/09/2005)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Vs_{30} = 253 m/sec

G_0 = 1321 Kg/cm²

CATEGORIA SUOLO = C

STUDIO GEOLOGICO AMBIENTALE
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
Via P Mascagni 3 40026 Imola BO
Tel. 0542/684648 cell. 334/2075125
Indagini Geologiche e Ambientali

CITTA' DI IMOLA
PERMESSO DI COSTRUIRE N° 25 DEL 29/6/17
Termine per l'inizio lavori: un anno dalla data del permesso
Termine per l'ultimazione: tre anni dalla data del permesso

IL DIRIGENTE
Servizio Pianificazione,
Edilizia Privata e Ambiente
Arch. Michele Zanelli

CITTA' DI IMOLA
ARRIVO
- 5 LUG. 2016
SERVIZIO EDILIZIA PRIVATA
E AMBIENTE

RELAZIONE SULL'INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA ESEGUITA PER L'AMBITO URBANO CONSOLIDATO AUC_B COMPARTO N127: CA' NOVA BELVEDERE VIA ASCARI - IMOLA

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA-ROMAGNA
DOTT. MAURIZIO CASTELLARI
GEOLOGO SEZ.A
N. 564 ALBO P.*

Committenti:
Sig. Tampieri Claudio
Sig ra Baldazzi Maria
Via Galvano della Volpe 2
Imola

Imola 03 marzo 2016

COMUNE DI IMOLA

OPERE DI URBANIZZAZIONE
in area AUC_B
Ambito N127 - CA' NOVA BELVEDERE
Via Alberto Ascari, Via Dei Colli - Imola
PERMESSO DI COSTRUIRE CONVENZIONATO

Codici: **2016**	**Elab. n.** DG07
Data: **30 Giugno 2016**	**Revisione:** A

Dott. Maurizio Castellari Via P Mascagni 3 40026 Imola (BO) Tel 334 2075125 - 0542 684648
mail: castellari.geo@gmail.com P. Iva 01508931209 C. F. CSTMRZ60R01E289N

Sommario

1 Premessa 3
2 Inquadramento geologico regionale 5
2.1 Inquadramento geologico strutturale 5
2.2 Inquadramento geologico 7
3 Stratigrafia 10
3.1 Settore appenninico 10
3.1.1 –Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico 10
3.1.2 Argille azzurre (fAA) (cfr ril in 254 e 238) 11
3.1.3 Sabbie di Imola (IMO) (cfr sabbie gialle di Imola, auctt) 13
3.2 Settore di pianura 15
3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura 16
4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali 18
4.1 Supersintema emiliano-romagnolo 18
4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI) 18
4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES) 24
4.2.1 Subsintema di Bazzano (AES6) 26
5 Associazioni di facies 28
5.1 Depositi alluvionali 28
5.1.1 Ghiaie di canale fluviale 28
5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale 29
5.1.3 Limi e argille di piana inondabile 29
6 Inquadramento geologico 30
7 Prove penetrometriche 33
8 Litologia e caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni 34
9 PROGETTAZIONE GEOTECNICA 34
9.1 Approccio 2 37
10 CARATTERISTICHE EDIFICATORIE 41
11 CALCOLO DEI CEDIMENTI 42
12 SISMICITA' DELL' AREA 43
12.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HTMR 45
13 CONCLUSIONI 53

1 Premessa

Su incarico dei Sig.ri Tampieri Claudio Baldazzi Maria residenti in Via Galvano della Volpe 2 in Comune di Imola , è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica per l'Ambito Urbano Consolidato AUC_B Comparto n127: Ca' Nova Belvedere in via Ascari, in Comune di Imola, come da planimetria allegata, intesa ad accertare alcune caratteristiche geomeccaniche dei terreni su cui dovranno effettuarsi gli interventi come da progetto.

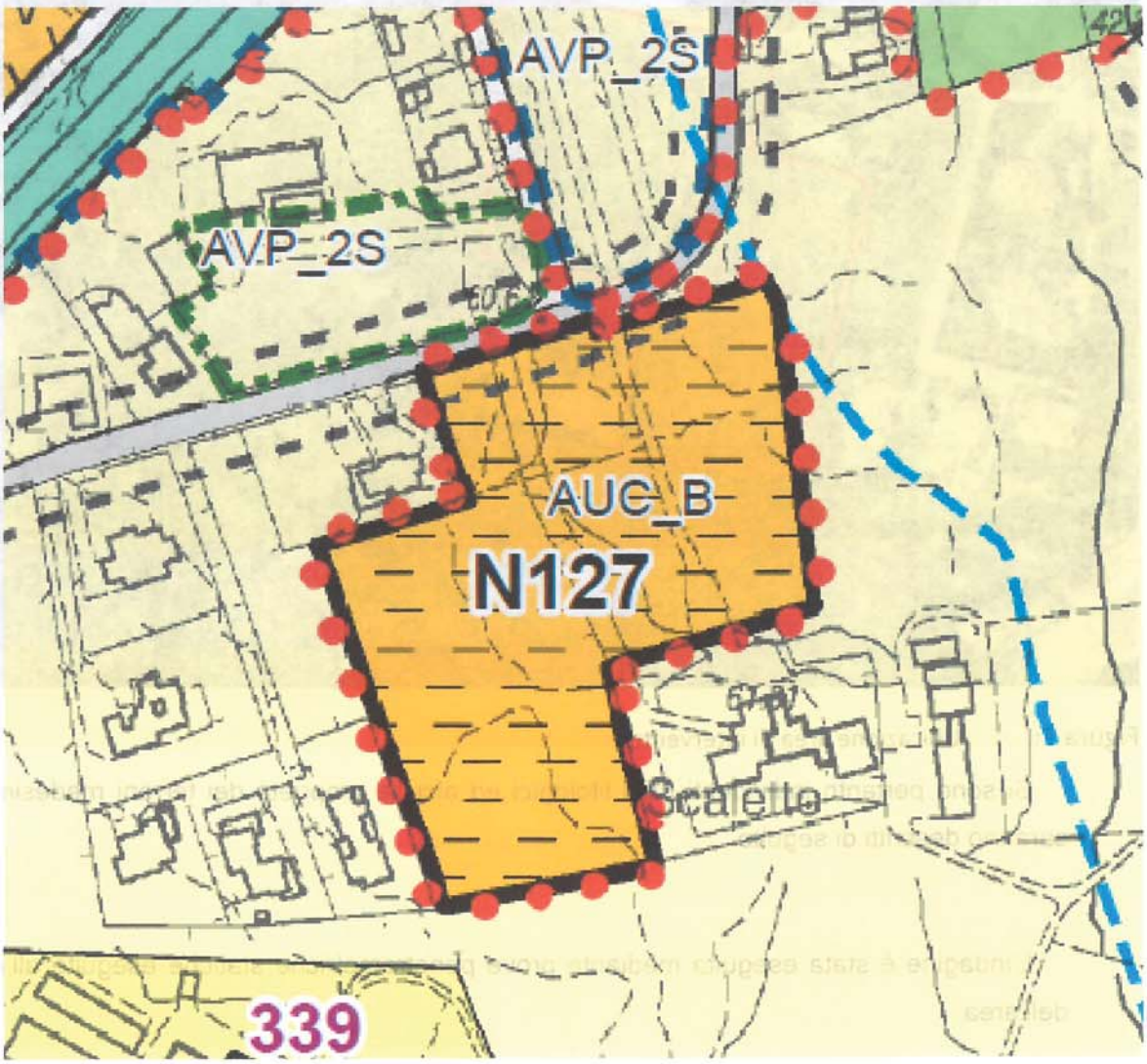


Figura 1: Planimetria dell'area estratta dal RUE



Figura 2: Ubicazione area di intervento

Si sono pertanto individuati i tipi litologici ed alcune proprietà dei terreni medesimi, che saranno descritti di seguito.

L'indagine è stata eseguita mediante prove penetrometriche statiche eseguite all'interno dell'area.

In planimetria (Allegato 1.) è indicata l'area di intervento.

In Allegato 2. sono indicati i punti d'esecuzione delle prove penetrometriche.

In Allegato 3. sono riportati i diagrammi di resistenza dei terreni.

2 Inquadramento geologico regionale

2.1 Inquadramento geologico strutturale

Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedeapenninic Thrust Front o PTF (Boccaletti et al., 1985). Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985), separa la catena in via di sollevamento a sud da un'area fortemente subsidente a nord.

Le ricerche condotte dall'AGIP nel corso degli ultimi decenni hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano mediante l'interpretazione di profili sismici (Pieri & Groppi, 1981; Dondi et al., 1982; Castellarin et al., 1985; Dondi & D'Andrea, 1986; Dalla et al., 1992). Recentemente, sulla base di criteri stratigrafico-sequenziali, Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Regione Lombardia & ENI-Divisione Agip (2000) hanno suddiviso il Bacino Padano in sette sequenze deposizionali, delimitate a base e a tetto da superfici di inconformità e da superfici correlative di continuità stratigrafica (figura 1). Queste sequenze, i cui limiti marcano importanti fasi di ristrutturazione del bacino nel corso dell'orogenesi, con denudamento delle aree marginali e incremento della subsidenza in quelle centrali, mostrano un grado di deformazione progressivamente decrescente dal basso verso l'alto, con valori minimi in corrispondenza della successione medio e tardoquaternaria.

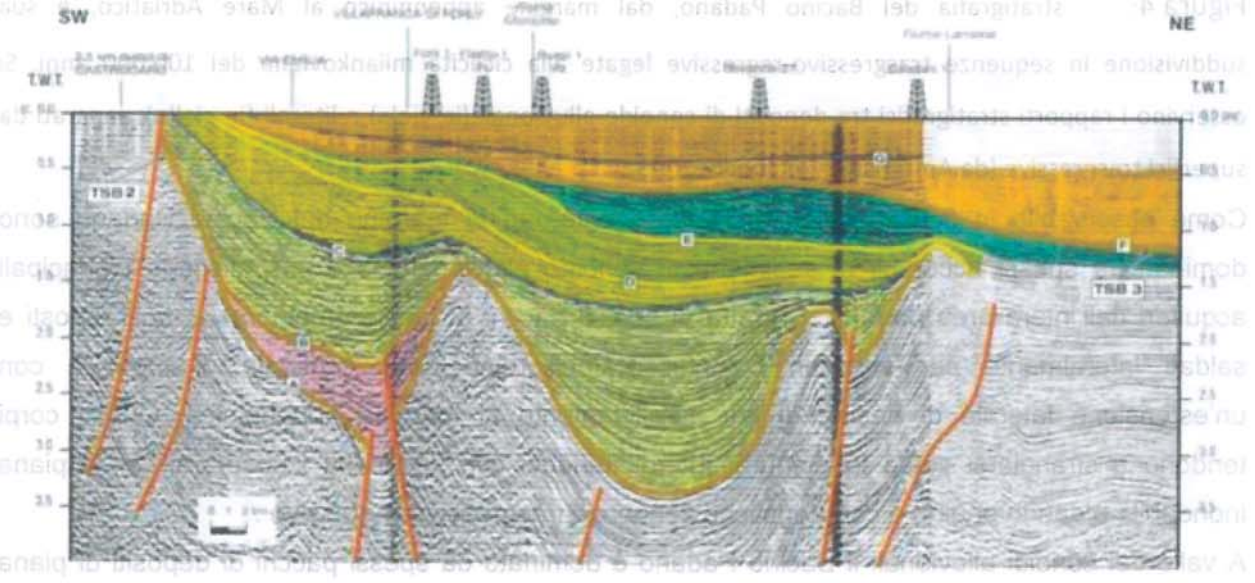


Figura 3: sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità "G" in figura 1) consente una buona preservazione dei rapporti originari

tra facies all'interno dei depositi datati agli ultimi 400.000 anni. Ricostruzioni stratigrafiche e sedimentologiche di dettaglio all'interno di questa sequenza, basate sullo studio di sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 200m, hanno messo in luce come una ciclicità deposizionale alla scala milankoviana, definita dall'alternanza di cicli glaciale/interglaciale di circa 100.000 anni di durata, rappresenti il principale elemento di controllo dell'architettura stratigrafica (Amorosi et al., 2004; Amorosi & Colalongo, 2005), permettendo l'attribuzione delle superfici trasgressive a successivi episodi interglaciali (stadi isotopici dell'ossigeno 1, 5e, 7, 9 e 11 in Fig. 2 - Amorosi & Colalongo, 2005).

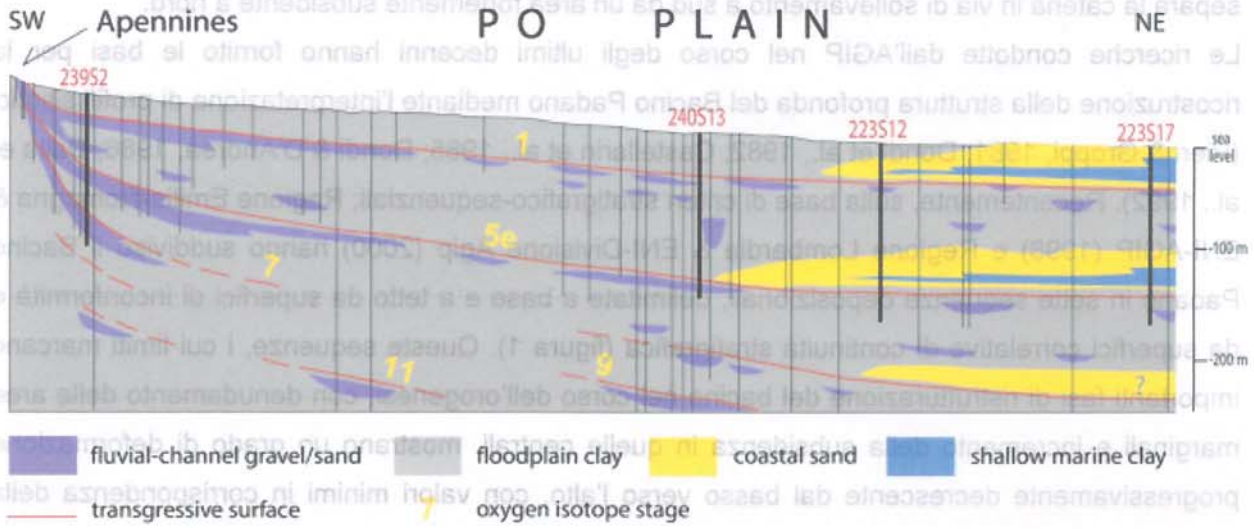


Figura 4: stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale(in viola) e litorali (in giallo), separati da superfici trasgressive (da Amorosi & Colalongo, 2005).

Come osservabile in figura 2, i depositi tardoquaternari al margine del Bacino Padano sono dominati da spessi accumuli di sedimenti di conoide alluvionale, che costituiscono i principali acquiferi dell'intera area padana. Si tratta di spessi pacchi di ghiaie amalgamate, sovrapposti e saldati lateralmente per spessori complessivi dell'ordine delle centinaia di metri e con un'estensione laterale di decine di km parallelamente al margine appenninico. Questi corpi tendono a sfrangiarsi verso la pianura, interdigitandosi con sedimenti limoso-argillosi di piana inondabile e dando origine a caratteristiche sequenze trasgressivo-regressive .

A valle dei conoidi alluvionali il Bacino Padano è dominato da spessi pacchi di depositi di piana inondabile, che si interpongono tra i corpi di conoide alluvionale ed un secondo sistema di acquiferi, legato all'attività del Fiume Po. La piana costiera, infine, presenta caratteristici corpi sabbiosi cuneiformi di spiaggia, derivanti dalla migrazione della linea di costa verso terra durante le

maggiori pulsazioni trasgressive, seguita dalla progradazione dei sistemi costieri (delta e spiagge) durante le successive fasi di stazionamento alto del livello del mare (figura. 2).

2.2 Inquadramento geologico

Il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano; la porzione sud-occidentale, pari a circa il 40%, è costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo mentre la maggior parte del foglio, nord-orientale, appartiene alla Pianura Padana

Le unità geologiche affioranti nel settore appenninico appartengono alla Successione Umbro-Marchigiano-Romagnola (da qui in avanti UMR), alla Successione evaporitica messiniana e alla Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Si tratta di successioni che non hanno subito importanti traslazioni orizzontali e perciò ritenute autoctone. Le successioni affioranti si immergono a monoclinale, piuttosto regolarmente, verso nord-est e in pianura sono ricoperte dai depositi alluvionali padani (fig. 2).

Per la regolare immersione verso nord-est, l'età delle formazioni affioranti è sempre più giovane procedendo da sud-ovest verso nord-est.

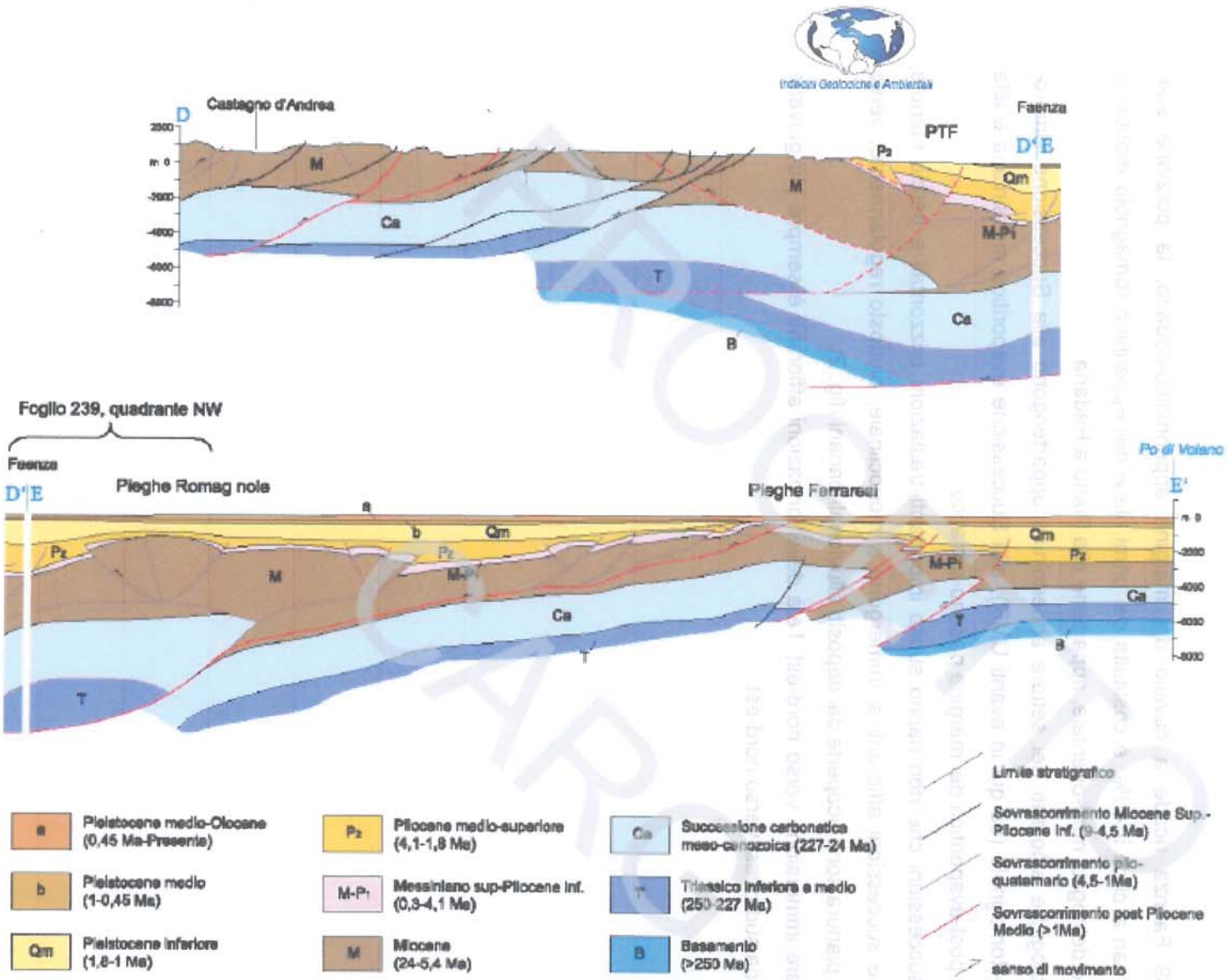


Fig. 2 - *Sezione geologico-strutturale dal crinale dell'Appenino tosco-romagnolo al Po (da* BOCCALETTI *et alii*, 2004).

Arealmente la maggior estensione delle unità appenniniche affioranti è rappresentata dai terreni plio-pleistocenici, mentre la maggiore caratterizzazione dei rilievi è dovuta alla "vena del gesso" messiniana, che per la sua peculiarità lito- logica caratterizza in modo evidente da un lato gli aspetti naturalistici, quali ad esempio geositi e clima, dall'altro gli insediamenti umani e la storia dell'area

Altra particolarità di questo foglio è, per le unità appenniniche, la notevole estensione dei depositi marini pleistocenici, di solito scarsamente rappresentati nei fogli limitrofi.

L'unità stratigrafica affiorante più antica è la Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola (FMA), di cui il Membro di Dovadola (Tortoniano inferiore) costituisce nel foglio in esame l'unità stratigraficamente più bassa mentre la parte alta è rappresentata dal Membro di Borgo Tossignano (Tortoniano superiore) che rappresenta la fine della sedimentazione torbiditica nell'avanfossa miocenica.

Il passaggio al Messiniano presenta iniziali condizioni di mare aperto (ambiente epibatiale dell'unità Ghioli di Letto, GHL) a cui fa seguito il graduale abbassamento relativo del livello del mare che porta all'instaurarsi di bacini confinati caratterizzati da forte evaporazione, fino ad ambienti di "sabka" in cui si è sedimentata la Formazione della Vena del Gesso (VGS) Dopo la crisi di salinità del Messiniano si instaurano condizioni di lago-mare e laguna, testimoniati dai depositi della Formazione a Colombacci (FCO) (ricci Lucchi et alii, 1982)

Le unità messiniane, tuttavia, sono qui rappresentate da una successione incompleta per la presenza di una superficie inconforme che oblitera di frequente i termini più alti quali la FCO, mentre forti disturbi tettonici in destra del torrente Sintria (un affluente di destra del torrente Senio), alterano il passaggio dai depositi fini appartenenti a GHL e VGS.

Un contatto paraconcordante separa i depositi continentali e di laguna appartenenti a FCO da quelli francamente marini delle Marne di Cella (CEA) e di avanfossa appartenenti alle Argille Azzurre (FAA) di età compresa tra il Pliocene basale, età delle Marne di Cella, e la parte alta del Pleistocene inferiore, tetto delle Argille Azzurre Per tutta la durata del Pliocene si mantengono condizioni di sedimentazione bacinali; tuttavia, nel Pliocene Medio, si depositano anche sedimenti legati a locali condizioni euxiniche (litofacies tripolacea, FAAtr) e depositi clastici organogeni

Dal Pleistocene inferiore si instaura un trend marcatamente regressivo; entro i depositi di FAA si osserva infatti un graduale passaggio da condizioni di scarpata continentale ad ambienti litorali, come evidenziato dalle peliti di Terra del Sole (FAAts) Nell'area del foglio è stato inoltre descritto, per la prima vol- ta, un ulteriore ciclo trasgressivo-regressivo (Arenarie e Argille di Savignano) al tetto di FAA, attribuito alla parte terminale del Pleistocene inferiore (Amorosi et alii, 1998b; Vaiani, 2000) e correlato con le Arenarie e Argille di Savignano (FarabegoLi, 1987), già descritte nel Foglio 256 Rimini (2005) Al di sopra di questi sedimenti con una superficie discordante erosiva su FAAts e localmente sulle Arenarie e Argille di Savignano si hanno le Sabbie di Imola (Amorosi et

alii, 1998a). Si tratta di depositi medio pleistocenici, essenzialmente litorali, che costituiscono le unità marine più alte del margine appenninico.

La successione marina è troncata al tetto dai depositi ghiaiosi e sabbiosi alluvionali del Supersintema Emiliano-Romagnolo di età Pleistocene medio- Olocene. Questi depositi sono presenti in lembi discontinui nelle valli appenniniche, dove corrispondono a depositi di terrazzi intravallivi, mentre occupano interamente il settore di pianura del foglio 239.

3 Stratigrafia

Come descritto nell'inquadramento geologico, il Foglio 239 Faenza ricade a cavallo del margine appenninico-padano. La maggior parte del foglio è costituita dai depositi alluvionali della Pianura Padana che costituiscono il Supersintema Emiliano-Romagnolo; solo nella porzione sud-occidentale, costituita dai primi rilievi dell'Appennino romagnolo, sono presenti esposizioni in cui è possibile studiare, direttamente in affioramento, le unità geologiche marine che costituiscono il foglio.

Nel settore collinare affiorano soprattutto formazioni marine, costiere, lagunari e transizionali le cui età sono comprese tra il Tortoniano inferiore ed il Pleistocene medio. Nelle valli appenniniche e nel settore del margine catena- pianura tali depositi vengono ricoperti dai depositi alluvionali (Supersintema Emiliano-Romagnolo) che costituiscono la parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Nella descrizione delle unità litostratigrafiche si procederà seguendo l'ordine deposizionale, dai termini più antichi ai più recenti.

Come già accennato, per i diversi criteri di riconoscimento, descrizione e cartografia, i terreni continentali e quelli marini saranno descritti separatamente nei due sottocapitoli "settore appenninico" e "settore di pianura"

Per quanto riguarda il settore appenninico si prenderanno inconsiderazione solo le unità della parte alta della Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico in quanto sono quelle che interagiscono con i depositi alluvionali della pianure e con le aree di alimentazioni dei pozzi oggetto di quest'indagine.

3.1 Settore appenninico

3.1.1 –Successione post-evaporitica del margine padano-adriatico

Questa successione comprende tutti i depositi successivi alla crisi di salinità del Messiniano, costituiti, in questo foglio, dalle Marne di Cella del Pliocene inferiore, dalle Argille azzurre del Pliocene inferiore-Pleistocene inferiore, dalle Sabbie di Imola del Pleistocene medio e dai depositi alluvionali del Pleistocene medio-Olocene (Superisintema Emiliano-Romagnolo).

3.1.2 Argille azzurre (fAA) (cfr ril in 254 e 238)

Rappresentano i due terzi degli affioramenti del territorio collinare, che caratterizzano con estese forme calanchive.

Questi terreni sono rappresentati da argille e argille marnose grigie e grigio - azzurre in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o per nulla visibili per bioturbazione e/o scarsa classazione granulometrica, con rari strati arenacei sottili risedimentati e lamine siltose

Sono stati distinti diversi membri e litozone, descritti di seguito: membro dello Spungone (**fAA3**), la litozona tripolacea (**fAAtr**) la litozona arenacea (**fAAa**) e le peliti di Terra del Sole (**fAAts**)

Nella parte alta sono presenti due lenti di ghiaia spesse alcuni metri ed estese al massimo 150 metri, non distinte in carta, affioranti in località Ca' Creta, nel T Samoggia

Sono sempre presenti i microfossili, mentre i macrofossili tendono a concentrarsi in panchine o appaiono sparsi un po' ovunque.

L'ambiente di sedimentazione è quindi di scarpata continentale con locali passaggi a piattaforma continentale esterna

La potenza totale della formazione affiorante è di circa 1 200 metri

Il limite inferiore è graduale ed eteropico con CEA, oppure netto e discordante o paraconcordante su FCO e VGS

Il limite superiore è netto con SVG e discordante con IMO o con i depositi alluvionali

La microfauna a foraminiferi planctonici e bentonici è generalmente abbondante e diversificata É possibile osservare la presenza dei principali bioeventi plio-pleistocenici riportati in fig 1 Ciò consente di riconoscere la successione di tutte le biozone a foraminiferi planctonici dalla zona *a Globorotalia margaritae* del Pliocene Inferiore alla zona a *Neogloboquadrina pachyderma* sin del Pleistocene inferiore In assenza del marker zonale, l'attribuzione dei sedimenti basali della formazione alla zona a *Sphaeroidinellopsis* spp non è sicura

Le microfaune bentoniche, pur con locali notevoli variazioni entro l'unità, presentano una relativa abbondanza di *Cibicidoides kullenbergi*, *Cibicidoides spp* , *Brizalina spp* , *Bulimina spp* , *Globobulimina spp* , *Gyroidinoides altiformis, Gyroidinoides soldanii, Gyroidinoides spp* , *Miliolidae, Planulina arimi- nensis, Sphaeroidina bulloides e Uvigerina spp e sono indicative di un ambiente di scarpata continentale La locale presenza, in particolare nella parte alta della formazione, di elevate frequenze di Cassidulina laevigata carinata, Bulimina marginata e Textularia spp sono ritenute indicative di oscillazioni verso batimetrie più superficiali (piattaforma continentale esterna).*

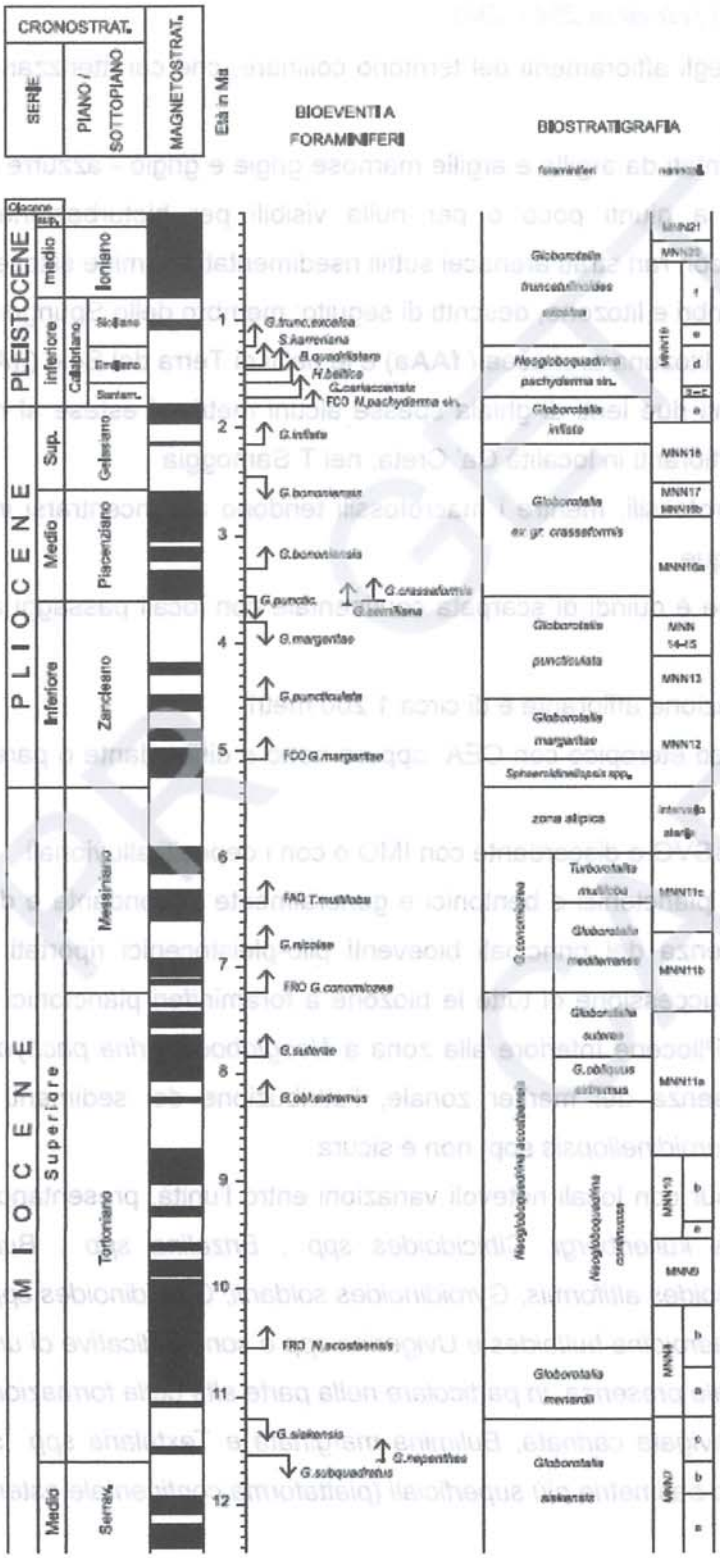


Fig. 1 - *Schema stratigrafico del Foglio 239.*

3.1.3 *Sabbie di Imola (IMO) (cfr sabbie gialle di Imola, auctt)*

L'unità è presente su un ampio settore del margine appenninico a partire dalla destra del fiume Santerno, fino alla sinistra del fiume Montone, essa rappresenta la più recente tra le unità marine dell'Appennino Settentrionale.

Questa unità è stata recentemente oggetto di un dettagliato studio di terreno corredato da numerose analisi biostratigrafiche e petrografiche (Amorosi *et alii*, 1998a) In questo lavoro all'interno delle Sabbie di Imola sono stati riconosciuti due cicli deposizionali: il ciclo inferiore è costituito da sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia; il ciclo superiore è formato da una porzione inferiore prevalentemente argillosa di piana alluvionale, alla quale si sovrappongono in trasgressione delle sabbie di spiaggia simili a quelle sottostanti, ma generalmente meno ghiaiose. Il limite tra i cicli è una superficie di discontinuità marcata dal contatto brusco tra le sabbie di spiaggia sottostanti e peliti di piana alluvionale

In Amorosi *et alii* (1998a), a tale suddivisione in cicli deposizionali viene fatta corrispondere una suddivisione in membri e il quadro litostratigrafico proposto è il seguente: IMO1 (membro di Monte Castellaccio), corrispondente alle sabbie e ghiaie del ciclo basale; IMO2 (membro di Fossoveggia), corrispondente alle argille delle parte bassa del secondo ciclo; IMO3 (membro di Castel San Pietro) corrispondente alle sabbie di tetto del secondo ciclo

Nel foglio 239 le Sabbie di Imola sono costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi, di ambiente costiero e subordinatamente da peliti di piana alluvionale o laguna costiera

Il limite basale sulle argille plio-pleistoceniche è un contatto netto con discordanza angolare, che individua una superficie di discontinuità di carattere regionale. Anche il limite superiore è marcato da una discontinuità regionale che sovrappone i depositi quaternari continentali alle Sabbie di Imola

Età: parte inferiore del Pleistocene medio, Ioniano (Amorosi *et alii*, 1998a)

3.1.3.1 *Membro di Monte Castellaccio (IMO1)*

É costituito da sabbie ed arenarie poco cementate fini finissime e subordinata- mente medie e grossolane di colore giallo in strati amalgamati. Presenti livelli ghiaiosi in strati da sottili a spessi che si rilevano prevalentemente nel settore in destra del torrente Marzeno e sono costituiti da ghiaie poco cementate, prevalentemente fini, frequentemente silicee. Tali livelli ghiaiosi sono generalmente presenti verso la porzione alta di questa unità. Presenti a tratti intercalazioni pelitiche costituite da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui

L'analisi micropaleontologica ha evidenziato associazioni a foraminiferi e ostracodi rimaneggiate da unità antiche o trasportate da ambienti marini più profondi; sono inoltre localmente segnalate ostracofaune ipoaline alla base del membro (Amorosi *et alii,* 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e delta conoide, lo spessore massimo di poche decine di metri.
Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA

3.1.3.2 Membro di Fossoveggia (IMO2)

L'unità è presente unicamente nel settore in destra del torrente Marzeno, dove si pone geometricamente in posizione intermedia tra i due membri sopra e sottostanti Il membro di Fossoveggia è costituito da limi ed argille prevalenti di colore grigio azzurro e subordinatamente giallastro, a stratificazione mal visibile con subordinate intercalazioni decimetriche di sabbie pelitiche. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali; presenti paleosuoli Le microfaune osservate sono costituite da ostracodi salmastri (*Cyprideis torosa*) e ipoalini, appartenenti principalmente al genere *Candona* (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e palude, lo spessore massimo è di una decina di metri circa
Contatto inferiore netto su IMO1 e FAA

3.1.3.3 Membro di Castel San Pietro (IMO3)

Questa unità è stata riconosciuta solamente in pochi affioramenti posti in destra idrografica del torrente Marzeno Essa è costituita da sabbie ed arenarie poco cementate fini e finissime di colore giallo, in strati amalgamati, alternate a rari livelli pelitici costituiti da sottili livelli di argille marnose biancastre e grigio-verdi lateralmente discontinui, strati decimetri di peliti sabbiose A tratti, nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee. Le rare microfaune osservate sono costituite unicamente da foraminiferi e ostracodi rimaneggiati e trasportati (Amorosi *et alii*, 1998a) L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia e di delta conoide
La distinzione tra questa unità e IMO1 è resa possibile grazie alla presenza del livello fine costituito da IMO2 che è sempre presente, anche se in alcuni casi (esempio Monte Vescovado) con uno spessore non cartografabile, e dal fatto che l'unità in questione contiene complessivamente un minor volume di ghiaie.
Lo spessore massimo è di alcune decine di metri Contatto inferiore eteropico su IMO2.

3.2 Settore di pianura

L'evoluzione sedimentaria plio-quaternaria del bacino padano registra una generale tendenza "regressiva", identificata al margine appenninico da ricci Lucchi et alii (1982), da depositi marini di ambiente progressivamente meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una chiara superficie d'inconformità di significato regionale da parte di questi autori ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quaternaria affiorante al margine appenninico, portando all'identificazione di due cicli sedimentari principali (fig. 3), uno marino (Qm) e uno continentale (Qc). La superficie di discontinuità che separa i cicli Qm e Qc è stata successivamente identificata da regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) anche nel sottosuolo della Pianura Padana (fig. 2), in corrispondenza del limite tra il Supersintema del Quaternario Marino (corrispondente al ciclo Qm di Ricci Lucchi et alii, 1982) e il sovrastante Supersintema Emiliano-Romagnolo (equivalente del ciclo Qc).

La successione quaternaria continentale del pedeappennino emiliano-romagnolo comprende da un lato l'insieme dei depositi alluvionali terrazzati affioranti nelle piane intravallive dei fiumi e torrenti appenninici e, dall'altro, i depositi di conoide e piana alluvionale della pianura antistante. La base della successione è marcata in affioramento da una superficie d'inconformità, associata a una discordanza angolare, che separa i depositi alluvionali del ciclo Qc dai sottostanti depositi marini, i cui termini più recenti sono costituiti da sabbie litorali (Sabbie di Imola o sequenza Qm3b di Amorosi et alii, 1998a).

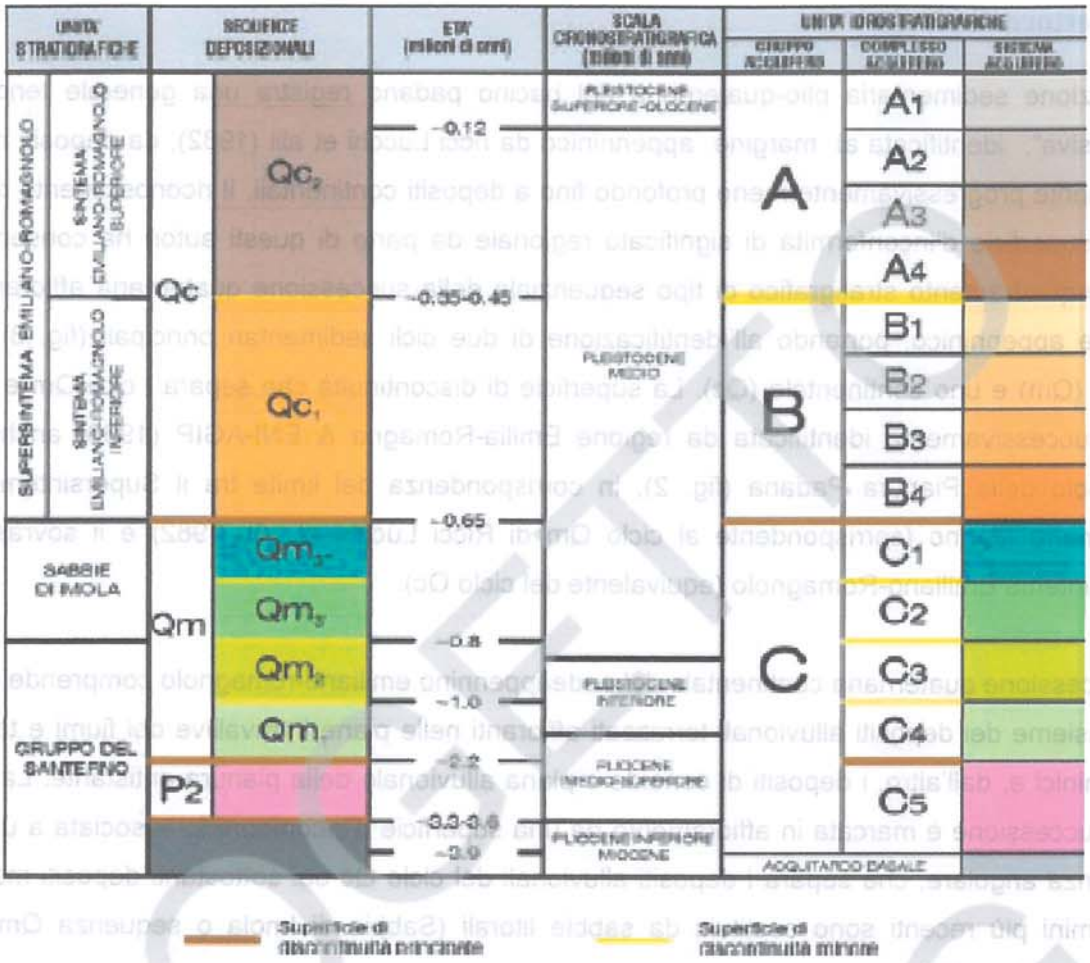


Figura 5:- Schema stratigrafico e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche di figura 2 (da Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna, 2002). Si precisa che il Gruppo del Santerno comprende le unità cartografate "Argille Azzurre", "Formazione di Monte Adone" e "Marne di Cella".

13

3.2.1 - La Successione quaternaria continentale nel sottosuolo della pianura

Nel settore meridionale del Bacino Padano, il limite inferiore dei depositi correlabili al ciclo Qc di Ricci Lucchi *et alii* (1982) è individuabile in sottosuolo sulle linee sismiche dell'AGIP (Pieri & Groppi, 1981; Dondi *et Alii*, 1982; Dondi & D'andrea, 1986; Dalla *et Alii*, 1992; Ori, 1993; Farabegoli *et Alii*, 1997), in coincidenza della base del Supersintema Emiliano-Romagnolo di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998). Lo spessore massimo di quest' unità nel sottosuolo del Foglio Bologna, non definibile con precisione sulla base di dati di pozzo (Francavilla & Colombetti, 1980; Amorosi & Farina, 1995), aumenta progressivamente allontanandosi dalla catena, raggiungendo valori massimi superiori ai 500 m nell'area situata a nord dell'allineamento Castel Maggiore-Castenaso-Medicina (regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998 - figura 4).

L'individuazione su base sismica di una superficie di discontinuità all'interno della successione quaternaria continentale ha consentito la suddivisione di questa unità in due parti (unità 1 e 2 di Ori, 1993), definite anche come sintemi (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) o sequenze deposizionali (cicli Qc1 e Qc2 di Amorosi *et alii*, 1999c). Allontanandosi dal margine del Bacino Padano, i depositi continentali del Supersintema Emiliano-Romagnolo fanno transizione verso mare a depositi di ambiente deltizio-litorale (Ori, 1993; carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, Fogli 223 - Ravenna, 2002 e 256 - Rimini, 2005).

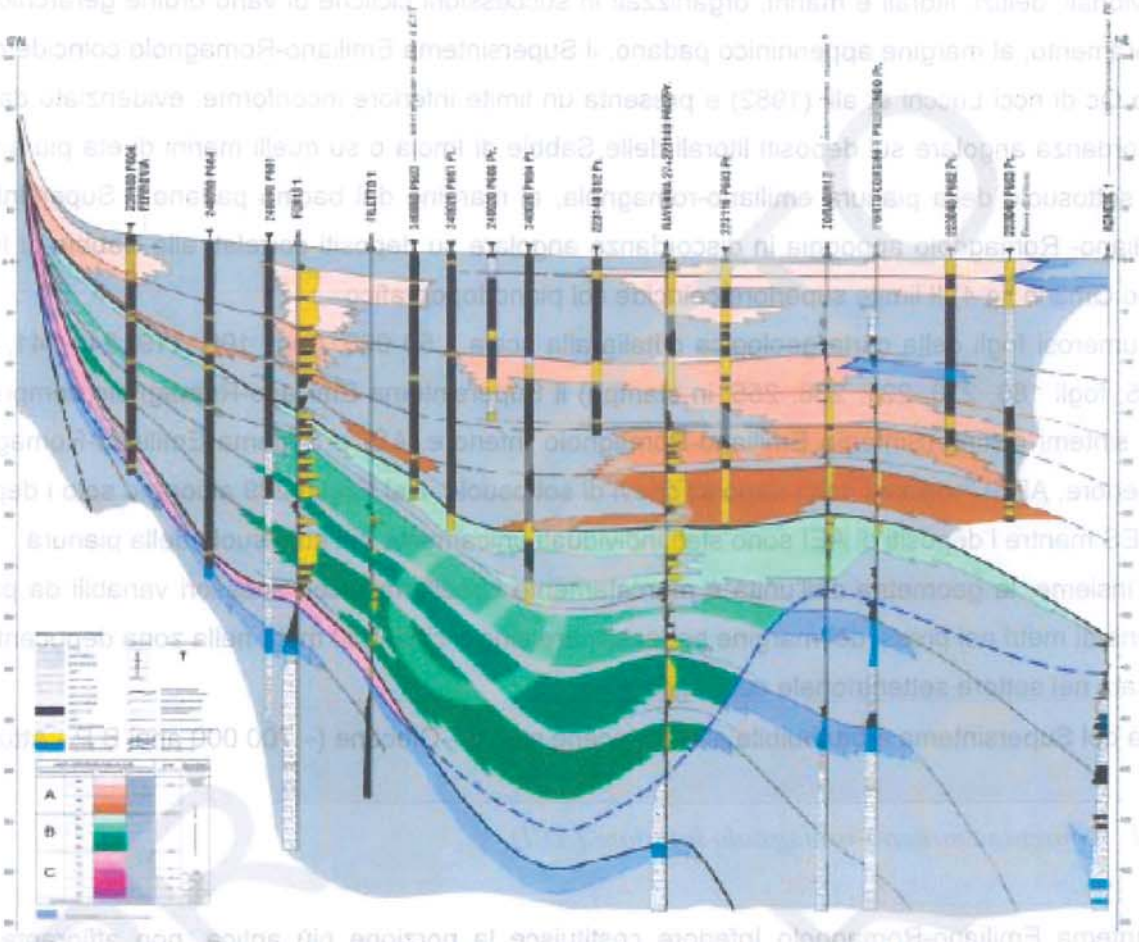


Fig. 3 - Sezione geologica nel sottosuolo della Pianura Padana, con distinzione delle principali unità idrostratigrafiche all'interno della successione quaternaria (da REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP, 1998*). L'esagerazione verticale è di 50x.*

4 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali

4.1 Supersintema emiliano-romagnolo

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersintema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano il Supersintema Emiliano- Romagnolo appoggia in discordanza angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola (ciclo Qm3 in fig 4) Il limite superiore coincide col piano topografico

In numerosi fogli della carta geologica d'Italia alla scala 1:50 000, (fogli 199, 219, 240-241, 256, 2005; fogli 180, 220, 221, 238, 255, in stampa) il Supersintema Emiliano-Romagnolo comprende due sintemi distinti (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES), correlati con i depositi coevi di sottosuolo Nel Foglio 239 affiorano solo i depositi di AES mentre i depositi di AEI sono stati individuati unicamente nel sottosuolo della pianura

Nell'insieme, la geometria dell'unità è marcatamente cuneiforme, con spessori variabili da poche decine di metri nei pressi del margine pedecollinare sino a circa 330 metri nella zona depocentrale, ubicata nel settore settentrionale del Foglio (Fig. 12).

L'età del Supersintema è attribuibile al Pleistocene medio - Olocene (~ 700 000 anni B P - Attuale)

4.1.1 Sintema emiliano-romagnolo inferiore (AEI)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore costituisce la porzione più antica, non affiorante, del Supersintema Emiliano-Romagnolo Considerata la profondità media- mente elevata (sino ad oltre 200 metri dal piano campagna – vedi figg 12 e 13) alla quale viene intercettato il tetto di AEI nel sottosuolo della pianura del Foglio 239, sono pochi i casi di sondaggi in grado di descriverne l'organizzazione delle facies.

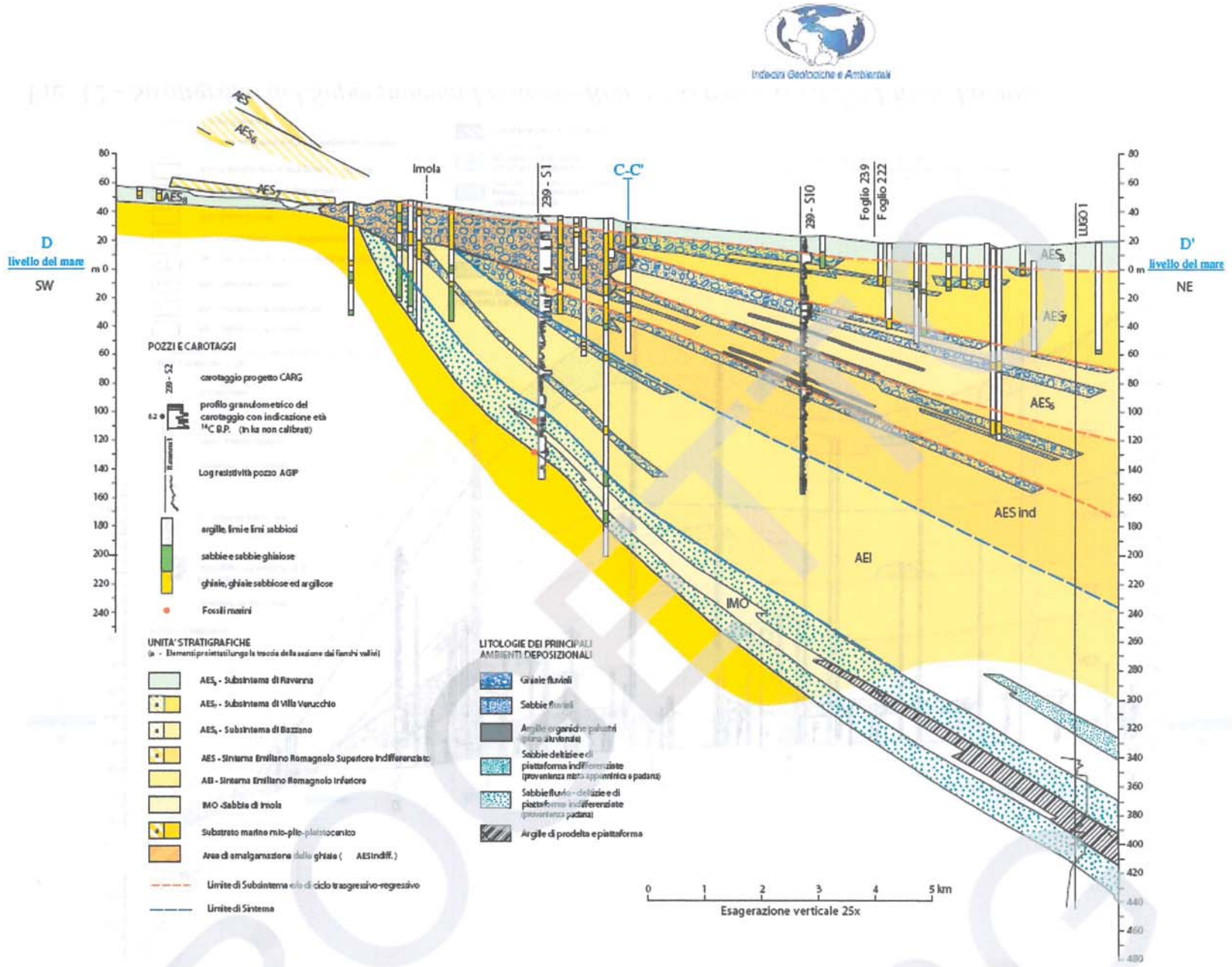


Fig. 11 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Santerno.*

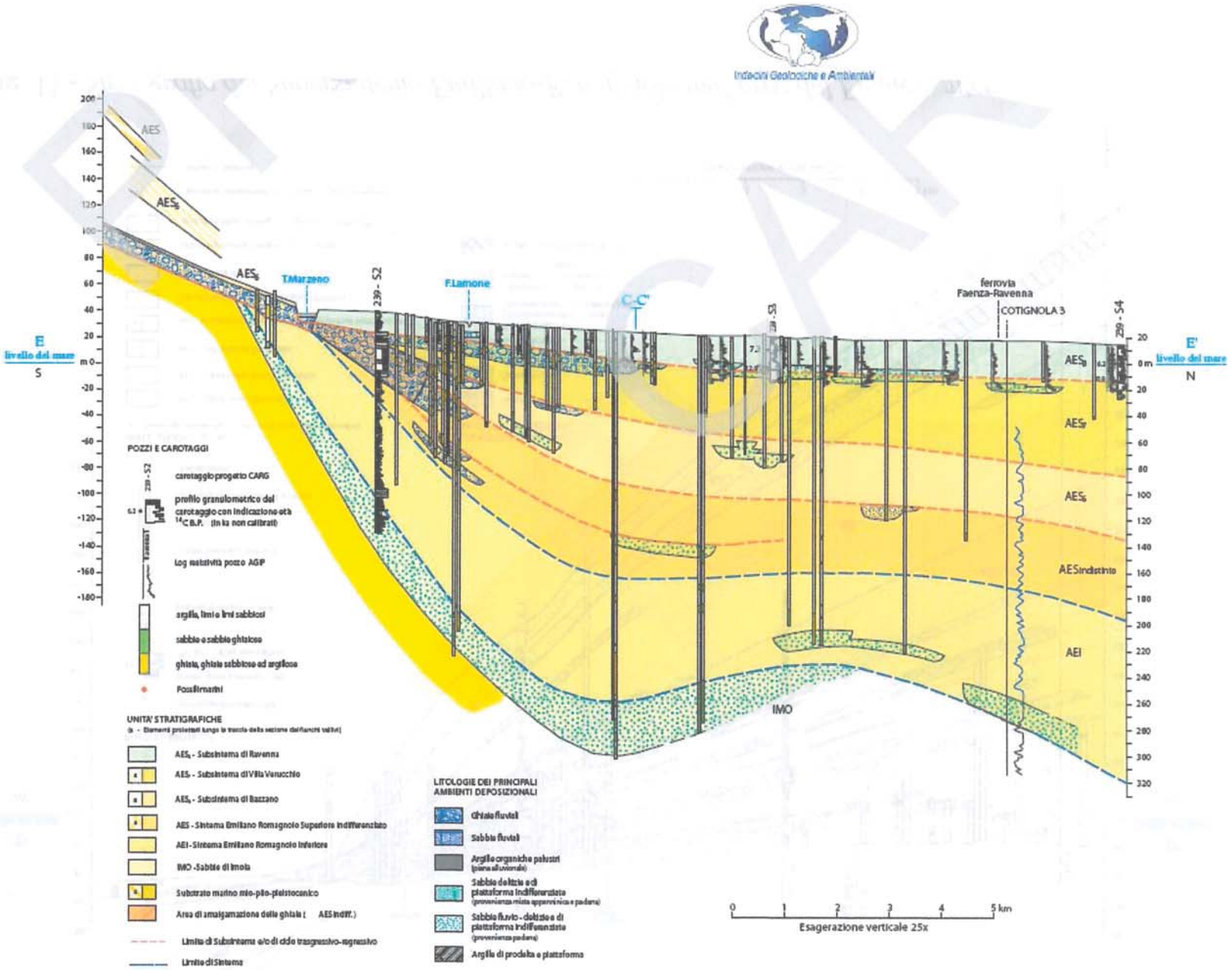


Fig. 12 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo nell'area del Fiume Lamone.*

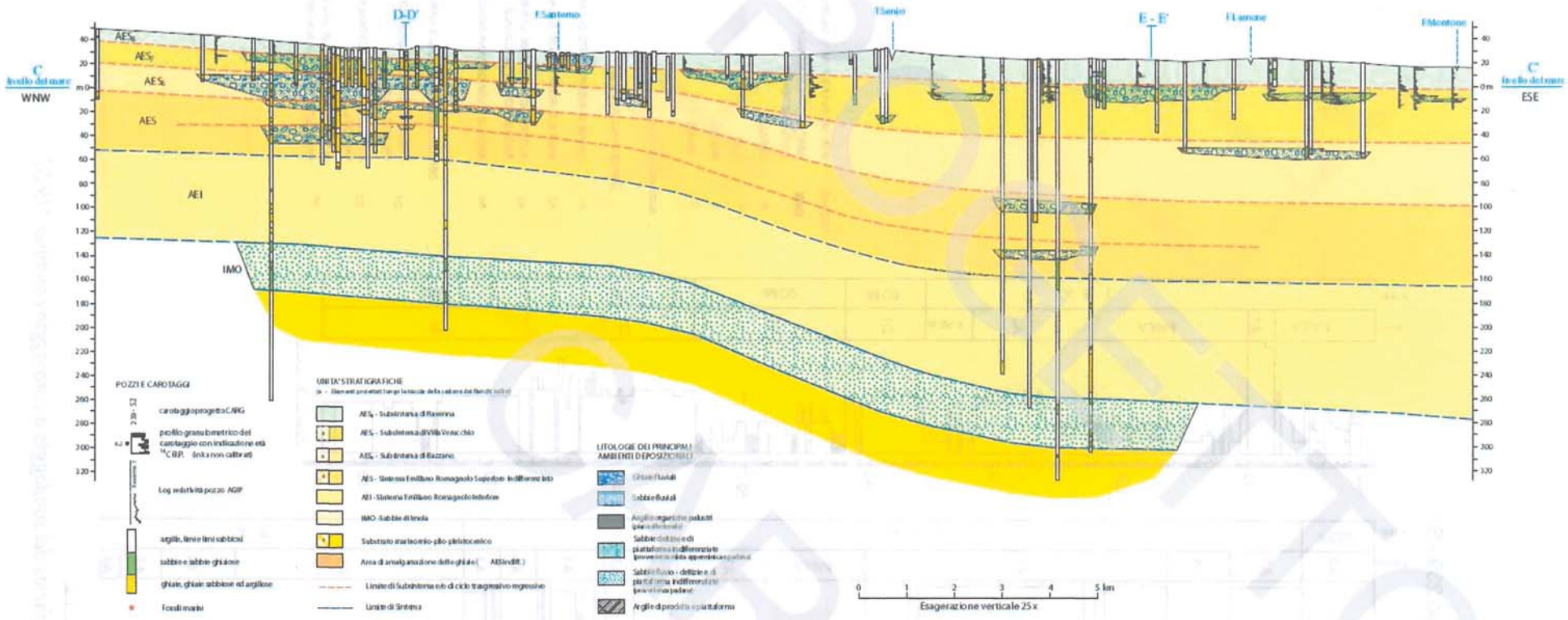


Fig. 13 - *Stratigrafia del Supersintema Emiliano-Romagnolo lungo una sezione parallela al margine appenninico.*

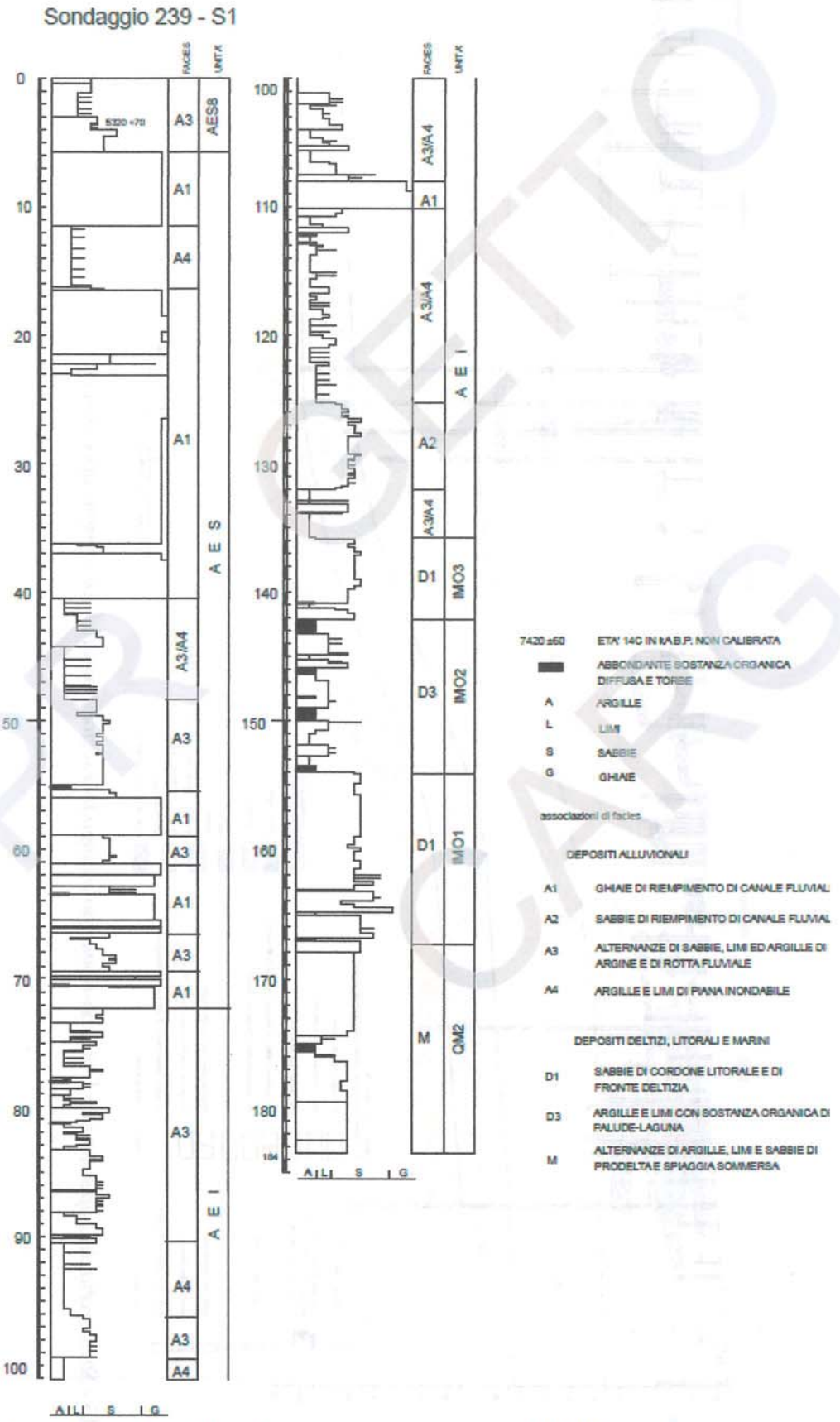


Fig. 14 - *Stratigrafia e facies del sondaggio a carotaggio continuo 239-S1.*

In corrispondenza del sondaggio 239-S1 (fig. 14), che attraversa l'intero Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore raggiungendone la base intorno a – 140 m dal piano campagna (fig. 11), in accordo con quanto riscontrato su gran parte del sottosuolo bolognese (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi et alii, 1996; 2001; carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Foglio 221 – Bologna, in stampa) AEI è costituita prevalentemente dall'alternanza di limi/argille e sabbie, con una quantità estremamente subordinata di ghiaie. Caratteristica di questa unità è la frequente presenza di sequenze granulometriche negative alla scala dei 2-5 metri, associata allo scarso sviluppo di paleosuoli. Orizzonti di argille organiche e concentrazioni di legni sono frequenti a vari livelli stratigrafici. Sequenze positive di canale fluviale, a base erosiva e relativamente elevato contenuto in ghiaia, sono riconoscibili in corrispondenza delle principali aste fluviali sulla base della Banca Dati Geologici della Regione Emilia- Romagna L'ambiente deposizionale è di piana alluvionale con abbondante sviluppo d'aree topograficamente depresse di tipo palustre, colmate in seguito ad episodi di rotta fluviale. Informazioni del tutto analoghe si traggono anche dall'osservazione del sondaggio 239 S2, l'altro che attraversa per intero l'unità in questione.

Lo spessore di AEI diminuisce rapidamente verso il margine della pianura, a causa di fenomeni erosivi precedenti la messa in posto di AES e il sintema non è mai affiorante al margine appenninico (figg 11 e 12) Nel sondaggio 239 - S1, dove è riconoscibile in carota il contatto tra AEI e i sottostanti depositi litorali riferiti alle Sabbie di Imola a una profondità di quasi - 140 m dal piano campagna (figg 11 e 14), AEI presenta uno spessore complessivo di circa 65 metri É da sottolineare il caratteristico colore grigio-verde dei limi e delle argille attribuiti a questa unità, che contrasta fortemente con il colore grigio-nocciola o giallo-bruno del sovrastante Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore

Tutti i caratteri sopra descritti sono indicativi di questa unità nel settore più prossimo alla catena appenninica, tuttavia l'osservazione della porzione più settentrionale della sezione geologica riportata in fig. 12 mostra che in AEI sono presenti pure dei corpi sabbiosi spessi fino a una ventina di metri Come si vede dalla sezione tali livelli sabbiosi non proseguono verso il margine appenninico dove AEI è caratterizzato da depositi alluvionali decisamente fini, ma al contrario paiono proseguire verso nord. Viste le caratteristiche geometriche, la natura di queste sabbie è probabilmente padana, in analogia con quanto osservato nei fogli più settentrionali e con quanto indicato in Riserve Idriche della Regione Emilia- Romagna (si veda in particolare la carta riportante lo spessore cumulativo dei depositi permeabili del gruppo acquifero B, cui l'unità AEI corrisponde, regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998) Tali sabbie rappresenterebbero quindi degli apparati deltizi padani che giungevano sino a questo settore della pianura emiliano-romagnola all'epoca di AEI e trovavano il loro massimo sviluppo nella zona più subsidente posta a nord della anticlinale indicata in fig. 12.

L'età attribuita ad AEI è, per posizione stratigrafica, il Pleistocene medio. In regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998), l'unità è datata tra 350-450 ka e 650 ka

4.2 Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione più recente del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio Faenza Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 210 metri nel sottosuolo di Borgo Cotignola, in corrispondenza della zona depocentrale (figg 12 e 13) Nel settore occidentale del Foglio (poco a nord di Imola), dove il margine del Bacino Padano, segnato dall'adiacente catena appenninica, è più vicino, lo spessore di AES è di circa 80-100 metri (figg 11 e 13)

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi e localmente su AEI (figg. 11 e 12). Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emiliano- romagnolo (carta geologica d'Italia in scala 1:50 000 Fogli 240-241, 256, 2005; 220, 238, 255, in stampa; vedi anche Amorosi et alii, 1996 e Sarti et alii, 1997)

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per diversa giacitura e differente grado di evoluzione pedogenetica

Dei diversi subsintemi che compongono AES, cinque (AES4, AES5, AES6, AES7 e AES8) sono chiaramente identificabili nell'area del Foglio Faenza. AES4, AES5, AES6 e AES7 affiorano unicamente nel settore intravallivo e allo sbocco dei torrenti appenninici in pianura, mentre AES8 affiora in tutta l'area di pianura

Nei settori di margine appenninico compresi tra aste fluviali contigue (interfluvi) la distinzione di AES in subsintemi non è facilmente eseguibile Qui infatti non sono più ben riconoscibili le scarpate di erosione fluviale che nelle aste vallive maggiori separano i diversi subsintemi Per questo motivo, nei settori di interfluvio si è provveduto a una generica attribuzione dei depositi ad AES In queste aree l'unità è caratterizzata da limi sabbiosi o sabbie limose, con rari livelli più grossolani. Al loro interno questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di paleosuoli con fronte di alterazione spesso fino ad alcuni metri. Anche la superficie topografica presenta depositi intensamente pedogenizzati Qui i suoli (Alfisuoli) sono generalmente policiclici e di spessore fino a cinque-sei

metri. Questi depositi presentano una caratteristica geometria cuneiforme, con spessori che vanno da pochi metri nei settori montani ad alcune decine di metri verso il limite con l'antistante pianura Dal punto di vista stratigrafico, essi generalmente costituiscono l'equivalente laterale indistinto di AES4 e AES5

Nel sottosuolo di pianura del Foglio Faenza, l'interpretazione di profili si smici ha messo in luce il limite localmente discordante tra AES e la sottostante AEI (regione emiLia-romagna & ENI-AGIP, 1998) (fig 3) Il limite superiore di AES corrisponde alla superficie topografica. Tra i pochi i sondaggi di qualità che attraversano interamente AES si segnalano i tre sondaggi 239 S1, 239 S2 e 239 S10 Dalla correlazione di questi è possibile ricostruire nel dettaglio caratteri di facies (fig 14) e stratigrafia (fig 11) del sintema

AES è caratterizzata al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale fine (limi e argille, frequentemente torbose, e subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (definita principalmente da ghiaie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante Lo spessore dei corpi grossolani diminuisce in modo evidente sottocorrente, muovendosi da SW verso NE In particolare, in aree prossimali (sottosuolo di Imola e di Faenza) le ghiaie si presentano frequentemente amalgamate in corpi di circa 20 metri (sondaggio 239 – S1 in fig 11) o 30 metri (sondaggio 239 – S2 in fig 12) di spessore.

All'interno dei singoli cicli deposizionali i corpi grossolani passano verso l'alto da geometrie prevalentemente nastriformi, individuabili nella porzione pelitica dei cicli, a geometrie prevalentemente tabulari e tabulari-allungate, caratteristiche delle porzioni prevalentemente grossolane (Amorosi & Farina, 1995; Amorosi *et alii*, 2003) Il caratteristico *pattern* radiale delle paleocorrenti e l'apertura a ventaglio in pianta dei corpi grossolani a partire dalla terminazione in pianura delle valli intramontane consente l'attribuzione della parte alta dei cicli a sistemi coalescenti di conoidi alluvionali dominate da processi fluviali (Amorosi *et alii*, 1997)

Il lavoro condotto a scala dell'intera pianura emiliano-romagnola nell'ambito della realizzazione del presente progetto di cartografia geologica permette di inserire i cicli sopra descritti in una ciclicità di ordine gerarchico superiore, evidenziata da spessori pluridecametrici composti da depositi fini alla base e grossolani al tetto Questa ciclicità è ben osservabile in figg 11 e 12, dove è ben visibile il carattere di *marker* stratigrafico del tetto dei corpi ghiaiosi a elevata continuità laterale.

Analogamente a quanto operato nei fogli limitrofi, la base dei cicli sedimentari qui definiti come subsintemi è posta convenzionalmente in prossimità del tetto di questi corpi grossolani di canale fluviale. Questa scelta ha un significato essenzialmente operativo, in quanto permette una immediata correlazione con i cicli trasgressivo-regressivi cartografati nel sottosuolo della piana costiera romagnola (vedi anche l'approfondita discussione degli aspetti concettuali in Amorosi & Colalongo, 2005) In quest'ottica, le porzioni argilloso-limose basali dei cicli individuati nel

sottosuolo del Foglio 239 vengono correlate con i depositi marino marginali trasgressivi (TST) e di stazionamento alto (HST) che costituiscono le porzioni basali dei cicli riconosciuti nel sottosuolo della piana costiera, mentre i corpi ghiaiosi di canale fluviale corrisponderebbero ai depositi di caduta del livello marino (FST) e successivi sedimenti di stazionamento basso (LST)

L'architettura dei cicli deposizionali è chiaramente documentata lungo gli assi dei fiumi principali, laddove i contrasti litologici sono più marcati. In aree molto prossimali, dove i corpi ghiaiosi appartenenti a cicli deposizionali distinti sono frequentemente amalgamati, i diversi subsintemi sono virtualmente indistinguibili (figg 11 e 12) All'estremo opposto, in settori scarsamente interessati dall'attività fluviale, dove i depositi grossolani sono scarsi o assenti (aree interfluviali, di interconoide e nei settori più settentrionali), l'assenza di forti contrasti litologici determina problemi concreti nella definizione dei limiti di ciclo

La correlazione tra i subsintemi distinti in affioramento e i cicli deposizionali identificati in sottosuolo è problematica a causa della scarsa preservazione dei depositi alluvionali al margine appenninico, dell'assenza di superfici guida fisicamente tracciabili e di notevoli difficoltà nella datazione di depositi continentali oltre il limite di risoluzione del ^{14}C (Amorosi *et alii*, 1996)

Per quanto riguarda i subsintemi sommitali (AES8 e AES7), il grande numero di sondaggi disponibili e, soprattutto, il controllo cronologico tramite datazioni al ^{14}C, forniscono un quadro sufficientemente affidabile per la correlazione tra le porzioni affioranti e quelle sepolte I subsintemi sottostanti possono essere correlati tentativamente, per posizione stratigrafica, ai complessi acquiferi A2-A4 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998)

L'età della base di AES è attribuita al Pleistocene medio (350-450 ka secondo regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998)

4.2.1 Subsintema di Bazzano (AES6)

I depositi di AES6 sono costituiti prevalentemente da ghiaie di canale fluviale, caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa. Lo spessore massimo è di una decina di metri, il contatto inferiore è erosivo e discordante su IMO. La successione si presenta intensamente pedogenizzata: il suolo (Alfisuolo) ha un fronte di decarbonatazione di 7 metri circa ed un colore rosso brunastro (2,5 - 5 YR della Munsell soil color charts). All'interno di queste ghiaie sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici rimaneggiati di tecnica clactoniana e protolevallois (Lenzi & Nenzioni, 1996). Le ghiaie sono sormontate da depositi fini di piana inondabile, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi e da sabbie; lo spessore massimo di questa copertura fine è di una ventina di metri (parte di questi depositi sono stati interpretati da alcuni autori come loess, (Cremaschi, 1978; Farabegoli & Onorevoli, 1991). Anche questi depositi si presentano intensamente pedogenizzati; sulla superficie topografica affiora un suolo (alfisuolo) tipicamente bruno giallastro (2,5 Y - 10 YR della Munsell soil color charts), spesso alcuni metri,

sviluppato prevalentemente in argille. Nella porzione sommitale sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici in posto di tecnica levallois (Lenzi & nenzioni, 1996).

Il suolo presente al tetto della porzione inferiore grossolana rappresenta sicuramente, in considerazione del suo rilevante spessore, una discontinuità stratigrafica di significato importante. Questa discontinuità è stata enfatizzata in letteratura attraverso l'individuazione di due unità stratigrafiche distinte, denominate unità di Villa del Bosco 1 e Villa del Bosco 2 (Nenzioni & Vannelli, 1982). Dal punto di vista della suddivisione in sintemi qui adottata, non risulta chiaro se la suddetta discontinuità sia interna a AES6 o se invece debba essere intesa come la superficie di separazione di due diversi subsintemi. In quest'ultimo caso i depositi fini al di sopra del suolo rosso brunastro sarebbero già da attribuire a AES7. Il limitato areale di affioramento di questi depositi, la mancanza di continuità fisica tra essi e l'antistante pianura e, soprattutto, la difficoltà di una loro datazione, rende problematica la scelta tra l'una o l'altra ipotesi. In questa sede si è scelto di interpretare i terreni fini presenti al di sopra del suolo rosso brunastro come appartenenti ad AES6, che quindi risulterebbe suddiviso in almeno due unità di rango inferiore, non distinte in carta. La presenza di distinzioni interne a AES6 è peraltro ben documentata in altre valli appenniniche, dove all'interno del subsintema sono chiaramente distinguibili più ordini di terrazzo fluviale; ciò avviene ad esempio nel Fiume Reno, immediatamente ad ovest del foglio 221, o nel fiume Ronco, poco a monte della città di Forlì (carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 220–Casalecchio di Reno, in stampa e Foglio 255-Cesena, in stampa).

L'età minima di AES6, in relazione ai manufatti litici presenti, si colloca nella parte terminale del Pleistocene medio. Non esistono invece dati relativi all'età della base di questa unità, che dovrebbe comunque collocarsi nella parte alta del Pleistocene medio.

I depositi affioranti di AES6 sono tentativamente correlati nel sottosuolo a un ciclo, localizzato in corrispondenza del sondaggio 221050 - P515 tra le quote -101 m e - 54,5 m dal p.c. (fig. 6), composto da una porzione inferiore fine ed una sommitale grossolana (fig. 5); questo ciclo corrisponde al complesso acquifero A2 di regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) e Di Dio & Caporale (1998). Questi depositi sono costituiti da ghiaie e sabbie prevalenti nelle porzioni più prossimali e da argille e limi prevalenti alternati a sabbie nelle zone distali. Lo spessore massimo di questi depositi nel sottosuolo è di 80 metri circa. Sulla base di quanto sopra indicato lo spessore in affioramento è invece di circa 30 metri.

Sulla base delle relazioni stratigrafiche con l'unità sovrastante (AES7) e dello schema di correlazione con i cicli glacio-eustatici del Quaternario, l'età del complesso acquifero A2 dovrebbe essere compresa tra 230 ka e 130 ka.

5 Associazioni di facies

Utilizzando come riferimento la normativa per il rilevamento e la cartografia geologica proposta da CNR-CCGG (1992), all'interno dei sintemi descritti al Capitolo 3 stata eseguita una suddivisione delle unità stratigrafiche sulla base di caratteri litologici e sedimentologici L'area del Foglio 239 - Faenza è composta da depositi quaternari di natura esclusivamente continentale, che possono essere ricondotti a complessi ambientali di piana intravalliva, conoide alluvionale e piana alluvionale In affioramento sono state distinte e cartografate tre associazioni di facies, descritte di seguito ai sottoparagrafi 4 1 1 - 4 1 3 Le associazioni di facies sono contraddistinte sulla carta geologica di superficie mediante sovrassegni che si accompagnano alla tradizionale colorazione delle unità stratigrafiche.

5.1 Depositi alluvionali

5.1.1 Ghiaie di canale fluviale

Affiorano principalmente al margine della pianura e nei settori più interni (aree di terrazzo fluviale e conoidi alluvionali, allo sbocco delle aste fluviali), mentre sono ampiamente sviluppate in sottosuolo. Comprendono ghiaie da fini a molto grossolane, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati, organizzati in corpi sedimentari a geometria nastriforme e tabulare-allungata, di spessore generalmente compreso tra 2 e 5 metri In aree di conoide alluvionale i corpi ghiaiosi sono generalmente amalgamati e raggiungono spessori di 20 m.

La maggior parte dei corpi sedimentari, specie in aree prossimali, rientra nella facies Gms dello schema classificativo di Miall (1978), presentando un grado di cernita estremamente basso, con ciottoli di varia dimensione immersi in una matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa. L'organizzazione interna è molto scarsa e non si osservano in genere tendenze granulometriche verticali di rilievo La dimensione del granulo massimo è di alcuni decimetri Sono tuttavia comunemente riconoscibili corpi ghiaiosi caratterizzati da un'organizzazione interna, definita dalla presenza di stratificazione orizzontale ed embricazione dei ciottoli (facies Gm) In questo caso la dimensione modale dei ciottoli corrisponde a 3-5 cm (diametro massimo 10-15 cm). Tra le altre facies, tipiche di settori relativamente più distali, si riconoscono ghiaie a stratificazione obliqua di tipo concavo (facies Gt), con spessore dei set fino a 2 m, base erosiva e organizzazione in sequenze positive Localmente è osservabile la presenza di stratificazione diagonale

I corpi sedimentari privi di organizzazione interna e quelli a stratificazione obliqua di tipo concavo sono interpretati come il risultato della migrazione di barre longitudinali all'interno di una rete di canali di tipo intrecciato La presenza di stratificazione obliqua di tipo tabulare all'interno di ghiaie a prevalente stratificazione obliqua di tipo concavo è messa in relazione con l'accrezione di barre diagonali o laterali in fiumi di tipo intrecciato (Ori, 1993). Corpi ghiaiosi clino- stratificati all'interno di

intervalli prevalentemente fini sono invece intepretabili come legati alla migrazione di barre di meandro (Ori, 1982)

5.1.2 Sabbie e limi di argine,canale e rotta fluviale

Questa associazione di facies affiora quasi ininterrottamente su un'ampia fascia al margine della pianura, lungo la Via Emilia e nel quadrante nord-orientale del Foglio Si tratta di sabbie in genere finissime localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, alternati a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili Il rapporto tra sabbie e limi è complessivamente variabile; con riferimento all'unita AES8a, le prime sono predominanti nei settori più prossimi alle aste fluviali, mentre via via che ci si allontana da esse tendono a dominare le intercalazioni limose I passaggi tra le porzioni a dominanza sabbiosa e quelli a dominanza limosa avvengono in modo graduale

Si riconoscono occasionalmente, alla base di sequenze positive a base erosiva, sabbie medie e grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Queste ultime sono presenti in particolare nelle porzioni in cui i depositi di questa associazione di facies sono confinati entro scarpate di terrazzo fluviali, come ad esempio per unità AES8a il tratto del fiume Santerno tra Imola e Mordano, o del fiume Lamone in prossimità di Faenza

Nei settori più prossimi alle aree di canale, si concentrano i corpi più marcatamente sabbiosi, caratterizzati da stratificazione obliqua concava e tabulare, con *set* generalmente di alcuni dm di spessore Al tetto dei principali corpi sabbiosi e lateralmente ad essi sono tipicamente presenti alternanze di sabbia fine e finissima con limi e argille, in coppie di spessore generalmente inferiore a 10-20 cm

I limi e le argille sono tipicamente bioturbati al tetto. I corpi sabbiosi a tendenza granulometrica positiva sono interpretabili come canali di rotta

I settori laterali ai precedenti sono invece caratterizzati da alternanze di sabbia e limo e rappresentano depositi di argine; essi costituiscono in termini di volume la maggior parte dei depositi di questa associazione di facies.

In corrispondenza degli apparati di canale fluviale relativi al reticolo idrografico secondario è possibile osservare una sensibile riduzione della granulometria dei depositi e della dimensione dei corpi sedimentari, pur rimanendo comparabili le geometrie Il volume dei depositi sabbiosi di canale è in questo caso estremamente subordinato e i singoli riempimenti di canale sono intercettati molto di rado in sottosuolo L'associazione di facies è in questo caso dominata da limi e limi sabbiosi

5.1.3 Limi e argille di piana inondabile

Questa associazione di facies è caratterizzata dall'alternanza di limi prevalenti, argille limose e argille bioturbate, in strati da molto spessi a spessi, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini, in strati da molto sottili a medi, a base netta e caratterizzati da una tipica gradazione positiva Le sabbie presentano al loro interno laminazione obliqua o piano-parallela

Accenni di laminazione parallela sono presenti all'interno di limi sabbiosi Le coppie limo-argilla fanno transizione laterale alle coppie sabbia-limo descritte alla sezione precedente Il passaggio verso l'alto da questa associazione di facies a depositi grossolani di canale avviene in genere attraverso un progressivo aumento della granulometria, che definisce caratteristiche sequenze negative. Complessivamente questi depositi formano corpi sedimentari a geometria lenti- colare, tabulare e nastriforme

Carattere diagnostico di questa associazione di facies è la presenza a vari livelli stratigrafici di paleosuoli relativamente poco evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli), costituiti da un orizzonte superficiale scuro totalmente decarbonatato e una porzione inferiore ricca in concrezioni carbonatiche. Amorosi & Marchi (1999) hanno mostrato che questi paleosuoli possono essere riconosciuti, oltre che in carota, anche su base geomeccanica, mediante l'utilizzo di prove penetrometriche con piezocono. Gli elementi che ne consentono il riconoscimento sono: un piccolo incremento verso il basso di resistenza alla punta, associato al rapido incremento di resistenza laterale e alla brusca diminuzione della pressione interstiziale

I depositi di questa associazione di facies, che fanno transizione laterale a depositi relativamente più grossolani di canale, argine e rotta fluviale, si sono formati in aree di piana inondabile La suddivisione verticale in piccole sequenze delimitate a base e a tetto da paleosuoli indica una ciclicità nella sedimentazione, con fasi di apporto terrigeno limitato o nullo che favoriva la pedogenesi.

6 Inquadramento geologico

La zona si trova ad est dell'abitato di Imola sulle prime quinte collinari che fiancheggiano la città (allegato 1).

Il substrato dell'area in cui deve essere eseguito l'intervento è costituito dal livello più alto ed antico delle alluvioni terrazzate pleistoceniche. (AE6)

I depositi di AES6 sono costituiti prevalentemente da ghiaie di canale fluviale, caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa. Lo spessore massimo è di una decina di metri, il contatto inferiore è erosivo e discordante su IMO. La successione si presenta intensamente pedogenizzata: il suolo (Alfisuolo) ha un fronte di decarbonatazione di 7 metri circa ed un colore rosso brunastro (2,5 - 5 YR della Munsell soil color charts). All'interno di queste ghiaie sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici rimaneggiati di tecnica clactoniana e protolevallois (Lenzi & Nenzioni, 1996). Le ghiaie sono sormontate da depositi fini di piana inondabile, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi o sabbiosi e da sabbie; lo spessore massimo di questa copertura fine è di una ventina di metri (parte di questi depositi sono stati interpretati da alcuni

autori come loess, (Cremaschi, 1978; Farabegoli & Onorevoli, 1991). Anche questi depositi si presentano intensamente pedogenizzati; sulla superficie topografica affiora un suolo (alfisuolo) tipicamente bruno giallastro (2,5 Y - 10 YR della Munsell soil color charts), spesso alcuni metri, sviluppato prevalentemente in argille. Nella porzione sommitale sono stati rinvenuti numerosi reperti paleolitici in posto di tecnica levallois (Lenzi & nenzioni, 1996).

In superficie i terreni in posto sono prevalentemente limosi sabbiosi, di colore rossastro, con concrezioni calcaree denominate localmente "calcinelli", ascrivibili al livello più alto ed antico delle alluvioni terrazzate pleistoceniche, con livelli di ghiaie e strati argilloso - limosi. Questi livelli sovrastano la Formazione delle "Sabbie Gialle" affiorante più a sud lungo e presente nel sottosuolo al di sotto delle alluvioni, come appurato in occasione di un rilevamento geologico eseguito per tutta l'area delle colline imolesi.

Morfologicamente la zona interessata dall'intervento si con una leggera pendenza verso nord ed è ubicata ad est del rio della Rivazza.

Non si sono evidenziati segni d'instabilità passata o presente per cui si può giudicare la zona stabile.

L'idrologia superficiale è regimata da fossi di campagna che drenano le acque meteoriche agli scoli principali e tramite questi al rio della Rivazza.

Per quanto riguarda gli acquiferi sotterranei nel corso dell'esecuzione delle prove, non si è rinvenuta la presenza di acquiferi superficiali.

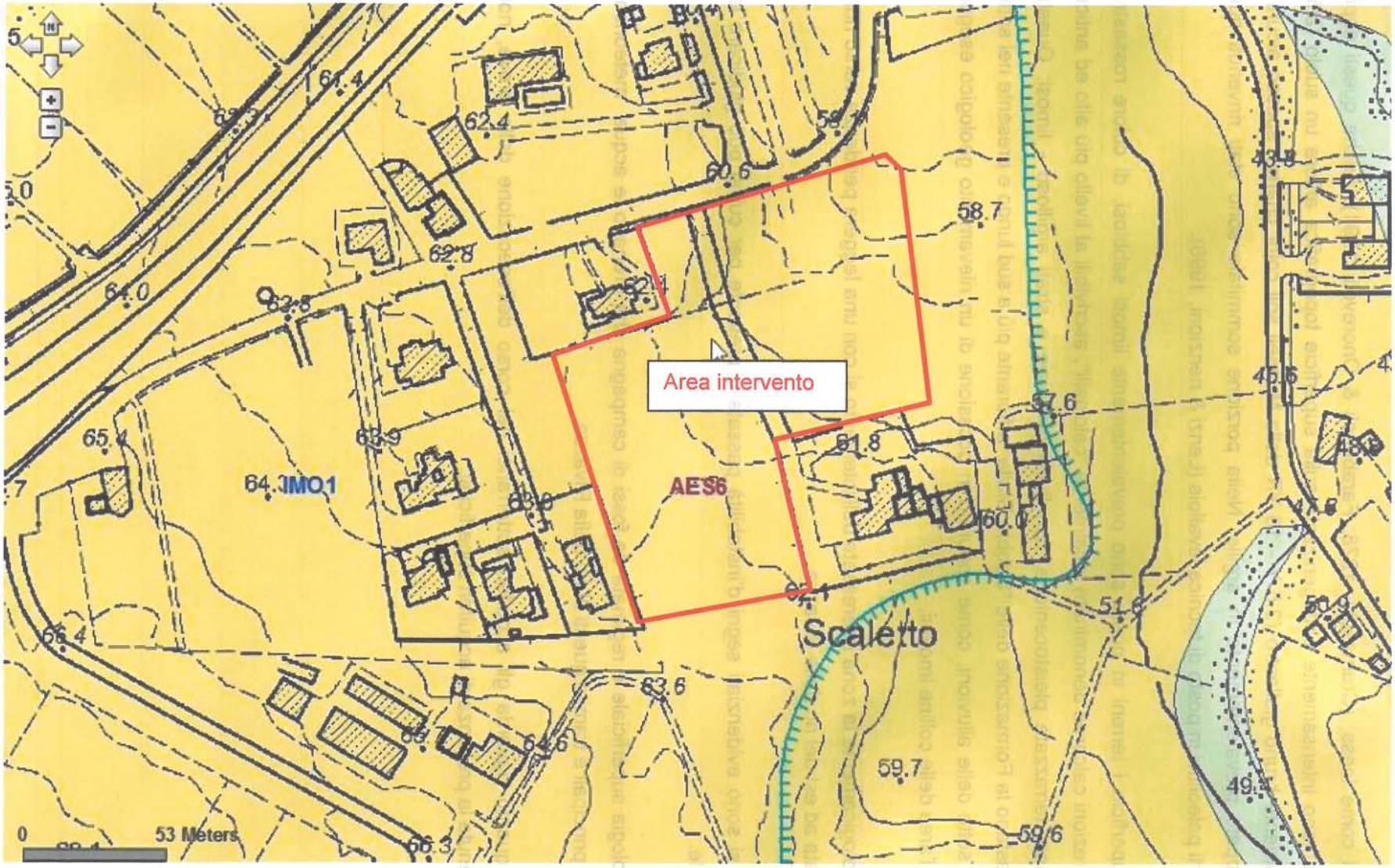


Figura 6:– Carta Geologica del Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia Romagna scala 1:5.000

7 Prove penetrometriche

Date le presumibili caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, già indagato in zone contermini, sull'area sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche statiche atte a porre in evidenza alcune caratteristiche meccaniche dei terreni e la presenza e profondità della falda freatica.

Le quote sono riferite al piano di campagna e l'ubicazione della prova viene riportata nella planimetria allegata ed indicata con un cerchio pieno e numerazione progressiva.

Per le prove statiche si è utilizzato un penetrometro statico tipo Gouda da 20 t costruita secondo le dimensioni standard europee:

- Punta conica con area pari a cm^2 10 ed angolo di 60°
- manicotto friction con area di cm^2 150.

Le misurazioni avvengono direttamente nella zona di punta. La lettura è continua sia di Rp che di Rl e la punta è dotata di un sensore inclinometrico per controllare la deviazione delle aste dalla verticale.

Al di sotto dell'orizzonte superficiale costituito da terreno agrario fino alla profondità di circa 1 m, si presentano terreni prevalentemente limoso argillosi variamente interdigitati con lenti e livelli più sabbiosi con un grado di addensamento buono e si presentano omogenei fino alla profondità di circa 9 m dal piano campagna. Al disotto inizia un banco di sabbie e ghiaie e sabbie addensate.

Durante l'esecuzione delle prove non si è rinvenuta la presenza di una falda idrica che è presente all'interno delle ghiaie sottostanti.

Dall'osservazione dei diagrammi delle prove penetrometriche si rileva un'uniformità del comportamento meccanico del terreno fra le prova a nord quelle a sud dell'area.

8 Litologia e caratteristiche fisico - meccaniche dei terreni

La litologia dell'area in esame è stata ricostruita tramite i risultati, delle prove eseguite (teoria di Begemann) ed osservazioni eseguite sul terreno. Essa consiste in:

- Terreno agrario fino alla profondità di circa 0.8 m.
- Terreni limoso argillosi con livelli limoso sabbiosi, con buoni valori di Rp fino alla profondità di 8 – 9 m
- Ghiaie alla profondità di 8 – 9 m dal p.c.

All'interno dello spessore indagato (10 metri) non è stata rilevata la presenza di alcuna falda acquifera.

Dall'osservazione dei diagrammi delle prove penetrometriche si rileva una sostanziale uniformità del comportamento meccanico del terreno fra le prove ubicate a sud ed a nord della strada che porta alla località Scaletto(vedi fig 5).

9 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Estratto dal D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni"

6.1.2 PRESCRIZIONI GENERALI

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali.

I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, di cui al § 6.2.1. devono essere esposti in una specifica relazione geologica. Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini e prove che il progettista deve definire in base alle scelte tipologiche dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, di cui al § 6.2.2, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.

6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio. In funzione del tipo di opera o di intervento e della complessità del contesto geologico, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle

indagini geotecniche. Metodi e risultati delle indagini devono essere esaurientemente esposti e commentati in una relazione geologica.

6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo di cui al § 3.2.2, e devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico.

È responsabilità del progettista la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica.

.....

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

6.2.3 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure seguenti.

6.2.3.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione

$$Ed \leq Rd \qquad (6.2.1)$$

dove Ed è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E\left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d\right] \qquad (6.2.2a)$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E \cdot E\left[F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]. \qquad (6.2.2b)$$

con gE = gF, e dove Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R\left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]. \qquad (6.2.3)$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto gFFk, dei parametri di progetto Xk/gM e della geometria di progetto ad. L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come Ed=Ek×gE. Nella formulazione della resistenza Rd, compare esplicitamente un coefficiente gR che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Nei calcoli effettuati per stabilire la portanza del terreno sono stati presi in considerazione i valori delle prove 3 e 4 non influenzate dai fenomeni di sovra essicazione sopra indicati.

9.1 Approccio 2

DATI GENERALI

Azione sismica	NTC 2008
Zona	Imola
Lat./ Long. [WGS84]	44,340883/11,723499
Larghezza fondazione	8,0 m
Lunghezza fondazione	15,0 m
Profondità piano di posa	3,5 m
Altezza di incastro	3,5 m

SISMA

Accelerazione massima (ag/g)	0,099
Effetto sismico secondo	NTC(C7.11.5.3.1)
Fattore di struttura [q]	1,5
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0,39
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0,0199
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0,2386

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,65	2,4	0,26
S.L.D.	50,0	0,83	2,39	0,27
S.L.V.	475,0	2,01	2,45	0,3
S.L.C.	975,0	2,52	2,51	0,31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,975	0,2	0,0199	0,0099
S.L.D.	1,245	0,2	0,0254	0,0127
S.L.V.	2,8114	0,28	0,0803	0,0401
S.L.C.	3,3087	0,28	0,0945	0,0472

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]	Poisson	Coeff. consolidaz. primaria [cmq/s]	Coeff. consolidazione secondaria	Descrizione
6,2	20,59	21,57	25,0	29,42	147,1	6900,0	7845,32	0,4	0,006	0,002	sabbia con limo
2,0	17,65	18,63	25,0	9,81	78,45	0,0	7354,99	0,5	0,003	0,005	argilla sabbiosa
3,5	19,12	20,59	36,0	0,0	0,0	49033,25	0,0	0,25	0,0	0,0	ghiaia

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	Sisma	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	192,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Capacità portante orizzontale
1	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	Si	1	1	1	1	1	1	1
4	Si	1	1	1	1	1	1	1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3
Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult]	577,46 kN/m²
Resistenza di progetto[Rd]	251,07 kN/m²
Tensione [Ed]	192,49 kN/m²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	3,0
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)
Costante di Winkler 23098,29 kN/m³

A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,11
Fattore profondità [Dc]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	577,46 kN/m²
Resistenza di progetto	251,07 kN/m²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

Sisma

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore [Ng]	0,0
Fattore forma [Sc]	1,11
Fattore profondità [Dc]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	577,46 kN/m²
Resistenza di progetto	251,07 kN/m²
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

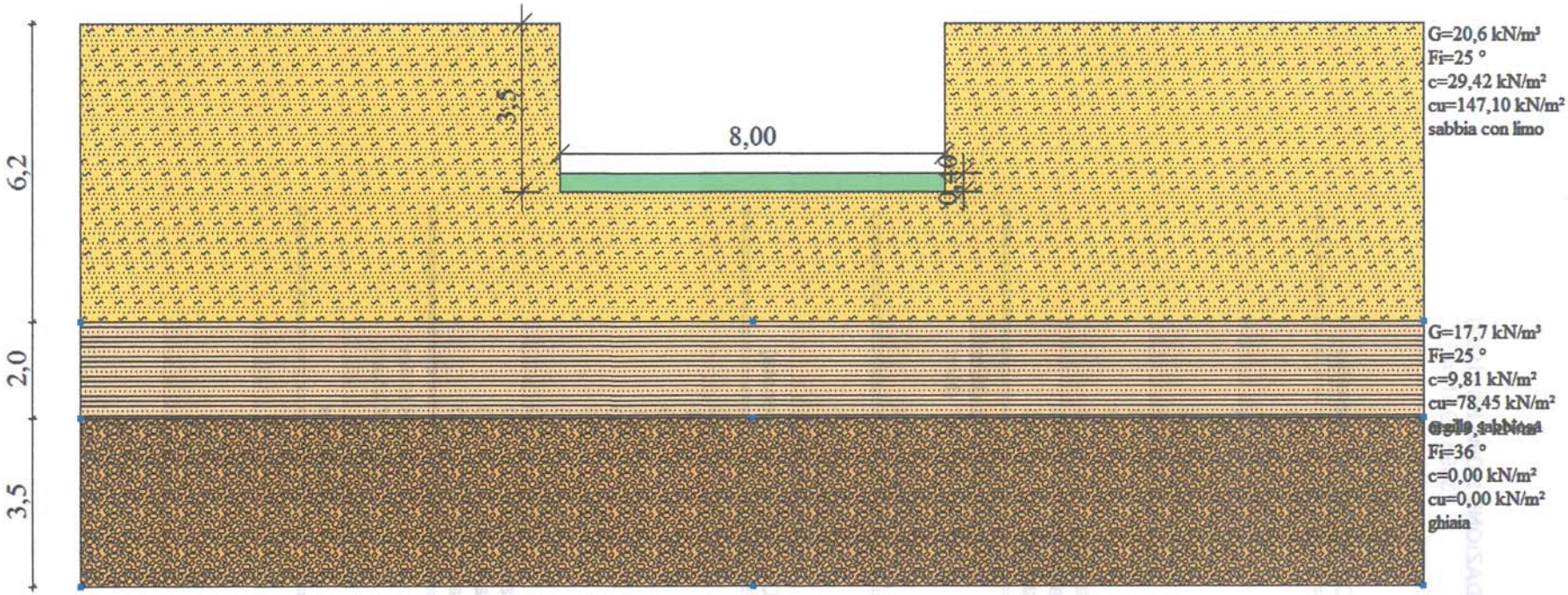


Figura 6:– Stratigrafia dell'area

10 CARATTERISTICHE EDIFICATORIE

Sulla base di quanto sopra riportato, tenendo conto delle ipotesi di progetto previste per l'Ambito Urbano Consolidato AUC_B Comparto N127: Ca' Nova Belvedere in via Ascari, si può affermare che l'area idonea all'edificazione in quanto i terreni ivi presenti presentano buone caratteristiche geotecniche.

Sulla base di quanto sopra riportato, dei calcoli effettuati per le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e della natura dei terreni, il terreno sottostante le future abitazioni può sopportare una tensione normale di progetto secondo l'approccio 2 di 2.5 d.a.N./cm^2 utilizzando una fondazione a platea posizionata a -3.00 - 3.50 m dal piano di campagna.

La composizione litologica unita al facile drenaggio delle acque attraverso lo strato ghiaioso sottostante, permette di escludere la liquefazione dei terreni medesimi in presenza di evento sismico. In questo caso anche l'incremento dei cedimenti risulterà ininfluente sulla stabilità del manufatto. Questo cedimento sarà assorbito dalla struttura durante il tempo di costruzione e non si presenteranno problemi costruttivi.

11 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Pur avendo calcolato una tensione normale di progetto che nell'approccio 2 è di 192,49 kN/m² per contenere i cedimenti entro un limite accettabile dalla struttura si è ridotta la pressione normale di progetto a 140 kN/m² e sono eseguiti i calcoli con una tensione normale di progetto non fattorizzata pari a 100 kN/m² secondo quanto riportato di seguito, con un cedimento massimo di 0.94 cm che sarà assorbito dalla struttura in fase di costruzione.

***Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	100,0 kN/m²
Cedimento dopo T anni	10,0
Cedimento totale	0,94 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws:Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m²)	Dp (kN/m²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	4,85	99,862	25,175	Edometrico	0,87	--	0,87
2	7,2	145,308	0	Edometrico	0	--	0
3	9,95	0	0	Schmertmann	0,05	0,02	0,07

Decorso cedimenti nel tempo Strato..1 Wt=0,87 cm

Cedimento [cm]	% Ced	Tempo giorni
0,087	10	5,709645
0,174	20	23,28349
0,261	30	52,42492
0,348	40	93,43055
0,435	50	145,3364
0,522	60	212,0725
0,609	70	298,8294
0,696	80	420,4374
0,783	90	628,8024
0,87	100	741,5123

12 SISMICITA' DELL' AREA

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Imola, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

In riferimento a tale bozza il Comune di Imola ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Imola è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni"

3.2 AZIONE SISMICA

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle nostre verifiche geotecniche consideriamo la classificazione ora vigente che definisce l'area di studio appartenente alla classe di sismicità 2, pertanto il grado di sismicità è pari a S = 9.

Secondo la classificazione del suolo, sulla base della nuova normativa sismica per gli edifici (D.M. 14/01/2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni") in base ai dati ottenuti dalle indagini geognostiche in sito si classifica il terreno di fondazione del fabbricato come appartenente alla **categoria C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi**

tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

12.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HTMR

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica è stata eseguita con apparecchio tromografico digitale TROMINO, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/, fornisce una valutazione diretta della Vs30 in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

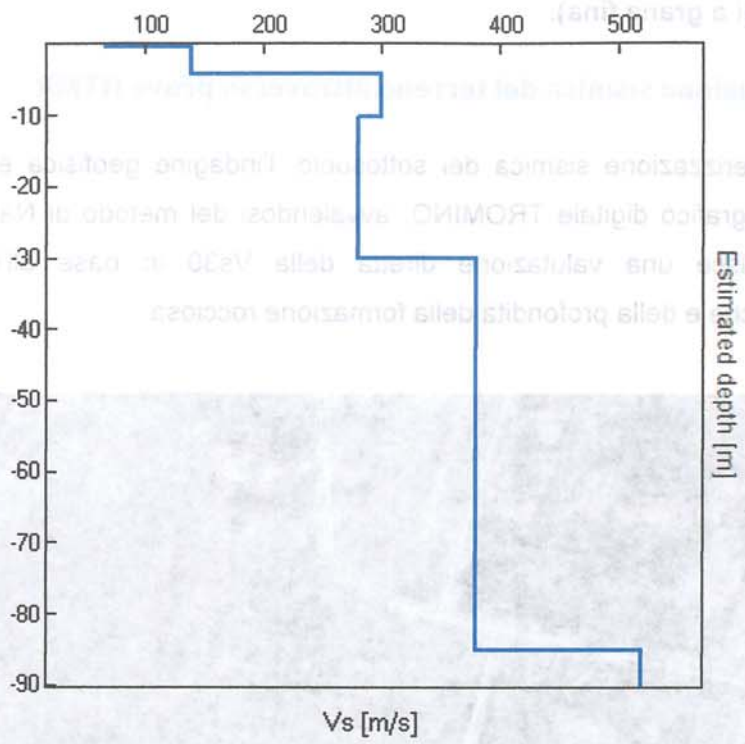


Figura 7:– Ubicazione indagini: • tromino - • CPT

A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	67
4.20	3.70	140
10.20	6.00	300
30.20	20.00	280
85.20	55.00	380

inf.	inf.	520



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

Vs_{30}=239m/s ± 30m/s

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 8.75 ± 0.11 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14350.0 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 421 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.65 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00603| < 0.05	OK	
$s_f < e(f_0)$	0.05274 < 0.4375	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.0619 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \sigma(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

VALUTAZIONE EFFETTO DOPPIA RISONANZA

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova lottizzazione, si procede ad una valutazione della risonanza in previsione della costruzione di nuovi edifici. La frequenza di un edificio dipende dall'altezza ossia dal numero dei piani e può essere calcolata approssimativamente secondo la formula:

$$\text{Freq. edificio} \cong 10 \text{ Hz} / \text{n.piani}$$

La coincidenza di risonanza tra terreno e struttura può dar luogo a fenomeni di doppia risonanza sull'edificio pericolosa in quanto provoca la massima amplificazione.

Con ogni probabilità saranno realizzati edifici di civile abitazione a due piani, per cui la frequenza è pari a circa 5 Hz, dall'indagine geofisica si osserva che a circa 10-15 m di profondità dove la frequenza registrata è di circa 5 Hz si osserva un cambio litologico, passando sa limi argillosi a ghiaie al di sotto delle quali sono presenti le sabbie gialle, la frequenza caratteristica è di circa 8 Hz corrispondente ad una profondità di 5-10 m, in linea di massima si tende ad escludere fenomeni di doppia risonanza sugli edifici tuttavia siamo in una situazione al limite per cui si consiglia di tenere presente che il banco di ghiaia a cira 9-10 di profondità potrebbe dare luogo a tali fenomeni di risonanza.

PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Latitudine: 44,342483 °

Longitudine: 11,724889 °

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1	17623	44,3209	11,6737	4721,733
Sito 2	17624	44,3220	11,7436	2721,712
Sito 3	17402	44,3720	11,7421	3553,793
Sito 4	17401	44,3709	11,6722	5248,465

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

Parametri sismici:

	P_{VR} %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,066	2,404	0,260
Danno SLD	63	50	0,085	2,393	0,268
Salvaguardia vita SLV	10	475	0,205	2,451	0,300
Prevenzione collasso	5	975	0,257	2,506	0.313

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

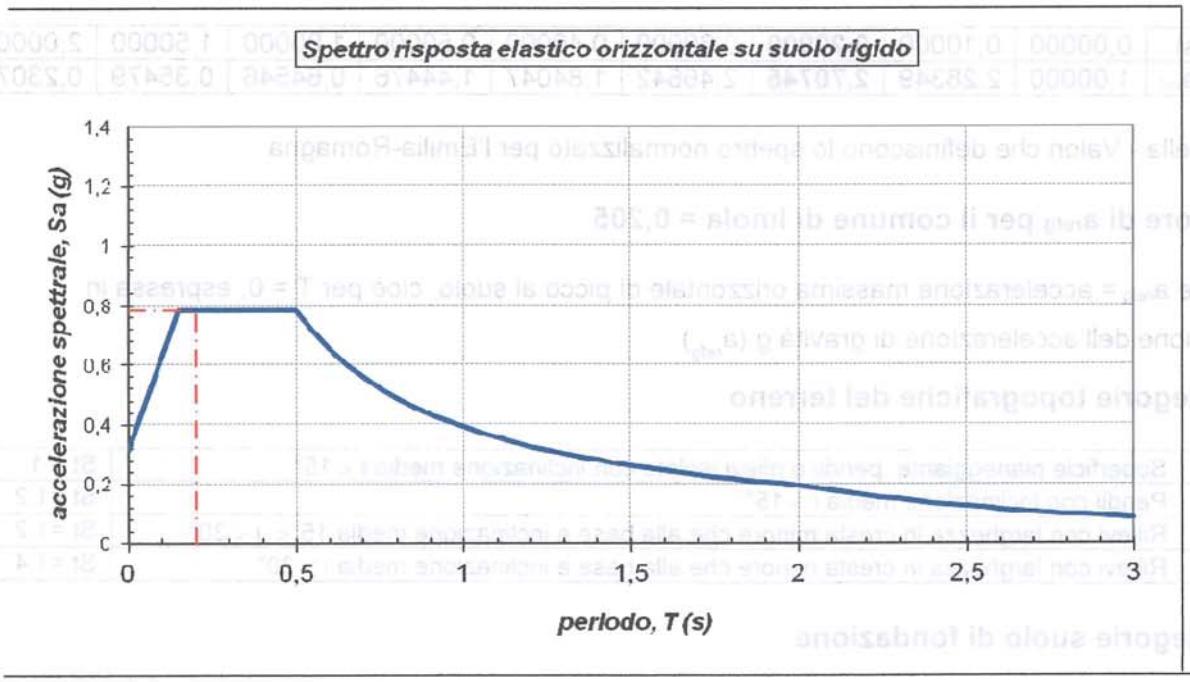
	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,978	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,026	0,013	1,251	0,200
SLV	**1,400**	1,560	**1,000**	0,080	0,040	**2,818**	0,280
SLC	1,310	1,540	1,000	0,094	0,047	3,300	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica

Spettri di risposta



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
Margine app	C	0.25	1.25	0.15	0.5	2	2	0,2	0,78125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di a_{refg} di ogni comune ,lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

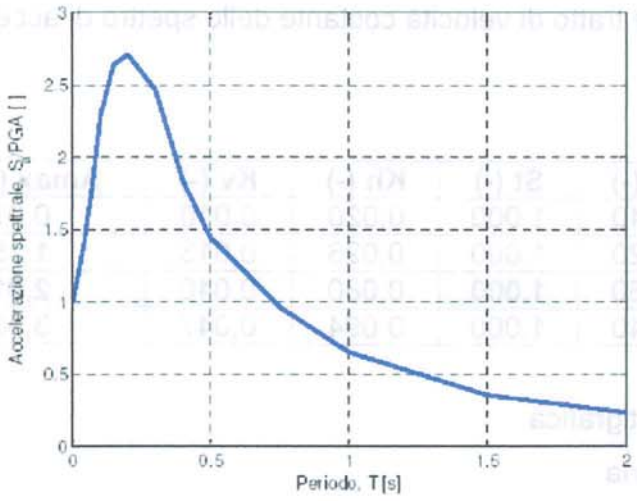


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00000	0,10000	**0,20000**	0,30000	0,40000	0,50000	1,00000	1,50000	2,00000
Sa/a_{ref}	1,00000	2,28349	**2,70745**	2,46642	1,84047	1,44476	0,64546	0,35479	0,23070

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

Valore di a_{refg} per il comune di Imola = 0,205

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media i < 15°	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	St =1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media 15°< i < 30°	St =1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media i > 30°	St =1.4

Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	V_{s30} (m/s)	NSPT	Cu (kPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (15 < N_{SPT} < 50, 70 < c_u < 250 kPa)	180 – 360	15 – 50	70 – 250

Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

L'area di intervento è collocata tra la pianura e il primo appennino imolese, in base alla nuova classificazione è morfologicamente definito come margine appenninico-padano caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido), in particolare abbiamo Margine tipo A caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico; le prove penetrometriche e la modellazione sismica evidenziano la presenza di depositi alluvionali fini sovrastanti il substrato non rigido collocabile a circa 10 m di profondità, si procede quindi al calcolo della VsH, in questo caso Vs10 per entrambi i siti:

Vs10 = 10 / ((0.7/70)+(3,3/140)+(6/250)) = 173 m/s sito 1

Vs10 = 10 / ((0.5/67)+(3,7/140)+(6/300)) = 185 m/s sito 2

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 200 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

MARGINE APPENNINICO-PADANO: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido); questo settore è suddiviso in:

MARGINE di tipo A: caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.2**	2.0	1.8		

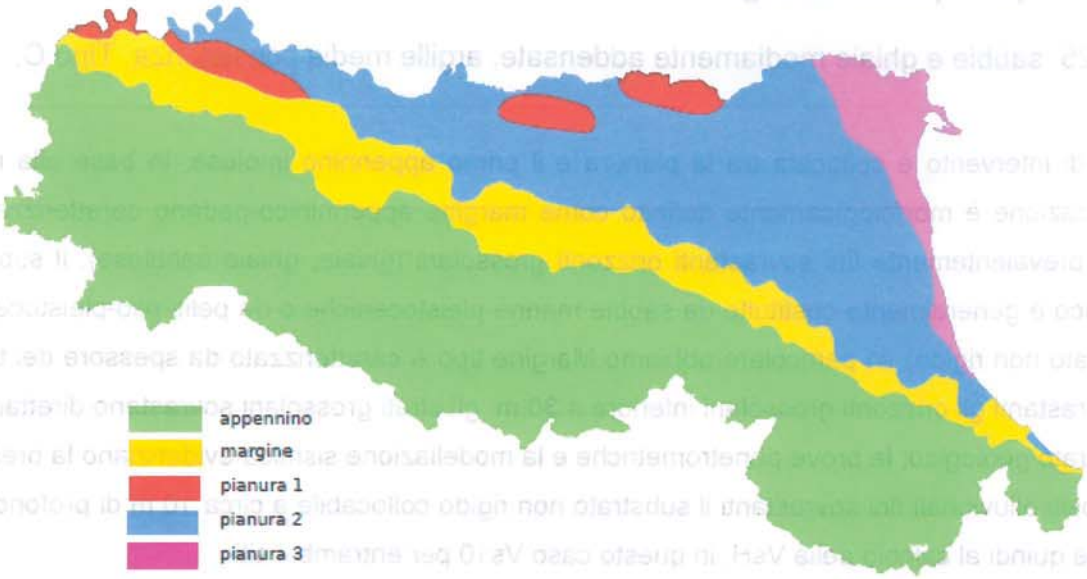
Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.6	**2.4**	2.0	1.8		

Fattori di Amplificazione **SI1** (0.1*s* ≤*T*0≤0.5*s*). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.0**	1.8	1.7		

Fattori di Amplificazione **SI2** (0.1*s* ≤*T*0≤0.5*s*). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici

13 CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- L'esame dei grafici evidenzia un'uniformità di risposta dei terreni alle sollecitazioni verticali. Nel dettaglio si è evidenziato che sotto il terreno agrario sono presenti limi sabbiosi argillosi.
- Al di sotto di questi terreni è presente un orizzonte ghiaioso a circa 8-9 m dal piano campagna attuale.
- Sulla base delle prove effettuate, dei calcoli effettuati per le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e della natura dei terreni, il terreno a – 3.0 – 3.5 m dal piano campagna, ha la seguente tensione di progetto:
  - Approccio 2 (A1 + M1 +R3): qd = 192,49 kN./m^2
- Avendo calcolato una tensione normale di progetto che nell'approccio 2 è di 192,49 kN/m^2 si sono eseguiti i calcoli riducendo la tensione normale di progetto risultante dai calcoli a 140 kN/m^2 con un cedimento massimo di 0.69 cm.
- Sulla base dei dati calcolati per la Cu_{30} la categoria del sottosuolo individuata è la **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina)**
- Attualmente nello strato di terreno analizzato non insiste nessuna falda freatica.
- Le caratteristiche di consistenza dei terreni, e l'assenza di falda idrica assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- Sulla base di osservazioni effettuate su abitazione situate in zone contermini, che hanno subito dei cedimenti differenziali dovuti ad un eccessivo essiccamento del terreno, chiamato in gergo "sovraconsolidamento", si consiglia di non piantumare alberi ad alto fusto ad una distanza inferiore a 5 m dai futuri fabbricati.

- Essendo la presente una relazione geologica per un intero ambito, al momento della costruzione dei singoli fabbricati, sarà necessario approfondire le indagini geologiche con opportuni studi finalizzati al tipo di costruzione progettata.

Dal punto di vista sismico:

- Il terreno indagato e classificabile come sito **C**;
- La Vs30 stimata è pari a 211 m/s per il sito 1 e 239 m/s per il sito 2 con una velocità media dell'area pari a 225 m/s;
- I manufatti previsti sono classificati come classe d'uso II;
- Non è da escludere il rischio di risonanza sugli edifici;
- L'accelerazione di gravita del sito è ag = 0,205 (SLV);
- L'accelerazione massima è Amax = 2,818 (SLV);
- L' accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per il comune di Imola è 0,205;
- La categoria topografica è T1;
- L'area è classificabile come margine appenninico padano con substrato marino caratterizzato da Vs30 < 800m/s;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica quelli relativi alla fascia di velocità pari a 200 m/s;
- Il coefficiente di amplificazione sismica F.A. P.G.A è **1.9**, F.A: I.S. per l'intervallo 0.1s<To<0.5s è **2,2**, F.A. I.S. per l'intervallo 0.5s<To<1.0s è **2,8.**

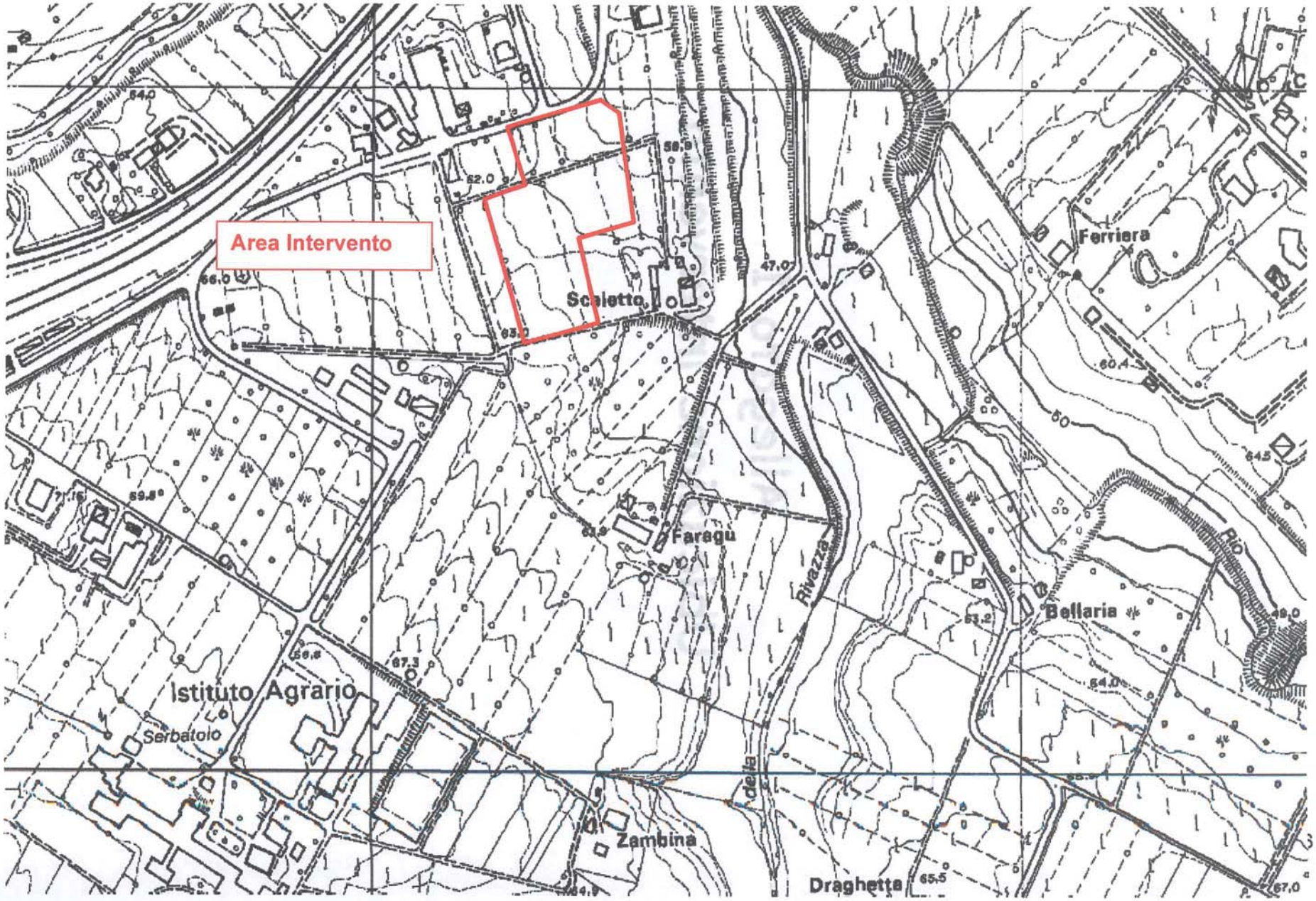
Imola 03 marzo 2016

Il geologo

Dott. Maurizio Castellari

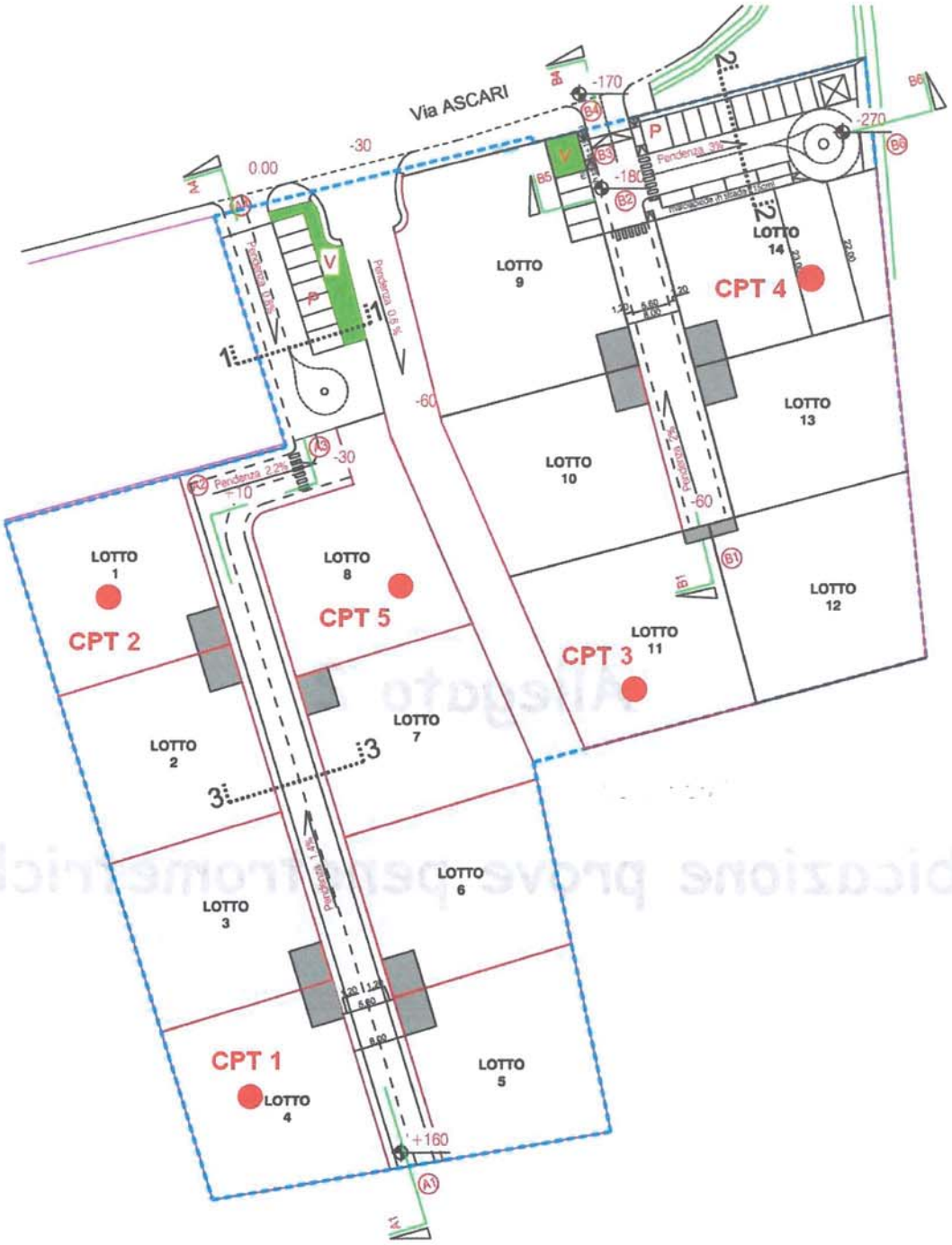
Allegato 1
Ubicazione intervento

Indagini Geologiche e Ambientali



Allegato 2

Ubicazione prove penetrometriche


Via ASCARI
0.00
-30
-60
-170
-180
-270
+10
+160
Pendenza 2,2%
Pendenza 0,6 %
Pendenza 3%
LOTTO 1
LOTTO 2
LOTTO 3
LOTTO 4
LOTTO 5
LOTTO 6
LOTTO 7
LOTTO 8
LOTTO 9
LOTTO 10
LOTTO 11
LOTTO 12
LOTTO 13
LOTTO 14
CPT 1
CPT 2
CPT 3
CPT 4
CPT 5

Allegato 3

Grafici prove penetrometriche

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

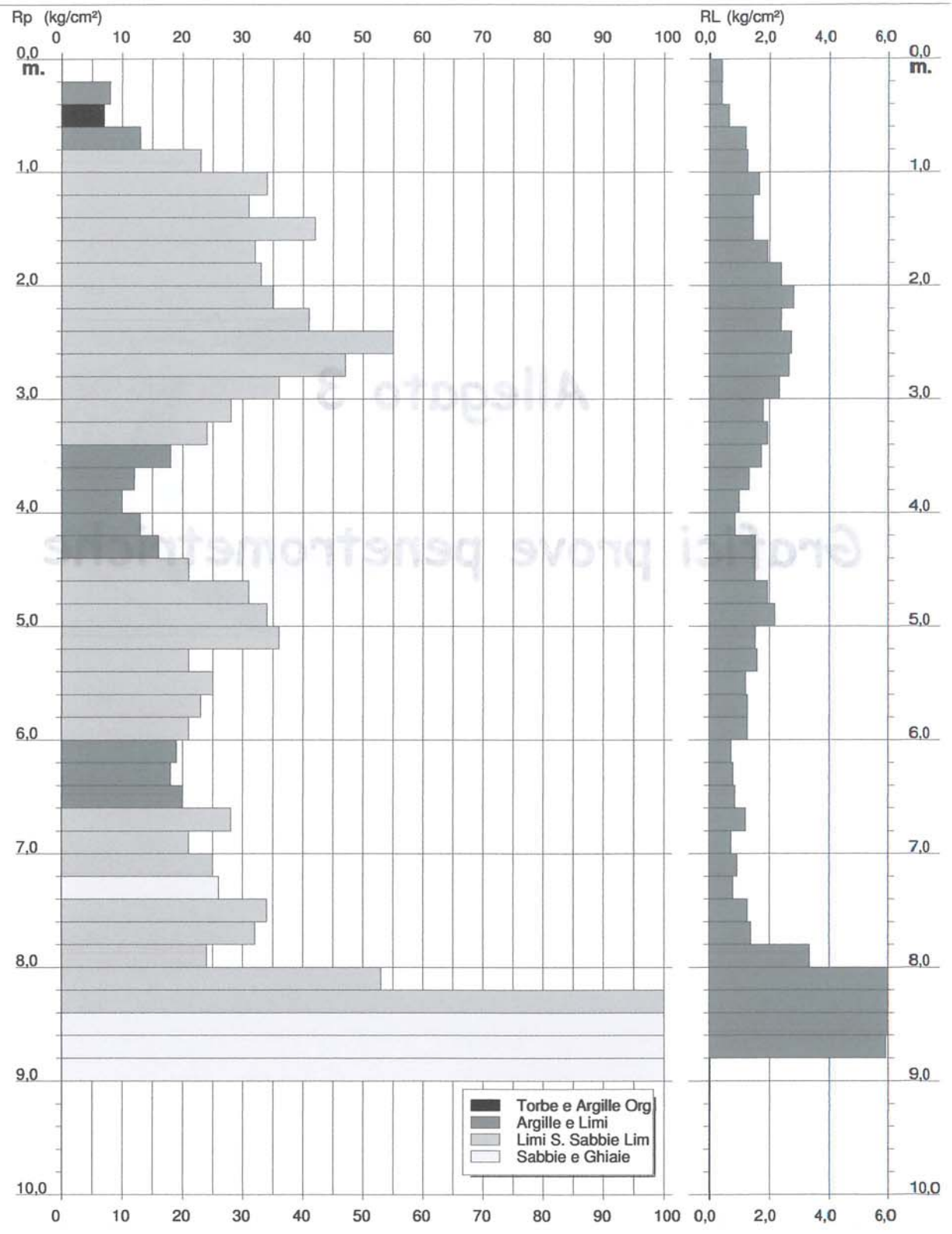
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

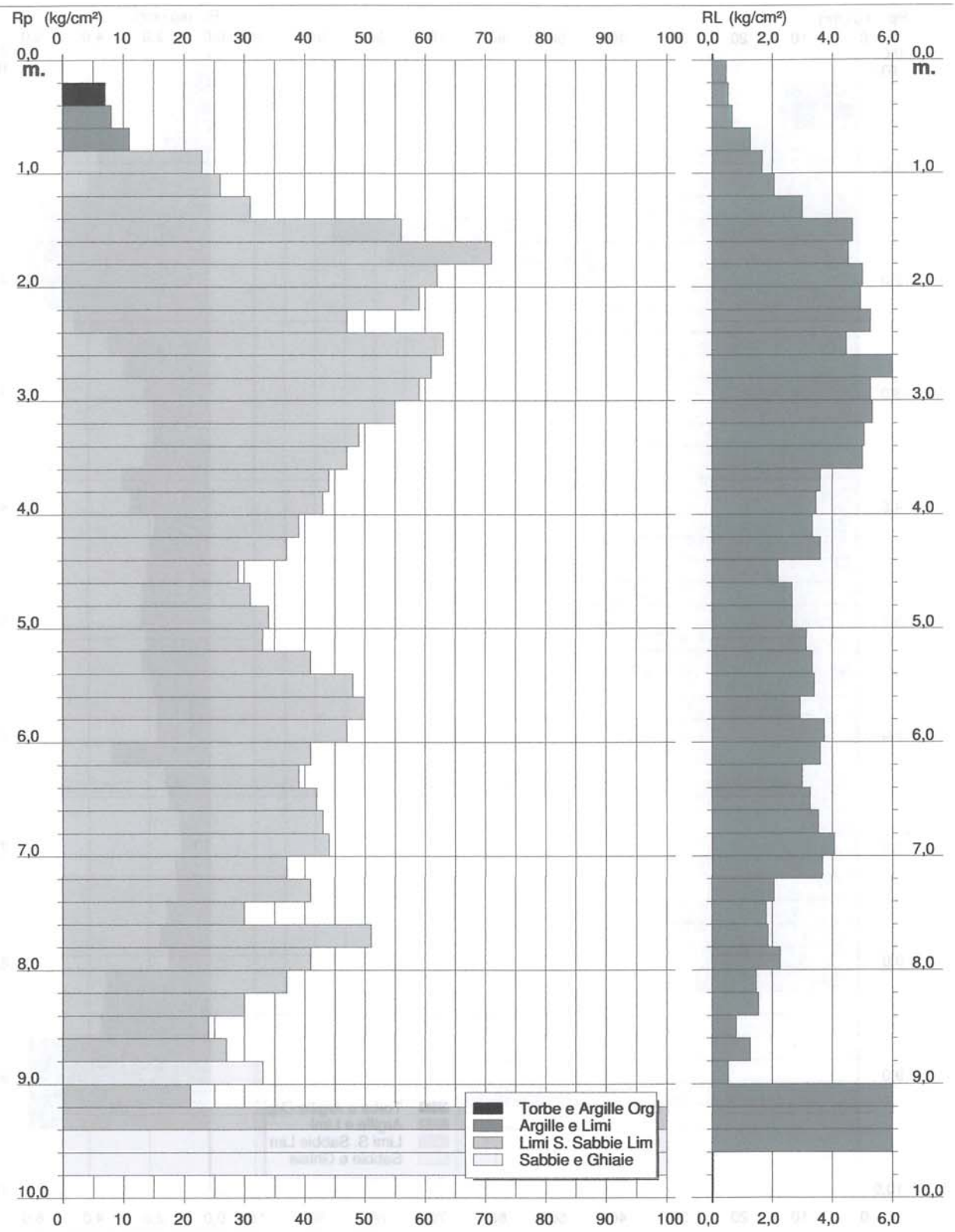
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

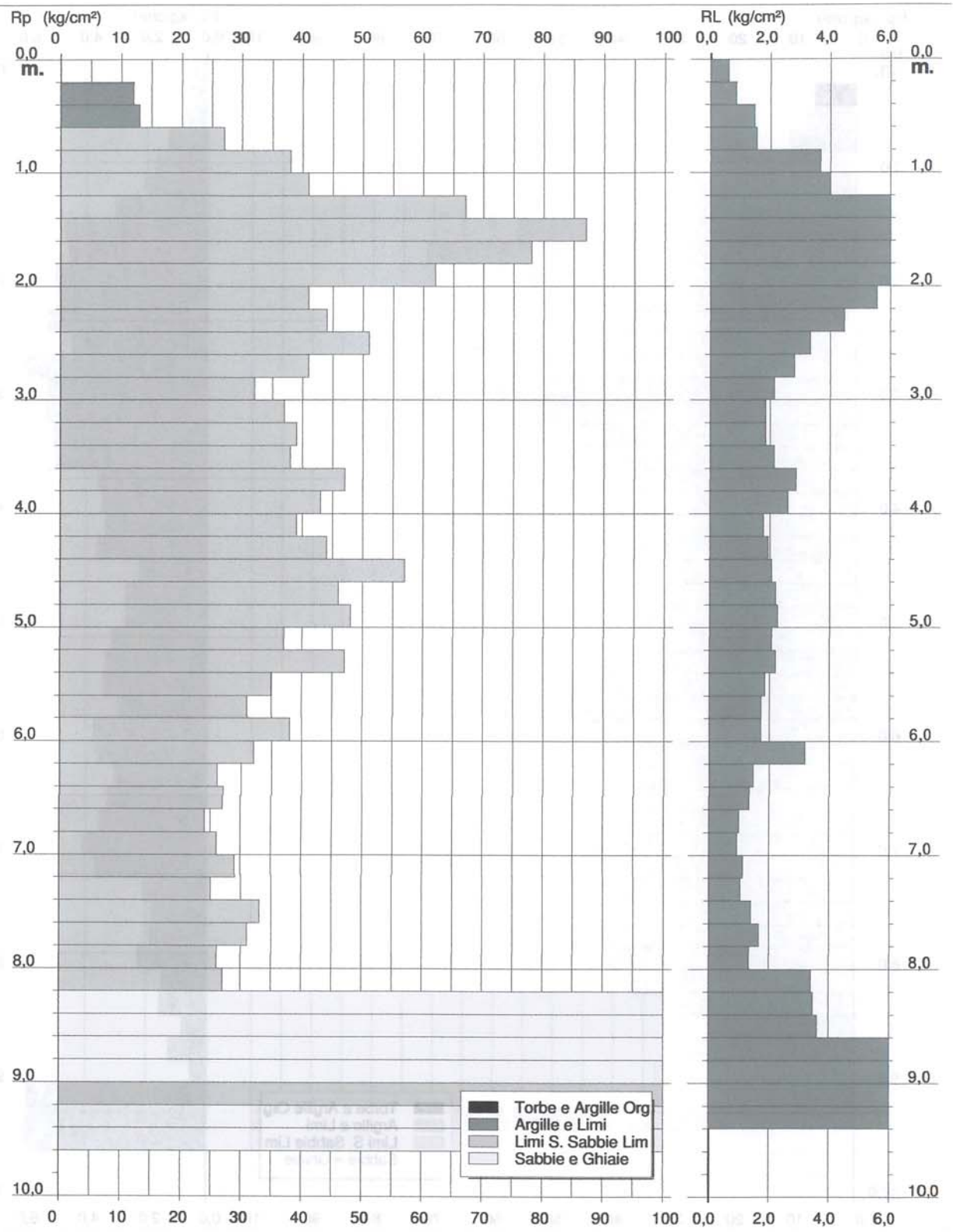
Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 3
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

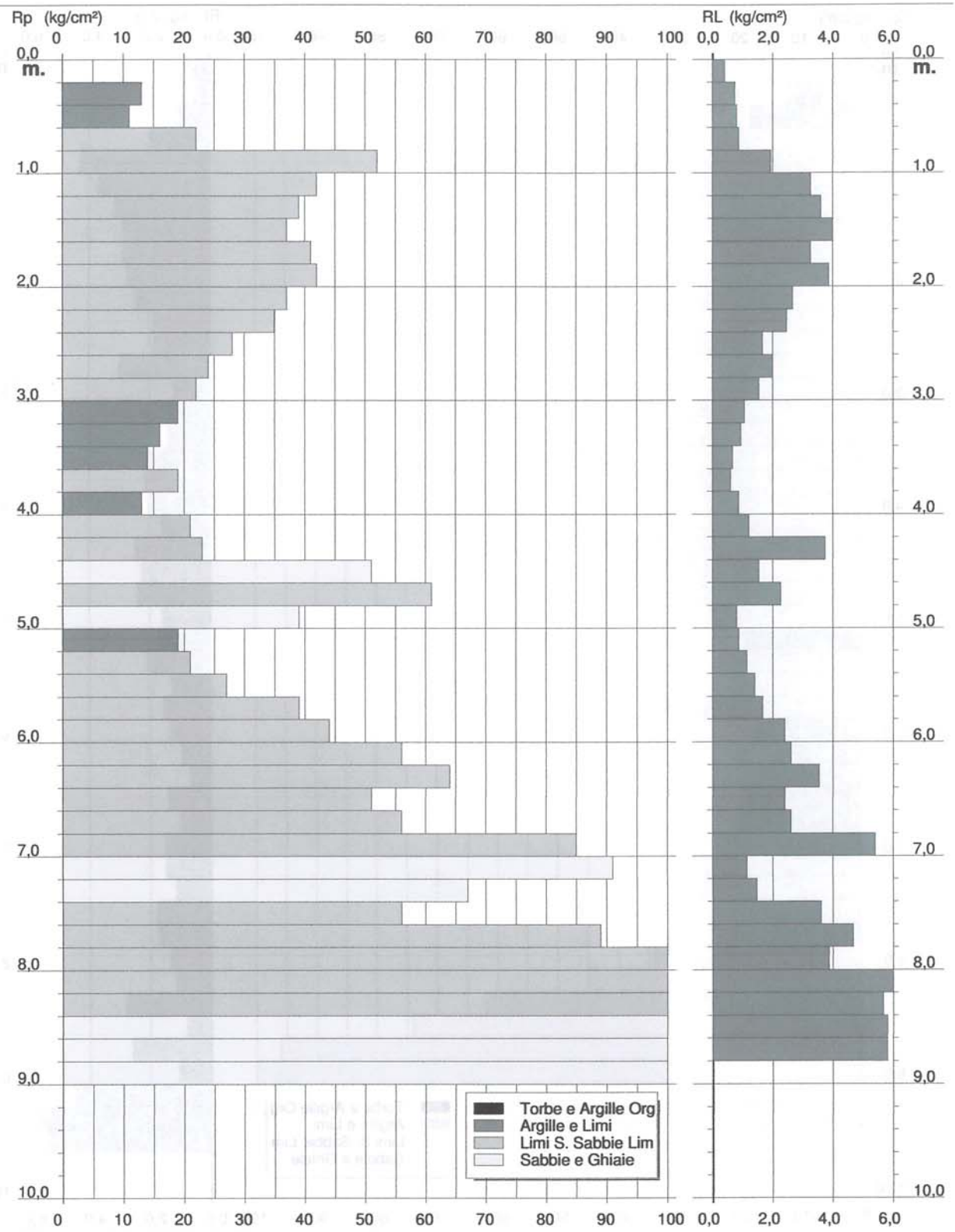
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 4
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

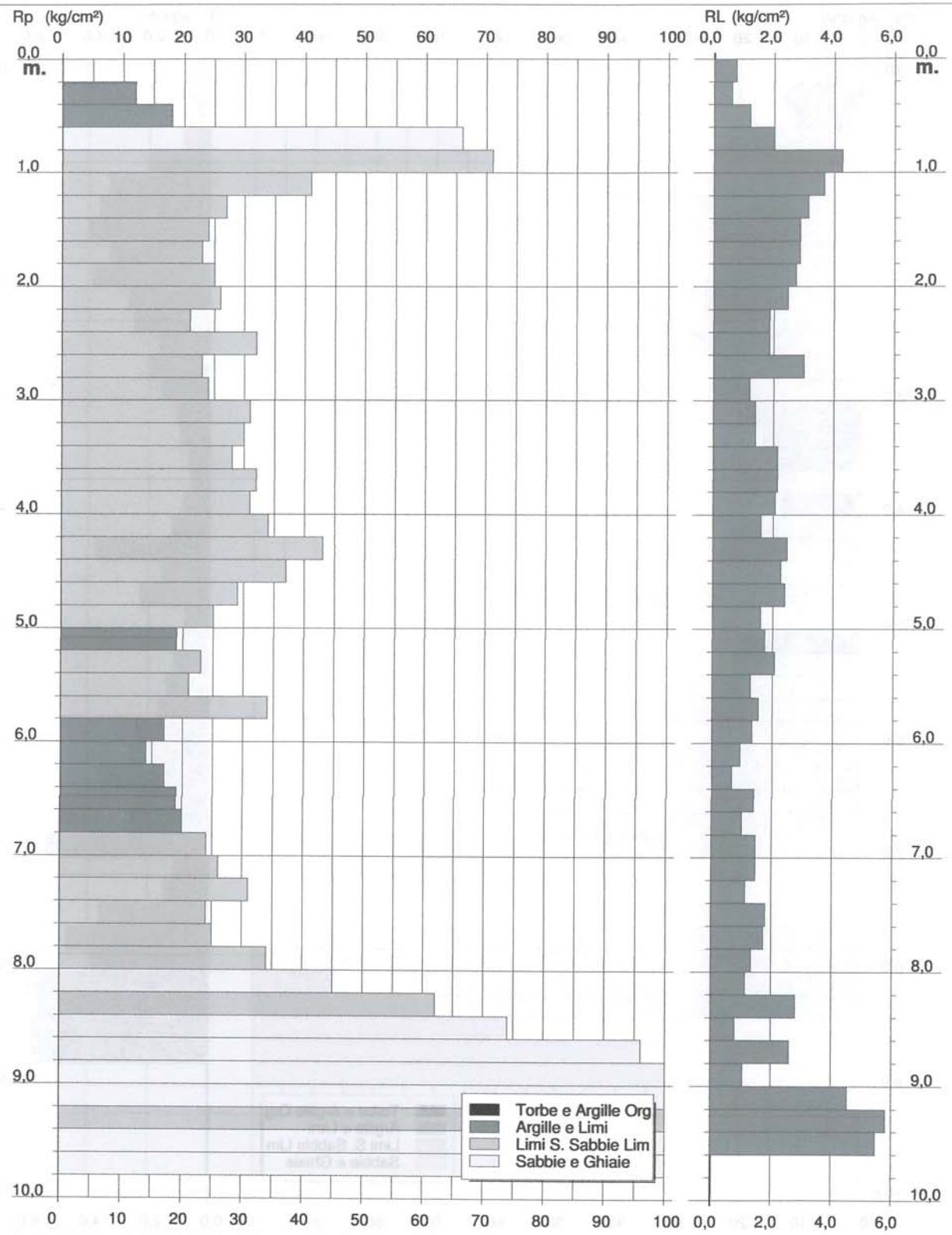
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

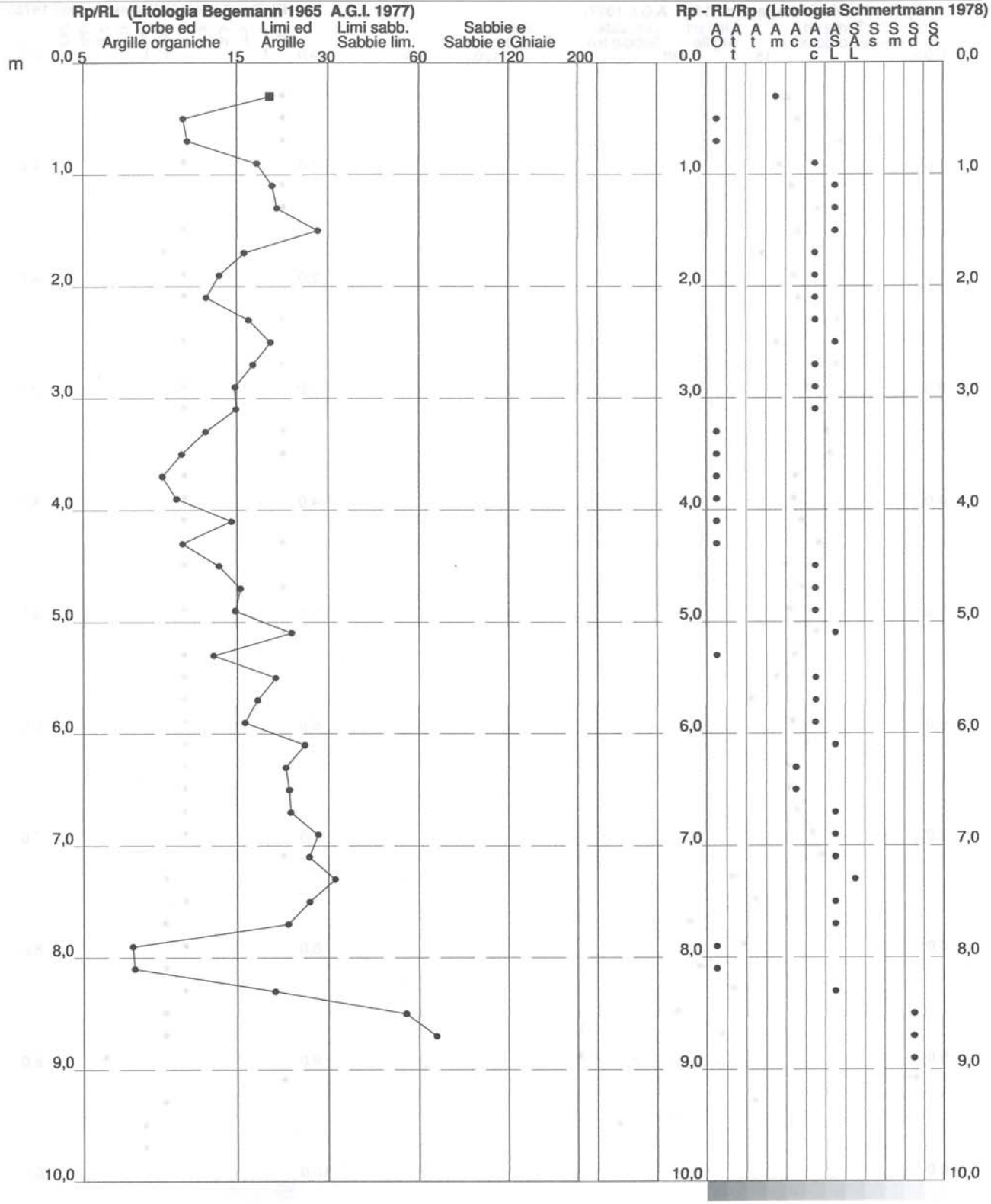
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 1
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

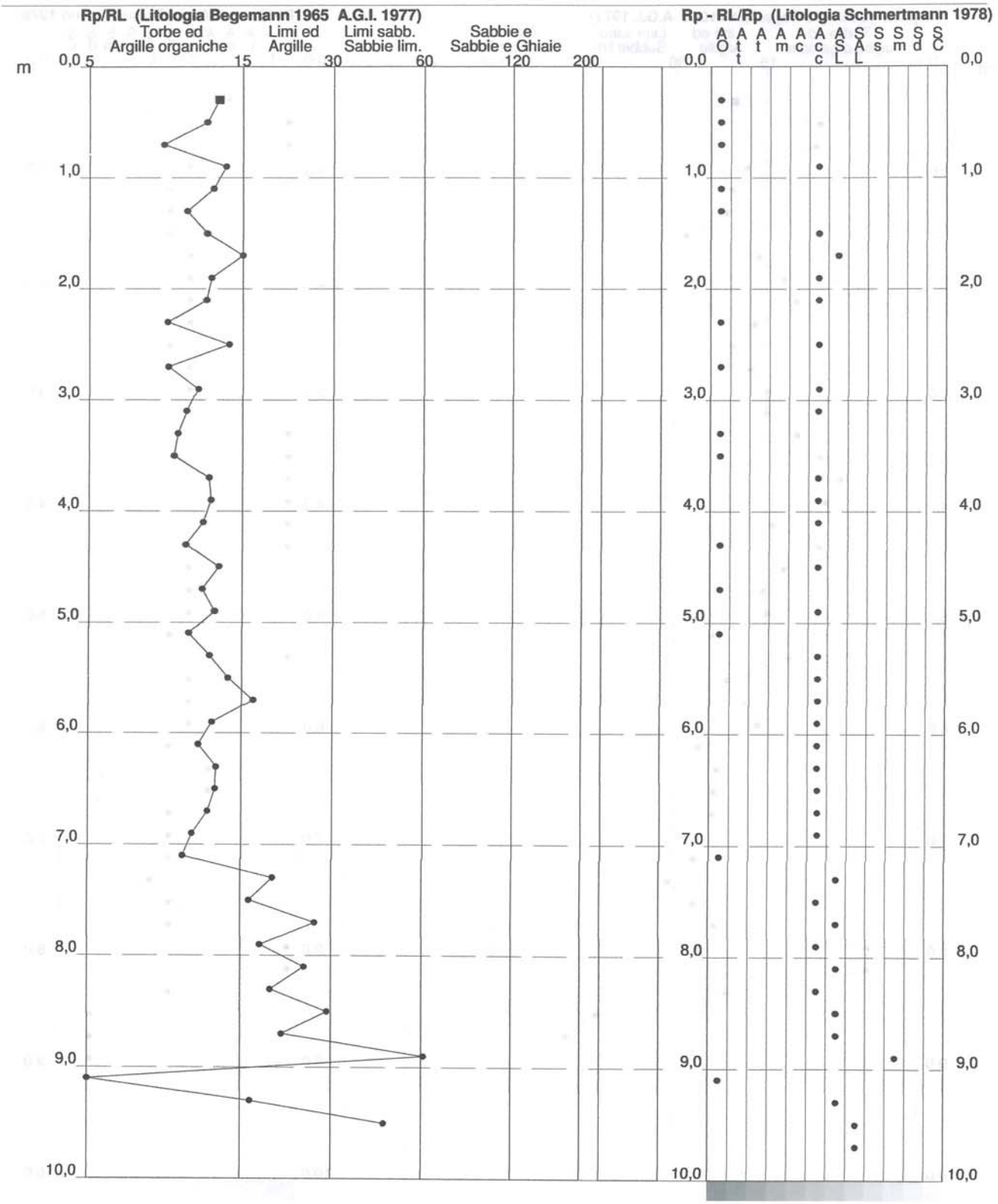
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 2
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

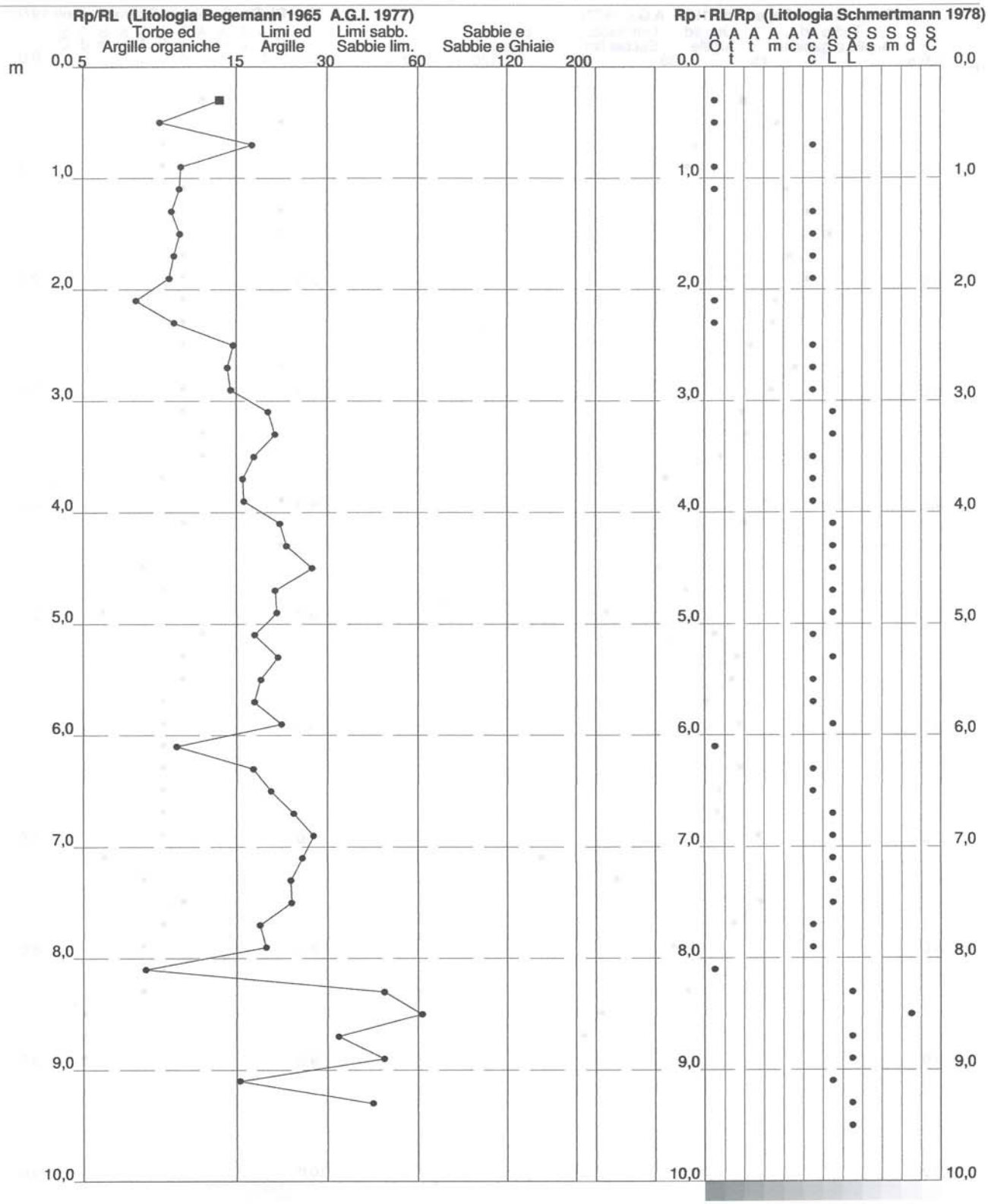
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 3
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

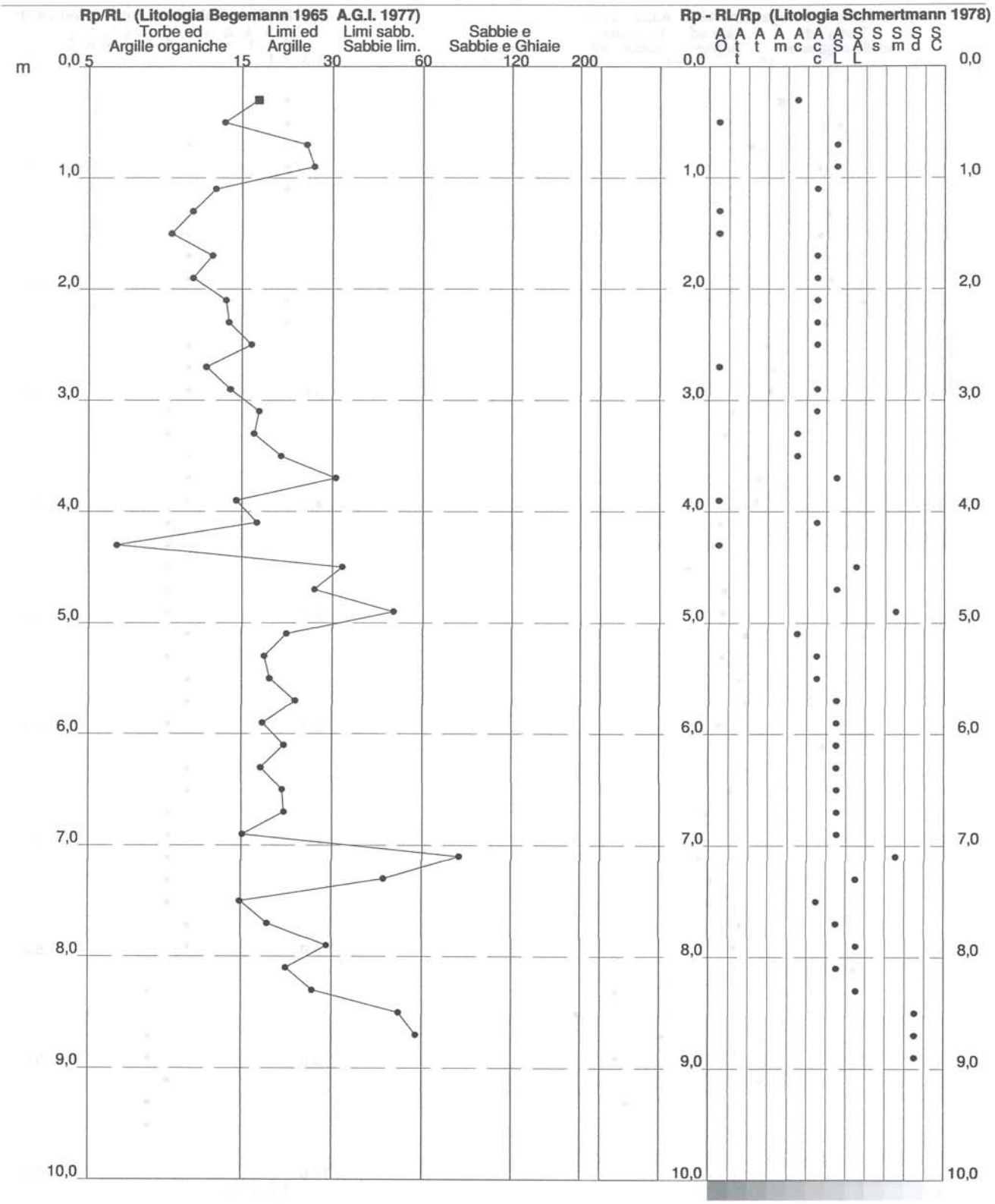
Rifer. 006-16

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT 4
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Dott. Saverio Tabanelli
Via S. Lucia n.37 - 48018 Faenza (RA)

Rifer. 006-16

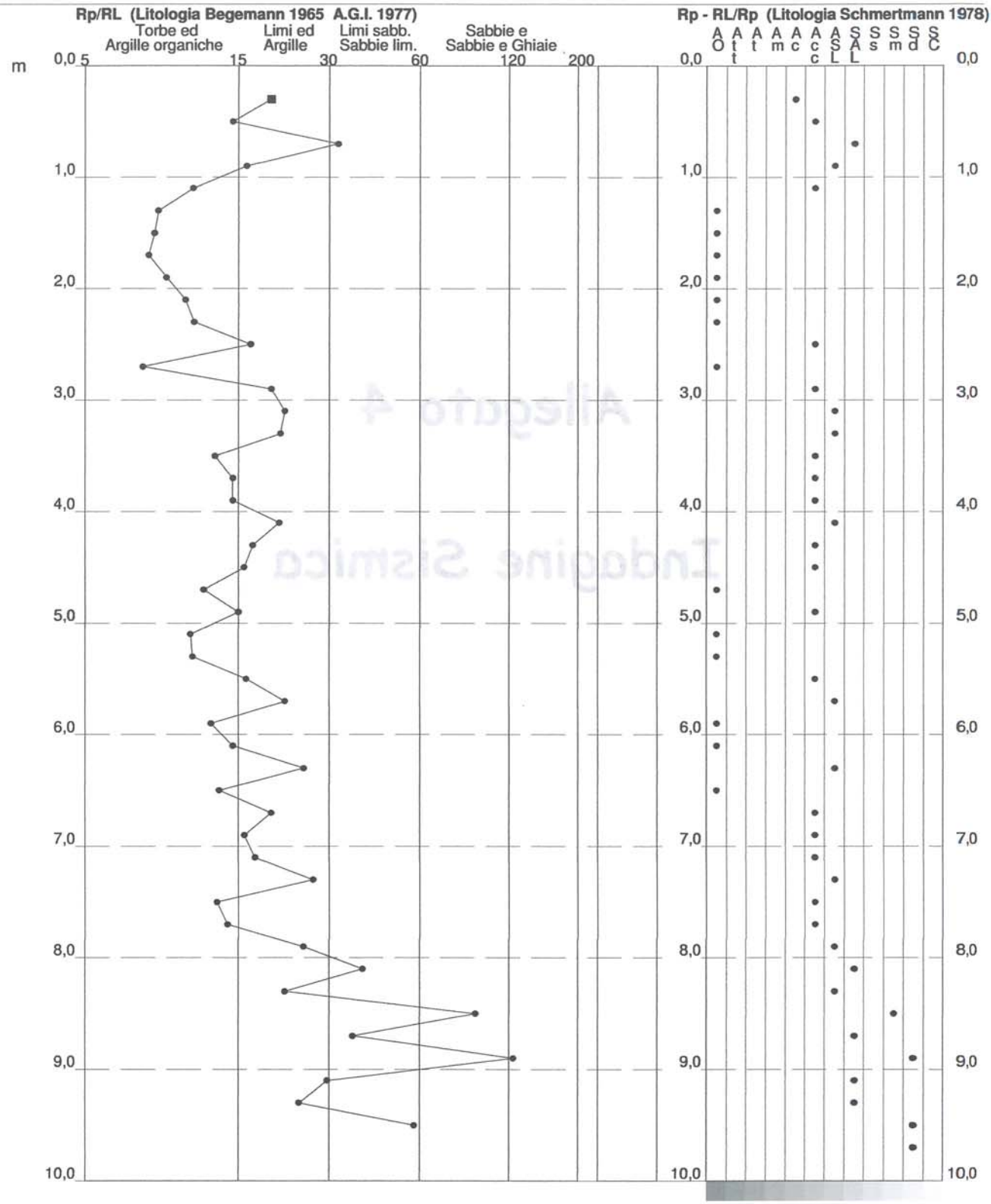
PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 5

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari
- lavoro : nuova lottizzione belvedere
- località : Imola (BO)
- note :

- data : 18/01/2016
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

Allegato 4

Indagine Sismica

Dr. Bruno Gardegni – Geologo - Via Fadina 22 – 48018 Faenza (RA)
e-mail: brunogard@libero.it – cell.: 3294053135



INDAGINE SISMICA mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a stazione singola eseguita con tromografo digitale TROMINO-Micromed ed elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed

CANTIERE: via Ascari, Imola (BO)

COMMITTENTE: dr.geol. Castellari Maurizio

LAVORO: nuova lottizzazione

Faenza, Gennaio 2016

Dr. Geol. Bruno Gardegni

Dr. Bruno Gardegni – Geologo - Via Fadina 22 – 48018 Faenza (RA)
e-mail: brunogard@libero.it – cell.: 3294053135

UBICAZIONE INDAGINE

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione sismica di un area ubicata nel Comune di Imola in via Ascari dove è prevista una nuova lottizzazione, pertanto è stata redatta una relazione geologica a cui verrà allegata la presente relazione sismica, inoltre sono state eseguite 5 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità di circa 10 m, tali prove sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica, vista l'estensione dell'area sono state eseguite due tromografie sismiche.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed, lo strumento è stato posizionato tra le prove penetrometriche eseguite.

L'area è inquadrata nella carta topografica 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna all'interno del quadrante 239 NO Imola, nel C.T.R. 1:10.000 nella sezione 239050 Serra e nel C.T.R. 1:5.000 risulta inquadrato nell'elemento 239051 Imola Sud.



Ubicazione indagini: • tromino - • CPT

INDAGINE GEOFISICA e INTERPRETAZIONE

Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tromografico digitale **TROMINO,** avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/, fornisce una valutazione diretta della Vs_{30} in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La Vs_{30} viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtremori, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma; il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come ad esempio dalle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, e il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica. Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME.

Nel presente studio, che sfrutta la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V = 1) con quello misurato in superficie, la frequenza di risonanza del terreno è regolata dalla formula:

$$f = Vs / 4H$$

dove f è la frequenza e H lo spessore dello strato sismico.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:

Traccia 1

Start recording: 18/01/16 09:27:23 End recording: 18/01/16 09:57:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h30'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

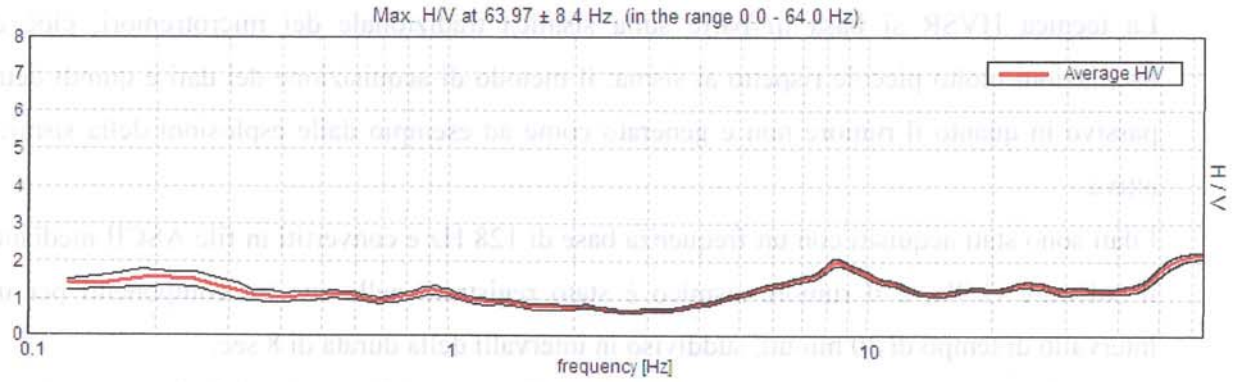
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

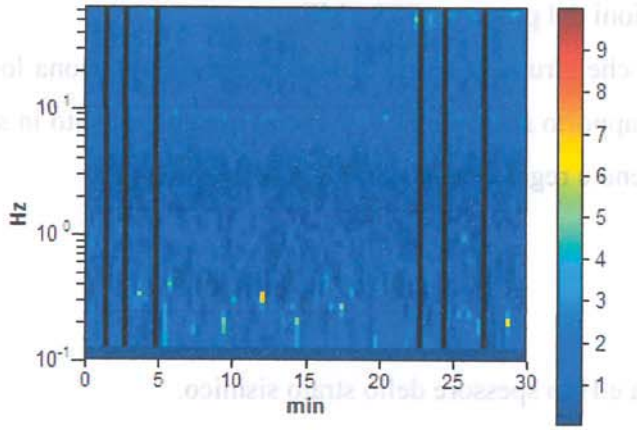
Smoothing: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

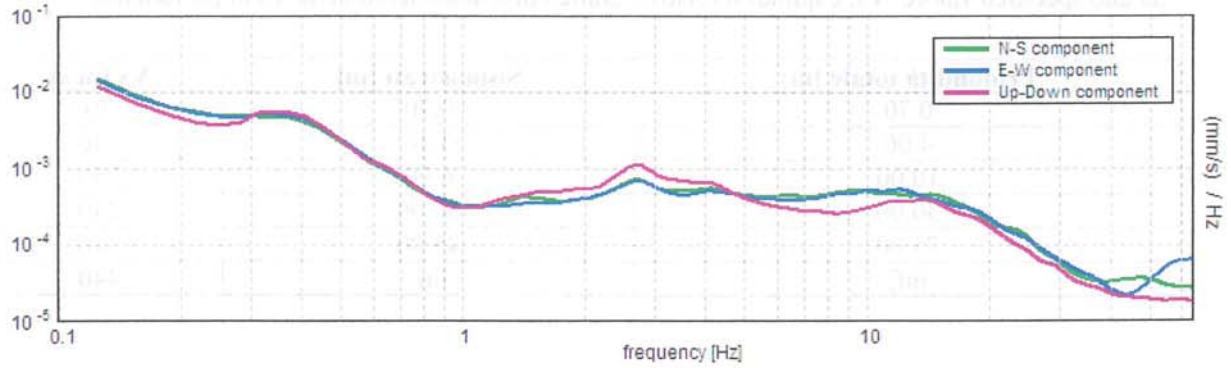


H/V TIME HISTORY

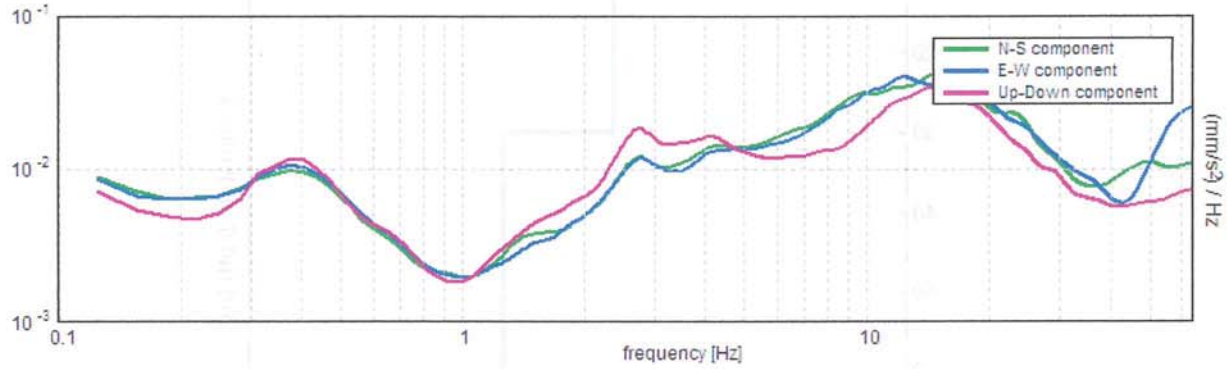


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

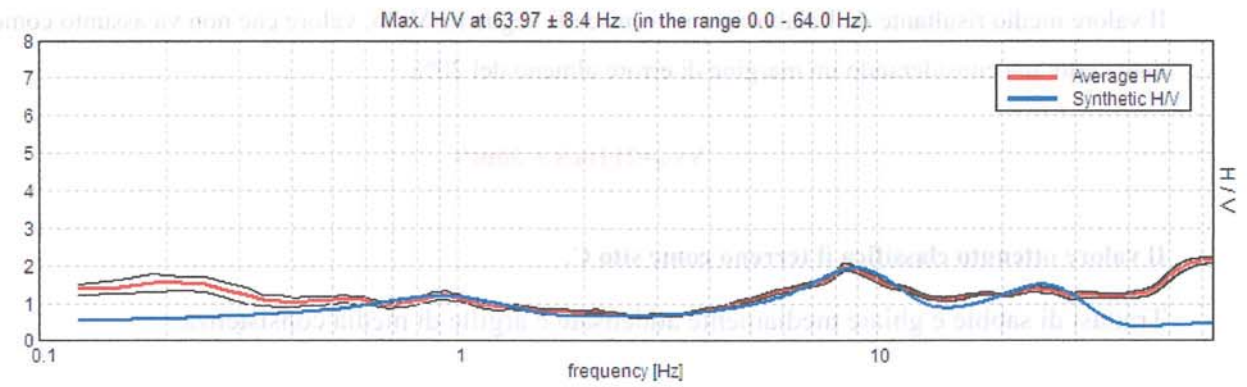


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



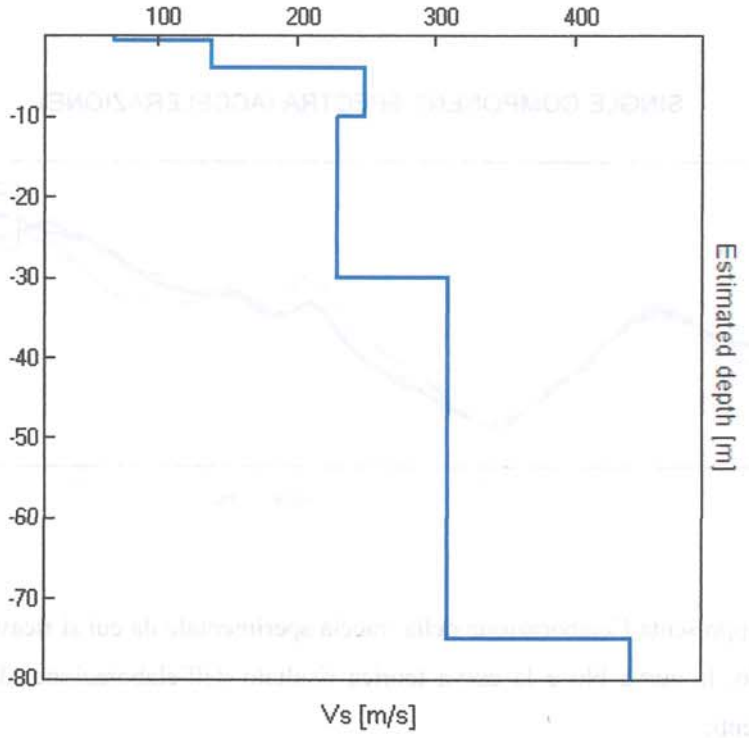
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC Hh/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	70
4.00	3.30	140
10.00	6.00	250
30.00	20.00	230
75.00	45.00	310
inf.	inf.	440



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

Vs_{30}=211m/s ± 30m/s

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 63.97 ± 8.4 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	107467.5 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.514 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.679 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.16 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.0456| < 0.05	OK	
$s_f < e(f_0)$	2.19653 < 3.19844	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.0426 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $\square_f < \square(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\square_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $\square_A(f) < \square(f_0)$

Threshold values for $\square_f$ and $\square_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Traccia 2

Start recording: 18/01/16 10:42:52 End recording: 18/01/16 11:12:53

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h30'00". Analyzed 92% trace (automatic window selection)

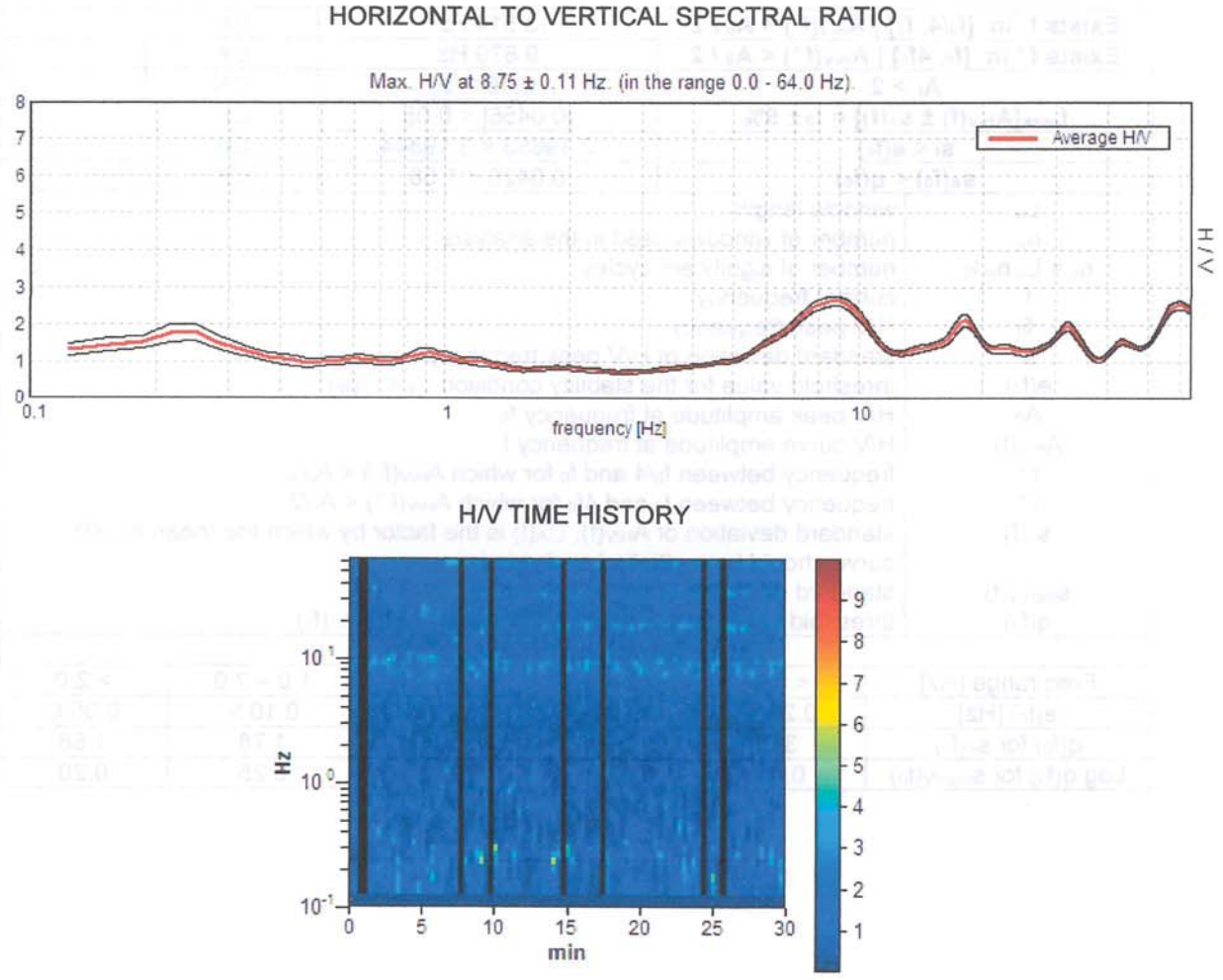
Sampling frequency: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

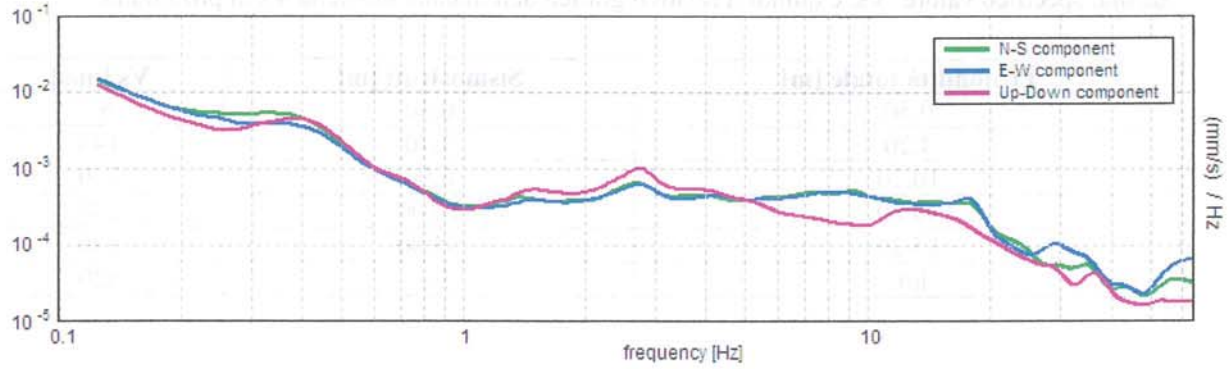
Smoothing: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

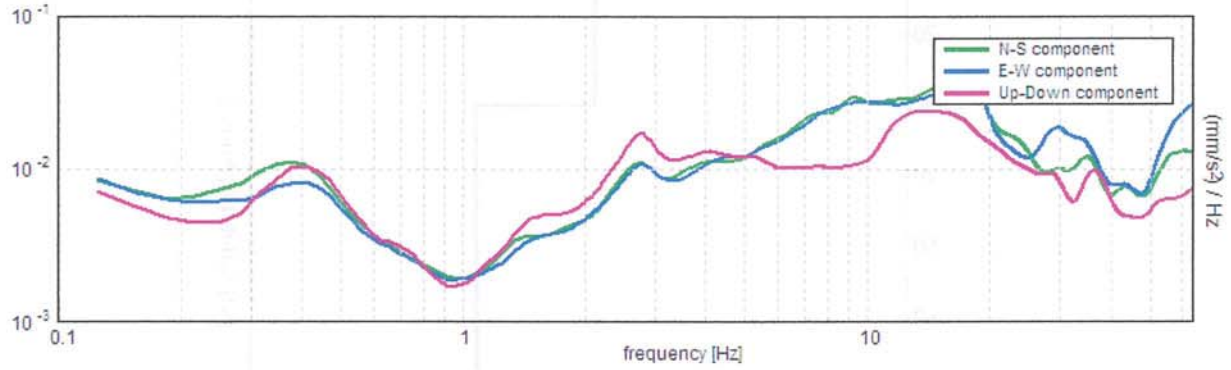


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

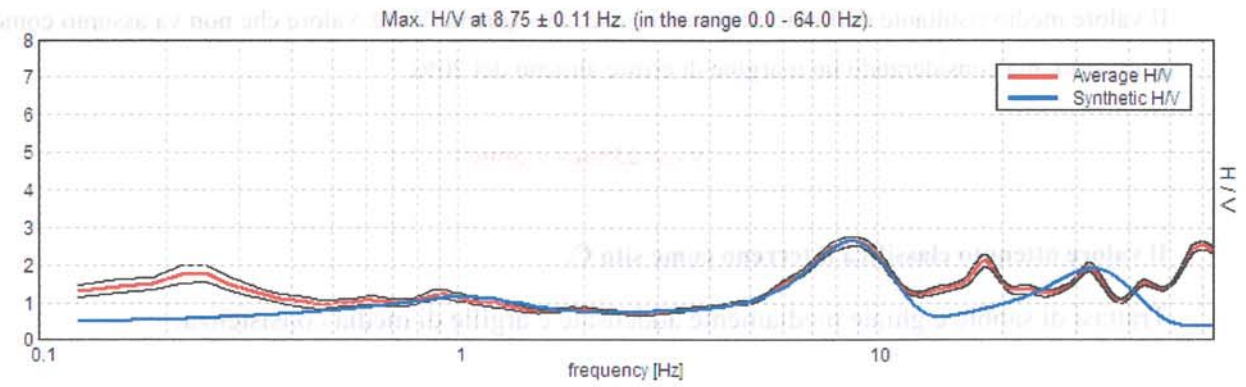


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



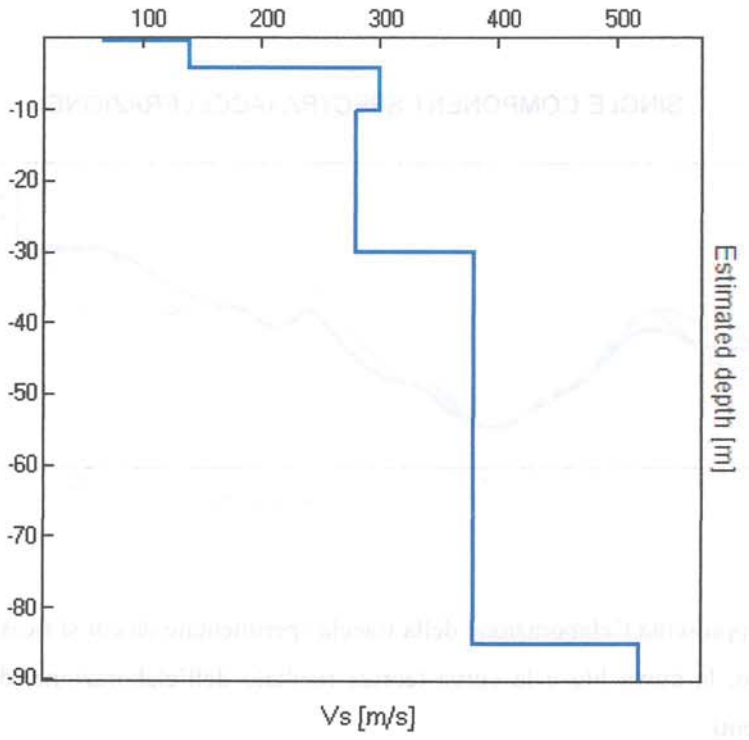
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC Hh/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	67
4.20	3.70	140
10.20	6.00	300
30.20	20.00	280
85.20	55.00	380
inf.	inf.	520



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

Vs_{30}=239m/s ± 30m/s

Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 8.75 ± 0.11 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	14350.0 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 421 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.65 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00603| < 0.05	OK	
$s_f < e(f_0)$	0.05274 < 0.4375	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.0619 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
s_f	standard deviation of H/V peak frequency
$e(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \sigma(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$s_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$s_{logH/V}(f)$	standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve
$q(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \sigma(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$e(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$q(f_0)$ for $s_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $q(f_0)$ for $s_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

VALUTAZIONE EFFETTO DOPPIA RISONANZA

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova lottizzazione, si procede ad una valutazione della risonanza in previsione della costruzione di nuovi edifici. La frequenza di un edificio dipende dall'altezza ossia dal numero dei piani e può essere calcolata approssimativamente secondo la formula:

$$\text{Freq. edificio} \cong 10 \text{ Hz} / \text{n.piani}$$

La coincidenza di risonanza tra terreno e struttura può dar luogo a fenomeni di doppia risonanza sull'edificio pericolosa in quanto provoca la massima amplificazione.

Con ogni probabilità saranno realizzati edifici di civile abitazione a due piani, per cui la frequenza è pari a circa 5 Hz, dall'indagine geofisica si osserva che a circa 10-15 m di profondità dove la frequenza registrata è di circa 5 Hz si osserva un cambio litologico, passando sa limi argillosi a ghiaie al di sotto delle quali sono presenti le sabbie gialle, la frequenza caratteristica è di circa 8 Hz corrispondente ad una profondità di 5-10 m, in linea di massima si tende ad escludere fenomeni di doppia risonanza sugli edifici tuttavia siamo in una situazione al limite per cui si consiglia di tenere presente che il banco di ghiaia a cira 9-10 di profondità potrebbe dare luogo a tali fenomeni di risonanza.

PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

Sito in esame: C

Latitudine: 44,342483 °

Longitudine: 11,724889 °

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Siti di riferimento:

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1	17623	44,3209	11,6737	4721,733
Sito 2	17624	44,3220	11,7436	2721,712
Sito 3	17402	44,3720	11,7421	3553,793
Sito 4	17401	44,3709	11,6722	5248,465

Categoria suolo: C

Categoria topografica: T1

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

Parametri sismici:

	P_{VR} %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,066	2,404	0,260
Danno SLD	63	50	0,085	2,393	0,268
Salvaguardia vita SLV	10	475	**0,205**	2,451	0,300
Prevenzione collasso SLC	5	975	0,257	2,506	0.313

P_{VR} = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

Coefficienti sismici:

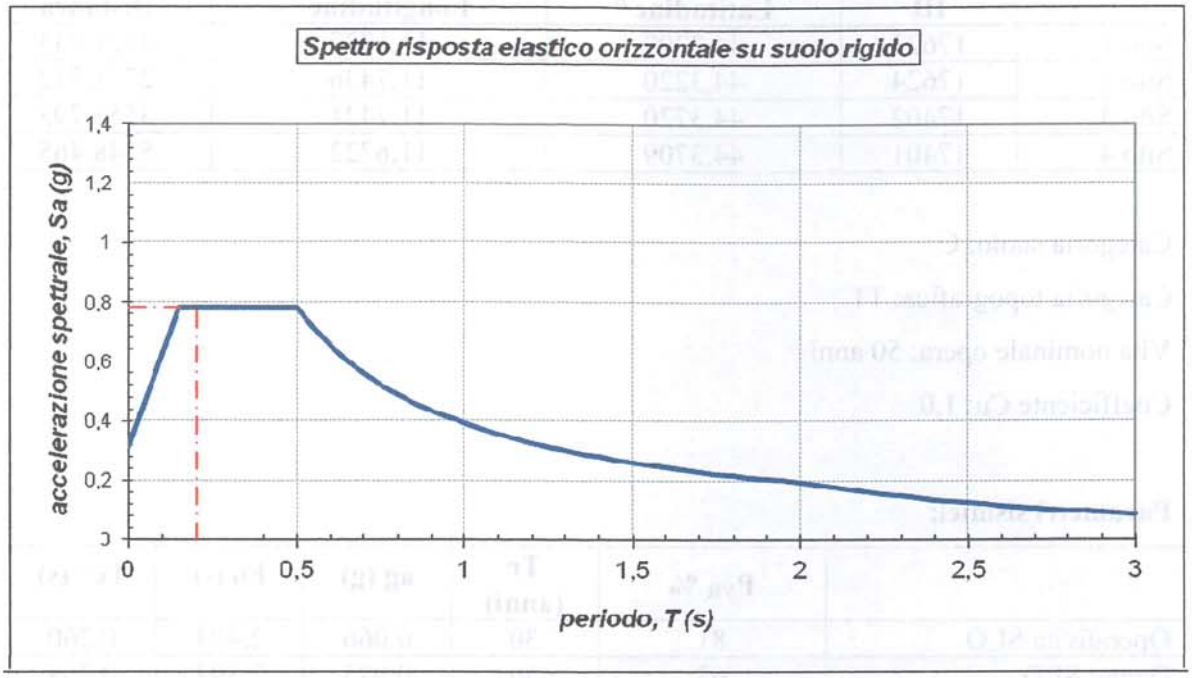
	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s²)	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,020	0,010	0,978	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,026	0,013	1,251	0,200
SLV	**1,400**	1,560	**1,000**	0,080	0,040	**2,818**	0,280
SLC	1,310	1,540	1,000	0,094	0,047	3,300	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica

Spettri di risposta



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa
Margine app A	C	0.25	1.25	0.15	0.5	2	2	0,2	0,78125

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di a_{refg} di ogni comune ,lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

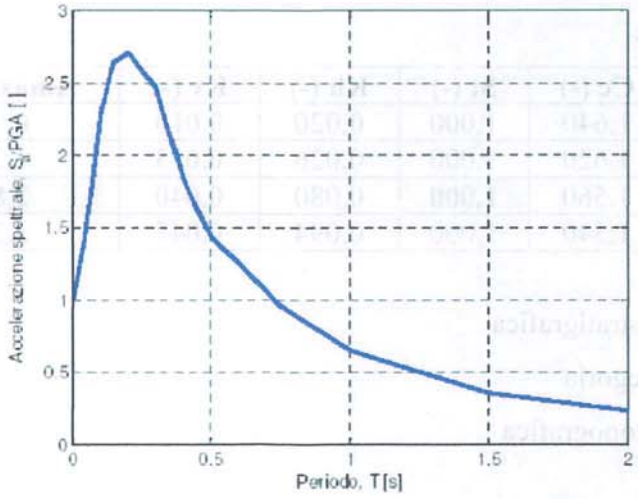


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00000	0,10000	**0,20000**	0,30000	0,40000	0,50000	1,00000	1,50000	2,00000
Sa/a_{ref}	1,00000	2,28349	**2,70745**	2,46642	1,84047	1,44476	0,64546	0,35479	0,23070

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

Valore di a_{refg} per il comune di Imola = 0,2064

dove a_{refg} = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg})

Categorie topografiche del terreno

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media i < 15°	St = 1
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	St =1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media 15°< i < 30°	St =1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media i > 30°	St =1.4

Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	**V_{s30} (m/s)**	**NSPT**	**Cu (kPa)**
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)	180 – 360	15 – 50	70 – 250

Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

L'area di intervento è collocata tra la pianura e il primo appennino imolese, in base alla nuova classificazione è morfologicamente definito come margine appenninico-padano caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido), in particolare abbiamo Margine tipo A caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico; le prove penetrometriche e la modellazione sismica evidenziano la presenza di depositi alluvionali fini sovrastanti il substrato non rigido collocabile a circa 10 m di profondità, si procede quindi al calcolo della VsH, in questo caso Vs10 per entrambi i siti:

Vs10 = 10 / ((0.7/70)+(3,3/140)+(6/250)) = 173 m/s sito 1

Vs10 = 10 / ((0.5/67)+(3,7/140)+(6/300)) = 185 m/s sito 2

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità relativa a 200 m/s.

Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica

MARGINE APPENNINICO-PADANO: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido); questo settore è suddiviso in:

MARGINE di tipo A: caratterizzato da spessore dei terreni fini sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.2**	2.0	1.8		

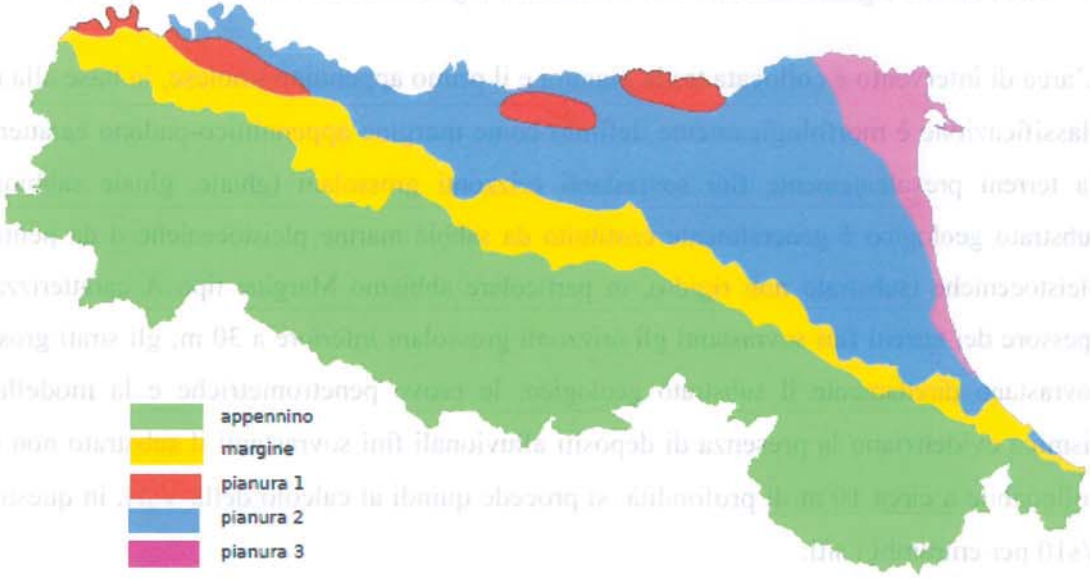
Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.6	**2.4**	2.0	1.8		

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)

VsH	150	**200**	250	300	350	400
10	2.3	**2.0**	1.8	1.7		

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 *H* (*m*), riga 1 *VsH* (*m/s*)



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici

CONCLUSIONI

- Il terreno indagato e classificabile come sito **C**;
- La Vs30 stimata è pari a 211 m/s per il sito 1 e 239 m/s per il sito 2 con una velocità media dell'area pari a 225 m/s;
- I manufatti previsti sono classificati come classe d'uso II;
- Non è da escludere il rischio di risonanza sugli edifici;
- L'accelerazione di gravita del sito è ag = 0,205 (SLV);
- L'accelerazione massima è Amax = 2,818 (SLV);
- L' accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}) per il comune di Imola è 0,2064;
- La categoria topografica è T1;
- L'area è classificabile come margine appenninico padano tipo A;
- Si assumono come coefficienti di amplificazione sismica quelli relativi alla fascia di velocità pari a 200 m/s;
- La VsH calcolata è relativa allo spessore di 10 m di depositi fini sovrastanti il substrato non rigido pertanto abbiamo Vs10 pari a 173 m/s per il sito 1 e 185 m/s per il sito 2 con una velocità media dell'area pari a 179 m/s;
- I coefficienti di amplificazione sismica F.A. sono:

  P.G.A = **2,2**

  I.S. per l'intervallo 0.1s<To<0.5s = **2,4**

  I.S. per l'intervallo 0.5s<To<1.0s = **2,0.**

Faenza, Febbraio 2016

Dr. Geol. Bruno Gardegni

