

GABRIELE TARABUSI

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Area per edifici provvisori - Via Giolitti

Comune di Mirandola (MO)

Committente: Comune di Mirandola



BOLOGNA

Luglio 2012

INDICE

1. Premessa	2
2. Normativa di riferimento.....	4
3. Geologia, geomorfologia e idrogeologia	5
4. Inquadramento sismico	10
5. Indagini geognostiche e geofisiche.....	18
6. Modellazione geologica e sismostratigrafica	24
7. Analisi di risposta sismica locale	29
8. Verifiche della liquefacibilità dei depositi	36
9. Conclusioni	40
10. Bibliografia	41
11. Report delle verifiche del potenziale di liquefazione	44
12. Rapporti di indagine	45

1. PREMESSA

Lo Studio scrivente è stato incaricato dall'Amministrazione Comunale di Mirandola (MO) di eseguire con urgenza uno studio finalizzato alla caratterizzazione geologica e sismica di un'area su cui si intende realizzare entro l'estate una struttura scolastica e una che ospiterà uffici comunali, entrambe provvisorie, in sostituzione degli edifici lesionati a seguito della sequenza sismica del maggio 2012.

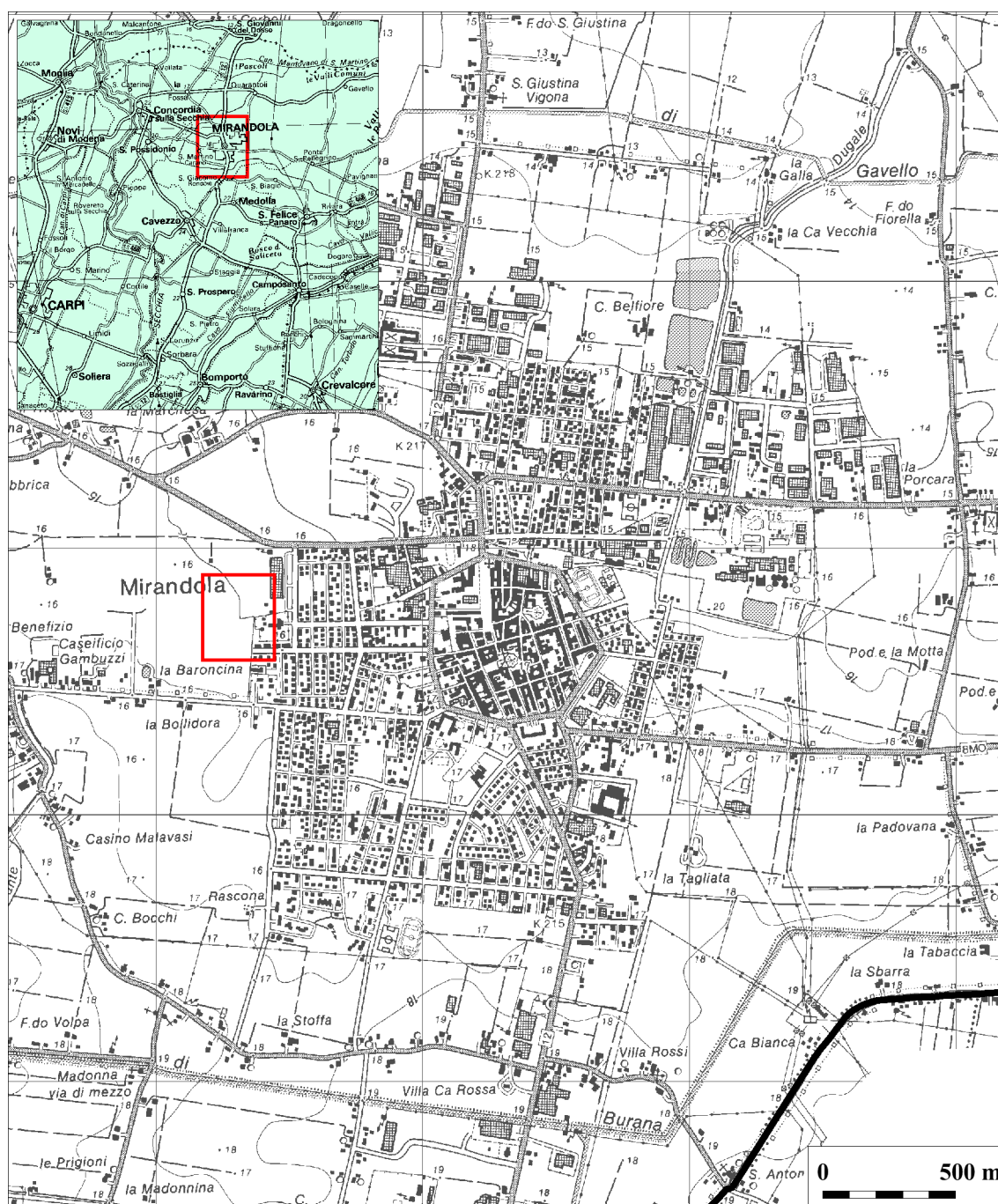


Figura 1. Localizzazione dell'area in oggetto sulla CTR in scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna. In alto a sinistra in verde il quadro di unione.

L'area in oggetto (figura 1) è localizzata nella zona occidentale dell'area dell'abitato di Mirandola ed è posta lungo la via Giolitti, a sud dell'area del Centro commerciale "Ipercoop Della Mirandola". In figura 2 sono riportati in dettaglio: col tratteggio rosso l'intera area di studio e con la linea continua blu il perimetro indicativo delle due aree su cui, al momento della redazione della presente relazione, sono previste le strutture provvisorie.

Come evidenziato nella mappa di dettaglio, la porzione più settentrionale dell'area di studio non è al momento interessata da una previsione di interventi specifici, ma è stata ugualmente indagata in quanto potrà essere oggetto di ulteriori interventi, non preventivabili allo stato attuale della gestione dell'emergenza.



Figura 2. Dettaglio in scala 1:2.500 dell'area in oggetto sulla base della Ortofoto AGEA 2011, accessibile tramite servizio WMS del Geoportale della Regione Emilia-Romagna.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della presente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento per il settore geologico e geotecnico e consultando gli strumenti di pianificazione provinciale e di bacino. Sono di seguito elencate le principali normative di riferimento:

- Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n. 112/2007 Art. 16 c.1 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";
- D.M. 14/1/2008 – "Testo unitario - Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2/2/2009 – "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008";
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- L. 64/74 - "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- D.M. 11/3/88 - "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".
- Circolare Min. LL.PP. n°30483 24 settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio e sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Giugno 1990.
- Legge regionale 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".

3. GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Il territorio del comune di Mirandola si sviluppa nell'area di bassa pianura modenese.

Il contesto geologico in cui si colloca è quello del Bacino Padano che strutturalmente rappresenta un'area di avanfossa che si è originata per la subduzione della microplacca padano-adriatica al di sotto dell'orogene appenninico (Dondi e D'Andrea, 1986; Pieri e Groppi, 1981).

L'area in esame si trova nella zona di raccordo fra la parte esterna della catena Appenninica settentrionale, strutturata nel Miocene superiore-Pliocene inferiore, e il settore padano in cui le deformazioni, sepolte, sono prevalentemente del Pliocene superiore e Quaternario.

Tali deformazioni sepolte rappresentano il vero fronte appenninico che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta secondo una serie di archi disposti a formare una fascia circa parallela al bordo appenninico (Pieri e Groppi, 1981). In particolare, la zona di Mirandola si trova al di sopra dell'arco delle Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981; Zoetemeijer, 1993) o Dorsale Ferrarese, che presenta qui una zona di alto strutturale conosciuta come l'alto di Mirandola (figura 3), dove la base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), datata a 0,45 Ma, è ad una profondità inferiore a -100 metri sul livello del mare (addirittura inferiore a -50 metri ad ovest di Mirandola) (Boccaletti et al., 2004).

Questo settore del bacino del Po è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sin-tettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica che sigillano le strutture deformative. La fase pliocenica viene denominata di *flysch*, in contrasto con i sedimenti di *molassa* che hanno caratterizzato la fase successiva, nella quale divenne dominante l'*input* di materiale erosivo proveniente dallo smantellamento della catena Appenninica (Zoetemeijer, 1993).

Con il Pleistocene si instaura un nuovo ciclo sedimentario (Qm, Ricci Lucchi et al., 1982), che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata. Gran parte delle aree in precedenza emerse vengono ricoperte dal mare ed inizia una sedimentazione nettamente sabbiosa. Tale sedimentazione grossolana prosegue poi, ininterrottamente, fino all'Attuale: in essa, però, si passa da facies torbiditiche di bacino a facies di scarpata, poi costiere ed infine alluvionali, pur rimanendo in termini sabbiosi. Successivamente, la sedimentazione diviene esclusivamente continentale, e prosegue con i depositi fluvio-lacustri delle Alluvioni Padane (Qc, Ricci Lucchi et al., 1982). I sedimenti sabbiosi, limosi ed argillosi, che riempiono la parte più superficiale del bacino, sono stati depositi dal fiume Po e dagli altri fiumi tributari che provengono dalla catena Appenninica (Dondi et al., 1982; Pieri, 1984; Dondi e D'Andrea, 1986; Vittori e Ventura, 1995; Amorosi et al., 1999). Nel Pleistocene medio, quindi, la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia a sedimentarsi il Supersintema Emiliano Romagnolo corrispondente al Qc di Ricci Lucchi et al. 1982.

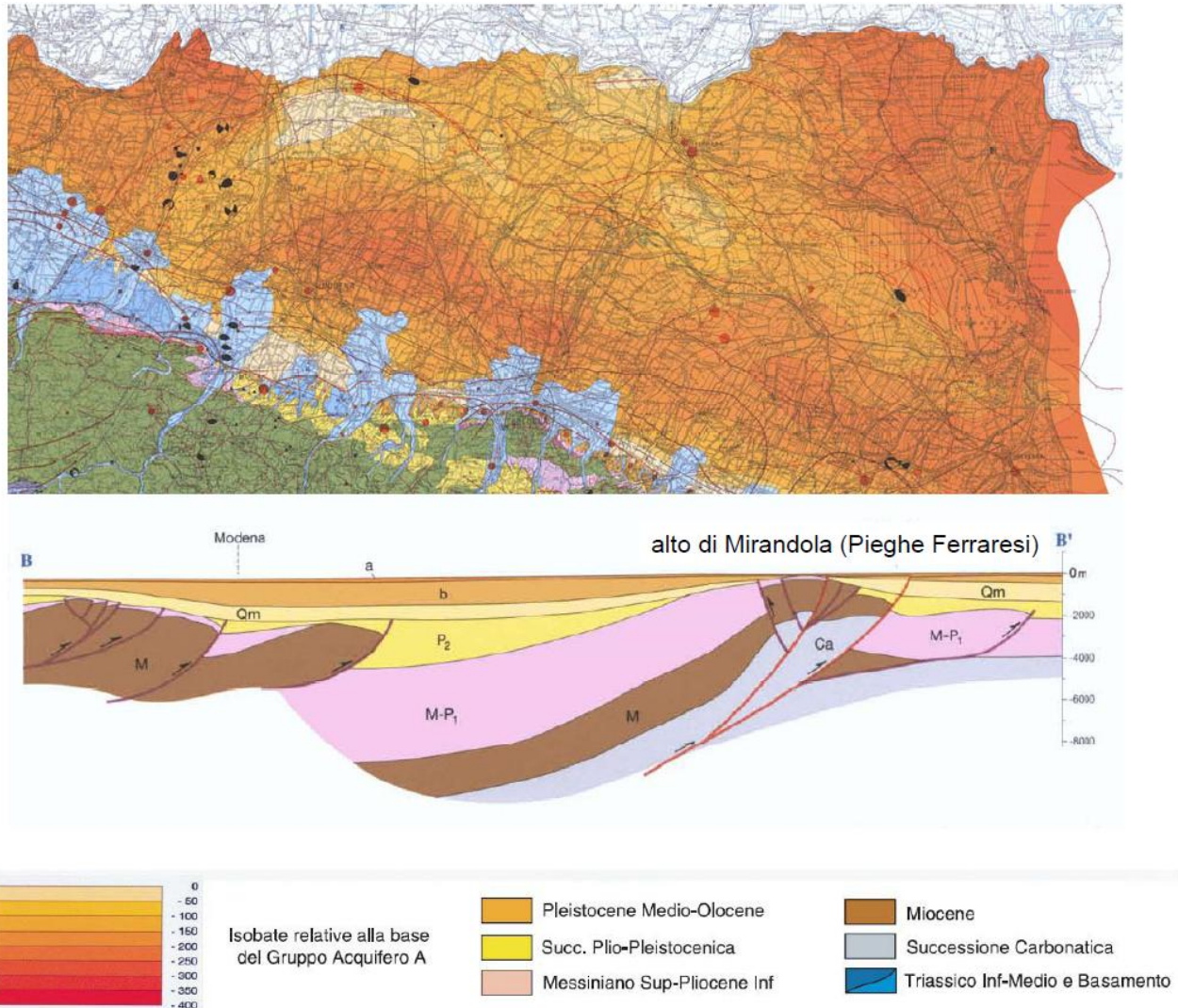


Figura 3. Schema geologico di sottosuolo nel settore delle pieghe ferraresi. In arancione sono rappresentate le isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45 Ma). Le aree più chiare sono quelle in cui questa superficie stratigrafica è più superficiale (ad esempio presso Ferrara e la struttura di Mirandola). In rosso è rappresentato il fronte dei sovrascorrimenti. In basso è riportata la sezione geologica attraverso la pianura modenese (sezione geologica senza esagerazione verticale) (da Boccaletti et al., 2004, Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna).

I depositi del Quaternario, soprattutto del Pleistocene medio-superiore, rappresentano degli accumuli disposti in amplissime ondulazioni, con geometrie lenticolari che indicano il colmamento delle depressioni residue dei bacini pliocenici precedenti. L'area di studio risulta influenzata dalle alluvioni dei fiumi Panaro e Secchia e in parte del fiume Po.

L'assetto generale del territorio e le strutture morfologiche naturali ancora riconoscibili sono una testimonianza della passata attività idraulica dei corsi d'acqua di pianura non arginati, che attraverso rotte e tracimazioni hanno creato le condizioni per le divagazioni dell'alveo. La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo risulta quindi strettamente legata ai processi strutturali e di sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo. Tali sedimenti di origine fluviale sono distribuiti secondo alternanze di litotipi a

diversa granulometria, organizzati in strati a geometria variabile, spesso lenticolare, e quindi arealmente discontinui, in cui i rapporti tra le diverse litologie sono da ricondurre all'evolversi di un ambiente caratterizzato da energie di trasporto e da modalità deposizionali variabili nel tempo.

A tal proposito bisogna considerare che l'evoluzione dei processi deposizionali e conseguentemente il modellamento delle strutture morfologiche ad essi collegate, si è praticamente interrotta, stabilizzando il reticolo idrografico di superficie nelle forme attualmente visibili, dopo gli interventi di bonifica effettuati negli ultimi due secoli per ovviare al disordine idraulico.

L'idrografia superficiale dell'area è quindi caratterizzata dalla presenza di canali per lo più artificiali e dall'andamento rettilineo, spesso arginati. Si ricorda che il territorio del Comune di Mirandola fa parte del Consorzio della Bonifica di Burana Leo Scoltenna Panaro. Nonostante il territorio comunale risulti potenzialmente esondabile, si sottolinea che in realtà una esondazione di fiumi o canali ha oggi scarse possibilità di verificarsi, a seguito sia dei lavori di potenziamento ed innalzamento degli argini, sia della costruzione di opere di difesa idraulica come le casse di espansione.

Si evidenzia che il territorio del Comune di Mirandola ricade nel Foglio 184 della Carta Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna (Progetto CARG), che al momento risulta ancora non realizzato. La Carta Geologica di Pianura della Regione Emilia-Romagna in scala 1:250.000 (Regione Emilia Romagna - Ufficio Geologico, 1999) risulta quindi l'unica cartografia geologica recente attualmente disponibile, ma i contenuti informativi appaiono inadeguati alla scala del presente lavoro.

Per la definizione del modello geologico generale in profondità possono essere utilizzate le due sezioni geologiche di dettaglio realizzate dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna finalizzate alla ricerca di potenziali serbatoi geotermici (Martelli e Molinari, 2008), riportate nella tavola 2 dello studio di microzonazione sismica del Comune di Mirandola.

Per determinare le caratteristiche dei depositi a minor profondità si può fare riferimento alla cartografia redatta dalla Provincia di Modena nell'ambito del PTCP 2009 in relazione agli studi di microzonazione sismica del territorio provinciale. In particolare in figura 4 è rappresentato un estratto della carta "Aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici" del Quadro Conoscitivo del PTCP, in cui sono indicate le principali litologie affioranti quali sabbie di canale e limi e argille di piana alluvionale, come nell'area oggetto di studio. In tutta l'area comunale di Mirandola, ad eccezione di una piccola porzione nella zona più meridionale, è inoltre segnalata la presenza in profondità di sabbie sepolte depositate dal fiume Po.

Nella zona non vi sono evidenze geomorfologiche degne di nota. Le aree di questa porzione di territorio sono in media tutte sub-pianeggianti con una leggera inclinazione in direzione nord-nord-est in concordanza con l'andamento generale di questo settore della Pianura Padana. Nella porzione più settentrionale dell'area indagata e comunque al di

fuori del perimetro degli insediamenti attualmente previsti, sono presenti alcuni piccoli rilievi dovuti a riporti di terreno, probabilmente accumulati in passato nel corso di qualche intervento costruttivo nelle aree circostanti.

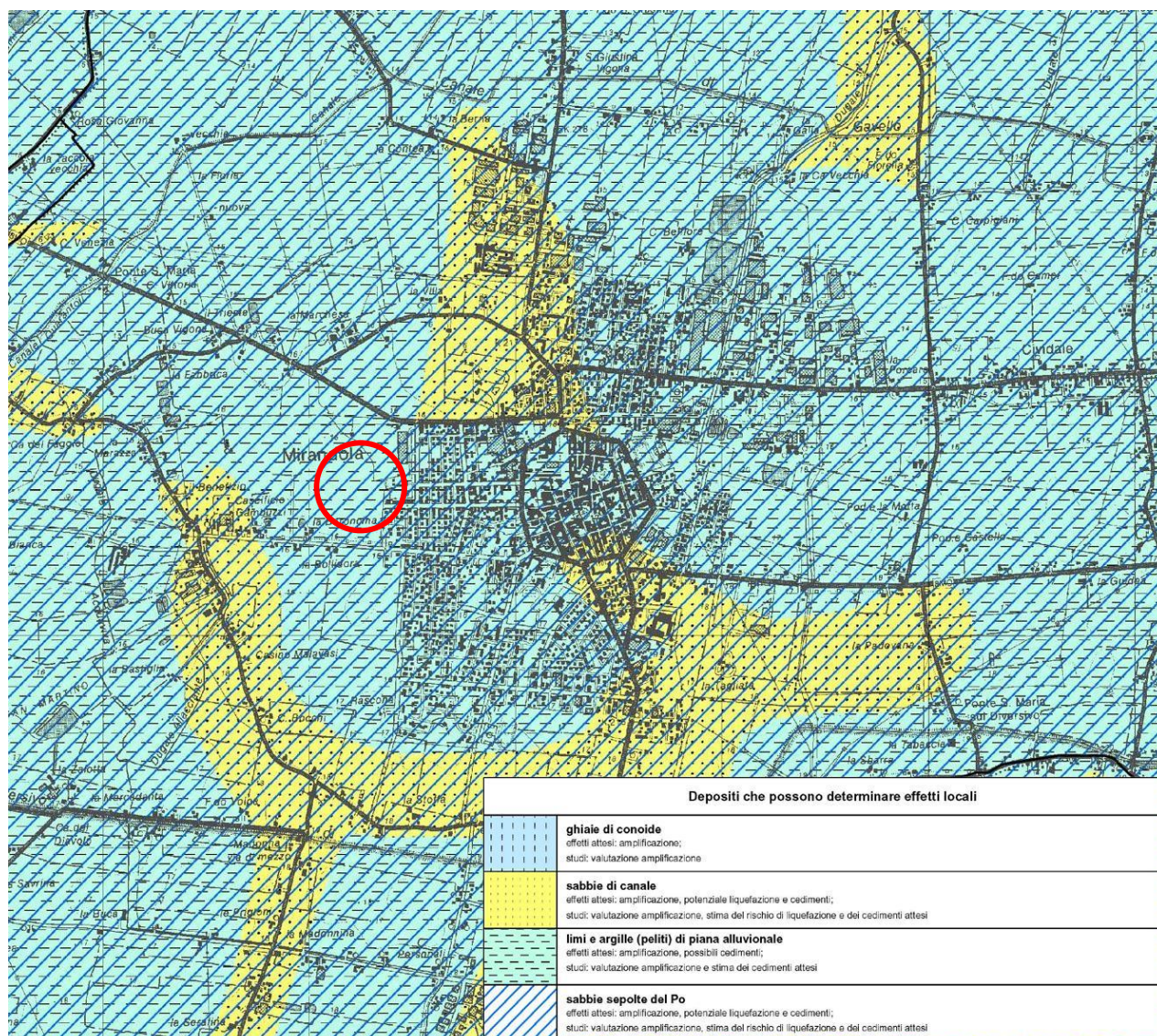


Figura 4. Estratto per l'area comunale di Mirandola della carta "Aree potenzialmente soggette ad effetti locali per eventi sismici" del Quadro Conoscitivo del PTCP di Modena.

L'area di studio è attraversata nella sua porzione centrale, con direzione est-ovest, da un canale artificiale di raccolta delle acque che borda l'area stessa a est nella sua porzione sud e a ovest nella sua porzione nord (figura 1). Dal ciglio superiore di tale canale le strutture in progetto dovranno mantenere una distanza minima di almeno 5 metri.

In generale il reticolo idrografico risulta modificato dall'urbanizzazione dell'area e, per quanto è stato possibile rilevare, nell'area di studio la rete scolante e fognaria sembra in buone condizioni di efficienza generale e pare garantire il corretto deflusso delle acque.

Il modello idrogeologico locale, desunto da dati bibliografici e indagini pregresse, risulta costituito da un primo spessore di depositi argillosi-limosi di spessore variabile, in genere superiore ai 6 metri, seguito da strati di sabbie medio-grosse di spessore notevole.

Dai dati delle oltre 350 prove penetrometriche raccolti per il recente studio di microzonazione dell'area del Comune di Mirandola, redatto dallo Studio scrivente, i valori del livello della prima falda freatica misurati al termine delle indagini (eseguite in tutte le stagioni) risultano quasi tutti compresi tra 1 e 5,2 metri, con l'80% circa entro i primi 4 metri. Fanno infatti eccezione 3 soli casi, in cui il livello misurato è comunque compreso tra 6 e 8,4 metri. Tale falda, così detta libera, è caratterizzata da bassi valori di trasmissività, da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e il reticolo di bonifica presente, essendo alimentata prevalentemente per infiltrazione superficiale. Per tale ragione è quindi caratterizzata da una certa escursione del proprio livello nelle diverse stagioni dell'anno.

Si evidenzia in particolare che nell'area in esame, oggetto di quattro distinte campagne di indagine tra il 1999 e il 2012 (figura 10), il livello della frangia freatica superficiale risulta variabile tra i 2 e i 4,5 metri dal p.c., come dettagliato al capitolo 6.

4. INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l’indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

Per realizzare l’inquadramento sismotettonico della presente relazione sono stati utilizzati database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca. In particolare, per l’analisi della sismicità storica e strumentale dell’area oggetto di indagine sono stati utilizzati:

- il CPTI11 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2011 (Rovida et al., 2011; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia fino al 2011;
- il DBMI11 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (Locati et al., 2011 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>);
- il CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni et al., 2007 <http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull’ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismo-indotte, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.1.1 (INGV - DISS Working Group, 2010; <http://diss.rm.ingv.it/>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;
- la Zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale;
- il Catalogo della Sismicità Italiana (<http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il Bollettino della Sismicità Strumentale dell’INGV (<http://iside.rm.ingv.it/>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 al 2007.

Sorgenti sismogenetiche e sequenza sismica del maggio 2012

Il database DISS (INGV - DISS Working Group, 2010) indica, poco a sud dell'area in esame (figura 5), l'esistenza di una sorgente sismogenetica individuale (ITIS107 – MIRANDOLA) coincidente con il thrust responsabile della strutturazione dell'anticlinale di Mirandola.

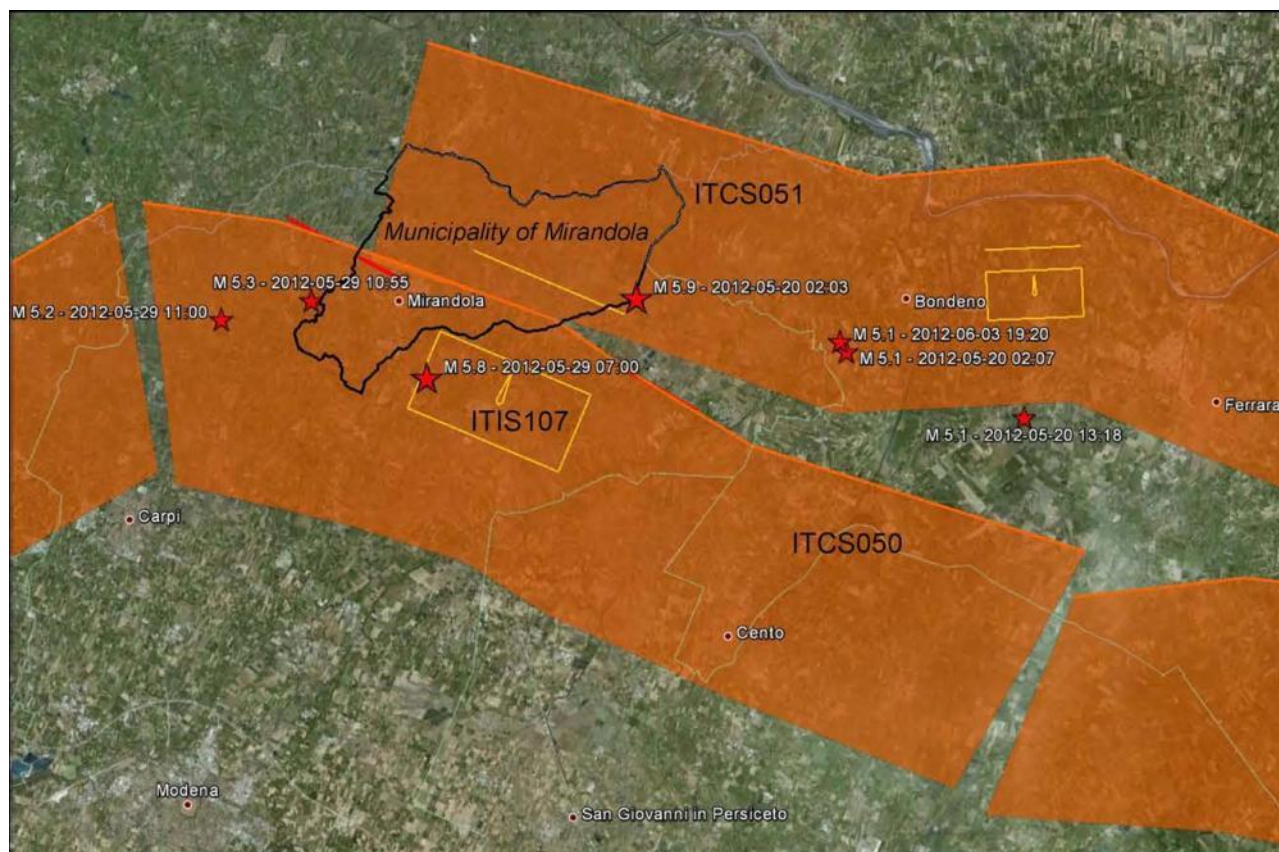


Figura 5. Le sorgenti sismogenetiche del database DISS 3.1.1, nell'intorno dell'area di studio e gli epicentri dei terremoti con $M > 5$ della sequenza del maggio 2012. In nero è riportata l'area comunale di Mirandola.

Prima della sequenza sismica del 2012, l'esistenza di questa sorgente sismogenetica era stata ipotizzata solo su base geologica, a partire dall'osservazione della presenza di anomalie del drenaggio in coincidenza dell'attraversamento dell'anticlinale sepolta (Burrato et al., 2003). In particolare i fiumi Secchia e Panaro vengono prima attratti l'uno verso l'altro nella zona in subsidenza attiva (sinclinale Bologna-Bonporto), posta a sud dell'anticlinale sepolta, e poi divergono quando sono costretti ad attraversare la zona in sollevamento tettonico (anticlinale). La posizione delle zone in sollevamento e subsidenza attiva, indicate dal comportamento del drenaggio, ha aiutato a definire la geometria della faglia responsabile dei movimenti, in particolare la sua larghezza, la sua pendenza e la sua profondità massima e minima. Questi parametri sono stati ulteriormente raffinati grazie all'ausilio delle sezioni sismiche disponibili che mostrano la geometria complessiva della struttura (Pieri e Groppi, 1981). La cinematica della struttura e il suo rateo di deformazione sono stati definiti grazie allo studio degli strati di crescita dei depositi sintettonici quaternari (Ciucci et al., 2002).

La sorgente di Mirandola non era quindi associata, prima del 2012, ad alcun terremoto storico e/o strumentale. In ragione delle sue dimensioni, la sorgente risultava in grado di generare terremoti di magnitudo 5.9. Il basso slip-rate della struttura suggerisce lunghi periodi di ritorno del terremoto potenziale.

Le questioni aperte, a cui è difficile dare una risposta allo stato attuale delle conoscenze, citate nel database DISS riguardano proprio i tempi di ritorno del terremoto associato alla struttura e le ragioni della mancanza di un terremoto generato da tale struttura nei cataloghi della sismicità italiana, prima che si verificasse la sequenza del 2012.

L'area di Mirandola è inoltre attraversata (figura 5) da due distinte sorgenti composite, regioni allungate contenenti un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche individuali allineate che non possono essere individuate singolarmente. Alla più meridionale (ITCS051) è attribuita la magnitudo massima della sorgente individuale associata (la già illustrata ITIS107), cioè 5.9. Alla più settentrionale (ITCS051) è invece attribuita una magnitudo massima di 5.5 sulla base del più forte terremoto registrato nella regione.

Gli studi in corso sulla sequenza sismica emiliana del 2012, associano, anche sulla base di dati SAR, la scossa del 29 maggio 2012 alla sorgente individuale ITIS107, che, se pur identificata solo su base geologica, pare corrispondere molto bene, in termini di magnitudo potenziale e altri parametri associati, a quanto osservato strumentalmente. La scossa del 20 maggio pare invece da associare alla porzione più profonda della sorgente composita ITCS051.

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade entro la Zona 912, caratterizzata da un valore di $M_{w_{max}}$ pari a 6.14.

Storia sismica di Mirandola

Il Database Macrosismico Italiano disponibile al momento della redazione della presente relazione (Locati et al., 2011), riporta 43 record relativi agli effetti per la località Mirandola. In figura 6 sono riportati quelli con effetti al sito pari o superiori al grado IV della scala MCS. I massimi effetti al sito noti dalle fonti storiche sono attribuibili al sesto grado della scala MCS, in conseguenza di 5 terremoti verificatisi tra il 1796 e il 1987.

Per tre di questi eventi, e per uno con effetti pari al quinto grado MCS, sono disponibili le informazioni dettagliate degli studi del CFTI4Med (Guidoboni et al., 2007), che riportano indicazioni sugli effetti verificatisi a Mirandola:

15 luglio 1971 - VI MCS - La scossa fu forte e causò alcune lesioni in edifici colonici di vecchia costruzione.

7 giugno 1871 - VI MCS - Il terremoto fu forte e causò caduta di tegole e camini, distacco di pezzi di intonaco vecchio e spostamento di mobili.

22 ottobre 1796 - VI MCS - La scossa fu violenta: causò la caduta di 24 comignoli e una piccola lesione alla volta sopra l'altare maggiore della chiesa di S.Francesco.

23 febbraio 1887 - V MCS - Il terremoto fu abbastanza forte e provocò il distacco di parte dell'intonaco del soffitto dell'Osservatorio Meteorico, posto in una alta torre.

Storia sismica di Mirandola [44.887, 11.065]

Numero di eventi: 43

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	1796 10 22 04:00	Emilia orientale	27	7 5.61 ±0.36
6	1891 06 07 01:0	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06
6	1914 10 27 09:2	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
6	1971 07 15 01:3	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
6	1987 05 02 20:4	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
5-6	1970 11 02 08:4	Bassa modenese	3	4-5 4.09 ±0.34
5	1887 02 23 05:2	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
5	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5 4.30 ±0.34
5	1929 04 19 04:1	Bolognese	82	
5	1978 12 25 22:5	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
5	1996 10 15 09:5	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
4-5	1963 04 05 13:4	Finale Emilia	6	4-5 4.09 ±0.34
4	1889 03 08 02:5	Bolognese	38	5 4.73 ±0.22
4	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6 5.07 ±0.10
4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8 6.23 ±0.08
4	1901 10 30 14:4	Salò	190	8 5.70 ±0.10
4	1919 06 29 15:0	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
4	1920 09 07 05:5	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
4	1929 04 22 08:2	Bolognese	41	
4	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4	2003 09 14 21:4	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09

Figura 6. Record del DBMI11 relativi agli effetti pari o superiori al grado IV della scala MCS per la località Mirandola ordinati per intensità al sito.

In attesa della pubblicazione dello studio macrosismico definitivo da parte di INGV sulla recente sequenza sismica del 2012 ed in particolare sulle due scosse principali del 20 e 29 maggio, il dato macrosismico provvisorio associabile all'abitato di Mirandola per entrambe le scosse risulta compreso tra i gradi VII e VIII della scala MCS.

Microzonazione sismica

Lo Studio scrivente ha recentemente concluso, nell'ambito del Quadro Conoscitivo per il PSC del Comune di Mirandola, lo studio di microzonazione sismica di primo e secondo livello, a cui si rimanda per ogni dettaglio. Vengono di seguito analizzati i risultati di tale studio per l'area in esame e proposti gli estratti delle tre principali cartografie di dettaglio.

Carta delle frequenze naturali dei terreni

La "Carta delle frequenze naturali dei terreni" è uno degli elaborati previsti dal DGR 1051/2011 per la microzonazione sismica di primo livello. Per la sua realizzazione sono state effettuate 104 misure speditive di sismica passiva (misure di microtremore a stazione singola) sull'intera area comunale.

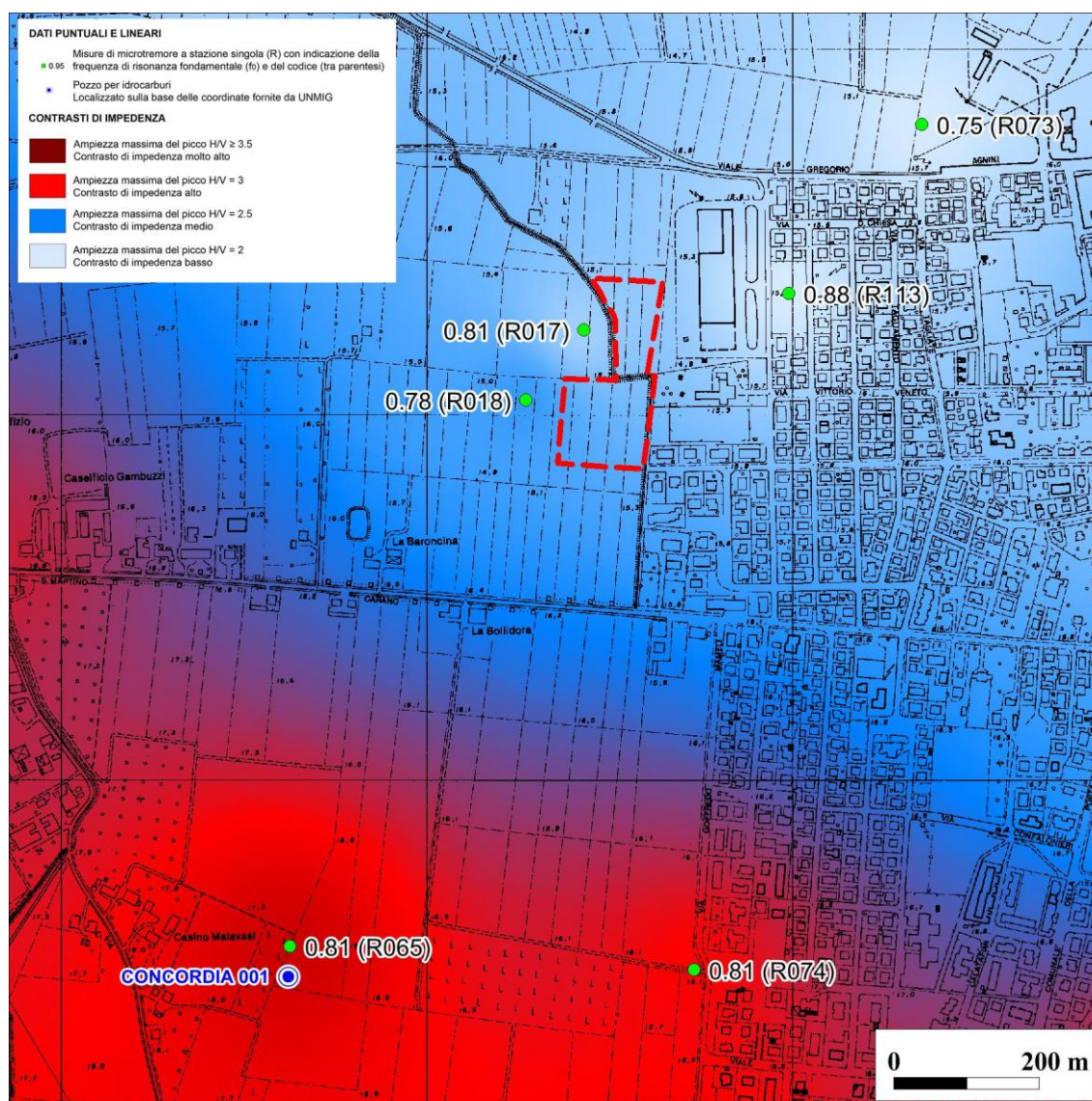


Figura 7. Estratto in scala 1:10.000 della "Carta delle frequenze naturali dei terreni" (Tavola 2.1) dello studio di Microzonazione sismica del Comune di Mirandola. Col tratteggio rosso è indicata l'area di studio.

Nella carta, di cui è proposto un estratto per l'area di studio in figura 7, sono riportati tutti i punti di misura, con associato il valore di f_0 del picco significativo a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale. Lo sfondo della stessa carta, rappresentato a colori sfumati, permette di distinguere le zone caratterizzate da contrasti di impedenza di grado differente, evidenziando col colore rosso quelle con alti contrasti alla base delle coperture (ampiezza massima curva HVSR maggiore di 3).

Si ricorda che l'amplificazione sismica è determinata non solo dalla rigidità assoluta di un terreno, ma soprattutto dal contrasto di impedenza tra unità sismiche (Castellaro, 2012). Per questo motivo le carte delle frequenze naturali dei terreni e dei contrasti di impedenza risultano, in particolare nel caso della zona di Mirandola, di grande importanza, dal momento che permettono di definire una zona caratterizzata da un alto contrasto di impedenza nella porzione sud dell'area comunale, in cui è ragionevole attendersi una maggiore amplificazione del moto sismico in superficie. Il contrasto di impedenza rilevato diventa molto alto in coincidenza della frazione di San Giacomo in Roncole. Tale contrasto diminuisce abbastanza rapidamente sia verso sud-ovest, in prossimità del confine comunale, che verso nord-est.

Nel caso dell'area di studio (figura 7), ci si trova all'interno di una zona caratterizzata da un contrasto di impedenza medio e le misure di microtremore eseguite nelle immediate vicinanze hanno permesso di riscontrare valori di f_0 pari a circa 0,8 Hz.

Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

L'elaborato fondamentale di sintesi delle conoscenze a livello geologico-geomorfologico è rappresentato dalla "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)", che di fatto realizza una prima zonizzazione delle aree potenzialmente soggette ad amplificazione o a effetti locali (instabilità), a cui si associa un effetto atteso (liquefazione, cedimento ecc.). Per la sua realizzazione sono stati quindi raccolti e analizzati su base geografica tutti i dati delle indagini geognostiche e geofisiche e confrontati con le cartografie disponibili.

La carta presenta zone suscettibili di instabilità, per tutto il territorio comunale:

- terreni liquefacibili (colore rosa): Aree con terreni granulari saturi nei primi 20 m da piano campagna;
- terreni liquefacibili e compressibili (colore azzurro): Aree con terreni granulari saturi nei primi 20 m da piano campagna e terreni coesivi compressibili nei primi 10 m da piano campagna.

In entrambe le tipologie di aree così distinte e cartografate, possono essere presenti zone in cui i dati geognostici indicano che il tetto dei depositi granulari saturi più superficiali si trova a profondità inferiore a 8 metri (barrato giallo).

In figura 8 è riportato un estratto della carta MOPS dell'area oggetto di studio, in cui risulta la presenza di terreni liquefacibili entro i primi 20 metri dal p.c., il cui tetto può

essere rinvenuto a profondità inferiori agli 8 metri. Dai dati geognostici disponibili per questa zona dell'abitato di Mirandola si è potuto stabilire che i terreni coesivi più superficiali hanno caratteristiche meccaniche mediamente discrete.

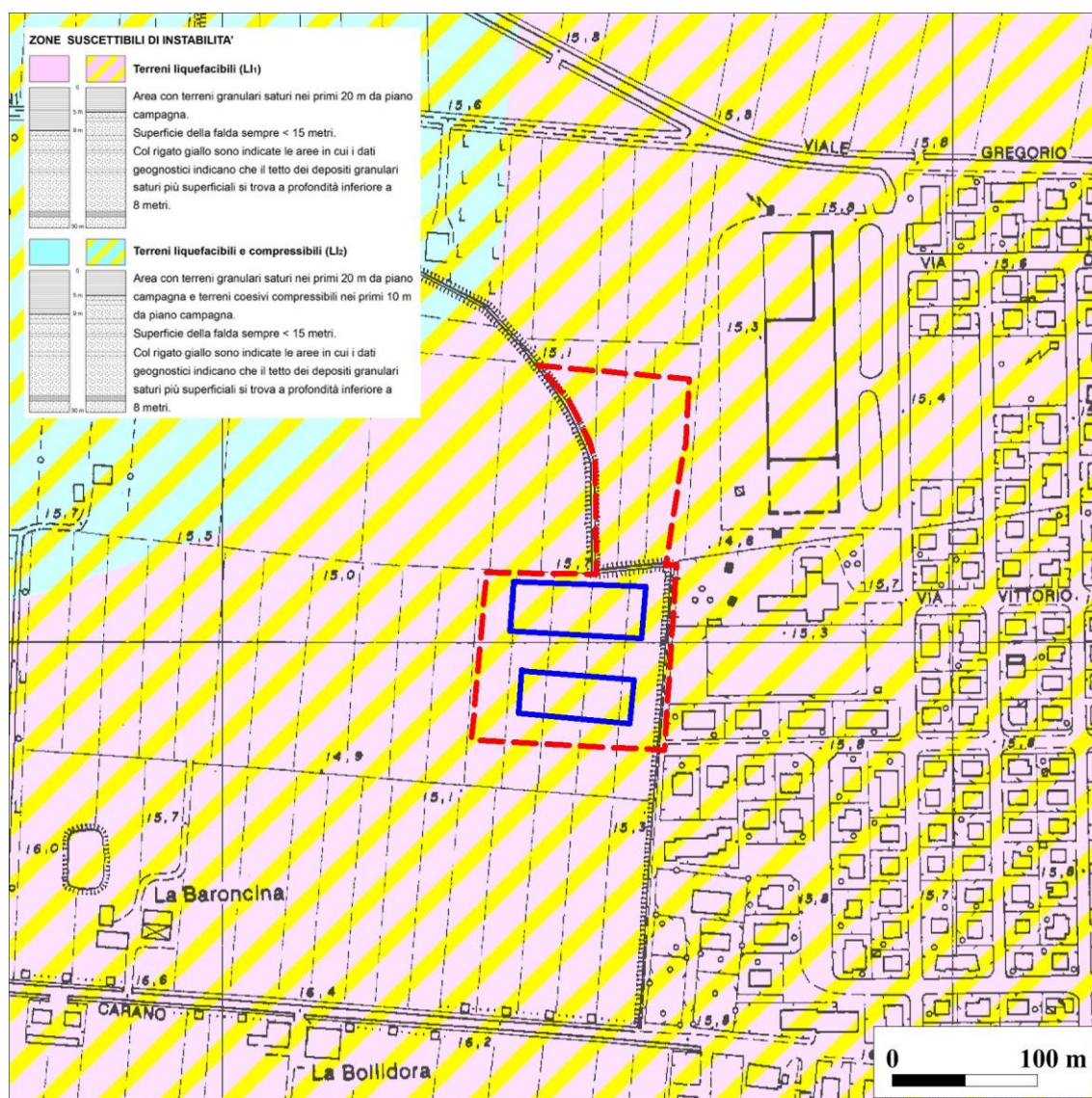


Figura 8. Estratto in scala 1:5.000 della “Carta MOPS” (Tavola 3.1) dello studio di Microzonazione sismica del Comune di Mirandola. Col tratteggio rosso è indicata l’area di studio.

Carta dei fattori di amplificazione e delle aree che necessitano di approfondimenti di livello 3

Rappresenta l’elaborato fondamentale della microzonazione sismica di secondo livello e permette di suddividere in dettaglio il territorio, in base all’amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica, di confermare o migliorare la definizione delle aree in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e di indicare le ulteriori indagini e analisi da effettuare.

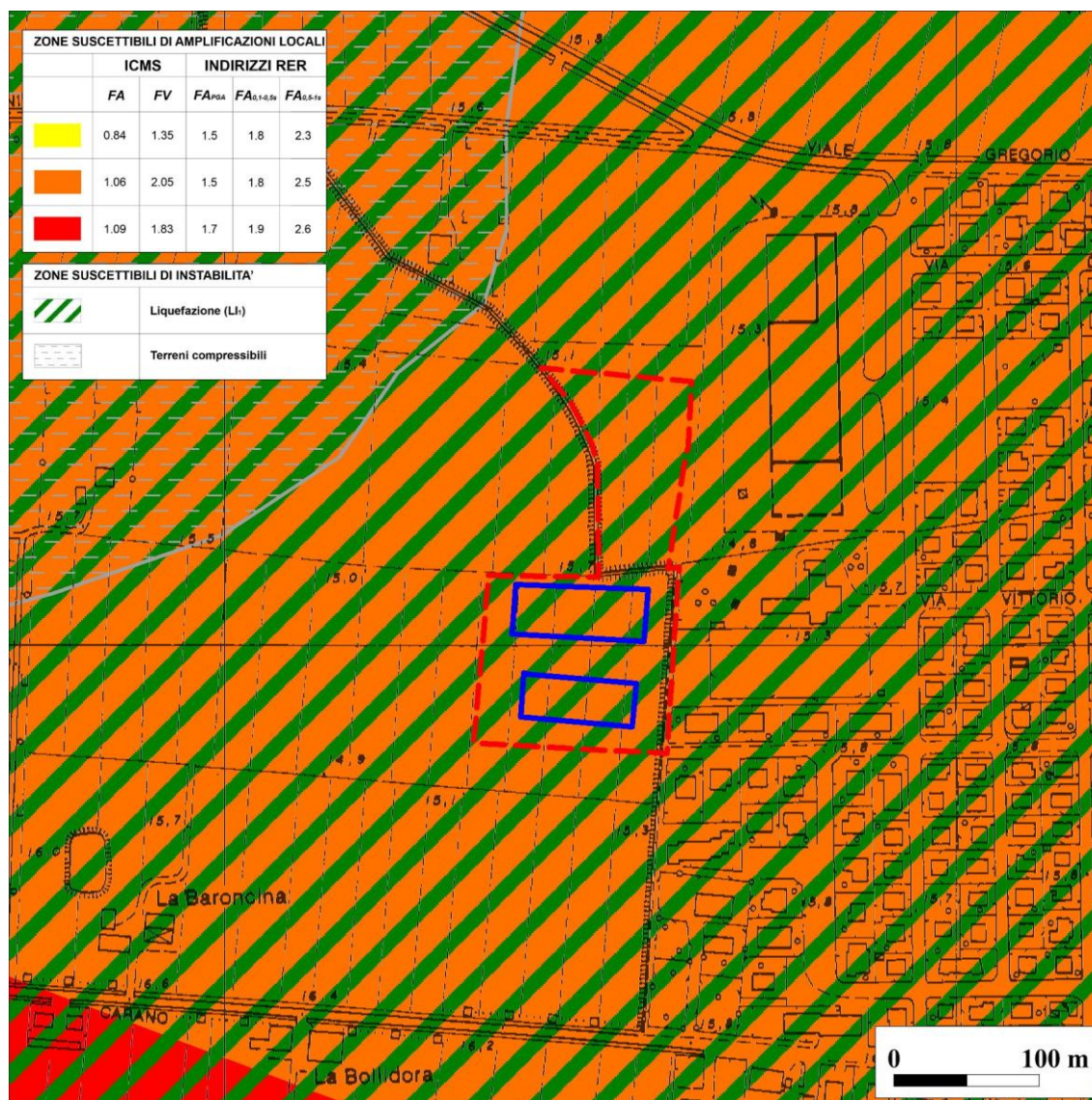


Figura 9. Estratto in scala 1:5.000 della “Carta dei fattori di amplificazione e delle aree che necessitano di approfondimenti di terzo livello” (Tavola 4.1) dello studio di Microzonazione sismica del Comune di Mirandola. Col tratteggio rosso è indicata l'area di studio.

La “Carta dei fattori di amplificazione e delle aree che necessitano di approfondimenti di terzo livello”, di cui è riportato un estratto per l'area di studio in figura 9, ha permesso di distinguere tre diverse tipologie di aree che possono dare origine ad amplificazioni stratigrafiche di grado differente, contrassegnate da colori dal giallo al rosso. La stessa carta, così come la carta “MOPS”, indica che tutta l'area del comune di Mirandola è caratterizzata dalla presenza di terreni potenzialmente soggetti a liquefazione in caso di sisma per la presenza terreni granulari saturi nei primi 20 m da p.c.. Sono inoltre presenti su buona parte del territorio comunale terreni coesivi compressibili nei primi 10 m da p.c..

Nello specifico l'area di studio (figura 9) risulta caratterizzata da un livello medio di amplificazione (zona arancio), ma soprattutto dalla presenza di terreni potenzialmente soggetti a liquefazione (barrato verde). Per tale ragione si impongono indagini e verifiche specifiche con una definizione della risposta sismica locale mediante analisi di terzo livello.

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Per gli scopi già esposti in premessa, sono state eseguite nell'area:

- 4 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte fino a 20 metri dal p.c.;
- una prova penetrometrica statica con piezocono CPTU associata a una indagine con cono sismico, spinta fino a 30 metri da p.c.;
- 3 misure di microtremore a stazione singola (TR);
- una indagine sismica in array con tecnica MASW.



Figura 10. Mappa in scala 1:2.500 con la localizzazione dei punti di indagine sulla base della Ortofoto AGEA 2011, accessibile tramite servizio WMS del Geoportale della Regione Emilia-Romagna. Le prove CPT pregresse sono codificate col numero progressivo della relazione originale preceduto dall'anno di esecuzione. In azzurro è indicato il corso del canale artificiale.

In passato, inoltre, la stessa area è stata oggetto di tre differenti campagne geognostiche di cui il Comune di Mirandola ha reso disponibili i dati. Nel 1999 sono state eseguite, su tutto il territorio comunale, per la variante al P.R.G., numerose prove CPT spinte fino a 10 metri dal p.c., di cui una risulta all'interno dell'area di studio e un'altra molto vicina. Nel 2003, per un piano particolareggiato di iniziativa privata, sono state eseguite 13 prove CPT spinte a 15 metri dal p.c. di cui 3 all'interno e 2 nelle immediate vicinanze dell'area in esame. A integrazione di quest'ultima campagna di indagine, è stata infine realizzata, nel 2006, una prova CPT spinta fino 30 metri dal p.c., ubicata a circa 30 metri a ovest dell'area in oggetto.

Le prospezioni realizzate per il presente studio sono quindi state ubicate in considerazione dei dati già disponibili e in maniera tale da essere rappresentative dell'intera area in esame e sufficienti per una caratterizzazione geologica e di risposta sismica locale quale quella richiesta.

Le indagini eseguite e quelle pregresse sono localizzate in figura 10. I rapporti di prova di tutte le indagini realizzate nell'area di studio e nel suo immediato intorno, compresi quelli delle prove CPT pregresse (per le indagini del 1999 si dispone solo di sintesi stratigrafiche), sono riportati nel capitolo 12 della presente relazione.

Prove penetrometriche statiche (CPT)

Le prove penetrometriche statiche permettono di acquisire il valore di resistenza della punta all'infissione e dell'attrito laterale variabili con il variare delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni. La conoscenza di questi parametri viene poi ottenuta attraverso l'ausilio di correlazioni empiriche che permettono una stima delle caratteristiche tecniche dei terreni attraversati e di definire un profilo stratigrafico.

Le prove CPT realizzate per il presente studio, così come quelle di repertorio sulla stessa area, sono state eseguite dal Laboratorio di prove geotecniche in sito Geoprogetti s.a.s. di Medolla, concessionario dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti a svolgere attività di prova e certificazione per prove geotecniche in conformità con quanto previsto dal D.M. 14 Gennaio 2008 *“Nuove Norme Tecniche Per Le Costruzioni”*. Sono state eseguite con un penetrometro statico olandese tipo Gouda da 300 KN, montato su autocarro, avente le seguenti caratteristiche: punta conica meccanica $\varnothing = 35,7$ mm; angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$; area punta $A_p = 10\text{cm}^2$; manicotto laterale di frizione tipo “Begemann” $\varnothing = 35,7$ mm., lunghezza = 133 mm., area laterale $A_m = 150\text{cm}^2$.

L'acquisizione dei dati avviene ogni 20 cm di avanzamento e le prove sono state spinte fino a 20 metri dal piano campagna. I dati penetrometrici (R_p , f_s) sono stati elaborati per ricavare i principali parametri tessiturali e meccanici dei sedimenti attraversati, riportati nei rapporti di prova allegati, e per eseguire la verifica alla liquefazione con metodi semplificati, come dettagliato nel capitolo 8.

Prova penetrometrica statica con piezocono e cono sismico (SCPTU)

La prova penetrometrica è stata eseguita da Geostudio Calzolari di Poggio Rusco con un penetrometro statico da 20 t montato su cingolato Pagani Tg63 e spinta fino a 30 metri dal piano campagna, con acquisizione dei dati geognostici ogni 2 cm di avanzamento. Rispetto alle prove penetrometriche statiche CPT, con il piezocono viene anche registrata la pressione interstiziale, cioè la sovrappressione che si genera durante l'infissione U. Questo permette, tra l'altro, di migliorare e rendere più precisa l'interpretazione della stratigrafia del terreno. La punta elettrica PAGANI mod. ME91 presenta le seguenti caratteristiche: diametro della punta $\varnothing = 36,0$ mm; angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$; area della punta $A_p = 10$ cm²; manicotto laterale di frizione con diametro $\varnothing = 36,0$ mm, lunghezza 133,7 mm, area laterale $A_m = 150$ cm² e fattore di forma $a = 0,58$.

Per quanto attiene alla prova con cono sismico, eseguita dalla ditta Progeo di Forlì, il sistema utilizzato permette di realizzare un'indagine di tipo sismico complementare alla realizzazione di una prova penetrometrica statica.

Come per la tecnica in foro di sondaggio di tipo down-hole, si 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. Nel caso del "cono sismico" però, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali) vengono determinati, con più dettaglio e solo nel tratto interessato (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 e non dall'elaborazione (per ogni shot e posizione in foro della sonda ricevente) dell'intero tragitto dalla superficie al ricevitore.

Sorgente di energia

Nei pressi della verticale di misura, mediante l'utilizzo di un piccolo pendolo d'acciaio che sollecita un incudine reso solidale al terreno, è stato generato ad ogni step di misura (ogni metro) un treno d'onda polarizzato sia orizzontalmente sia verticalmente. Infatti, per effettuare le operazioni di acquisizione dati, 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. Viene 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.

Apparato di ricezione

E' stata utilizzata una sonda originale Progeo realizzata in acciaio temprato nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due coppie di ricevitori (orizzontali e verticali) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 4 ricevitori).

Importante notare che i ricevitori, essendo montati in appositi alloggiamenti isolati acusticamente dal resto della sonda, permettono di ricevere l'energia proveniente dal terreno sollecitato e non quella che si propaga lungo l'asta penetrometrica di infissione.

È possibile perciò, per ogni ordinata di penetrazione (step di misura), 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).

Operazioni di campagna

E' stata realizzata dapprima la prova penetrometrica statica in modo normale come da consuetudine, ultimata la quale sono state estratte tutte le aste, dopodichè è stata ripetuta la prova infiggendo la "punta sismica" originale Progeo di nuovo nel terreno nella stessa verticale e fino alla profondità raggiunta in precedenza.

Ad ogni stop di infissione (metro) è stata eseguita una misura geofisica di energizzazione e ricezione dell'energia sismica delle onde di compressione e di taglio terminata la quale è stata montata una nuova asta penetrometrica ripetendo le operazioni di emissione e ricezione dell'energia con le stesse modalità fino al termine della prova.

Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW)

Le prospezioni sismiche che utilizzano onde superficiali note in letteratura come M.A.S.W. (Park et al., 1999; Park et al., 2007), di cui una è stata realizzata a supporto del presente studio, prevedono sia acquisizioni passive del rumore sismico ambientale (*passive-MASW*), sia acquisizioni attive mediante l'utilizzo di massa battente come sorgente di onde superficiali (*active-MASW*). Attraverso l'analisi del contenuto di onde superficiali, in questo caso onde di Rayleigh, che costituiscono un particolare tipo di onde dal comportamento dispersivo in un mezzo stratificato come il sottosuolo, è possibile ricavare indirettamente la velocità delle onde di taglio (V_s) secondo l'equazione:

$$V_R = \left(\frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S$$

ν : rapporto di Poisson
 V_R : velocità onde di Rayleigh

La fase di elaborazione analizza il contenuto in frequenza delle onde registrate per la discriminazione dei diversi modi di vibrazione delle onde di Rayleigh (onde R) nella banda d'interesse, tipicamente compresa fra 4 e 40 Hz. Il riconoscimento del modo fondamentale

delle onde R permette di definire la curva di dispersione (Velocità di fase-Frequenza) caratteristica del sottosuolo investigato.

Per l'indagine sismica sono state acquisite sia ripetute registrazioni del microtremore sismico (vedi sismogrammi dei rapporti di prova), sia registrazioni con massa battente esterna ed in linea con lo stendimento sismico. I dati sono stati campionati per mezzo di un sismografo a 24 canali "Seistronix Abem Ras-24" (con convertitore A/D a 24 bit), attraverso l'impiego di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati in linea mediante cavi sismici, ad interdistanza (Δx) pari a 3 metri per una lunghezza totale di ogni profilo sismico pari a 69 metri lineari.

L'elaborazione dei dati prevede l'applicazione di un'operazione matematica (trasformata F-K) sulle singole tracce sismiche acquisite sul campo. Tale operazione permette di passare dal dominio del tempo (registrato dai sismogrammi) a quello della frequenza per la costruzione degli spettri di potenza (vedi rapporti di prova allegati) nel dominio <<frequenza - velocità di fase (f-v)>>, necessari per la discriminazione modale delle onde R. Dall'analisi della distribuzione dell'energia presente in tali spettri si esegue il "*picking*" della curva di dispersione sperimentale del modo fondamentale delle onde R (vedi rapporti di prova allegati). Successivamente, per via indiretta, una procedura di modellazione numerica, basata sul metodo agli Algoritmi Genetici, consente di determinare un modello di sottosuolo monodimensionale, verticale e discreto (vedi rapporti di prova allegati), in termini di velocità V_s (m/s) e spessore (m). A tale modello, infatti, corrisponde una curva di dispersione teorica da confrontare con la curva di dispersione sperimentale precedentemente ottenuta (*fitting*). La buona sovrapposizione fra le due curve è indice di compatibilità del modello di sottosuolo considerato.

Misure di microtremore a stazione singola

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva eseguite con tromografo digitale sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo. Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mulargia et al., 2007).

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole ($10\text{-}15 \text{ m/s}^2$), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive.

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali

(HVSr – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012).

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per la campagna di indagine sono stati utilizzati due strumenti distinti, entrambi del tipo "Tromino" della ditta Micromed.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata alla frequenza di 256 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti per 2 misure e 12 minuti per una misura. Le registrazioni sono state elaborate utilizzando il modulo del software Grilla per la modellazione delle curve H/V nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz, impostando una larghezza delle finestre d'analisi a 20 s e lisciamento secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 10%.

6. MODELLAZIONE GEOLOGICA E SISMOSTRATIGRAFICA

Ricostruzione litostratigrafica e caratteristiche fisico meccaniche dei terreni

Le sequenze litologiche derivate dalle prove penetrometriche eseguite per il presente studio e quelle di repertorio, si presentano tutto sommato omogenee nei punti indagati e forniscono valori di resistenza ben correlabili tra loro, consentendo di caratterizzare un volume di sedimenti da ritenersi adeguatamente “significativo” per gli interventi previsti.

Le sintesi stratigrafiche delle prove penetrometriche sono riportate in tabella 1, dove vengono inoltre stimati i parametri geomeccanici di resistenza al taglio delle diverse unità litostratigrafiche, con valori minimi e massimi per quanto riguarda la coesione non drenata e valori medi per l'angolo di attrito.

Stratigrafia di sintesi Area di Via Giolitti - Mirandola					
Intervallo (m)	Litologia prevalente	Rp (Kg/cm ²)	Rp/Fs	Cu (Kg/cm ²)	φ
0 – 0,4	Terreno vegetale				
0,4 – 1,8/2,2	Argilla limosa sovracconsolidata	24 – 44	20 – 38	0,9 – 1,25	
1,8/2,2 – 6,2/9,4	Limo argilloso mediamente consistente	10 – 20	15 - 30	0,5 – 0,8	
6,2/9,4 – 11,2/14,8	Sabbia media limosa mediamente addensata	65 – 110	55 – 105	1,5 – 1,8	32
11,2/14,8 – 30	Sabbia media e grossolana ben addensata con limo e locali livelli di ghiaia	120 - 180	100 - 150	1,8 - 2	35

Tabella 1. Sintesi stratigrafica schematica dell'area di studio con l'indicazione dei principali parametri geomeccanici.

Le indagini geognostiche hanno evidenziato una buona omogeneità delle litologie presenti nel sottosuolo, in accordo con le conoscenze geologiche e stratigrafiche di questa porzione di pianura e in particolare con lo studio di microzonazione sismica svolto dallo scrivente per il Quadro Conoscitivo del PSC di Mirandola.

Si evidenzia in particolare la presenza fino a circa 2 metri di profondità di terreni limosi e argillosi sovracconsolidati al di sotto dei quali sono presenti dai 4 ai 7 metri di limo argilloso mediamente consistente. Il tetto del primo orizzonte sabbioso limoso si individua a profondità variabili e comprese tra 6,2 e 9,4 metri da p.c. e con una tendenza ad essere a quote più superficiali nella fascia ovest dell'area indagata (CPT1 e CPT3). In ogni prova è

stata poi rinvenuta sabbia ben addensata per tutta la profondità indagata a partire da 11-14,5 metri di profondità.

La stratigrafia ricostruita per l'area di indagine conferma le indicazioni fornite dalla carta MOPS di microzonazione (figura 8), che indica per questa zona la possibile presenza del tetto dei primi depositi granulari a profondità inferiori agli 8 metri dal piano campagna.

Si sottolinea che i parametri di sintesi proposti nella tabella 1 sono solo valori medi indicativi. Una volta che verranno stabiliti in via definitiva le aree di sedime delle strutture e l'esatto approfondimento delle relative fondazioni, potranno essere calcolati i valori caratteristici e di progetto di tali parametri, partendo dai dati puntuali indicati in allegato al capitolo 12 per ciascuna verticale di indagine.

Sulla base di quanto sopra espresso, pur non conoscendo allo stato attuale il dettaglio progettuale delle strutture provvisorie prefabbricate, si ritiene che le caratteristiche meccaniche dei depositi più superficiali siano in linea di massima compatibili con i bassi carichi ipotizzabili. In considerazione delle litologie rinvenute si suggerisce di prevedere un piano di posa a non meno di 80 cm di profondità entro il livello sovraconsolidato, al fine di superare i terreni di alterazione superficiale e di evitare che i terreni di fondazione risentano sensibilmente delle variazioni climatiche e stagionali. In ogni caso, qualora in fase esecutiva si rinvenissero localmente depositi con caratteristiche meccaniche scadenti, si dovrà provvedere alla loro compattazione o asportazione e sostituzione con magrone.

Si rimanda comunque al progettista la scelta definitiva dell'intervento più idoneo in considerazione dei carichi reali di esercizio, del dettaglio progettuale delle strutture, del conseguente calcolo dei valori di resistenza caratteristici e di progetto del terreno e dei cedimenti assoluti e differenziali prevedibili (verifiche agli stati limite) ai sensi del DM 14/01/2008. Tali valutazioni, anche se eseguite dopo eventuali approfondimenti geotecnici, dovranno in ogni caso tenere conto dei risultati del presente studio e dei principali parametri geomeccanici dei terreni, riportati al capitolo 12 per ciascuna verticale di indagine, sulla base dei quali andranno stimati i valori caratteristici e di progetto.

Parte della porzione nord dell'area indagata, compresa tra il tratto di canale che attraversa l'area da est a ovest e la verticale della prova CPT4 (figura 10), presenta alcuni piccoli rilievi dovuti a riporti di terreno, probabilmente accumulati in passato nel corso della realizzazione qualche opera edilizia nelle aree circostanti. A questo proposito, qualora si decida l'utilizzo anche di questa porzione di terreno per ampliare l'area degli interventi, si dovrà necessariamente procedere all'asportazione di tali accumuli, verificandone preventivamente l'esatta natura attraverso una caratterizzazione chimico-fisica al fine di un corretto e idoneo smaltimento ai sensi della normativa vigente.

Caratteristiche idrogeologiche locali

Nell'area oggetto d'indagine al di sotto dei primi livelli di terreni argillosi e limosi, a una profondità variabile tra 7 e 8 m dal p.c. inizia il primo vero acquifero, in corrispondenza di sabbie a granulometria media che si rinvennero fino a 30 metri dal p.c.. Questo è il primo acquifero utile per lo sfruttamento da cui in genere attingono i pozzi presenti nella zona. Lo strato argillo-limoso sovrastante confina la falda contenuta nelle sottostanti sabbie e ne impedisce la risalita mantenendola in pressione.

La frangia freatica superficiale, misurata in foro al termine delle prove penetrometriche, è invece ascrivibile ad un livello idrico sospeso con circolazione molto limitata a causa della bassa permeabilità dei depositi. La sua alimentazione è legata prevalentemente alle infiltrazioni meteoriche dalla superficie e dunque appare piuttosto variabile durante l'anno.

Al termine di ciascuna delle prove penetrometriche CPT, eseguite per il presente studio in un periodo caratterizzato da una prolungata assenza di precipitazioni, si è verificata la presenza di acqua di falda nei fori di sondaggio. Solo la prova CPT2 ha però permesso la misurazione (4,5 metri da p.c.), mentre nelle restanti il foro è risultato chiuso poco dopo i 4 metri. La prova penetrometrica statica con piezocono CPTU ha permesso di accertare la presenza di acqua a 4,45 metri dal p.c..

L'urgenza con cui è stata richiesta la redazione del presente studio, non ha permesso un monitoraggio del livello della falda per definirne meglio sua escursione stagionale, dato utile sia per una più puntuale valutazione dell'occorrenza di fenomeni di liquefazione (capitolo 8), che per accertare la possibile interferenza della falda con le opere in corso di progettazione. In ogni caso, poiché l'area in esame è stata oggetto di quattro distinte campagne di indagine tra il 1999 e il 2012, in cui il livello della frangia freatica superficiale è risultato variabile tra i 2 e i 4,5 metri dal p.c. come dettagliato nella tabella 2 si ritiene tale range di valori vicino all'escursione tipica stagionale, anche in raffronto con altri valori misurati nel tempo in aree limitrofe.

Data	
Luglio 2012	4,45 - 4,5 m
Gennaio 2006	2,8 m
Giugno 2003	2 - 2,2 m
1999	3 - 3,4 m

Tabella 2. Livello della falda misurato nelle diverse campagne di indagine eseguite nell'area di studio.

Ipotizzando che il sistema di fondazione degli edifici provvisori che verranno realizzati si attesti ad una profondità massima di 1 metro dal p.c., sulla base di quanto attualmente noto, si può ritenere che non vi sia interferenza dei manufatti con la falda. Si dovrà in ogni caso garantire, in fase di progetto e di esecuzione, la presenza di una soletta di fondazione adeguatamente dimensionata nei confronti di eventuali sottospinte idrostatiche. Dovranno inoltre essere adeguatamente impermeabilizzati gli eventuali

elementi interrati e previsti idonei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque ricadenti sull'area.

Modello sismostratigrafico e individuazione del bedrock sismico

Le indagini eseguite con cono sismico e con tecnica MASW, sono state realizzate con lo scopo di ottenere il profilo di velocità per i primi 30 metri di sottosuolo dell'area di studio. Anche se i dati sui singoli intervalli non appaiono perfettamente coincidenti, il dato medio è da considerarsi il medesimo. La V_{S30} ottenuta dalla prova MASW è pari a 200 ± 16 m/s, mentre quella da cono sismico è pari a 213 m/s. Si sottolinea che nell'indagine con cono sismico il calcolo è stato eseguito tra 2 e 32 metri. I primi due metri non sono stati infatti caratterizzati perché soggetti a frequenti sovrastime dovute al fatto che i ricevitori si trovano troppo vicini alla superficie e al punto di energizzazione.

Le tre misure eseguite con il tomografo digitale hanno evidenziato una sostanziale analogia delle curve HVSR al di sotto dei 10 Hz (figura 11), con un valore della frequenza fondamentale dei depositi di poco superiore a 0,8 Hz. Al di sopra dei 10 Hz si rilevano picchi, di origine in parte antropica e in parte stratigrafica, questi ultimi originati da contrasti presenti nei primissimi metri di profondità.

I risultati complessivi sono in linea con quanto riscontrato nel corso dello studio di microzonazione, per il quale erano state realizzate alcune misure nelle vicinanze dell'area indagata.

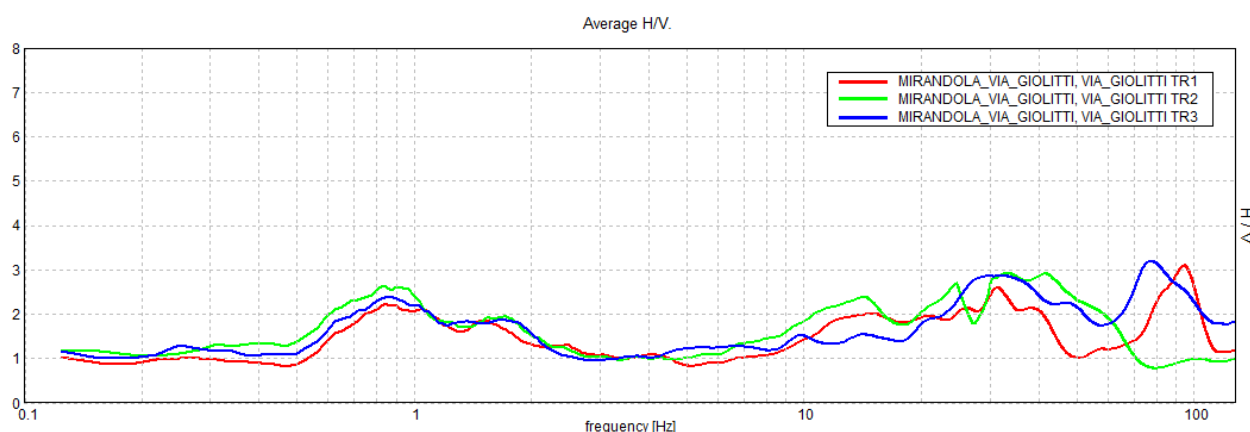


Figura 11 – Confronto dei diagrammi HVSR/f delle 4 misure effettuate. Si noti la sostanziale analogia tra le curve al di sotto dei 10 Hz.

Il bedrock sismico della zona dell'abitato di Mirandola (o pseudo-bedrock, visto che non si raggiunge la velocità di 800 m/s richiesta dagli ICMS), può essere stimato con buona approssimazione potendosi riferire allo studio specifico eseguito per la microzonazione sismica a scala comunale, in cui i risultati delle prove HVSR sono stati comparati con le due sezioni geologiche di dettaglio realizzate dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (Martelli e Molinari, 2008).

Nell'area di indagine il bedrock sismico si dovrebbe attestare ad una profondità di circa 140 metri dal p.c.. In figura 12 è riportata la modellazione eseguita sulla verticale della misura TR2 e della prova SCPTU.

Dal confronto dei risultati delle indagini eseguite è possibile affermare che l'intera area indagata presenta caratteristiche omogenee dal punto di vista della risposta sismica e che rispetto alle lunghezze d'onda di interesse per il caso in esame, il sottosuolo può essere assunto monodimensionale - 1D. I risultati delle indagini geofisiche tra loro combinati hanno permesso la ricostruzione del modello di sottosuolo per l'analisi di risposta sismica locale di terzo livello (capitolo 7), che nello specifico è stato ricavato dalle prove in array per la parte superficiale e dalle risultanze delle prove H/V per la parte più profonda.

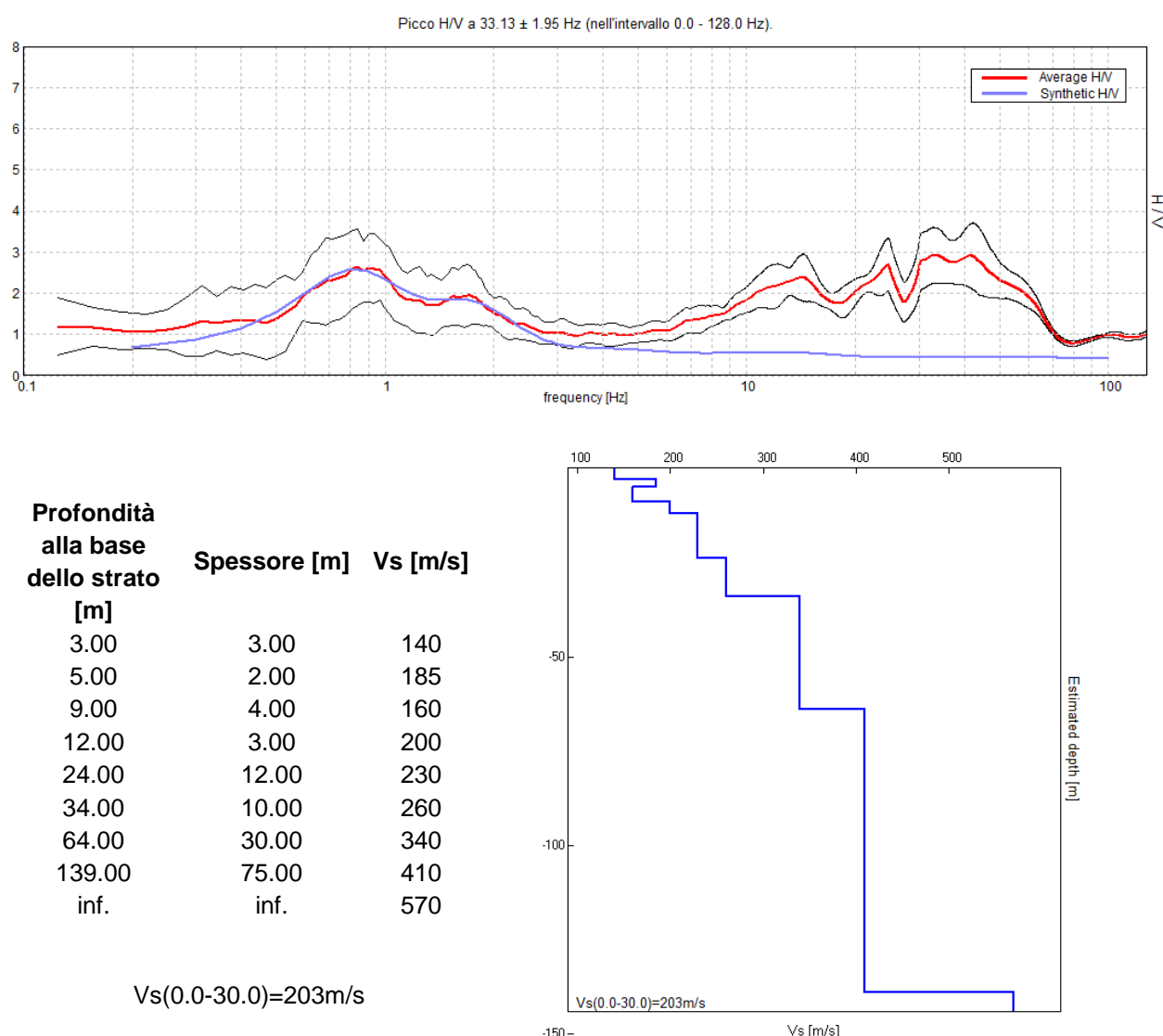


Figura 12: Diagramma HVSr/f (in alto) ottenuto dalla misura TR2 (in rosso) e teorico (in blu) e curva del modello del sottosuolo ricostruita utilizzando per i primi 32 metri i dati di SCPTU (in basso).

7. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Secondo quanto indicato nello studio di microzonazione sismica di secondo livello realizzato per il PSC del Comune di Mirandola, in accordo con quanto già indicato nelle tavole del PTCP della Provincia di Modena, per tutto il territorio comunale, nelle aree in cui sono previsti interventi edilizi, occorre eseguire una valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione a scala di dettaglio, con l'analisi della risposta sismica locale con metodi numerici, attraverso procedure di terzo livello di approfondimento, secondo quanto indicato nell'allegato A3 della DAL n. 112/2007.

Nel sito in esame è stata quindi condotta la valutazione degli effetti sismici di sito di livello III secondo lo schema seguente:

1. definizione del modello litostratigrafico e geomeccanico del sottosuolo attraverso indagini dirette (geognostiche) e indirette (geofisiche),
2. selezione di 5 moti di input (terremoto "caratteristico") al bedrock,
3. stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza,
4. stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo (edificio) a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

Tutti i calcoli che seguono si riferiscono ad una profondità di posa delle fondazioni assunta pari a -1 m rispetto al piano campagna attuale, valore che, anche se al momento non si dispone di alcun dettaglio progettuale, dovrebbe verosimilmente avvicinarsi alla profondità di posa delle fondazioni delle opere in progetto.

Definizione del modello di sottosuolo

Dal confronto dei risultati delle indagini eseguite, dettagliate nei capitoli precedenti, è possibile affermare che l'intera area indagata presenta caratteristiche omogenee e che rispetto alle lunghezze d'onda di interesse per il caso in esame, il sottosuolo può essere assunto 1D.

Il modello di sottosuolo è stato ricavato dalle prove in array per la parte superficiale e dalle risultanze delle prove H/V per la parte più profonda (figura 13). La falda è stata assunta, a titolo cautelativo, alla profondità di -2 m dal piano campagna attuale.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
7.00	7.00	120
17.00	10.00	200
40.00	23.00	250
70.00	30.00	340
145.00	75.00	410
inf.	inf.	570

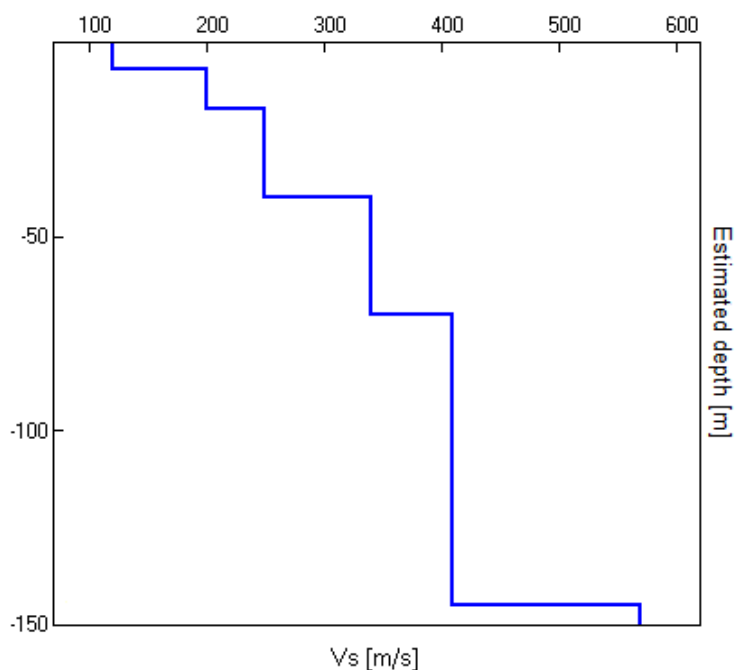


Figura 13. Profilo di Vs impiegato per il sito di via Giolitti.

Per il calcolo degli spettri di accelerazione (orizzontale) attesi al sito si è usato il codice EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits di Bardet, Ichii e Lin, 2000).

Le curve di smorzamento impiegate per le coperture e per il bedrock sono riportate in figura 14.

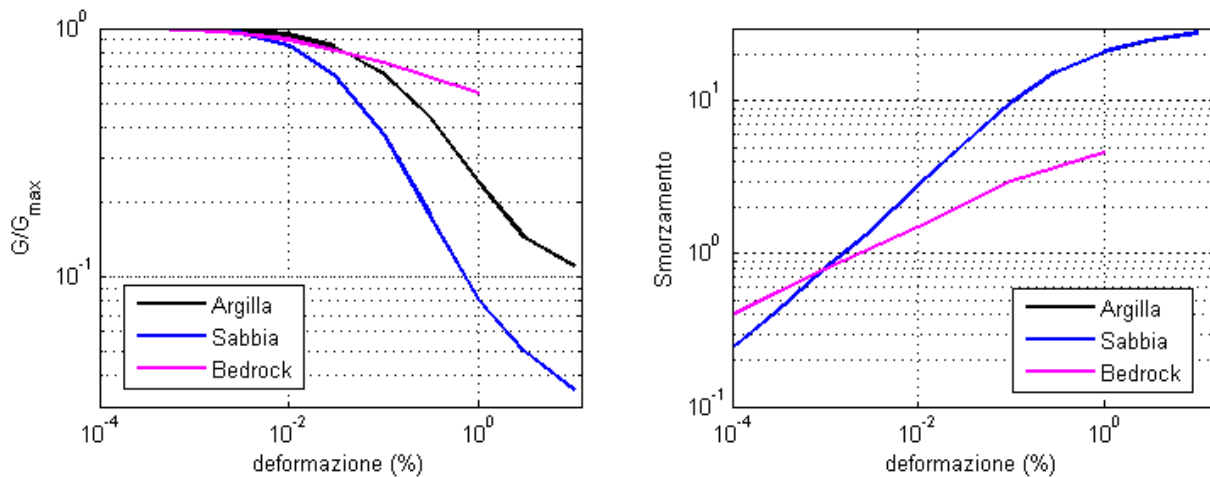


Figura 14. Curve di andamento del modulo di taglio e dello smorzamento (%) in funzione della deformazione per i diversi tipi di materiale usate in questo studio (da Seed e Idriss, 1970; Idriss, 1990).

Funzione di trasferimento bedrock → superficie e valori di accelerazione di picco attesi in superficie

Si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire da 5 accelerogrammi reali (componente orizzontale del moto) relativi ad un sito in roccia (A) con valore di accelerazione di picco $|PGA_0| = 0.166$ g. Tale valore di PGA_0 deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il comune di Mirandola, scalato per un coefficiente d'uso 1.5 che corrisponde ad una classe d'uso III (costruzione il cui uso preveda affollamenti significativi), vita nominale ≥ 50 anni (assunta cautelativamente pari a quella per opere ordinarie), secondo lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Tre dei cinque accelerogrammi usati in questo studio sono forniti per il comune di Mirandola dal database della Regione Emilia Romagna. Gli altri sono ricavati dal database italiano degli accelerogrammi (ITACA). Tutti sono riportati in figura 15.

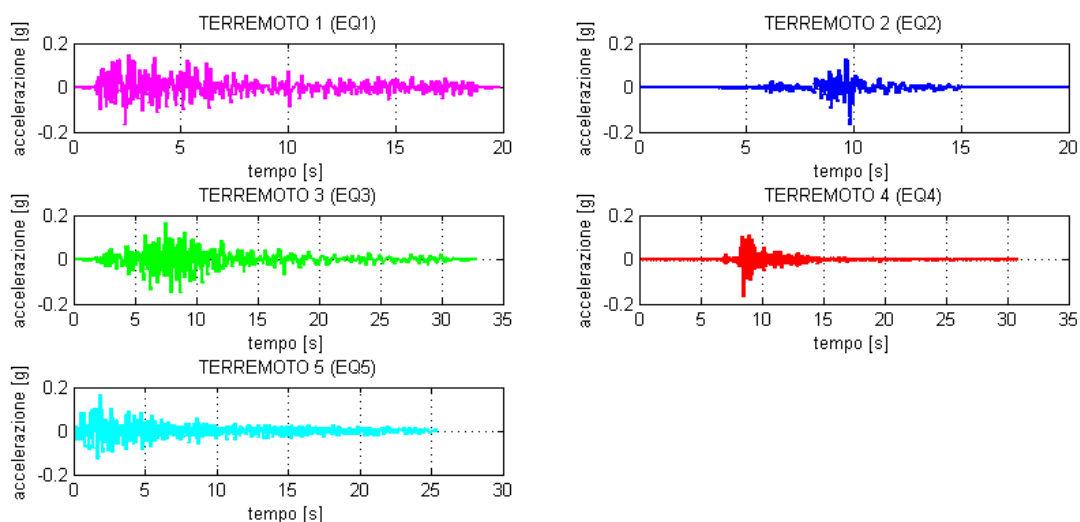


Figura 15. Accelerogrammi di input (al bedrock). $|PGA_0| = 0.166$ g.

In figura 16 si riporta il rapporto tra lo spettro atteso al bedrock e quello atteso in superficie, in funzione della frequenza. Si osserva amplificazione a frequenza di poco inferiore a 1 Hz e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento imposto alle coperture.

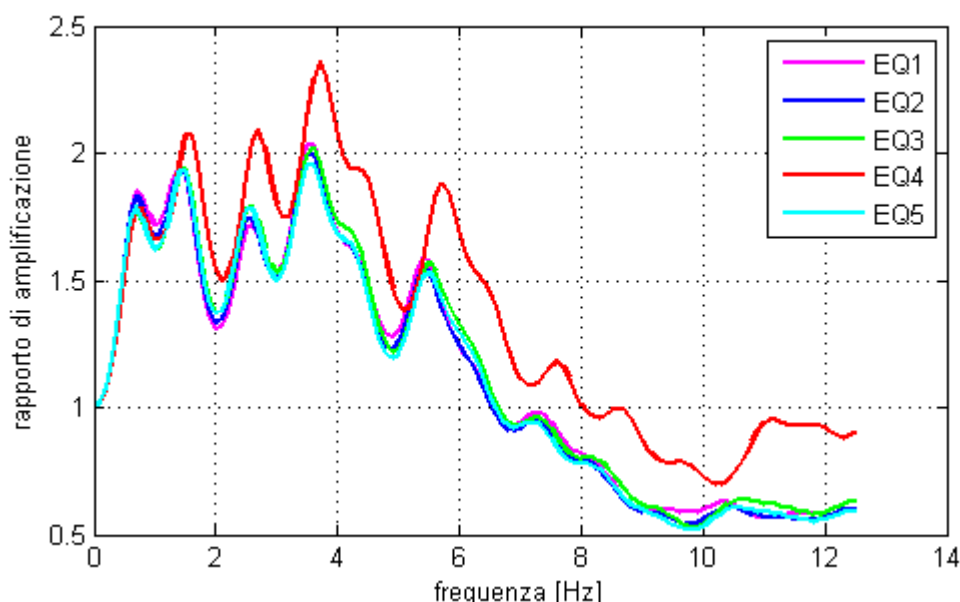


Figura 16. Funzione di trasferimento (rapporto di amplificazione tra lo spettro del moto in superficie ed al bedrock) per i 5 terremoti di figura 15. L'armonica fondamentale è a frequenza di poco inferiore a 1 Hz. Alcuni degli altri massimi appaiono armoniche superiori della fondamentale e risultano così ben visibili a causa del basso smorzamento imposto alle coperture e di altri dettagli numerici.

Spettro di risposta

In figura 17 si riportano gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi prescelti ed il loro valore medio. Lo spettro di risposta medio è fornito in forma numerica in tabella 3 ed in figura 17 è confrontato con lo spettro di risposta relativo alla categoria di sottosuolo C per lo stesso Stato Limite (SLV). Gli spettri di risposta sono abbastanza comparabili per strutture con periodo proprio nell'intervallo $[0, 0.3]$ s (frequenza > 3.3 Hz) mentre lo spettro da approccio semplificato di normativa fornirebbe valori di accelerazione massima maggiori rispetto a quelli ottenuti da analisi numerica per strutture con periodo > 0.3 s (< 3.3 Hz).

Tabella 3. Spettro di risposta medio calcolato per il sito.

Periodo [s]	Spettro di risposta medio [g]	Periodo [s]	Spettro di risposta medio [g]
0.01	0.2360	0.51	0.3000
0.02	0.2360	0.52	0.2880
0.03	0.2380	0.53	0.2760
0.04	0.2440	0.54	0.2740
0.05	0.2460	0.55	0.2720
0.06	0.2540	0.56	0.2720
0.07	0.2680	0.57	0.2740
0.08	0.2880	0.58	0.2780
0.09	0.2980	0.60	0.2780
0.10	0.3120	0.62	0.2800
0.11	0.3560	0.64	0.2800
0.12	0.3880	0.66	0.2720
0.13	0.4300	0.68	0.2740
0.14	0.5000	0.70	0.2680
0.15	0.5520	0.72	0.2560
0.16	0.5320	0.74	0.2380
0.17	0.5380	0.76	0.2260
0.18	0.6220	0.78	0.2140
0.19	0.6240	0.80	0.2000
0.20	0.5740	0.82	0.1860
0.21	0.5440	0.84	0.1740
0.22	0.5780	0.86	0.1620
0.23	0.6080	0.88	0.1520
0.24	0.6320	0.90	0.1460
0.25	0.6480	0.92	0.1400
0.26	0.6460	0.94	0.1360
0.27	0.6860	0.96	0.1280
0.28	0.6980	0.98	0.1220
0.29	0.6700	1.00	0.1140
0.30	0.6300	1.05	0.1080
0.31	0.6000	1.10	0.1040
0.32	0.5800	1.15	0.1020
0.33	0.5500	1.20	0.0900
0.34	0.5300	1.25	0.0780
0.35	0.5120	1.30	0.0700
0.36	0.5040	1.35	0.0680
0.37	0.5040	1.40	0.0660
0.38	0.5020	1.45	0.0620
0.39	0.4900	1.50	0.0540
0.40	0.4680	1.55	0.0520
0.41	0.4520	1.60	0.0460
0.42	0.4420	1.65	0.0400
0.43	0.4320	1.70	0.0340
0.44	0.4180	1.75	0.0320
0.45	0.4000	1.80	0.0320
0.46	0.3800	1.85	0.0320
0.47	0.3600	1.90	0.0320
0.48	0.3420	1.95	0.0300
0.49	0.3260	2.00	0.0260
0.50	0.3120		

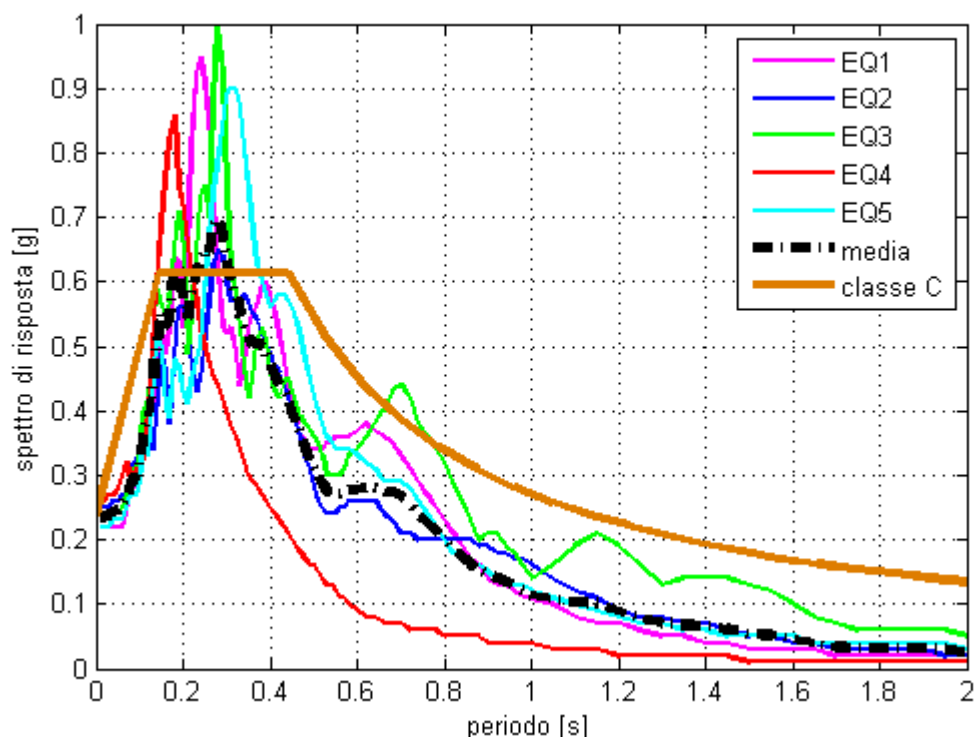


Figura 17. Confronto tra lo spettro di risposta ottenuti dai 5 accelerogrammi di input e la loro media (nero).

Fattori di amplificazione

I fattori di amplificazione di PGA_0 e dell'intensità spettrale (questi ultimi calcolati a partire dallo spettro di risposta in pseudovelocità negli intervalli di periodo [0.1, 0.5] e [0.5, 1] s, così come previsto dall'Atto di Indirizzo per la Microzonazione Sismica in Emilia Romagna del 2007, sono riportati in tabella 4.

	EQ 1	EQ 2	EQ 3	EQ 4 (max)	EQ 5	Media
Fattore di amplificazione PGA/PGA_0	1.3	1.5	1.4	1.6	1.3	1.4
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0.1-0.5 s	1.6	1.6	1.6	1.8	1.6	1.6
Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0.5-1 s	1.7	1.7	1.7	1.9	1.7	1.7

Tabella 4. Fattori di amplificazione di PGA e dell'intensità spettrale (questi ultimi calcolati a partire dallo spettro di risposta in pseudovelocità negli intervalli di periodo [0.1, 0.5] e [0.5, 1] s).

Accelerazione massima attesa (PGA)

In figura 18 si riporta l'andamento dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i 5 terremoti di input, nell'ipotesi di piano di posa delle fondazioni a -1 m dal piano di campagna attuale. Tali valori, ed in particolare quello massimo a profondità minore (EQ4), sono stati utilizzati per eseguire le verifiche del potenziale di liquefazione che sono dettagliate al capitolo successivo.

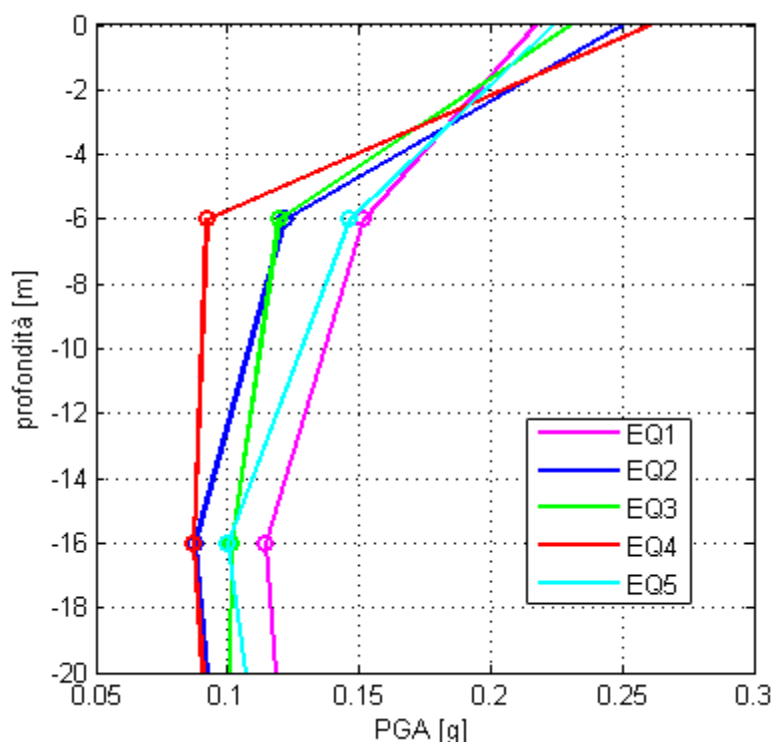


Figura 18. Andamento dell'accelerazione di picco con la profondità nei primi 20 m di terreno a partire da una quota di fondazione supposta a -1 m dal piano di campagna attuale (lo 0 corrisponde quindi a -1 del p.c. attuale).

I valori massimi di PGA ottenuti col presente studio di risposta sismica locale appaiono in linea con quanto registrato dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale in concomitanza delle due scosse principali della sequenza sismica del maggio 2012.

8. VERIFICHE DELLA LIQUEFACIBILITÀ DEI DEPOSITI

Secondo quanto indicato nello studio di microzonazione sismica di secondo livello realizzato per il PSC del Comune di Mirandola, in accordo con quanto già indicato nelle tavole del PTCP della Provincia di Modena, per tutto il territorio comunale, nelle aree in cui sono previsti interventi edilizi, occorre eseguire una valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione a scala di dettaglio, con l'eventuale stima dei cedimenti attesi, attraverso procedure di terzo livello di approfondimento, secondo quanto indicato nell'allegato A3 della DAL n. 112/2007.

Effetti di liquefazione della sequenza sismica del maggio 2012

La scossa del 20 maggio 2012 ($M_I=5.9$) e, in misura minore, quella del 29 maggio ($M_I=5.8$) (figura 5), hanno causato evidenti fenomeni di liquefazione in prossimità dell'area epicentrale.

I rapporti dei rilievi eseguiti da squadre di geologi di diversi enti, ad oggi disponibili, riportano come tali fenomeni risultino maggiormente evidenti in corrispondenza di paleoalvei fluviali, dove le risalite di sabbia risultano in genere allineate lungo fratture. Le maggiori evidenze si concentrano nei comuni del ferrarese lungo il paleoalveo del Fiume Reno, ma per quanto queste siano macroscopiche sul terreno, gli effetti di tali fenomeni sulle costruzioni appaiono tutto sommato ridotti. Sembrano infatti essersi verificati solo in pochi casi effetti quali rotazioni o scorrimento di edifici a seguito di perdita della capacità portante dei terreni di fondazione.

Dalla consultazione dei dati disponibili, per quanto concerne l'area comunale di Mirandola sono attualmente note poche evidenze di liquefazione e fatturazione del terreno. In sintesi: alcune a sud della località Tramuschio, altre sparse nelle campagne della zona delle Valli e una in un frutteto a nord di Via Gramsci nella frazione di Cividale. In considerazione dell'estrema vicinanza all'area epicentrale e delle accelerazioni di picco registrate, gli effetti di liquefazione nel comune di Mirandola appaiono tutto sommato assai ridotti. Le ragioni principali possono essere ritenute due: a Mirandola, rispetto ad altre zone in cui si sono registrati effetti molto superiori, i depositi sabbiosi si rinvenivano mediamente a profondità maggiori e sono caratterizzati da un maggiore addensamento.

Fattori scatenanti e predisponenti

Si ricorda che per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche ed in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Le verifiche della possibile occorrenza di fenomeni di liquefazione richiedono la stima del "fattore scatenante" (evento sismico atteso), dei "fattori predisponenti" (caratteristiche meccaniche dei sedimenti) e dei possibili "effetti" sulle strutture esistenti o di progetto. Le caratteristiche dell'evento sismico atteso sono la magnitudo e l'accelerazione su suolo

rigido di riferimento. I fattori predisponenti sono stati nel nostro caso valutati attraverso le indagini geognostiche (presenza entro i primi 20 metri di profondità dei depositi granulari saturi e loro caratteristiche) e geofisiche. Una specifica analisi numerica di risposta sismica locale (capitolo 7) ha fornito il dato relativo alla e l'accelerazione massima (PGA o a_{gmax}) attesa al sito.

Sulla base dei dati geognostici relativi alle indagini realizzate per il presente studio (4 prove CPT a 20 metri e una prova CPTU a 30 metri) e a quelle di repertorio eseguite all'interno dell'area in oggetto (3 prove CPT a 15 metri) e in considerazione del rinvenimento di livelli sabbiosi saturi in corrispondenza di tutte le verticali, si è proceduto ad una preliminare verifica della suscettibilità alla liquefazione con metodi semplificati, come indicato nell'allegato A3 della DAL n. 112/2007 e negli ICMS.

Verifiche con i metodi semplificati

Come indicato nella DAL n. 112/2007, tra i metodi semplificati sono raccomandati quelli basati su prove CPT e tra questi in particolare il metodo di Robertson e Wride, 1998.

Per il presente studio sono state quindi realizzate le verifiche della propensione alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma su tutte e 8 le verticali delle prove penetrometriche statiche, sia quelle eseguite per il presente studio, che quelle pregresse. Per i calcoli è stato utilizzato il programma "Cliq 1.7" della Geologismiki Geotechnical Software, sviluppato in collaborazione col Prof. Peter Robertson. L'algoritmo di calcolo utilizzato si basa sul metodo di Robertson e Wride (1998), recentemente aggiornato dallo stesso P.K. Robertson (2009-2010). Le analisi eseguite seguono le procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Lo stesso software esegue il calcolo dei cedimenti attesi secondo il metodo proposto da Zhang et al. (2002), calcolandoli per tutti i livelli che hanno un fattore di sicurezza inferiore a 2.

I parametri di input sono stati tutti scelti in maniera ragionata sulla base delle conoscenze acquisite, in modo da risultare i più cautelativi possibili:

- **Mw = 6.14** (M_{wmax} Zona 912 di ZS9, come suggerito dagli ICMS)
- **$a_{gmax} = 0.26$** (ottenuto utilizzando il massimo valore definito in figura 18 per Eq4)
- **Quota piezometrica misurata:** quella riscontrata al momento dell'indagine per ciascuna verticale
- **Quota piezometrica da sisma:** posta sempre a -1 m da p.c.

Per il dettaglio delle verifiche eseguite, si rimanda al capitolo 11 in cui sono raccolti tutti i report del software per i quali sono indicati i parametri di input utilizzati e sono rappresentati in forma grafica gli andamenti con la profondità del fattore di sicurezza, del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi.

Al termine della procedura, per ogni verticale è stato valutato l'indice del potenziale di liquefazione IL (Iwasaki et al., 1982) che viene così definito:

$0 < IL \leq 5$ il rischio di liquefazione è basso

$5 < IL \leq 15$ il rischio di liquefazione è elevato

$IL > 15$ il rischio di liquefazione è estremamente elevato

In tutte le verticali esplorate e verificate il rischio di liquefazione è risultato basso, come riportato in figura 19.

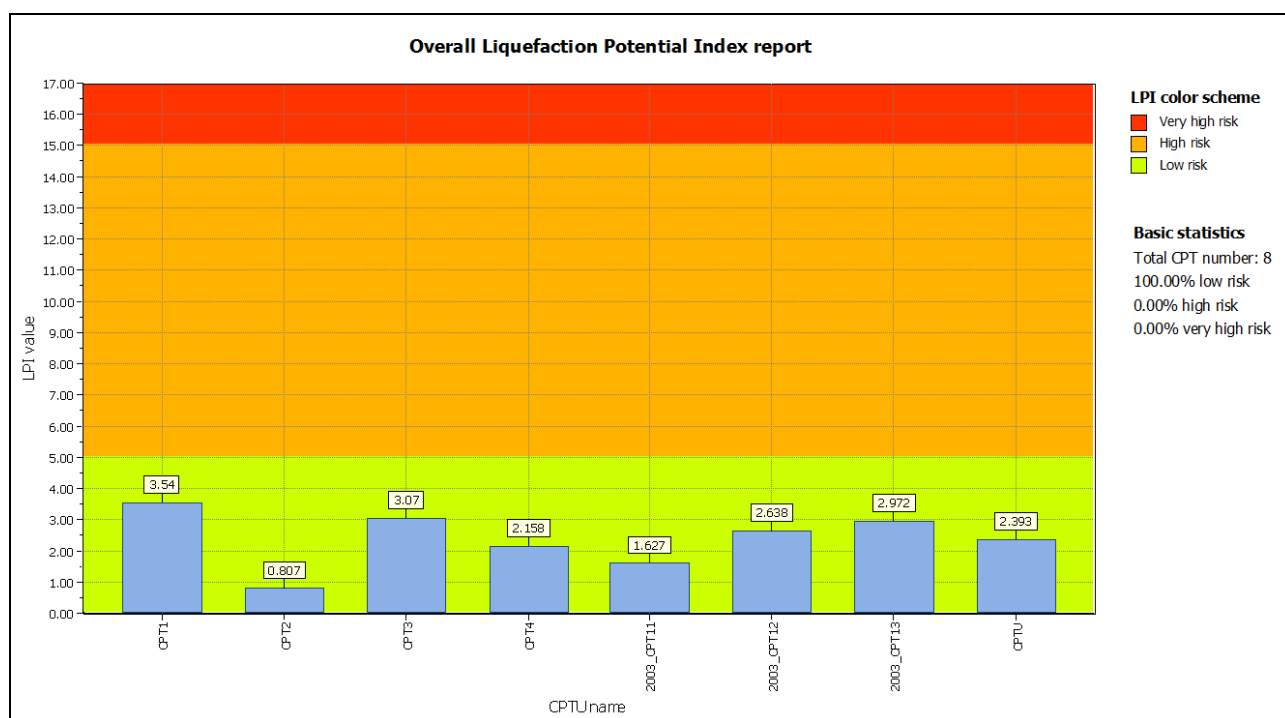


Figura 19. Grafico che mette a confronto gli indici del potenziale di liquefazione per le diverse verticali di indagine.

Si sottolinea come l'urgenza con cui si è resa necessaria la realizzazione del presente studio non ha permesso di eseguire ulteriori approfondimenti, volti a definire con maggior precisione l'escursione della falda idrica attraverso misure piezometriche e ad effettuare analisi del fuso granulometrico su campioni prelevati dai livelli sabbiosi.

Relativamente ai cedimenti totali attesi su ciascuna verticale a seguito del sisma (figura 20), il calcolo eseguito ha fornito valori compresi tra 5 e 10 cm. Si tratta certamente di valori non trascurabili, ma bisogna considerare che, come si può osservare dai grafici dell'andamento in profondità (capitolo 11), i cedimenti iniziano sempre al di sotto dei 6-7 metri di profondità, coerentemente con l'assetto stratigrafico. È inoltre bene precisare che si tratta di deformazioni areali che, anche in ragione di una discreta omogeneità geotecnica laterale, si può ritenere, almeno in questa fase preliminare, non comportino danni a strutture di dimensioni contenute. In ogni caso, si dovrà verificare in fase

progettuale la compatibilità delle strutture previste con i valori dei cedimenti riportati in figura 20.

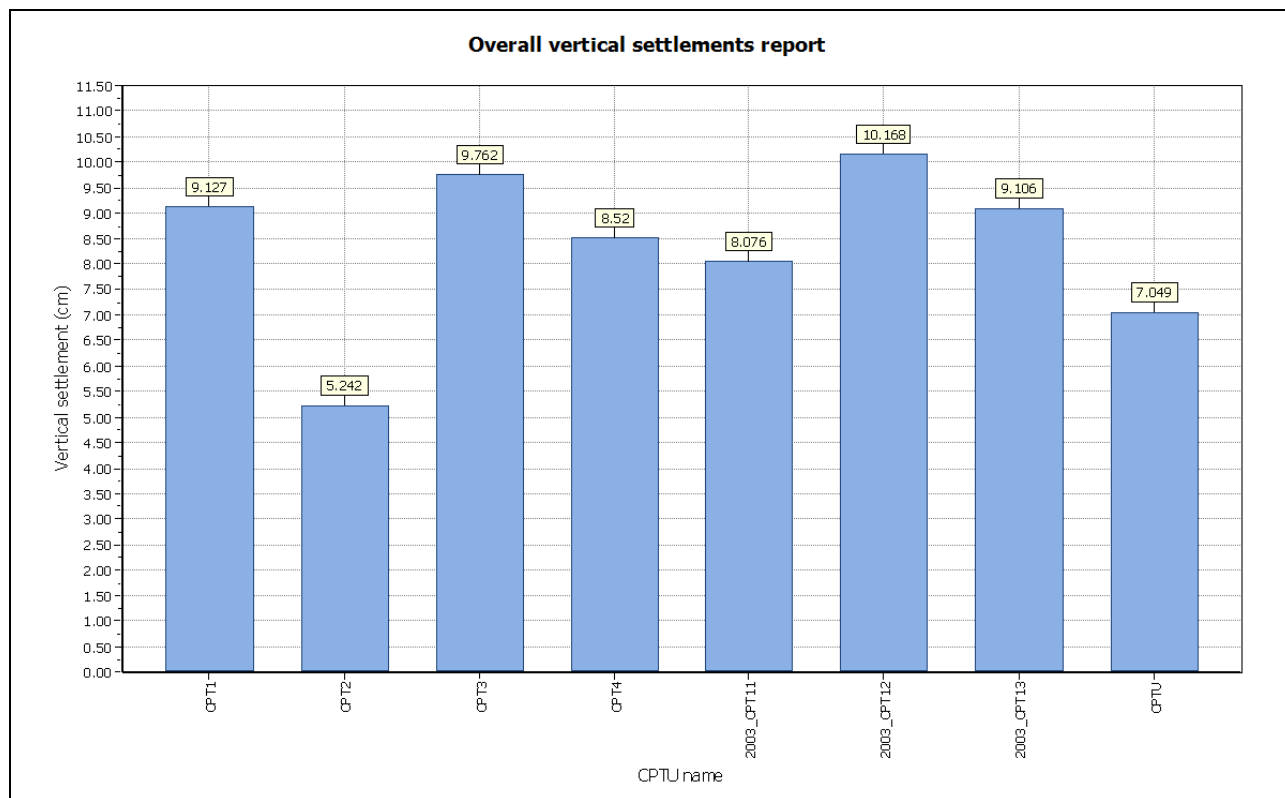


Figura 20. Grafico che mette a confronto i massimi cedimenti post-sismici totali per le diverse verticali di indagine.

9. CONCLUSIONI

Sulla base dello studio eseguito, ferme restando le considerazioni già espresse e dettagliate in precedenza ed in particolare ai capitoli 6, 7 ed 8, si ritiene che le condizioni geologiche, idrogeologiche e sismiche siano compatibili con gli interventi previsti e si sintetizzano di seguito le principali conclusioni del presente lavoro.

- Le indagini geognostiche hanno evidenziato una buona omogeneità delle litologie presenti nel sottosuolo. Si suggerisce in ogni caso di prevedere un piano di posa a non meno di 80 cm di profondità. Non conoscendo allo stato attuale il dettaglio progettuale delle strutture provvisorie, si rimanda al progettista il calcolo dei valori di resistenza caratteristici e di progetto del terreno e dei cedimenti assoluti e differenziali, che comunque si ritengono in prima approssimazione ridotti in relazione ai presumibili bassi carichi delle strutture provvisorie.
- Le strutture in progetto dovranno mantenere una distanza minima di almeno 5 metri dal ciglio del canale che attraversa e borda l'area di intervento.
- Qualora si decida di utilizzare anche la porzione più a nord dell'area indagata per ampliare l'area degli interventi, si dovrà necessariamente procedere all'asportazione degli accumuli di terreno presenti, verificandone preventivamente l'esatta natura per un loro corretto smaltimento.
- Ipotizzando fondazioni che si attestino a una profondità massima di 1 metro dal p.c., sulla base di quanto riscontrato si può ritenere che non vi sia interferenza dei manufatti con la falda. Si dovrà in ogni caso garantire, in fase di progettazione ed esecutiva, la presenza di una soletta di fondazione adeguatamente dimensionata nei confronti di eventuali sottospinte idrostatiche. Dovranno inoltre essere adeguatamente impermeabilizzati gli eventuali elementi interrati e previsti idonei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque ricadenti sull'area. Non si registrano in ogni caso criticità di tipo idrologico o idrogeologico.
- L'analisi della risposta sismica locale eseguita con il terzo livello di approfondimento, ha permesso di stimare l'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza e di ottenere lo spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo (edificio) a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura. I risultati di tale analisi dovranno essere utilizzati dal progettista per il calcolo delle azioni sismiche.
- Le verifiche della liquefacibilità dei depositi, eseguite impostando condizioni molto cautelative, hanno restituito un basso indice del potenziale di liquefazione (IL inferiore a 5) su tutte le verticali di indagine, con valori dei cedimenti post-sismici totali stimati che variano da 5 a 10 cm, rispetto ai quali dovrà essere accertata in fase progettuale la compatibilità delle strutture previste.

Bologna, 13 luglio 2012



10. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Albarello D. e Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista *Ingegneria Sismica* Anno XXVIII - n.2.
- Amorosi A., Colalongo M. L., Pasini G. e Preti D. (1999) - Sedimentary response to Late Quaternary sea-level changes in the Romagna coastal plain (northern Italy). *Sedimentology*, 46, 99-121.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M. e Boschi E. (2008) - The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*.
- Burrato, P., Ciucci F. e Valensise G. (2003) - An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. *Ann. Geophys-Italy*, 46, 5, 865-882.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. e Vannucci G. (2004) - Carta sismotettonica della regione Emilia-romagna; Note illustrative. A cura di : Boccaletti M. e Martelli L., Servizio geologico sismico e dei suoli.
- Castellaro S. (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30. In "Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici" a cura di Mucciarelli M..
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) - Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia e tecnica ambientale*, 3.Soc. Am., 99, 761-773.
- Castellaro S. e Mulargia F. (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.
- Ciucci, F., Burrato P. e Valensise G. (2002) - Complex geomorphic response to blind thrust faulting along the northern margin of the Apennines near Mirandola (Po Plain). XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission - Genoa, Italy 1-6 September 2002, Book of Abstracts, 203.
- Crespellani T., Nardi R. e Simoncini C. (1991) - La liquefazione del terreno in condizioni sismiche. Zanichelli, Bologna.
- Dondi L. e D'Andrea M. G. (1986) - La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene. *Giornale di Geologia*, ser3°, 48/1-2, 197-225.
- Dondi L., Mostardini F. e Rizzini A. (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana. In: Guida alla geologia del margine appenninico padano (a cura di: Cremonini G. e Ricci Lucchi F.), Guida Geol. Reg., S. G. I., 47-58.
- Gruppo di lavoro MS (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico" http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G., INGV-SGA (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). (<http://storing.ingv.it/cfti4med/>).
- Idriss, I. M. (1990) Response of Soft Soil Sites During Earthquakes - Proceedings of the Memorial Symposium to Honor Professor Harry Bolton Seed, University of California, Berkeley, May, 1990.
- INGV - DISS Working Group (2010) - Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2004) - I dati online della pericolosità sismica in Italia (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011). DBMI11, the 2011 version of the Italian Macroseismic Database. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

Martelli L. e Molinari F.C. (a cura di) (2008) - Studio geologico finalizzato alla ricerca di potenziali serbatoi geotermici nel sottosuolo del comune di Mirandola, Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Bologna.

Meletti C. e Valensise G. (a cura di) (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Mucciarelli M. (a cura di) (2012) - Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici.

Obermeier S.F., Olson S.M. e Green R.A. (2005) - Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering analysis of paleosismic shaking. *Engineering Geology*, 76, 209-234.

Park C.B., Miller R.D. e Xia J. (1999) - Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808.

Park C.B., Miller R.D., Xia J. e Ivanov J. (2007) - Multichannel analysis of surface waves (MASW) - active and passive methods. *The Leading Edge* 26, 60.

Pieri M. (1984) - Storia delle ricerche nel sottosuolo padano fino alle ricostruzioni attuali. In: Cento anni di geologia italiana. Vol. giub. I Centenario della S.G.I., 155-176, Bologna.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

Regione Emilia Romagna - Ufficio Geologico (1999) - Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna - scala 1:250.000. Ed. SELCA, Firenze.

Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR - Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino (2002) - Carta Geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo - scala 1:250.000. Ed. SELCA, Firenze.

Regione Emilia Romagna - Delibera Regionale n. 112/2007 - "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>".

Regione Emilia Romagna - Delibera Regionale n. 1051/2011 - "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'opcm 3907/2010 e ss.mm."

Robertson P.K. e Wride C.E. (1998). Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the CPT, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, No. 3

Ricci Lucchi F., Colalongo M. L., Cremonini G., Gasperi G., Iaccarino S., Papani G., Raffi I. e Rio D. (1982) - Evoluzione sedimentaria e paleogeografia del margine appenninico. In: "Guida alla geologia del margine appenninico-padano" a cura di Cremonini G. e Ricci Lucchi F., Guide Geologiche Regionali, Soc. Geol. Ital., 17-46.

Rovida A., Camassi R., Gasperini P. e Stucchi M. (a cura di) (2011) - CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.

Seed H. B. e Idriss I. M (1970) - Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1970-12, 40 pages (475/S41/1970).

Studio di Geologia Tarabusi (2012) - Microzonazione sismica del Comune di Mirandola. Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale.

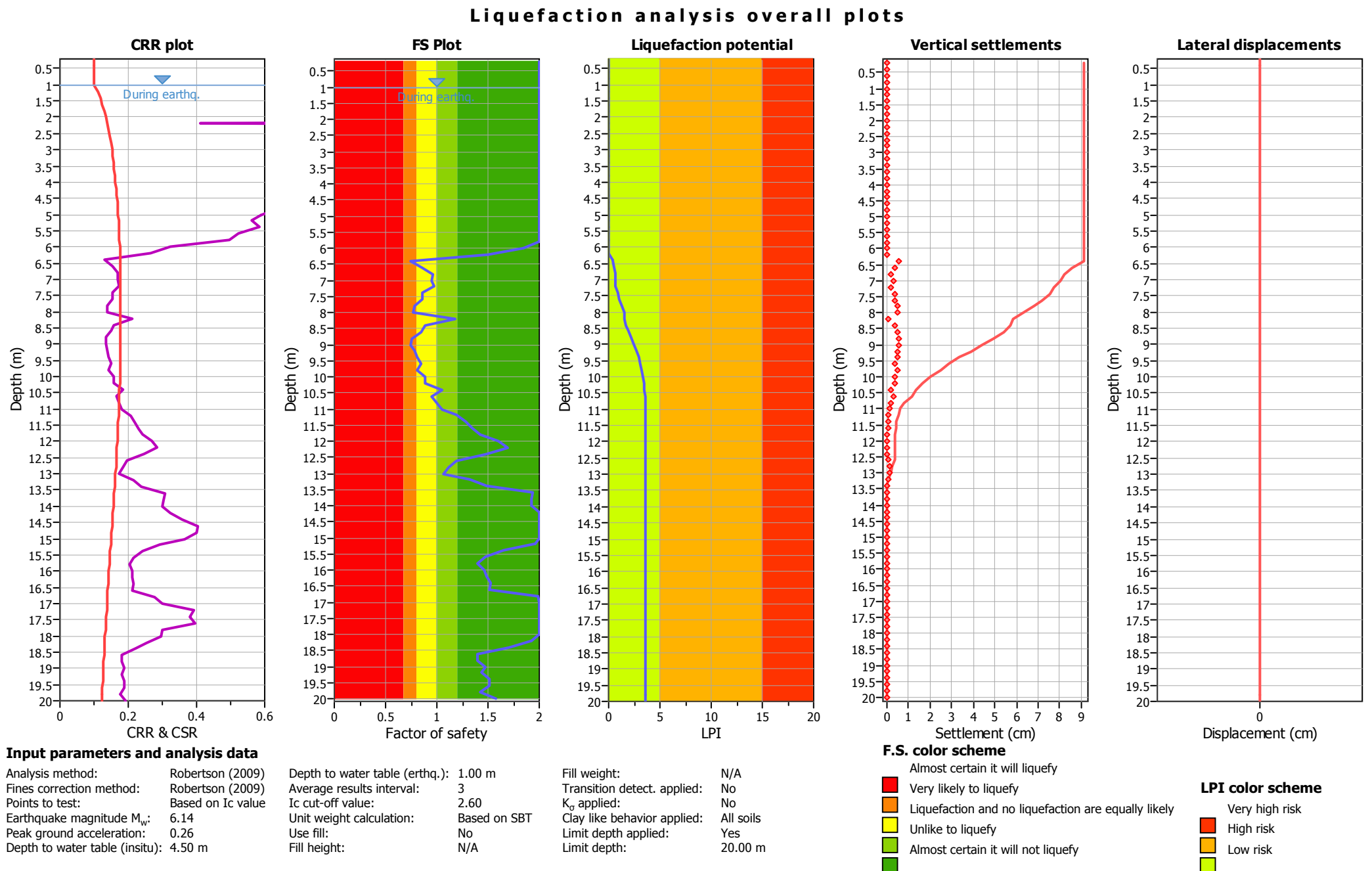
Vittori E. e Ventura G. (1995) - Grain size of fluvial deposits and late Quaternary climate: A case study in the Po River valley (Italy). *Geology*, 23(8), 735-738.

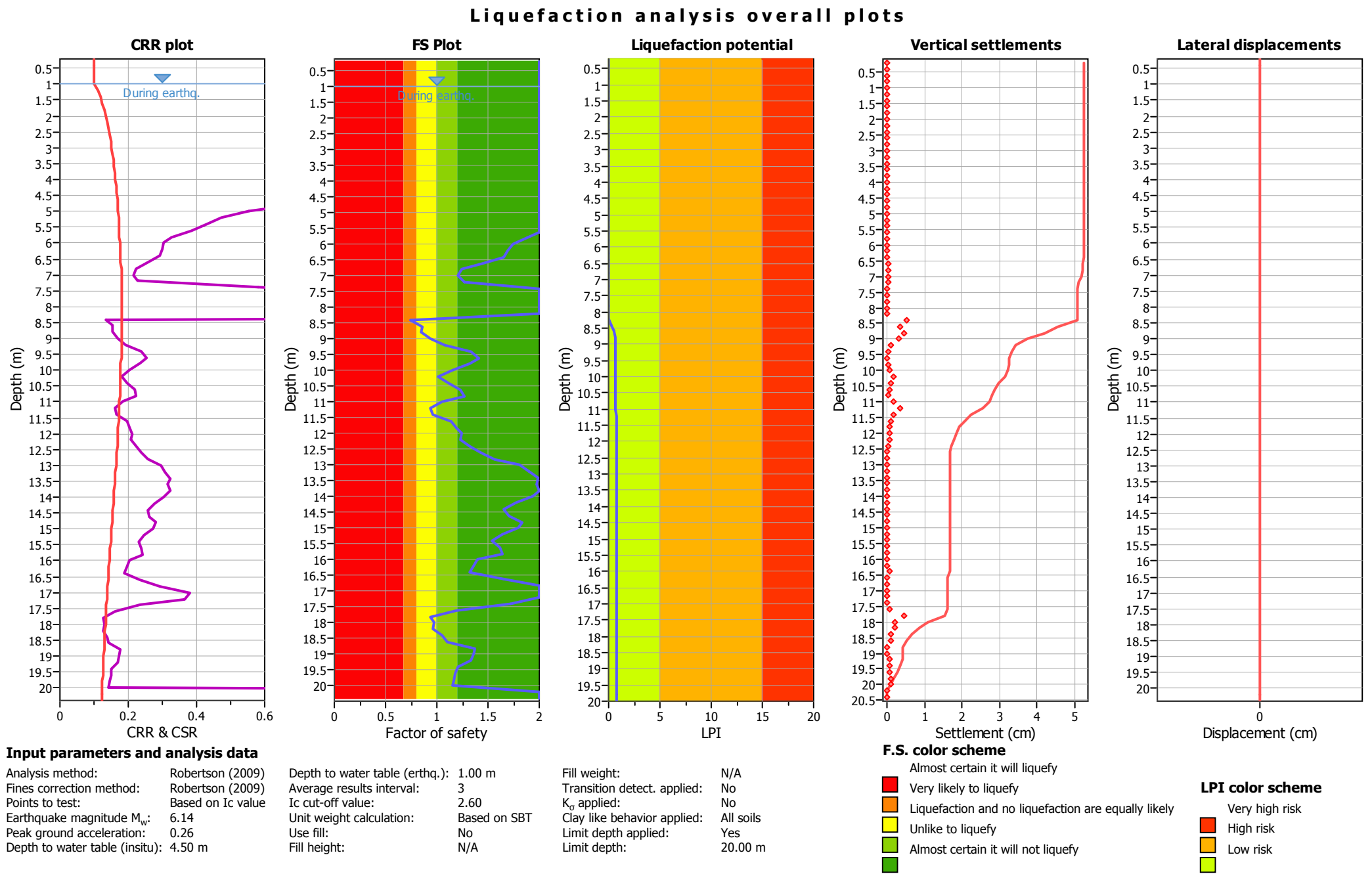
Youd T.L e Perkins D.M. (1978) - Mapping liquefaction-induced ground failure potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 104, GT4, 433-446.

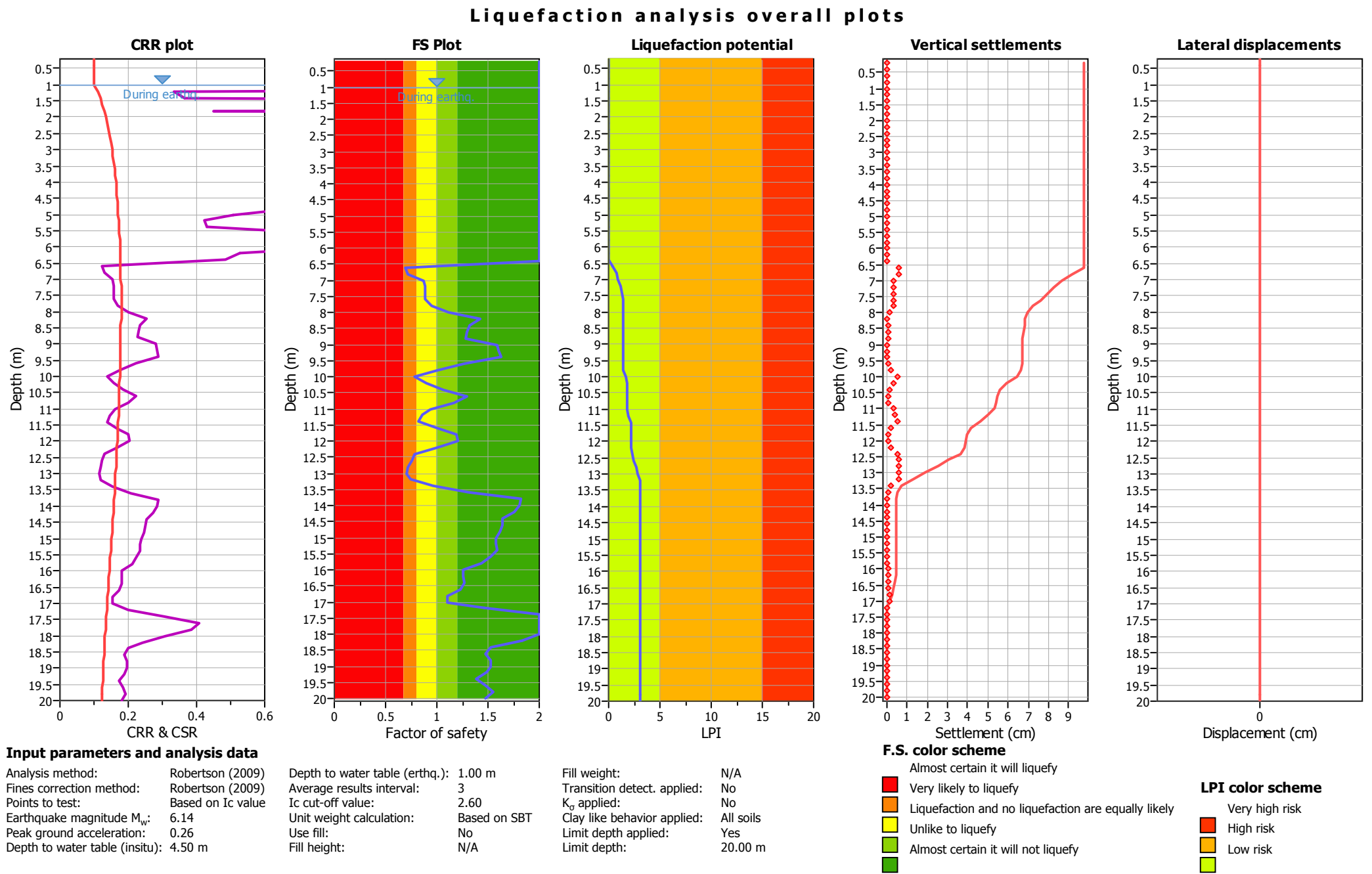
Zoetemeijer R. (1993) - Tectonic Modelling of Foreland Basins, thin skinned thrusting, syntectonic sedimentation and lithospheric flexure. PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.

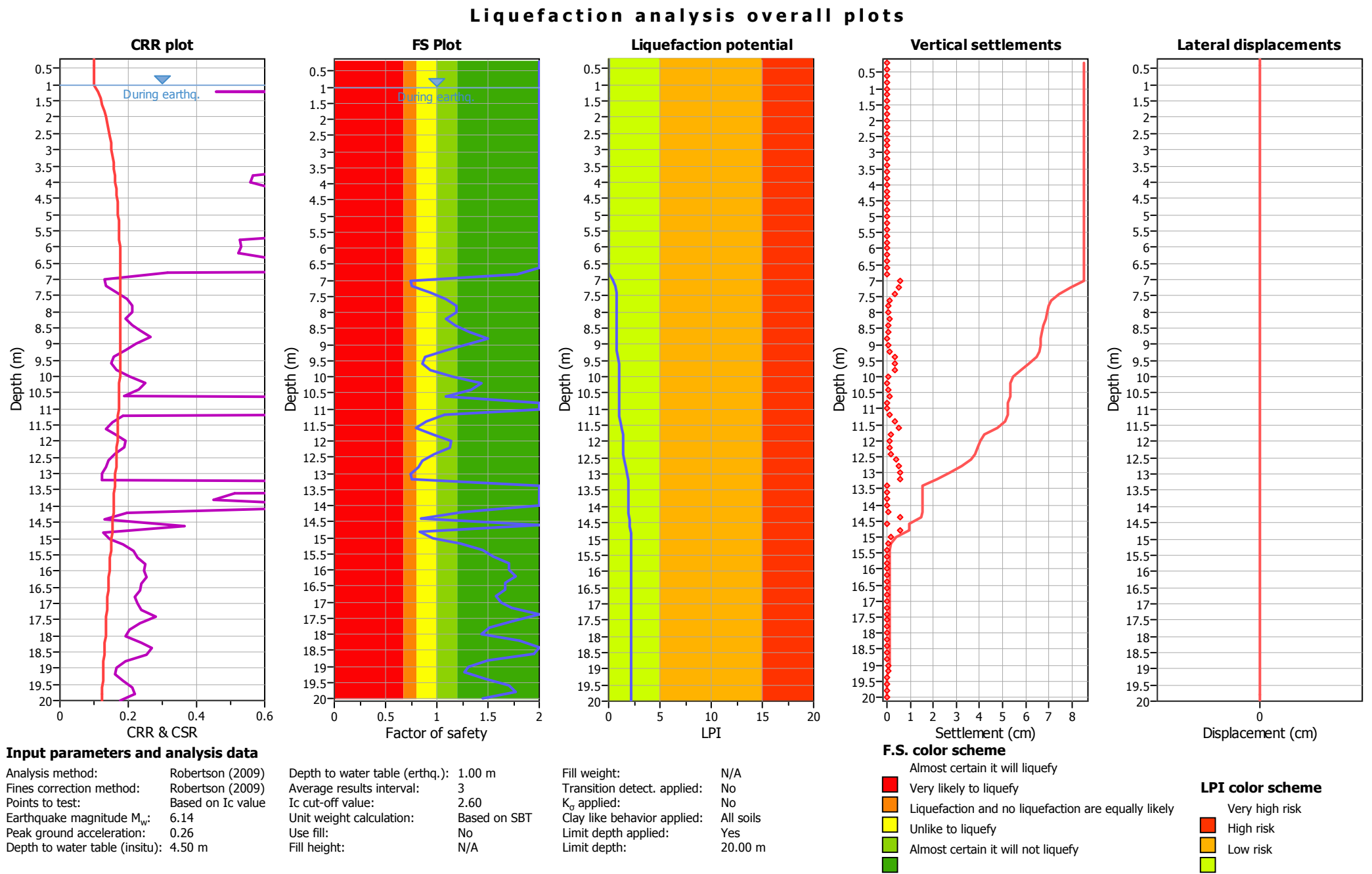
Zhang, G., Robertson. P.K. e Brachman R. (2002) - Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT. *Canadian Geotechnical Journal*, 39: pp 1168-1180.

11. REPORT DELLE VERIFICHE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

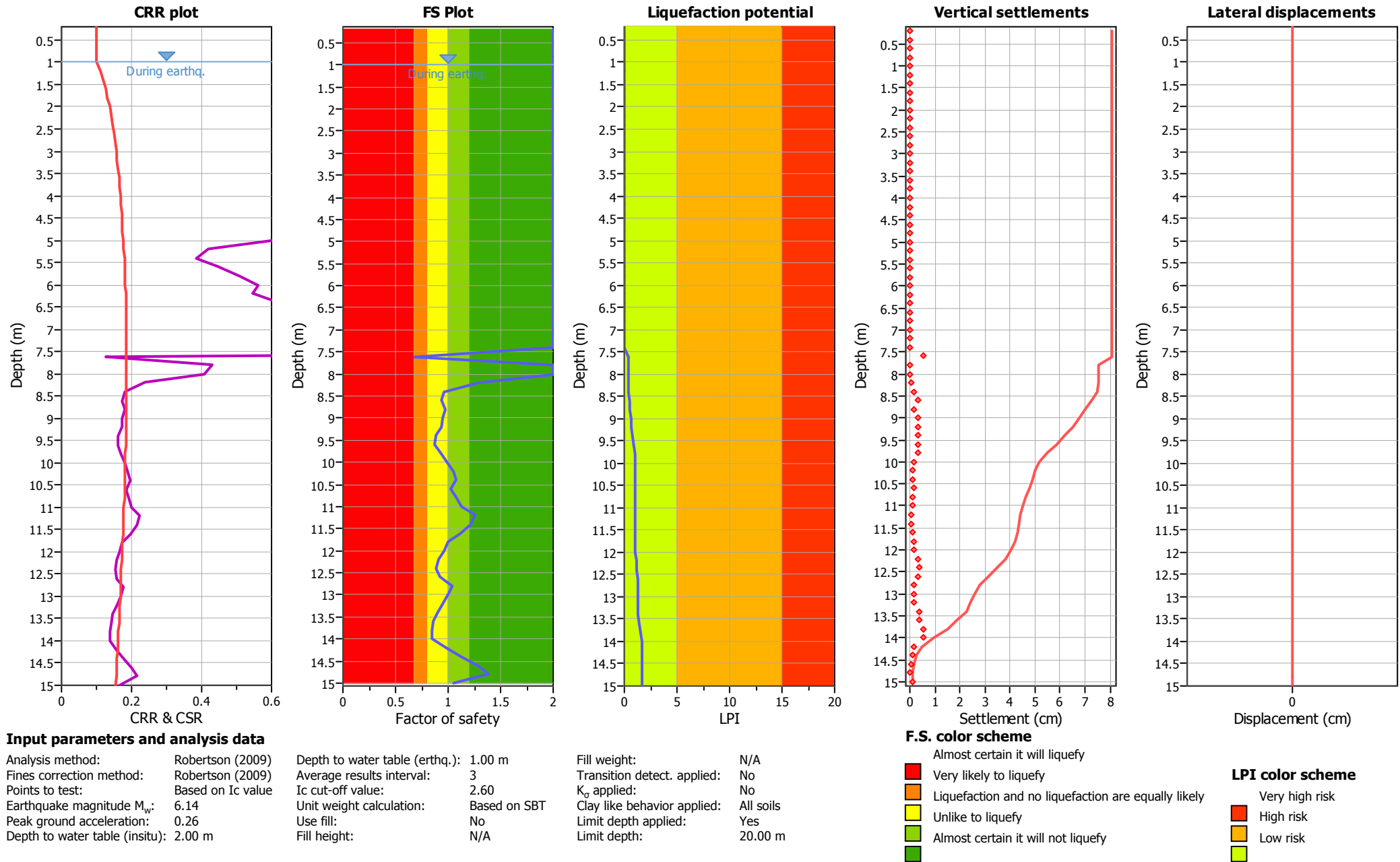




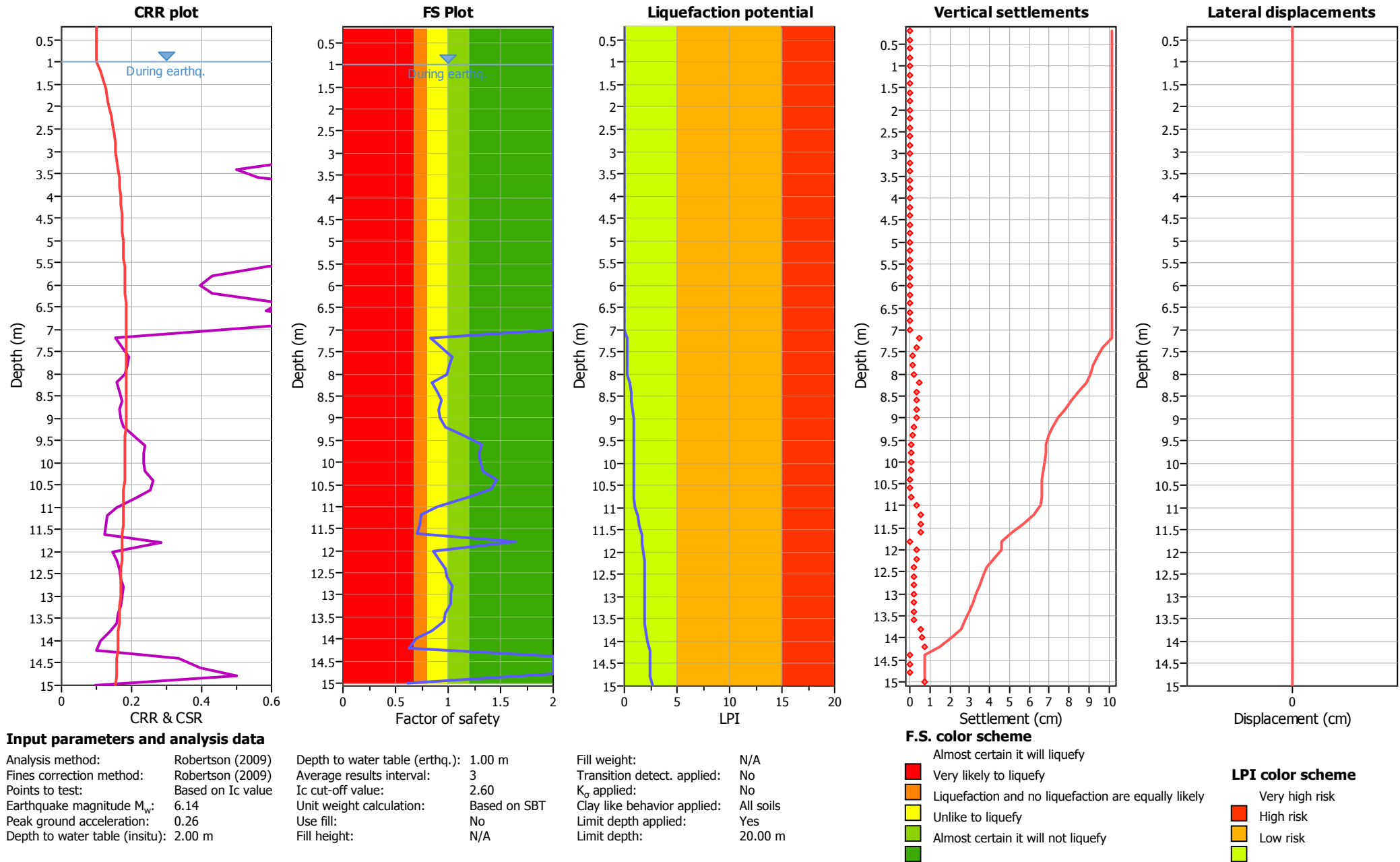




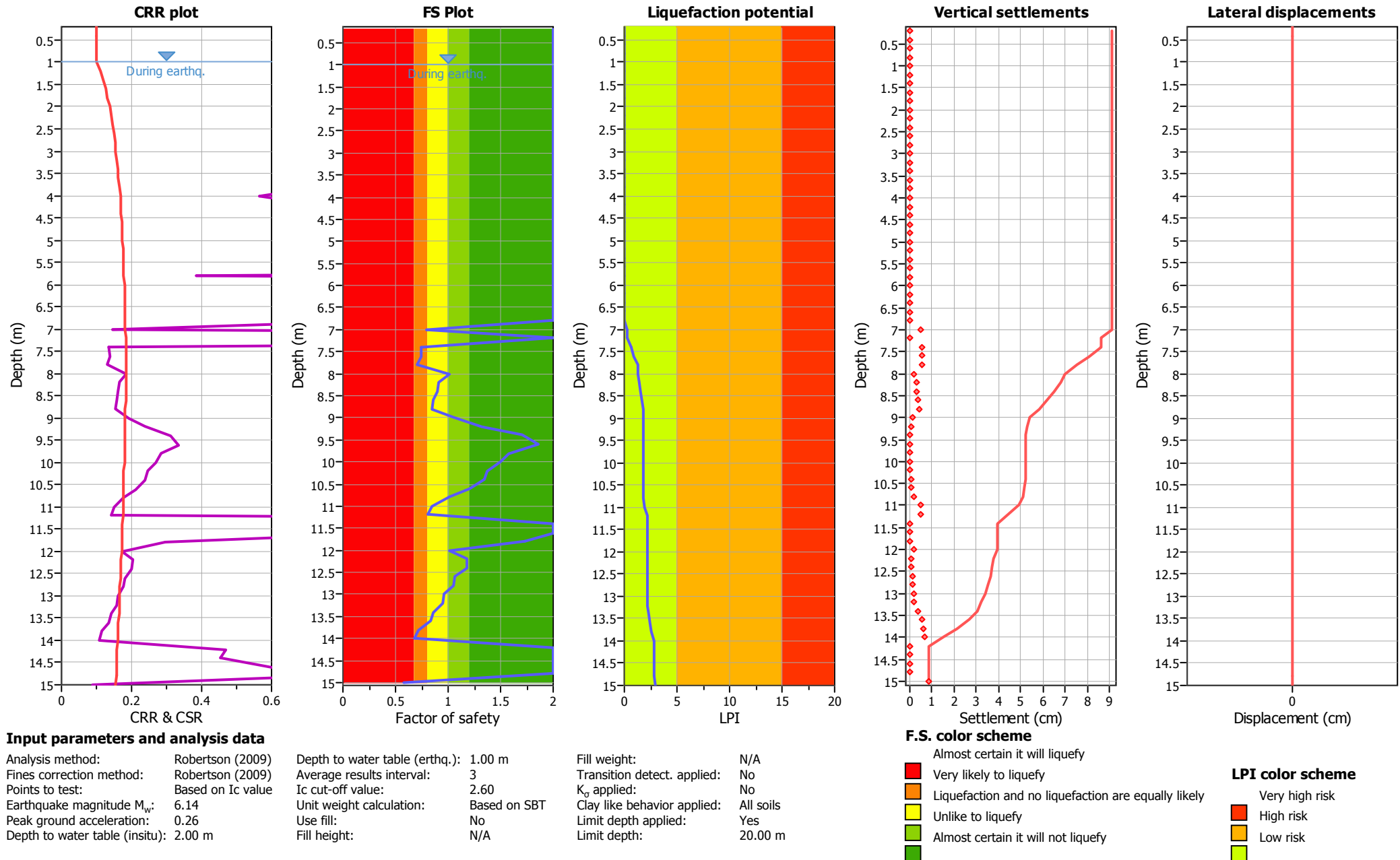
Liquefaction analysis overall plots

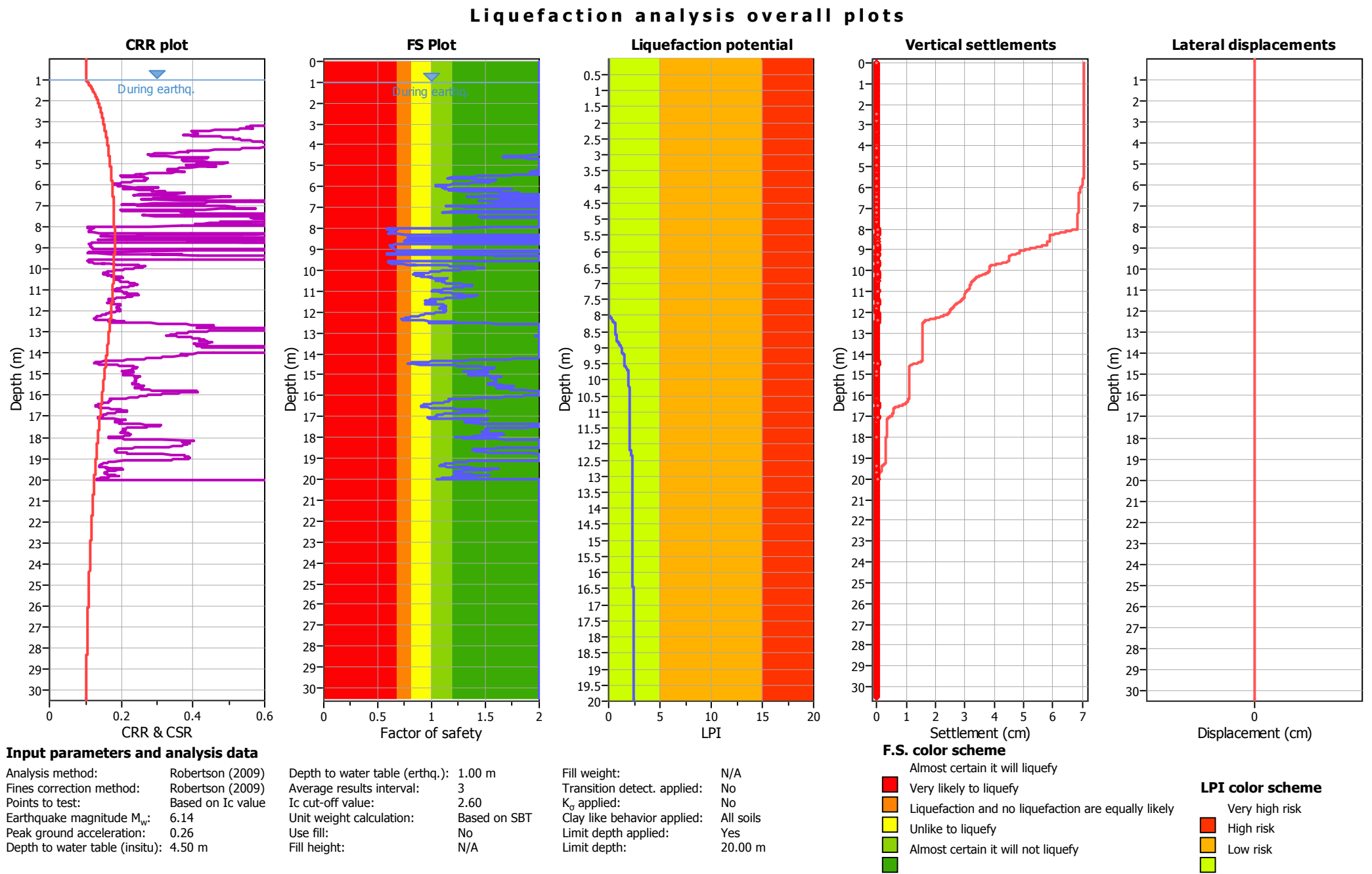


Liquefaction analysis overall plots

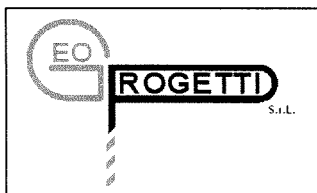


Liquefaction analysis overall plots





12. RAPPORTI DI INDAGINE



GEOPROGETTI S.r.L.
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione del Ministero dell' Infrastrutture e dei Trasporti
n. 54420 del 27/01/2006 ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n. 380
Sede legale: Via Duca D'Este n. 6 – 41036 Medolla (MO)
Tel. 0535/47170 – Fax 0535/49364
e-mail: soc.geoprogetti@tin.it

CERTIFICATO DI PROVA n. 12/021-01/C emesso in data 06/07/2012

SETTORI DI PROVA

C) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT

Prove	Normativa di Riferimento
C.P.T.	ASTM D 3441/86 Raccomandazioni AGI

Committente: COMUNE DI MIRANDOLA

Cantiere: MIRANDOLA – VIA GIOLITTI

Data verbale di accettazione:.... 28/06/2012

N.verbale di accettazione:..... 58/12

N. commessa:..... 58/12

Data esecuzione prova: 05/07/2012

Ubicazione del punto d'indagine:

- ☒ Planimetria di dettaglio
- ☐ Corografia
- ☐ Planimetria catastale
- ☐ C.T.R.
- ☐ Coordinate UTM: N. E.
- ☐ Coordinate Geografiche

Pagine n.3 compresa la presente

Note ed eventuali anomalie riscontrate: ---

Responsabile di sito:

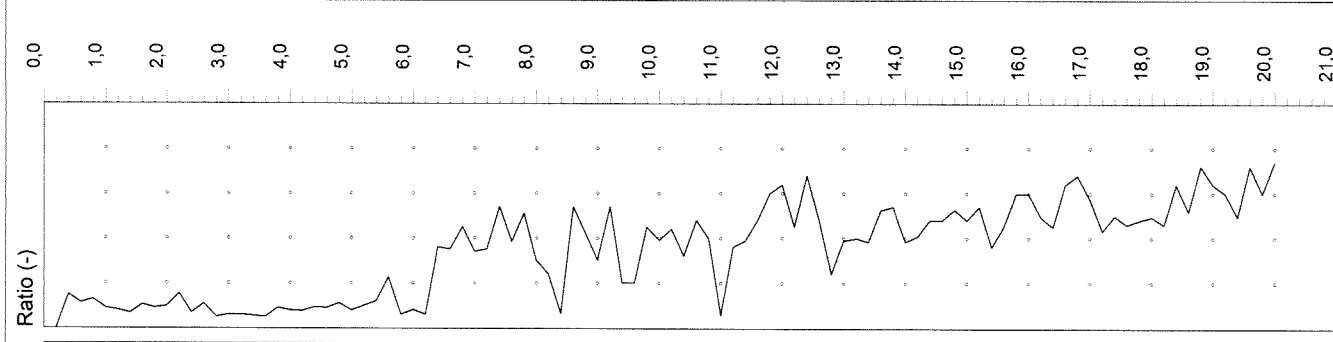
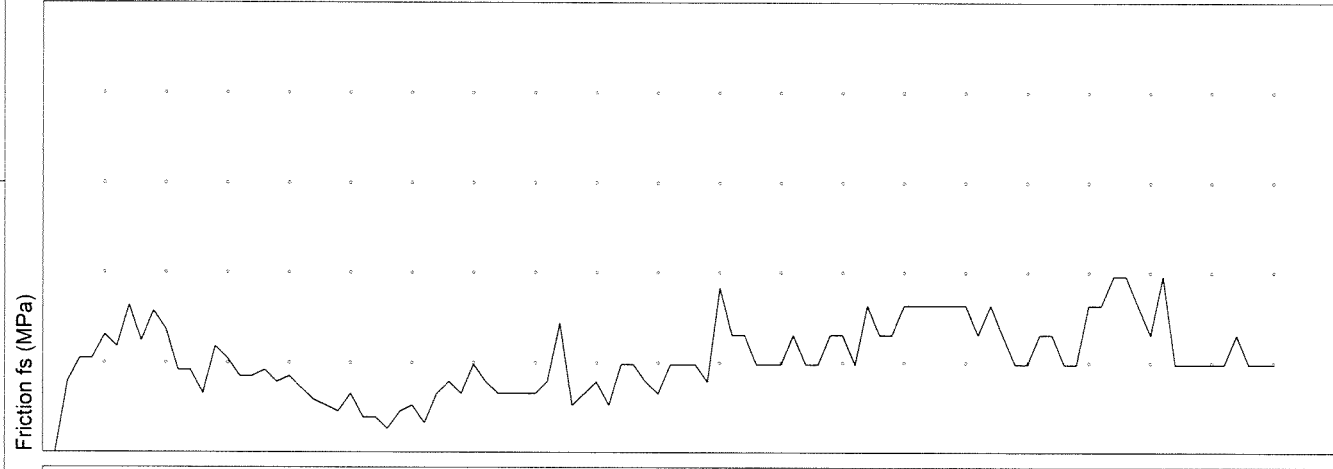
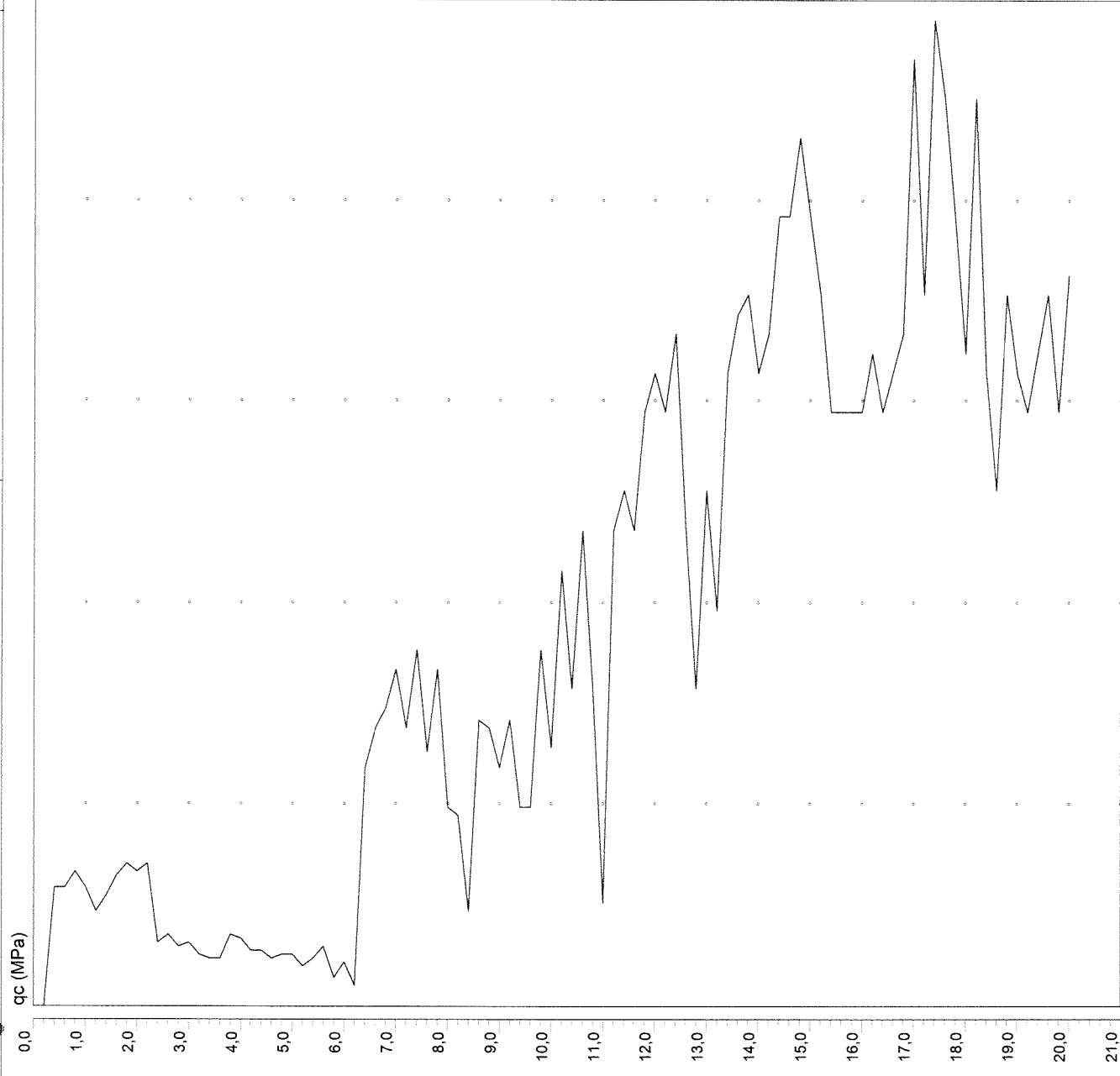
Dott. Geol. Paolo Cestari



Direttore del Laboratorio

Dott. Geol. Rita Ballista

Iscrizione Tribunale di Modena N.26640 – R.I.: MO n. 240021 - P.I.=C.F.: 01754860367



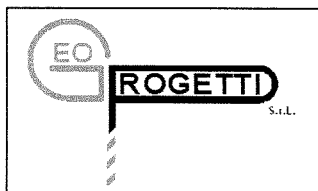


Il Responsabile di Sito:
Dott. Geol. Paolo Cestari



Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista





GEOPROGETTI S.r.l.
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione del Ministero dell' Infrastrutture e dei Trasporti
n. 54420 del 27/01/2006 ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n. 380
Sede legale: Via Duca D'Este n. 6 – 41036 Medolla (MO)
Tel. 0535/47170 – Fax 0535/49364
e-mail: soc.geoprogetti@tin.it

CERTIFICATO DI PROVA n. 12/021-02/C emesso in data 06/07/2012

SETTORI DI PROVA

C) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT

Prove	Normativa di Riferimento
C.P.T.	ASTM D 3441/86 Raccomandazioni AGI

Committente: COMUNE DI MIRANDOLA

Cantiere: MIRANDOLA – VIA GIOLITTI

Data verbale di accettazione:.... 28/06/2012

N.verbale di accettazione:..... 58/12

N. commessa:..... 58/12

Data esecuzione prova: 05/07/2012

Ubicazione del punto d'indagine:

- ☒ Planimetria di dettaglio
- ☐ Corografia
- ☐ Planimetria catastale
- ☐ C.T.R.
- ☐ Coordinate UTM: N. E.
- ☐ Coordinate Geografiche

Pagine n.3 compresa la presente

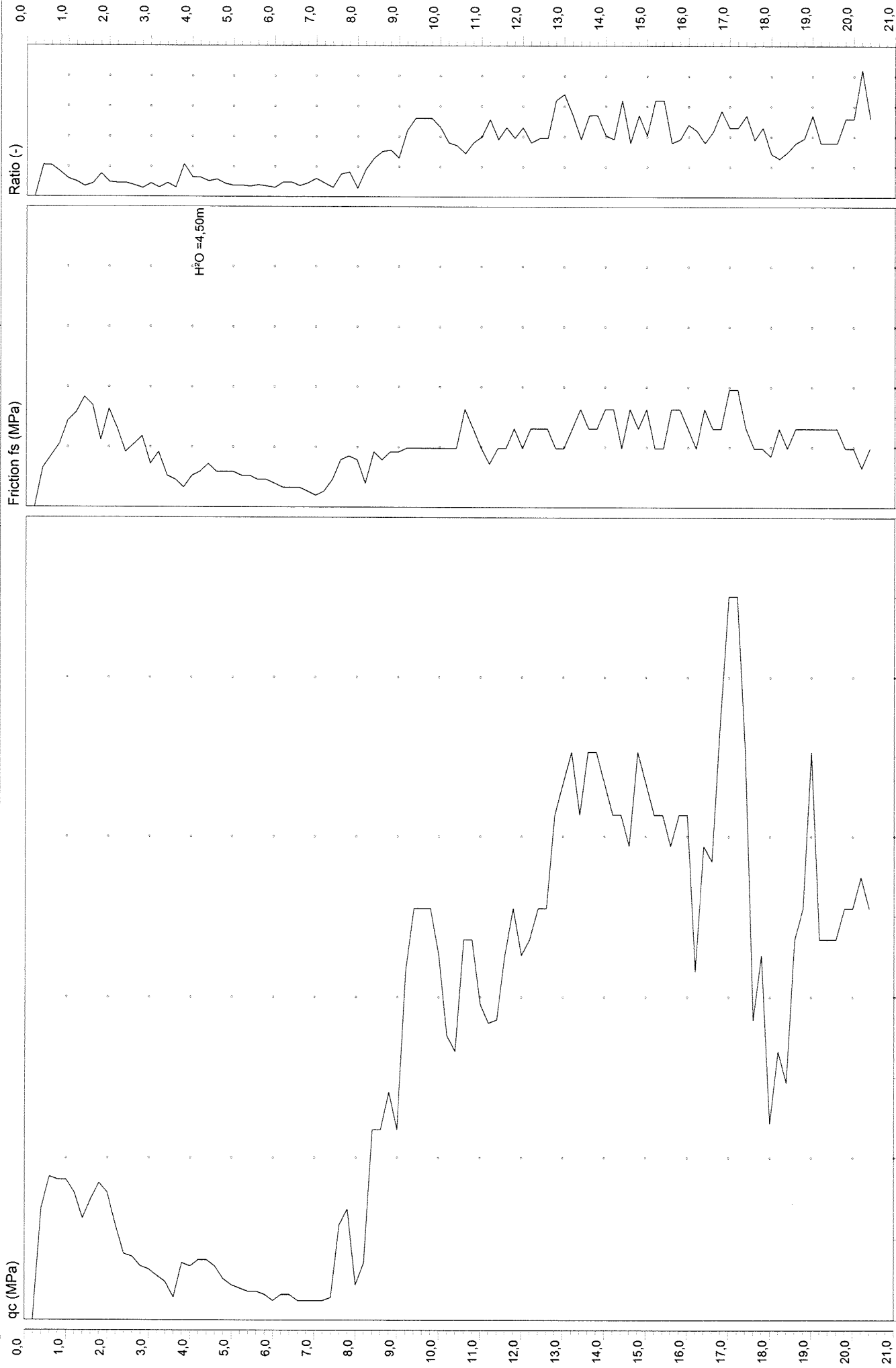
Note ed eventuali anomalie riscontrate: ---

Responsabile di sito:
Dott. Geol. Paolo Cestari



Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista

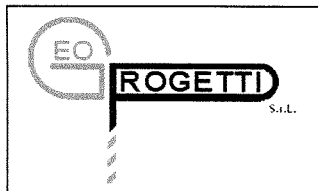
Iscrizione Tribunale di Modena N.26640 – R.I.: MO n. 240021 - P.I.=C.F.: 01754860367





Il Responsabile di Sito:
Dott. Geol. Paolo Cestari

Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista



GEOPROGETTI S.r.L.
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione del Ministero dell' Infrastrutture e dei Trasporti
n. 54420 del 27/01/2006 ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n. 380
Sede legale: Via Duca D'Este n. 6 – 41036 Medolla (MO)
Tel. 0535/47170 – Fax 0535/49364
e-mail: soc.geoprogetti@tin.it

CERTIFICATO DI PROVA n. 12/021-03/C emesso in data 06/07/2012

SETTORI DI PROVA

C) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT

Prove	Normativa di Riferimento
C.P.T.	ASTM D 3441/86 Raccomandazioni AGI

Committente: COMUNE DI MIRANDOLA

Cantiere: MIRANDOLA – VIA GIOLITTI

Data verbale di accettazione:.... 28/06/2012

N.verbale di accettazione:..... 58/12

N. commessa:..... 58/12

Data esecuzione prova: 05/07/2012

Ubicazione del punto d'indagine:

- ☒ Planimetria di dettaglio
- ☐ Corografia
- ☐ Planimetria catastale
- ☐ C.T.R.
- ☐ Coordinate UTM: N. E.
- ☐ Coordinate Geografiche

Pagine n.3 compresa la presente

Note ed eventuali anomalie riscontrate: ---

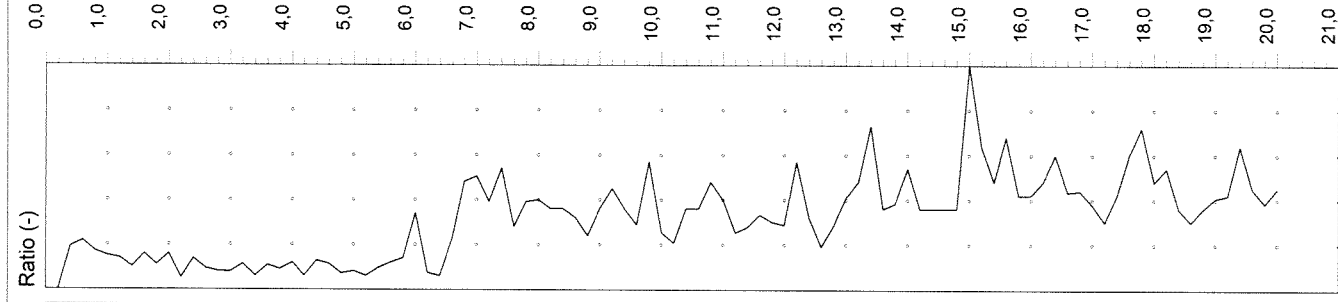
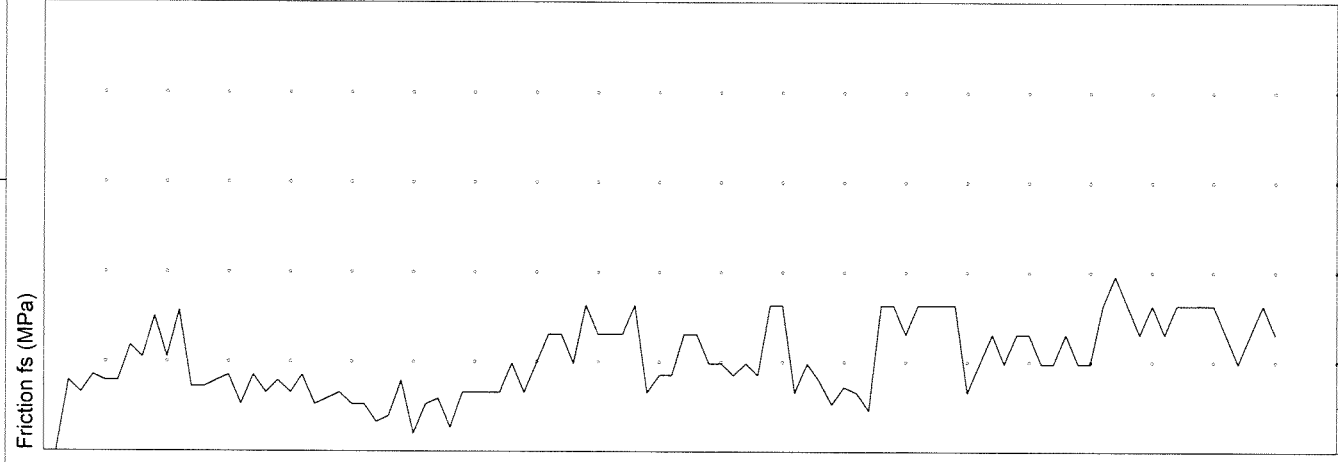
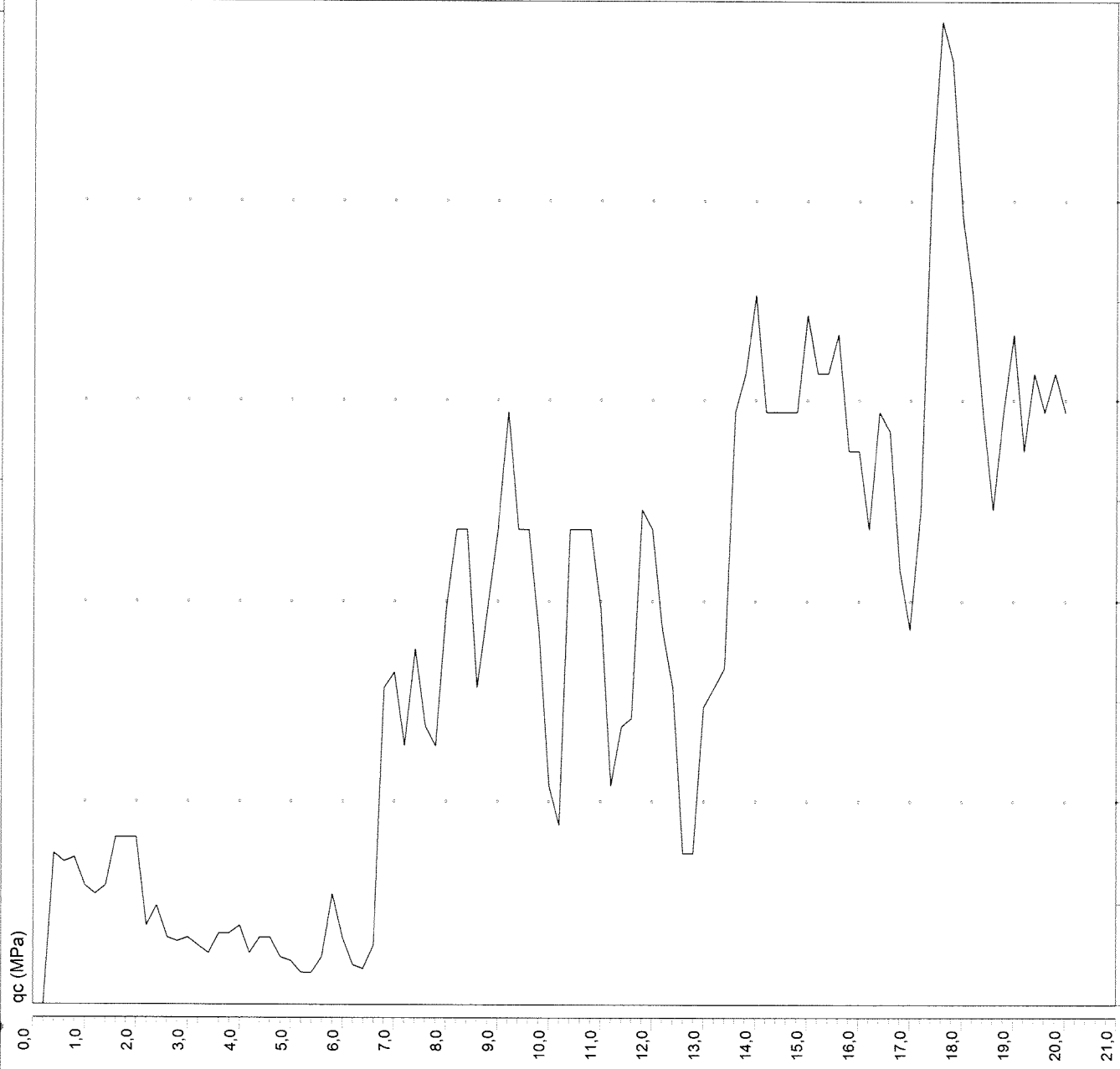
Responsabile di sito:
Dott. Geol. Paolo Cestari



Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista

Iscrizione Tribunale di Modena N.26640 – R.I.: MO n. 240021 - P.I.=C.F.: 01754860367

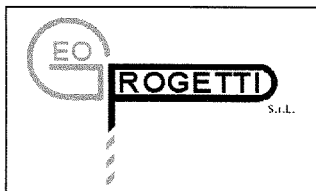
Certificato di prova n.: 12/021-03/C





Il Responsabile di Sito:
Dott. Geol. Paolo Cestari

Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista



GEOPROGETTI S.r.l.
Laboratorio di prove geotecniche in sito
Decreto di concessione del Ministero dell' Infrastrutture e dei Trasporti
n. 54420 del 27/01/2006 ai sensi del D.P.R. 06.06.2001 n. 380
Sede legale: Via Duca D'Este n. 6 – 41036 Medolla (MO)
Tel. 0535/47170 – Fax 0535/49364
e-mail: soc.geoprogetti@tin.it

CERTIFICATO DI PROVA n. 12/021-04/C emesso in data 06/07/2012

SETTORI DI PROVA

C) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT

Prove	Normativa di Riferimento
C.P.T.	ASTM D 3441/86 Raccomandazioni AGI

Committente: COMUNE DI MIRANDOLA

Cantiere: MIRANDOLA – VIA GIOLITTI

Data verbale di accettazione:.... 28/06/2012

N.verbale di accettazione:..... 58/12

N. commessa:..... 58/12

Data esecuzione prova: 05/07/2012

Ubicazione del punto d'indagine:

- ☒ Planimetria di dettaglio
- ☐ Corografia
- ☐ Planimetria catastale
- ☐ C.T.R.
- ☐ Coordinate UTM: N. E.
- ☐ Coordinate Geografiche

Pagine n.3 compresa la presente

Note ed eventuali anomalie riscontrate: ---

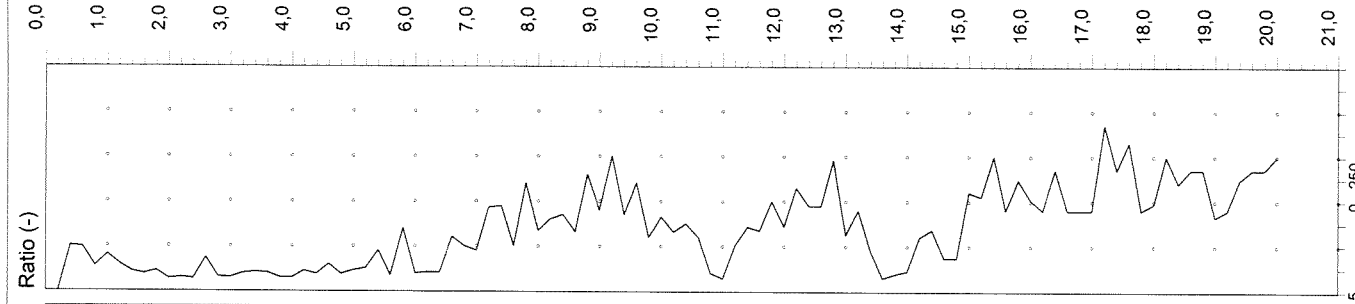
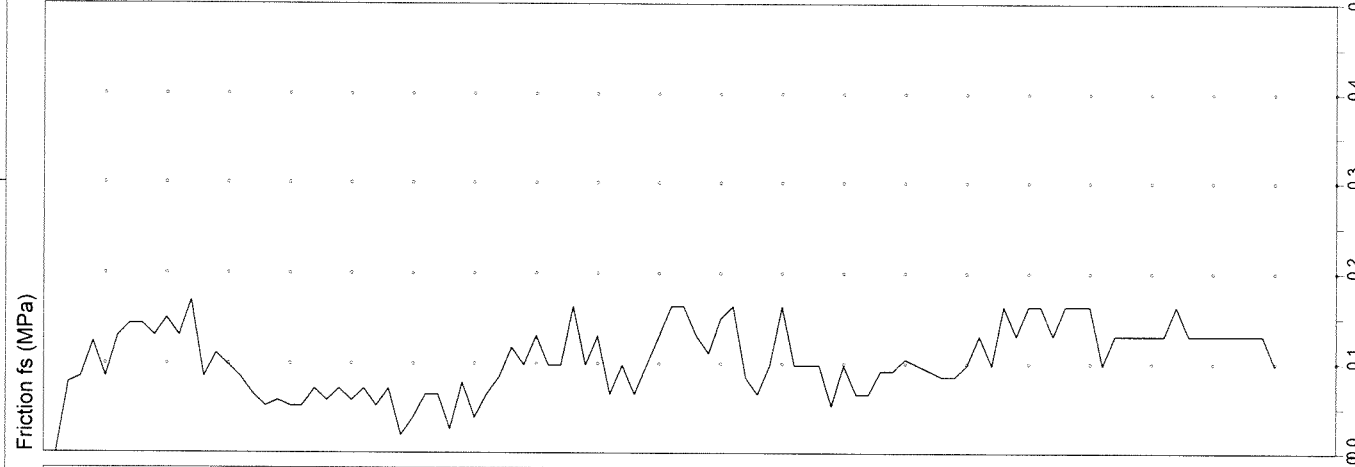
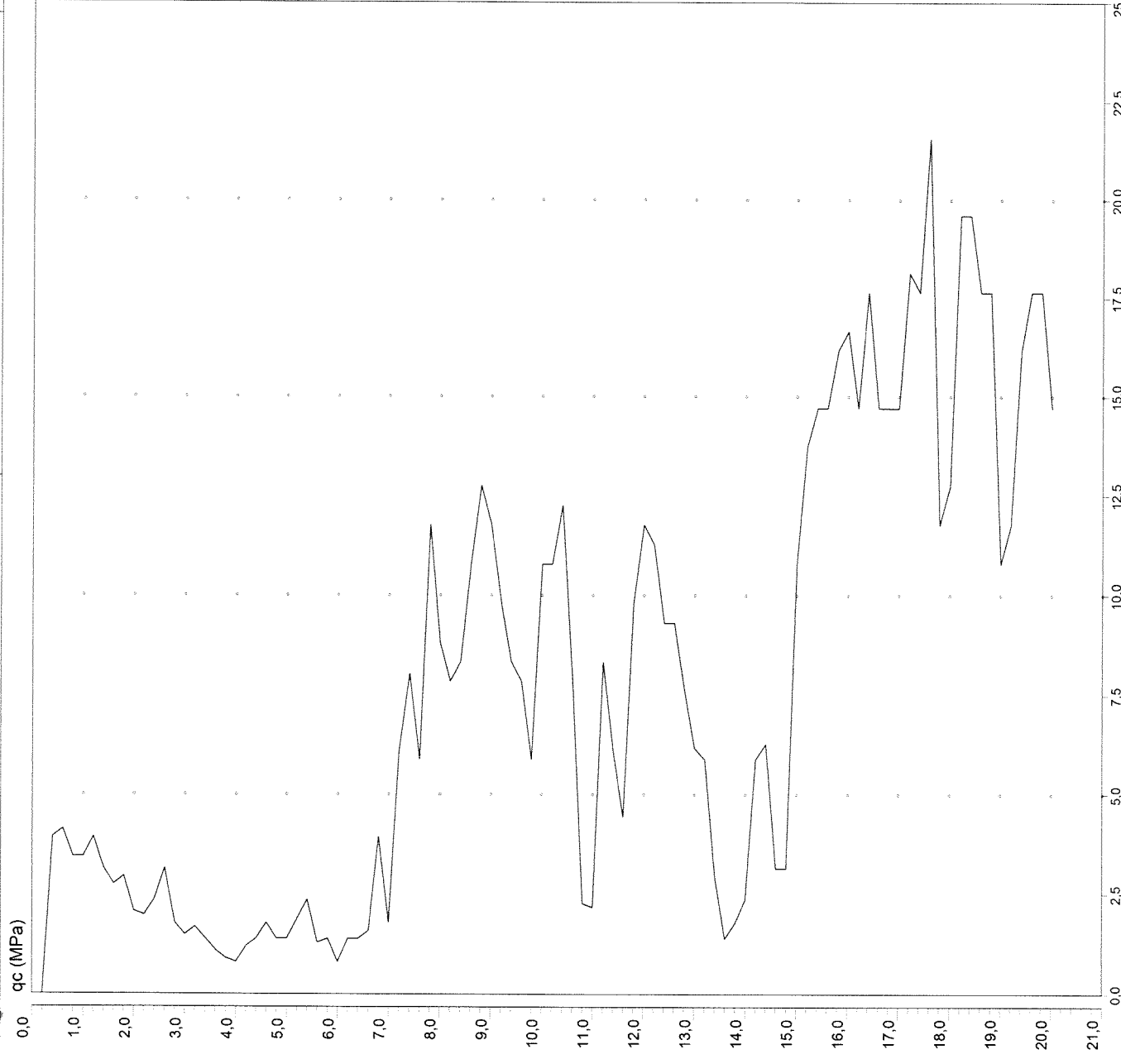
Responsabile di sito:

Dott. Geol. Paolo Cestari



Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista

Iscrizione Tribunale di Modena N.26640 – R.I.: MO n. 240021 - P.I.=C.F.: 01754860367





Il Responsabile di Sito:
Dott. Geol. Paolo Cestari

Direttore del Laboratorio
Dott. Geol. Rita Ballista

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE **CORRELAZIONI GENERALI**

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$**

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
1

riferimento

058-2012

 Committente: **DOTT GABRIELE TARABUSI**

 Cantiere: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

 Località: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

U.M.:

MPa

Data exec.:

05/07/2012

Scala:

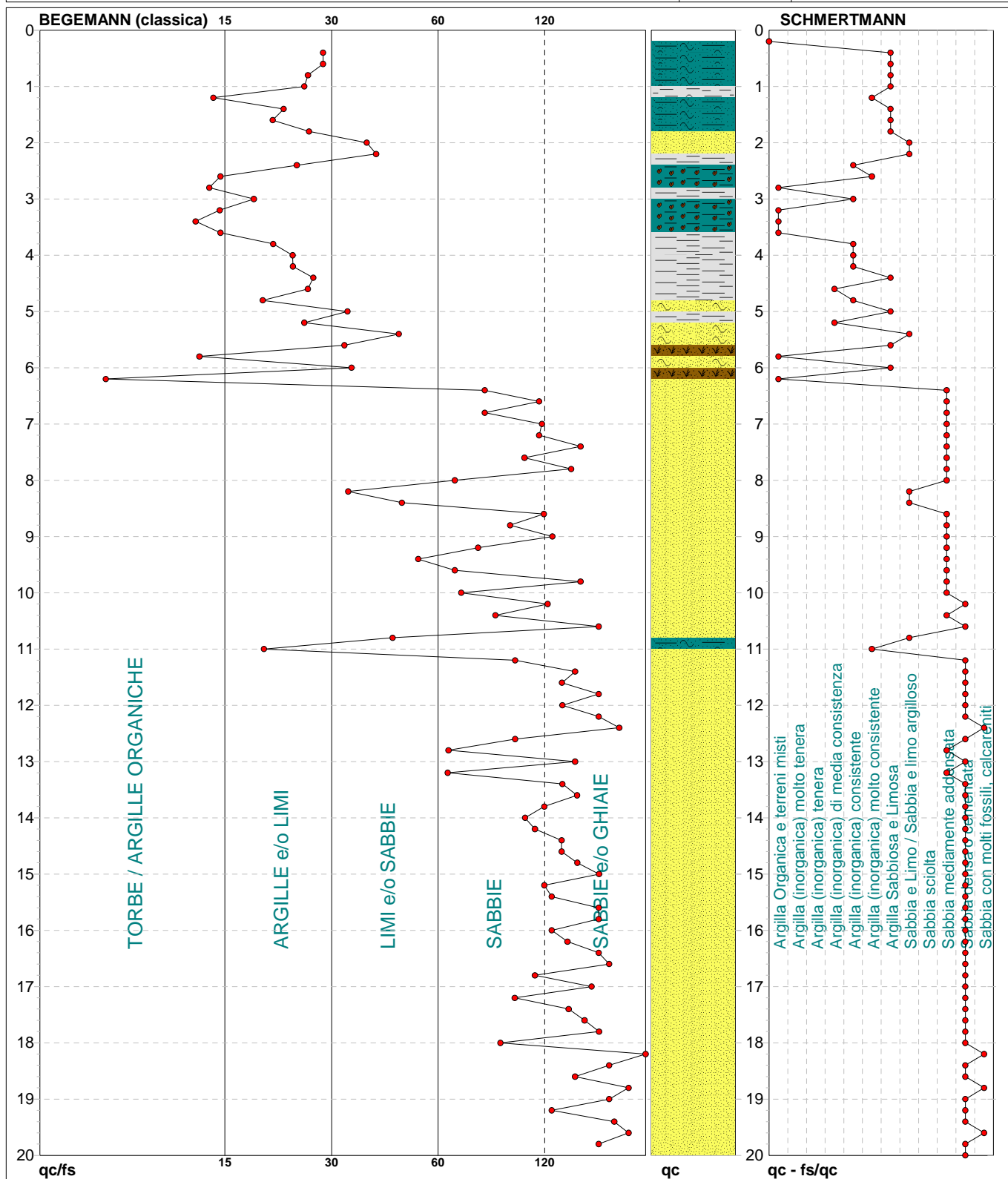
1:100

Pagina:

1

Elaborato:

Falda:



Torbe / Argille org. :	9 punti, 9,09%	Argilla Organica e terreni misti:	6 punti, 6,06%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	11 punti, 11,11%
Argille e/o Limi :	17 punti, 17,17%	Argilla (inorganica) media consist.:	2 punti, 2,02%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	6 punti, 6,06%
Limi e/o Sabbie :	11 punti, 11,11%	Argilla (inorganica) consistente:	6 punti, 6,06%	Sabbia mediamente addensata:	20 punti, 20,20%
Sabbie:	31 punti, 31,31%	Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 3,03%	Sabbia densa o cementata:	40 punti, 40,40%
Sabbie e/o Ghiaie :	31 punti, 31,31%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	4 punti, 4,04%

nota:

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
2

riferimento

058-2012

 Committente: **DOTT GABRIELE TARABUSI**

 Cantiere: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

 Località: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

U.M.:

MPa

Data esec.:

05/07/2012

Scala:

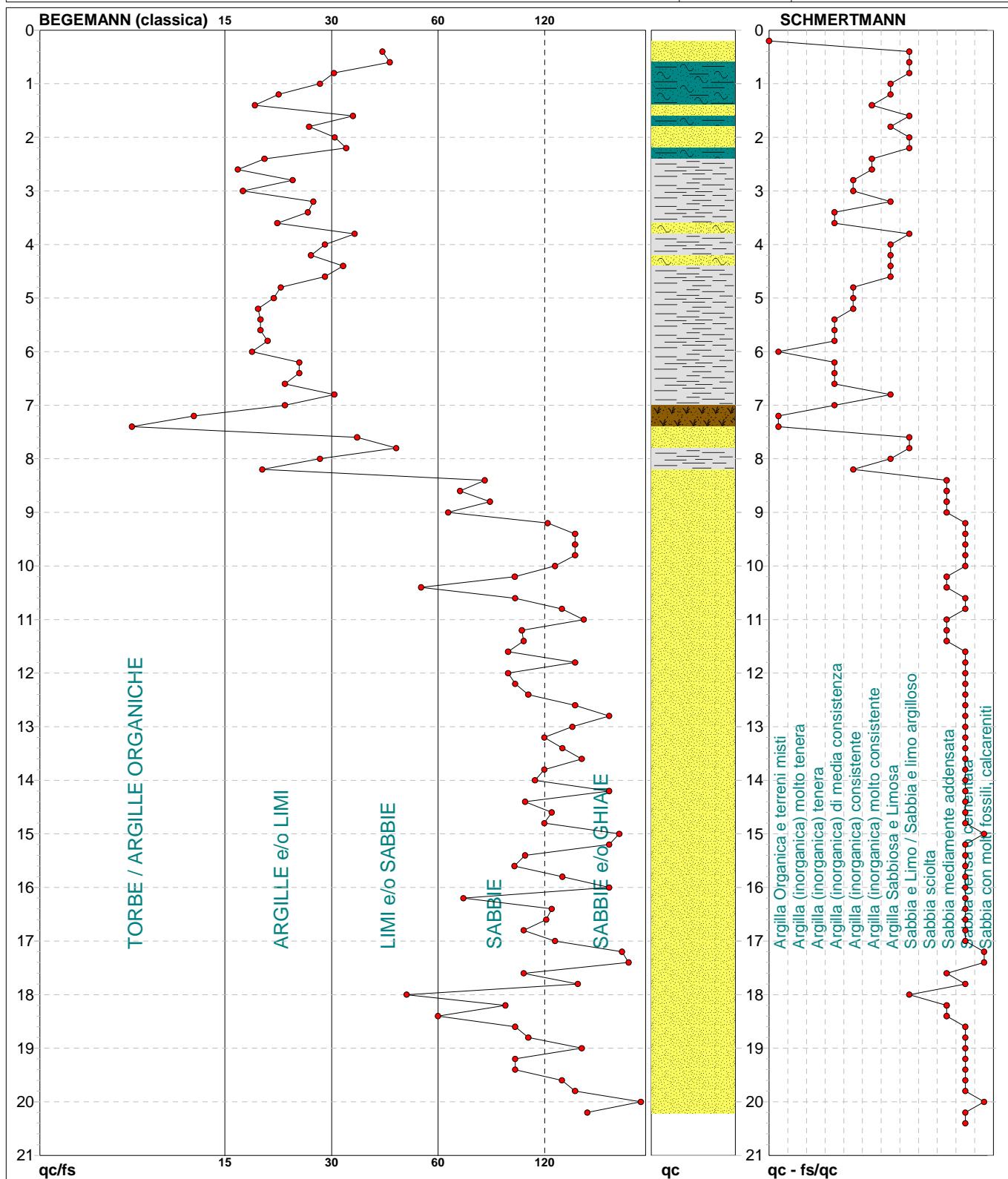
1:105

Pagina:

1

Elaborato:

Falda: -4,50 m 4.50



Torbe / Argille org. :	3 punti, 2,88%	Argilla Organica e terreni misti:	3 punti, 2,88%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	10 punti, 9,62%
Argille e/o Limi :	29 punti, 27,88%	Argilla (inorganica) media consist.:	9 punti, 8,65%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	10 punti, 9,62%
Limi e/o Sabbie :	13 punti, 12,50%	Argilla (inorganica) consistente:	6 punti, 5,77%	Sabbia mediamente addensata:	12 punti, 11,54%
Sabbie:	34 punti, 32,69%	Argilla (inorganica) molto consist.:	3 punti, 2,88%	Sabbia densa o cementata:	43 punti, 41,35%
Sabbie e/o Ghiaie :	22 punti, 21,15%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	4 punti, 3,85%

nota:

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
3

riferimento

058-2012

 Committente: **DOTT GABRIELE TARABUSI**

 Cantiere: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

 Località: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

U.M.:

MPa

Scala:

1:100

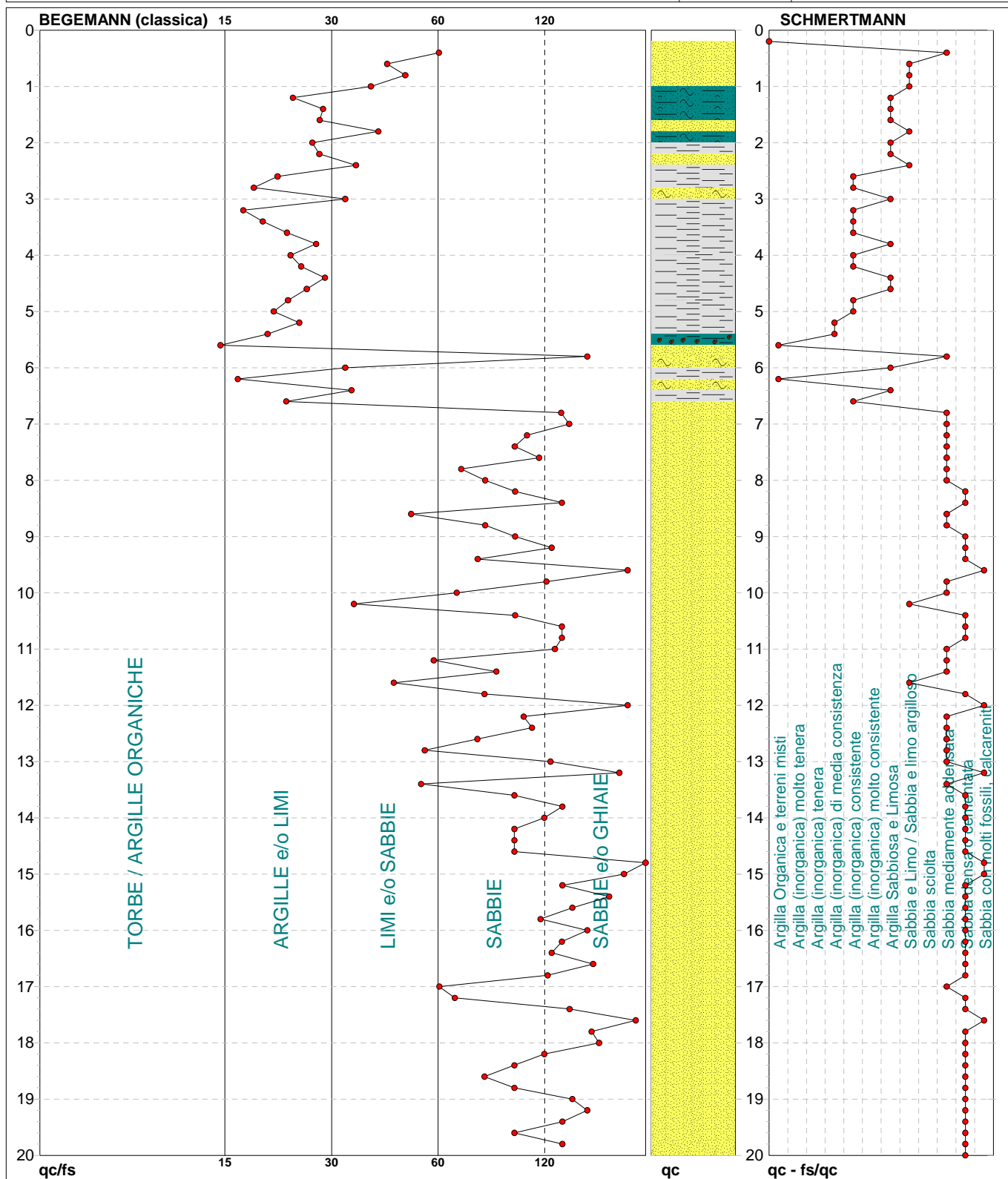
Pagina:

1

Elaborato:

Data exec.: 05/07/2012

Falda:



Torbe / Argille org. :	2 punti, 2,02%	Argilla Organica e terreni misti:	2 punti, 2,02%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	7 punti, 7,07%
Argille e/o Limi :	21 punti, 21,21%	Argilla (inorganica) media consist.:	2 punti, 2,02%	Sabbia mediamente addensata:	23 punti, 23,23%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 16,16%	Argilla (inorganica) consistente:	10 punti, 10,10%	Sabbia densa o cementata:	37 punti, 37,37%
Sabbie:	39 punti, 39,39%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	6 punti, 6,06%
Sabbie e/o Ghiaie :	21 punti, 21,21%				

nota:

FON025

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
4

riferimento

058-2012

 Committente: **DOTT GABRIELE TARABUSI**

 Cantiere: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

 Località: **MIRANDOLA VIA GIOLITTI**

U.M.:

MPa

Data esec.:

05/07/2012

Scala:

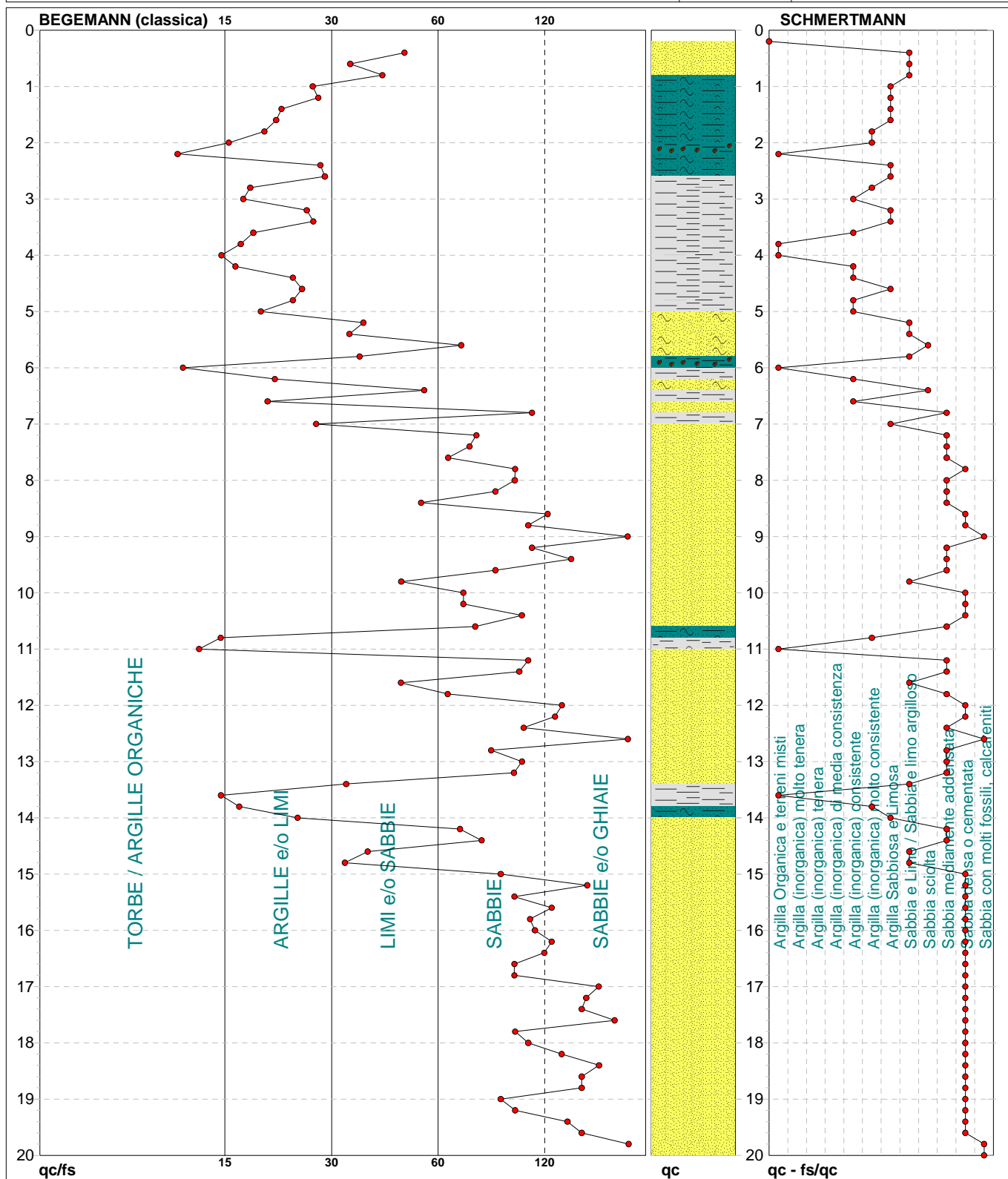
1:100

Pagina:

1

Elaborato:

Falda:



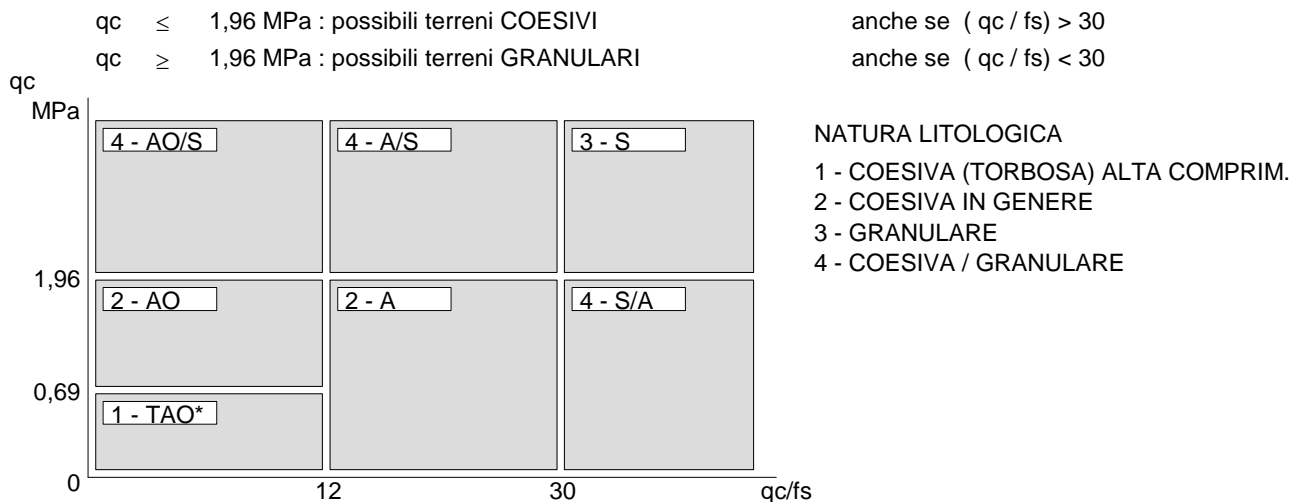
Torbe / Argille org. :	4 punti, 4,04%	Argilla Organica e terreni misti:	6 punti, 6,06%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	11 punti, 11,11%
Argille e/o Limi :	27 punti, 27,27%	Argilla (inorganica) consistente:	8 punti, 8,08%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	11 punti, 11,11%
Limi e/o Sabbie :	15 punti, 15,15%	Argilla (inorganica) molto consist.:	5 punti, 5,05%	Sabbia sciolta:	2 punti, 2,02%
Sabbie:	39 punti, 39,39%			Sabbia mediamente addensata:	20 punti, 20,20%
Sabbie e/o Ghiaie :	14 punti, 14,14%			Sabbia densa o cementata:	32 punti, 32,32%
				Sabbia con molti fossili, calcareniti:	3 punti, 3,03%

nota:

FON025

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
 (Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
 (Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- Eu = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : Eu - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
 Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
 Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- Dr = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
 [correlazioni : Dr - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - Dr - q_c - σ'_{vo})
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
 (g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - Dr]
- Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Burrow e Stokoe 1983)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	1
	riferimento	058-2012

Committente: DOTT GABRIELE TARABUSI	U.M.: MPa	Data esec.: 05/07/2012
Cantiere: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Pagina: 1	
Località: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Elaborato:	Falda:

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	σ_{Sc}	σ_{Ca}	σ_{Ko}	σ_{DB}	σ_{DM}	σ_{Me}	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.M.	U.M.	U.M.
0.20	--	--		1,85	3,6	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	2,9	28,0		1,85	7,3	173	98,0	99,9	16,7	25,0	8,8	94	43	40	37	34	43	29	--	4,9	7,4	8,8
0.60	2,9	28,0		1,85	10,9	173	98,0	98,0	16,7	25,0	8,8	84	41	38	35	33	41	29	--	4,9	7,4	8,8
0.80	3,3	25,6		1,85	14,5	176	111,1	80,0	18,9	28,3	10,0	82	41	37	34	32	41	29	--	5,6	8,3	10,0
1.00	2,9	25,0		1,85	18,1	173	98,0	51,7	16,7	25,0	8,8	72	40	35	32	30	39	29	--	4,9	7,4	8,8
1.20	2,4	14,4		1,85	21,8	169	87,1	35,6	14,8	22,2	7,1	60	38	33	30	28	37	28	--	3,9	5,9	7,1
1.40	2,7	22,0		1,85	25,4	172	94,6	32,5	16,1	24,1	8,2	61	39	33	30	28	37	28	--	4,6	6,9	8,2
1.60	3,2	20,6		1,85	29,0	175	107,8	32,4	18,3	27,5	9,7	64	39	33	30	28	38	29	--	5,4	8,1	9,7
1.80	3,5	25,7		1,85	32,6	177	117,6	31,2	20,0	30,0	10,6	64	39	33	30	28	37	30	--	5,9	8,8	10,6
2.00	3,3	36,6		1,85	36,3	176	--	--	--	--	--	59	38	32	29	27	37	29	--	5,6	8,3	10,0
2.20	3,5	38,7		1,85	39,9	177	--	--	--	--	--	59	38	32	29	27	36	30	--	5,9	8,8	10,6
2.40	1,6	23,9		1,85	43,5	164	68,2	11,0	11,6	17,4	5,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	1,8	15,0		1,85	47,1	166	73,5	10,9	12,5	18,7	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.80	1,5	14,0		1,85	50,8	164	65,3	8,6	12,0	18,1	4,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1,6	18,4		1,85	54,4	164	68,2	8,3	12,9	19,4	5,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1,3	14,9		1,85	58,0	162	59,3	6,4	15,0	22,5	4,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1,2	12,9		1,85	61,6	162	56,0	5,6	16,7	25,0	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	1,2	15,0		1,85	65,3	162	56,0	5,2	17,9	26,9	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1,8	20,7		1,85	68,9	166	73,5	6,8	17,5	26,2	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	1,7	23,3		1,85	72,5	165	70,9	6,1	19,1	28,6	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1,4	23,3		1,85	76,1	163	62,4	4,9	21,1	31,6	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1,4	26,4		1,85	79,8	163	62,4	4,6	22,2	33,3	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1,2	25,5		1,85	83,4	162	56,0	3,8	23,5	35,2	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	1,3	19,4		1,85	87,0	162	59,3	3,9	24,4	36,6	4,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1,3	32,5		1,85	90,7	162	59,3	3,7	25,6	38,4	4,6	4	32	23	20	18	26	26	--	2,1	3,2	3,8
5.20	1,0	25,0		1,85	94,3	160	49,0	2,8	25,0	37,6	3,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	1,2	44,4		1,85	97,9	162	56,0	3,1	27,1	40,6	4,4	--	31	22	19	18	25	26	--	2,0	2,9	3,5
5.60	1,5	31,9		1,85	101,5	164	65,3	3,6	28,7	43,0	4,9	6	32	23	20	19	26	27	--	2,5	3,7	4,4
5.80	0,7	13,2		1,85	105,2	158	34,3	1,5	4,3	6,5	1,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	1,1	33,3		1,85	108,8	161	52,6	2,5	27,8	41,6	4,2	--	31	21	18	17	25	26	--	1,8	2,7	3,2
6.20	0,5	7,5		1,85	112,4	157	24,5	0,9	3,2	4,8	0,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	5,9	75,0		1,85	116,0	192	--	--	--	--	--	50	37	29	26	25	33	32	--	9,8	14,7	17,6
6.60	6,9	104,5		1,85	119,7	199	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	--	11,4	17,2	20,6
6.80	7,4	75,0		1,85	123,3	202	--	--	--	--	--	56	38	30	27	25	34	32	--	12,3	18,4	22,1
7.00	8,3	106,3		1,85	126,9	208	--	--	--	--	--	60	38	31	28	26	35	33	--	13,9	20,8	25,0
7.20	6,9	104,5		1,85	130,5	199	--	--	--	--	--	53	38	29	26	25	33	32	--	11,4	17,2	20,6
7.40	8,8	134,3		1,85	134,2	212	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	33	--	14,7	22,1	26,5
7.60	6,3	95,5		1,85	137,8	195	--	--	--	--	--	48	37	29	26	24	33	32	--	10,5	15,7	18,8
7.80	8,3	126,9		1,85	141,4	208	--	--	--	--	--	57	38	30	27	25	34	33	--	13,9	20,8	25,0
8.00	4,9	62,5		1,85	145,0	186	--	--	--	--	--	39	36	27	24	23	31	31	--	8,2	12,3	14,7
8.20	4,7	32,7		1,85	148,7	185	--	--	--	--	--	37	36	27	24	22	31	31	--	7,8	11,8	14,1
8.40	2,4	45,3		1,85	152,3	169	--	--	--	--	--	12	33	23	20	19	27	28	--	3,9	5,9	7,1
8.60	7,1	107,5		1,85	155,9	200	--	--	--	--	--	49	37	29	26	24	33	32	--	11,8	17,6	21,2
8.80	6,9	87,5		1,85	159,5	199	--	--	--	--	--	48	37	28	25	24	32	32	--	11,4	17,2	20,6
9.00	5,9	113,2		1,85	163,2	192	--	--	--	--	--	42	36	28	24	23	31	32	--	9,8	14,7	17,6
9.20	7,1	72,0		1,85	166,8	200	--	--	--	--	--	48	37	28	25	24	32	32	--	11,8	17,6	21,2
9.40	4,9	50,0		1,85	170,4	186	--	--	--	--	--	35	35	26	23	22	30	31	--	8,2	12,3	14,7
9.60	4,9	62,5		1,85	174,0	186	--	--	--	--	--	34	35	26	23	22	30	31	--	8,2	12,3	14,7
9.80	8,8	134,3		1,85	177,7	212	--	--	--	--	--	54	38	29	26	24	33	33	--	14,7	22,1	26,5
10.00	6,4	65,0		1,85	181,3	196	--	--	--	--	--	42	36	27	24	23	31	32	--	10,6	15,9	19,1
10.20	10,8	110,0		1,85	184,9	224	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	34	--	18,0	27,0	32,3
10.40	7,8	80,0		1,85	188,6	205	--	--	--	--	--	48	37	28	25	24	32	33	--	13,1	19,6	23,5
10.60	11,8	150,0		1,85	192,2	231	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	35	--	19,6	29,4	35,3
10.80	7,8	42,8		1,85	195,8	205	--	--	--	--	--	47	37	28	25	23	32	33	--	13,1	19,6	23,5
11.00	2,5	19,5		1,85	199,4	171	91,0	2,4	49,1	73,6	7,6	8	32	22	19	18	25	28	--	4,2	6,4	7,6
11.20	11,8	90,2		1,85	203,1	231	--	--	--	--	--	60	39	30	27	25	34	35	--	19,6	29,4	35,3
11.40	12,7	130,0		1,85	206,7	237	--	--	--	--	--	63	39	30	27	26	34	35	--	21,2	31,9	38,2
11.60	11,8	120,0		1,85	210,3	231	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	--	19,6	29,4	35,3
11.80	14,7	150,0		1,85	213,9	250	--	--	--	--	--	67	39	31	28	26	35	36	--	24,5	36,8	44,1
12.00	15,7	120,3		1,85	217,6	256	--	--	--	--	--											

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	2
	riferimento	058-2012

Committente: DOTT GABRIELE TARABUSI	U.M.: MPa	Data esec.: 05/07/2012
Cantiere: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Pagina: 1	
Località: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Elaborato:	Falda: -4,50 m 4.50

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	σ_{Sc}	σ_{Ca}	σ_{Ko}	σ_{DB}	σ_{DM}	σ_{Me}	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.M.	U.M.	U.M.
0.20	--	--		1,85	3,6	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	3,4	40,2		1,85	7,3	176	--	--	--	--	--	99	43	40	38	35	44	29	2,00	5,7	8,6	10,3
0.60	4,4	42,1		1,85	10,9	183	--	--	--	--	--	98	43	40	37	34	43	31	2,00	7,4	11,0	13,2
0.80	4,3	29,9		1,85	14,5	182	143,7	99,9	24,4	36,7	12,9	90	42	38	35	33	42	31	--	7,2	10,8	12,9
1.00	4,3	27,5		1,85	18,1	182	143,7	83,5	24,4	36,7	12,9	85	41	37	34	32	41	31	--	7,2	10,8	12,9
1.20	3,9	21,4		1,85	21,8	180	130,7	59,0	22,2	33,3	11,8	77	41	36	33	31	40	30	--	6,5	9,8	11,8
1.40	3,1	18,5		1,85	25,4	174	104,5	36,8	17,8	26,7	9,4	66	39	34	31	29	38	29	--	5,2	7,8	9,4
1.60	3,7	33,6		1,85	29,0	178	--	--	--	--	--	68	39	34	31	29	38	30	2,00	6,2	9,3	11,2
1.80	4,2	25,7		1,85	32,6	182	140,5	38,9	23,9	35,8	12,6	70	40	34	31	29	38	30	--	7,0	10,5	12,6
2.00	3,9	30,1		1,85	36,3	180	--	--	--	--	--	65	39	33	30	28	37	30	2,00	6,5	9,8	11,8
2.20	2,9	32,3		1,85	39,9	173	--	--	--	--	--	53	38	31	28	26	35	29	2,00	4,9	7,4	8,8
2.40	2,1	19,6		1,85	43,5	167	80,7	13,6	13,7	20,6	6,2	38	36	29	26	24	33	27	--	3,4	5,1	6,2
2.60	2,0	16,7		1,85	47,1	167	78,4	11,9	13,3	20,0	5,9	35	35	28	25	24	32	27	--	3,3	4,9	5,9
2.80	1,7	23,3		1,85	50,8	165	70,9	9,5	12,2	18,3	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1,6	17,2		1,85	54,4	164	68,2	8,3	12,9	19,4	5,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1,4	26,4		1,85	58,0	163	62,4	6,9	14,7	22,0	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1,2	25,5		1,85	61,6	162	56,0	5,6	16,7	25,0	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0,7	21,2		1,85	65,3	158	34,3	2,8	17,4	26,1	3,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	1,8	34,0		1,85	68,9	166	73,5	6,8	17,5	26,2	5,5	22	34	26	23	21	29	27	--	2,9	4,4	5,3
4.00	1,7	28,3		1,85	72,5	165	70,9	6,1	19,1	28,6	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1,9	26,0		1,85	76,1	166	76,0	6,3	19,9	29,8	5,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1,9	31,7		1,85	79,8	166	76,0	5,9	21,2	31,8	5,7	20	34	25	22	21	29	27	--	3,1	4,7	5,6
4.60	1,7	28,3		0,97	81,7	165	70,9	5,3	22,3	33,5	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	1,3	21,7		0,93	83,5	162	59,3	4,1	23,3	35,0	4,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1,1	20,8		0,91	85,3	161	52,6	3,4	24,0	36,0	4,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1,0	18,9		0,90	87,0	160	49,0	3,1	23,9	35,9	3,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0,9	19,1		0,88	88,8	160	44,1	2,6	23,0	34,5	3,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0,9	19,1		0,88	90,5	160	44,1	2,6	23,2	34,8	3,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0,8	20,0		0,86	92,2	159	39,2	2,2	21,6	32,4	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0,6	18,2		0,82	93,8	158	29,4	1,5	17,2	25,8	2,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0,8	24,2		0,86	95,5	159	39,2	2,1	21,8	32,7	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0,8	24,2		0,86	97,2	159	39,2	2,0	21,9	32,9	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0,6	22,2		0,82	98,8	158	29,4	1,4	17,3	25,9	2,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0,6	30,0		0,82	100,4	158	29,4	1,4	17,3	26,0	2,8	--	31	19	15	14	25	26	--	1,0	1,5	1,8
7.00	0,6	22,2		0,82	102,0	158	29,4	1,3	17,3	26,0	2,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0,6	12,8		0,46	102,9	158	29,4	1,3	3,8	5,6	0,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0,7	8,8		0,46	103,8	158	34,3	1,6	4,3	6,5	1,0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	2,9	34,5		0,88	105,5	173	--	--	--	--	--	29	35	26	23	22	30	29	--	4,9	7,4	8,8
7.80	3,4	43,8		0,89	107,2	176	--	--	--	--	--	34	35	27	24	22	31	29	--	5,7	8,6	10,3
8.00	1,1	27,5		0,91	109,0	161	52,6	2,5	27,8	41,7	4,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	1,8	19,4		0,98	110,9	166	73,5	3,8	31,3	46,9	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	5,9	75,0		0,93	112,8	192	--	--	--	--	--	51	37	29	26	25	33	32	--	9,8	14,7	17,6
8.60	5,9	64,5		0,93	114,6	192	--	--	--	--	--	51	37	29	26	25	33	32	--	9,8	14,7	17,6
8.80	7,1	77,4		0,95	116,5	200	--	--	--	--	--	56	38	30	27	25	34	32	--	11,8	17,6	21,2
9.00	5,9	60,0		0,93	118,3	192	--	--	--	--	--	50	37	29	26	24	33	32	--	9,8	14,7	17,6
9.20	10,8	110,0		1,02	120,3	224	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	36	34	--	18,0	27,0	32,3
9.40	12,7	130,0		1,05	122,3	237	--	--	--	--	--	76	40	33	30	28	37	35	--	21,2	31,9	38,2
9.60	12,7	130,0		1,05	124,4	237	--	--	--	--	--	75	40	33	30	28	37	35	--	21,2	31,9	38,2
9.80	12,7	130,0		1,05	126,4	237	--	--	--	--	--	75	40	33	30	28	37	35	--	21,2	31,9	38,2
10.00	11,3	115,0		1,02	128,4	228	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	36	35	--	18,8	28,2	33,8
10.20	8,8	90,0		0,98	130,4	212	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	33	--	14,7	22,1	26,5
10.40	8,3	50,9		0,98	132,3	208	--	--	--	--	--	59	38	30	27	26	34	33	--	13,9	20,8	25,0
10.60	11,8	90,2		1,03	134,3	231	--	--	--	--	--	71	40	32	29	27	36	35	--	19,6	29,4	35,3
10.80	11,8	120,0		1,03	136,3	231	--	--	--	--	--	70	40	32	29	27	36	35	--	19,6	29,4	35,3
11.00	9,8	137,0		1,00	138,3	218	--	--	--	--	--	64	39	31	28	26	35	34	--	16,3	24,5	29,4
11.20	9,2	94,0		0,99	140,2	214	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	34	--	15,4	23,0	27,6
11.40	9,3	95,0		0,99	142,1	215	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	34	--	15,5	23,3	27,9
11.60	11,3	86,5		1,02	144,1	228	--	--	--	--	--	67	39	31	28	27	36	35	--	18,8	28,2	33,8
11.80	12,7	130,0		1,05	146,2	237	--	--	--	--	--	71	40	32	29	27	36	35	--	21,2	31,9	38,2
12.00	11,3	86,5		1,02	148,2	228	--	--	--	--	--	67	39	31	28	27	35	35	--	18,8	28,2	33,8
12.20	11,																					

CPT	2
riferimento	058-2012

U.M.: MPa	Data esec.: 05/07/2012
Pagina: 2	
Elaborato:	Falda: -4.50 m 4.50

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ' vo kPa	Vs m/s	Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ Sc (°)	ϕ Ca (°)	ϕ Ko (°)	ϕ DB (°)	ϕ DM (°)	ϕ Me (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.
20,00	12,7	194,0		1,05	234,0	237	--	--	--	--	--	60	38	30	27	25	34	35	--	21,2	31,9	38,2
20,20	13,7	140,0		1,06	236,1	244	--	--	--	--	--	62	39	30	27	25	34	36	--	22,9	34,3	41,2
20,40	12,7	--		1,05	238,2	237	--	--	--	--	--	59	38	30	26	25	33	35	--	21,2	31,9	38,2

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	3
	riferimento	058-2012

Committente: DOTT GABRIELE TARABUSI	U.M.: MPa	Data esec.: 05/07/2012
Cantiere: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Pagina: 1	
Località: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Elaborato:	Falda:

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'_{vo} kPa	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE													
							Cu kPa	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	ϕ_{Sc} (°)	ϕ_{Ca} (°)	ϕ_{Ko} (°)	ϕ_{DB} (°)	ϕ_{DM} (°)	ϕ_{Me} (°)	F.L.	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.			
0.20	--	--		1,85	3,6	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	3,7	56,7		1,85	7,3	178	--	--	--	--	--	100	43	41	38	36	44	30	--	6,2	9,3	11,2	--	--	--
0.60	3,5	41,4		1,85	10,9	177	--	--	--	--	--	91	42	41	38	36	33	42	30	--	5,9	8,8	10,6	--	--
0.80	3,6	46,3		1,85	14,5	178	--	--	--	--	--	84	41	37	35	32	41	30	--	6,0	9,1	10,9	--	--	
1.00	2,9	37,5		1,85	18,1	173	--	--	--	--	--	72	40	35	32	30	39	29	--	4,9	7,4	8,8	--	--	
1.20	2,7	23,3		1,85	21,8	172	94,6	39,4	16,1	24,1	8,2	65	39	34	31	29	38	28	--	4,6	6,9	8,2	--	--	
1.40	2,9	28,0		1,85	25,4	173	98,0	34,0	16,7	25,0	8,8	64	39	33	31	29	38	29	--	4,9	7,4	8,8	--	--	
1.60	4,1	27,5		1,85	29,0	181	137,2	43,8	23,3	35,0	12,3	72	40	34	32	29	39	30	--	6,9	10,3	12,3	--	--	
1.80	4,1	39,3		--	32,6	181	--	--	--	--	--	69	40	34	31	29	38	30	--	6,9	10,3	12,3	--	--	
2.00	4,1	26,3		1,85	36,3	181	137,2	33,1	23,3	35,0	12,3	66	39	33	30	28	38	30	--	6,9	10,3	12,3	--	--	
2.20	2,0	27,4		1,85	39,9	167	78,4	14,6	13,3	20,0	5,9	39	36	29	26	24	33	27	--	3,3	4,9	5,9	--	--	
2.40	2,5	34,2		--	43,5	170	--	--	--	--	--	44	37	30	27	25	34	28	--	4,1	6,1	7,4	--	--	
2.60	1,7	21,3		1,85	47,1	165	70,9	10,5	12,1	18,1	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2.80	1,6	18,4		1,85	50,8	164	68,2	9,1	12,0	18,1	5,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.00	1,7	32,1		1,85	54,4	165	70,9	8,7	12,9	19,3	5,3	25	34	27	24	22	30	27	--	2,8	4,2	5,0	--	--	
3.20	1,5	17,2		1,85	58,0	164	65,3	7,3	14,3	21,5	4,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.40	1,3	19,4		1,85	61,6	162	59,3	6,0	16,3	24,5	4,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.60	1,8	22,5		1,85	65,3	166	73,5	7,3	16,1	24,2	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3.80	1,8	26,9		1,85	68,9	166	73,5	6,8	17,5	26,2	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.00	2,0	23,0		1,85	72,5	167	78,4	6,9	18,3	27,4	5,9	24	34	26	23	22	30	27	--	3,3	4,9	5,9	--	--	
4.20	1,3	24,5		1,85	76,1	162	59,3	4,6	21,2	31,8	4,6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.40	1,7	28,3		1,85	79,8	165	70,9	5,4	21,7	32,5	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.60	1,7	25,4		1,85	83,4	165	70,9	5,1	22,9	34,4	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4.80	1,2	22,6		1,85	87,0	162	56,0	3,6	24,6	36,9	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.00	1,1	20,8		1,85	90,7	161	52,6	3,2	25,2	37,8	4,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.20	0,8	24,2		1,85	94,3	159	39,2	2,1	21,7	32,6	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.40	0,8	20,0		1,85	97,9	159	39,2	2,0	22,0	32,9	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.60	1,2	15,0		1,85	101,5	162	56,0	3,0	27,7	41,5	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5.80	2,7	140,0		1,85	105,2	172	--	--	--	--	--	27	34	26	23	21	29	28	--	4,6	6,9	8,2	--	--	
6.00	1,7	32,1		1,85	108,8	165	70,9	3,7	30,7	46,1	5,3	9	32	23	20	19	26	27	--	2,8	4,2	5,0	--	--	
6.20	1,0	16,7		1,85	112,4	160	49,0	2,2	26,8	40,2	3,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.40	0,9	33,3		1,85	116,0	160	44,1	1,9	25,0	37,5	3,7	--	31	20	16	16	25	26	--	1,5	2,2	2,6	--	--	
6.60	1,5	22,4		1,85	119,7	164	65,3	2,9	32,5	48,8	4,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6.80	7,8	119,4		1,85	123,3	205	--	--	--	--	--	59	38	30	27	26	34	33	--	13,1	19,6	23,5	--	--	
7.00	8,2	125,4		1,85	126,9	208	--	--	--	--	--	60	38	30	27	26	35	33	--	13,7	20,6	24,7	--	--	
7.20	6,4	97,0		1,85	130,5	196	--	--	--	--	--	50	37	29	26	24	33	32	--	10,6	15,9	19,1	--	--	
7.40	8,8	90,0		1,85	134,2	212	--	--	--	--	--	61	39	31	28	26	35	33	--	14,7	22,1	26,5	--	--	
7.60	6,9	104,5		1,85	137,8	199	--	--	--	--	--	51	37	29	26	25	33	32	--	11,4	17,2	20,6	--	--	
7.80	6,4	65,0		1,85	141,4	196	--	--	--	--	--	48	37	29	26	24	33	32	--	10,6	15,9	19,1	--	--	
8.00	9,8	75,2		1,85	145,0	218	--	--	--	--	--	62	39	31	28	26	35	34	--	16,3	24,5	29,4	--	--	
8.20	11,8	90,2		1,85	148,7	231	--	--	--	--	--	68	39	31	29	27	36	35	--	19,6	29,4	35,3	--	--	
8.40	11,8	120,0		1,85	152,3	231	--	--	--	--	--	67	39	31	28	27	36	35	--	19,6	29,4	35,3	--	--	
8.60	7,8	47,9		1,85	155,9	205	--	--	--	--	--	53	38	29	26	25	33	33	--	13,1	19,6	23,5	--	--	
8.80	9,8	75,2		1,85	159,5	218	--	--	--	--	--	60	38	30	27	26	34	34	--	16,3	24,5	29,4	--	--	
9.00	11,8	90,2		1,85	163,2	231	--	--	--	--	--	66	39	31	28	26	35	35	--	19,6	29,4	35,3	--	--	
9.20	14,7	112,8		1,85	166,8	250	--	--	--	--	--	73	4												

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	4
	riferimento	058-2012

Committente: DOTT GABRIELE TARABUSI	U.M.: MPa	Data eseg.: 05/07/2012
Cantiere: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Pagina: 1	
Località: MIRANDOLA VIA GIOLITTI	Elaborato:	Falda:

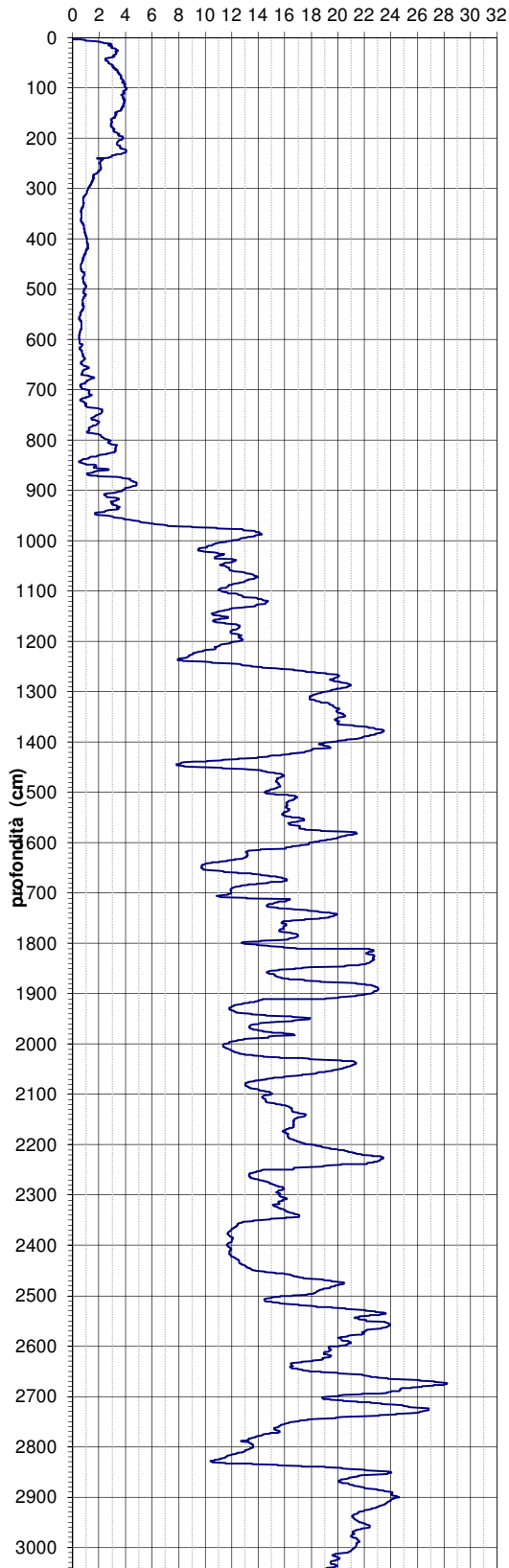
							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE										
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	ϕ Sc	ϕ Ca	ϕ Ko	ϕ DB	ϕ DM	ϕ Me	F.L.	E'50	E'25	Mo
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)		U.M.	U.M.	U.M.
0.20	--	--		1,85	3,6	154	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	3,9	46,0		1,85	7,3	180	--	--	--	--	--	100	43	41	39	36	44	30	--	6,5	9,8	11,8
0.60	4,1	33,1		1,85	10,9	181	--	--	--	--	--	96	43	39	37	34	43	30	--	6,9	10,3	12,3
0.80	3,4	40,2		1,85	14,5	176	--	--	--	--	--	83	41	37	34	32	41	29	--	5,7	8,6	10,3
1.00	3,4	26,3		1,85	18,1	176	114,3	62,7	19,4	29,2	10,3	77	40	36	33	31	40	29	--	5,7	8,6	10,3
1.20	3,9	27,2		1,85	21,8	180	130,7	59,0	22,2	33,3	11,8	77	41	36	33	31	40	30	--	6,5	9,8	11,8
1.40	3,1	21,8		1,85	25,4	174	104,5	36,8	17,8	26,7	9,4	66	39	34	31	29	38	29	--	5,2	7,8	9,4
1.60	2,7	21,1		1,85	29,0	172	94,6	27,5	16,1	24,1	8,2	58	38	32	29	28	37	28	--	4,6	6,9	8,2
1.80	2,9	19,6		1,85	32,6	173	98,0	24,8	16,7	25,0	8,8	57	38	32	29	27	36	29	--	4,9	7,4	8,8
2.00	2,1	15,8		1,85	36,3	167	80,7	17,1	13,7	20,6	6,2	43	36	30	27	25	34	27	--	3,4	5,1	6,2
2.20	2,0	11,6		1,85	39,9	167	78,4	14,6	13,3	20,0	5,9	39	36	29	26	24	33	27	--	3,3	4,9	5,9
2.40	2,4	27,6		1,85	43,5	169	87,1	15,0	14,8	22,2	7,1	43	36	30	27	25	34	28	--	3,9	5,9	7,1
2.60	3,1	28,3		1,85	47,1	174	104,5	17,0	17,8	26,7	9,4	51	37	31	28	26	35	29	--	5,2	7,8	9,4
2.80	1,8	18,0		1,85	50,8	166	73,5	10,0	12,5	18,7	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	1,5	17,2		1,85	54,4	164	65,3	7,9	13,1	19,7	4,9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	1,7	25,4		1,85	58,0	165	70,9	8,1	13,9	20,9	5,3	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	1,4	26,4		1,85	61,6	163	62,4	6,4	16,0	24,0	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	1,1	18,3		1,85	65,3	161	52,6	4,8	18,1	27,2	4,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0,9	17,0		1,85	68,9	160	44,1	3,6	19,4	29,2	3,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0,8	15,1		1,85	72,5	159	39,2	2,9	19,6	29,4	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.20	1,2	16,4		1,85	76,1	162	56,0	4,3	21,3	31,9	4,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	1,4	23,3		1,85	79,8	163	62,4	4,6	22,2	33,3	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	1,8	24,7		1,85	83,4	166	73,5	5,4	22,7	34,1	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	1,4	23,3		1,85	87,0	163	62,4	4,1	24,3	36,5	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	1,4	19,2		1,85	90,7	163	62,4	3,9	25,4	38,1	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	1,9	35,8		1,85	94,3	166	76,0	4,8	26,2	39,2	5,7	16	33	25	21	20	28	27	--	3,1	4,7	5,6
5.40	2,4	32,9		1,85	97,9	169	--	--	--	--	--	23	34	26	22	21	29	28	--	3,9	5,9	7,1
5.60	1,3	65,0		1,85	101,5	162	59,3	3,2	28,2	42,4	4,6	1	31	22	19	18	25	26	--	2,1	3,2	3,8
5.80	1,4	35,0		1,85	105,2	163	62,4	3,3	29,4	44,1	4,7	3	32	23	19	18	26	26	--	2,3	3,4	4,1
6.00	0,8	11,9		1,85	108,8	159	39,2	1,8	22,4	33,7	3,4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	1,4	20,9		1,85	112,4	163	62,4	3,0	30,7	46,1	4,7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	1,4	51,9		1,85	116,0	163	62,4	2,9	31,3	47,0	4,7	0	31	22	19	18	25	26	--	2,3	3,4	4,1
6.60	1,6	20,0		1,85	119,7	164	68,2	3,1	33,0	49,6	5,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	3,9	100,0		1,85	123,3	180	--	--	--	--	--	35	35	27	24	22	31	30	--	6,5	9,8	11,8
7.00	1,8	26,9		1,85	126,9	166	73,5	3,2	35,2	52,8	5,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	6,1	71,3		1,85	130,5	194	--	--	--	--	--	49	37	29	26	24	33	32	--	10,1	15,2	18,2
7.40	8,0	68,3		1,85	134,2	206	--	--	--	--	--	58	38	30	27	25	34	33	--	13,4	20,1	24,1
7.60	5,9	60,0		1,85	137,8	192	--	--	--	--	--	46	37	28	25	24	32	32	--	9,8	14,7	17,6
7.80	11,8	90,2		1,85	141,4	231	--	--	--	--	--	69	40	32	29	27	36	35	--	19,6	29,4	35,3
8.00	8,8	90,0		1,85	145,0	212	--	--	--	--	--	59	38	30	27	25	34	33	--	14,7	22,1	26,5
8.20	7,8	80,0		1,85	148,7	205	--	--	--	--	--	54	38	29	26	25	33	33	--	13,1	19,6	23,5
8.40	8,3	50,9		1,85	152,3	208	--	--	--	--	--	56	38	30	27	25	34	33	--	13,9	20,8	25,0
8.60	10,8	110,0		1,85	155,9	224	--	--	--	--	--	64	39	31	28	26	35	34	--	18,0	27,0	32,3
8.80	12,7	97,7		1,85	159,5	237	--	--	--	--	--	69	40	32	29	27	36	35	--	21,2	31,9	38,2
9.00	11,8	179,1		1,85	163,2	231	--	--	--	--	--	66	39	31	28	26	35	35	--	19,6	29,4	35,3
9.20	9,8	100,0		1,85	166,8	218	--	--	--	--	--	59	38	30	27	25	34	34	--	16,3	24,5	29,4
9.40	8,3	126,9		1,85	170,4	208	--	--	--	--	--	53	38	29	26	24	33	33	--	13,9	20,8	25,0
9.60	7,8	80,0		1,85	174,0	205	--	--	--	--	--	50	37	29	26	24	33	33	--	13,1</		

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

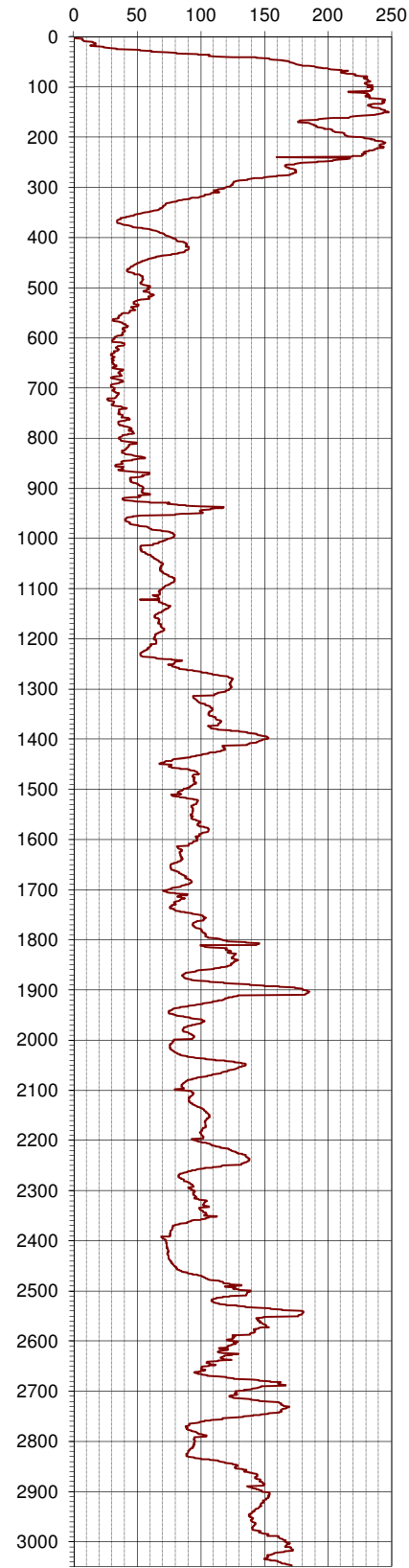
Comm.: Comune di Mirandola
Sito: Via Giolitti - Mirandola (MO)
Prova: Cptu

Data di indagine : 4 luglio 2012
Livello di Falda : 4.45 metri da p.c.
Livello piezometrico: metri da p.c.

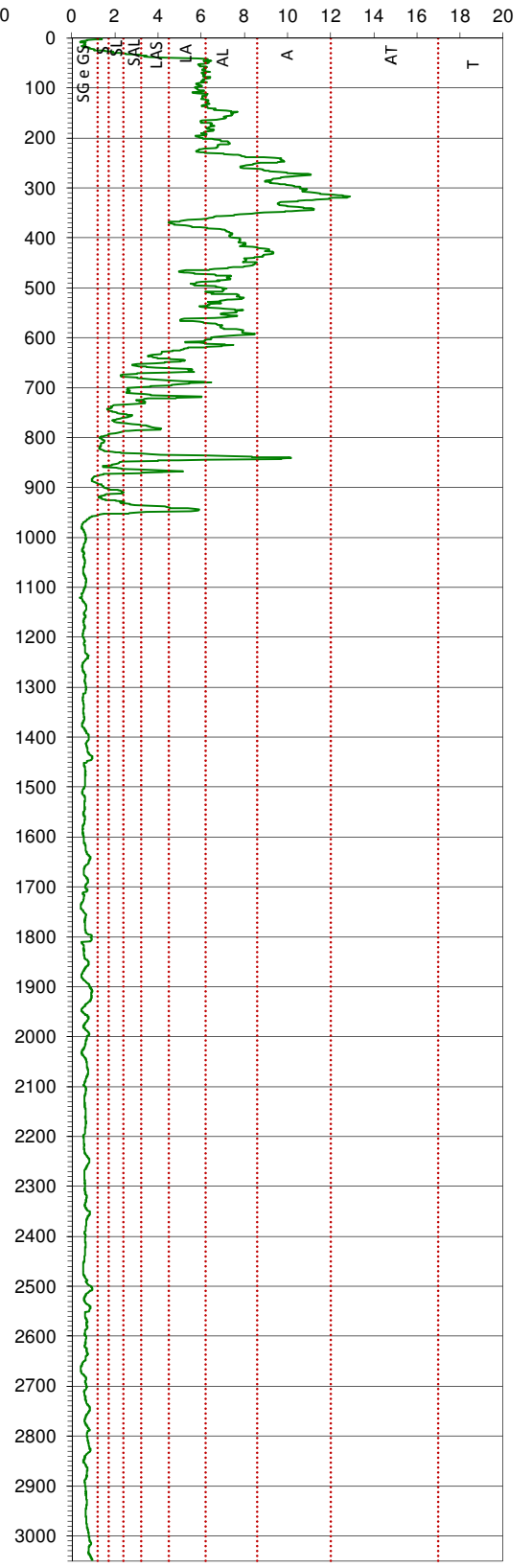
Qt (MPa)



fs (kPa)



Rf % - Classificazione Searle (1979)



SUCCESSIONE LITOLOGICA E PARAMETRI GEOTECNICI

Prova - **Cptu** Data - **4 luglio 2012** Falda - **4.45** metri da p.c.
 Committente - **Comune di Mirandola** Livello piezometrico - metri da p.c.
 Località - **Via Giolitti - Mirandola (MO)**

Yi F. (2010) Robertson & Cabal (2009) Terzaghi (1943) Khulawy & Mayne (1990) Robertson (1998) - Horvat (2000) Aexandria (2009) (mod. Togliani) Robertson (2009) Lambe & Withman (1983) - Mo

Litologia	Z (cm)	Qt (MPa)	FC%	yt (kN/m ³)	su (kPa)	φ (°)	Dr (%)	OCR	Mo (kPa)	Ey - Eu (kPa)	c' (kPa)
Limo argilloso - Argilla limosa	238	3.39	71	19.4	121.5	-	-	16.0	16882	15597	0.32
Argilla limosa - Argilla	590	0.94	99	17.8	35.7	-	-	4.1	4462	5353	0.08
Torba - Suoli organici	596	0.45	100	17.0	15.3	-	-	1.5	1916	2555	0.03
Argilla limosa - Argilla	699	0.78	96	17.0	28.0	-	-	2.0	3501	4409	0.04
Limo argilloso - Argilla limosa	710	1.24	83	17.2	46.3	-	-	2.2	5790	6987	0.04
Argilla limosa - Argilla	733	0.87	95	16.9	31.1	-	-	2.0	3883	4864	0.04
Limo argilloso - Argilla limosa	772	1.81	72	17.4	68.2	-	-	2.2	8528	9835	0.04
Argilla limosa - Argilla	784	1.20	91	17.3	43.4	-	-	2.3	5424	6600	0.05
Limo argilloso - Argilla limosa	795	2.12	68	17.9	80.2	-	-	2.3	10028	11362	0.05
Sabbia limosa - Limo sabbioso	827	2.94	54	17.7	0.0	33	24	1.9	14112	12400	0.04
Argilla limosa - Argilla	847	1.01	93	17.3	35.6	-	-	1.9	4452	5188	0.04
Limo argilloso - Argilla limosa	871	1.79	77	17.5	51.2	-	-	2.1	8332	9198	0.04
Sabbia limosa - Limo sabbioso	933	3.60	52	18.0	12.4	33	25	2.1	17324	14930	0.04
Limo argilloso - Argilla limosa	952	2.49	80	18.6	87.3	-	-	3.6	11743	-	0.07
Sabbia limosa - Limo sabbioso	966	5.02	37	18.2	-	35	30	1.8	24345	20291	0.04
Sabbia pulita - Sabbia limosa	2803	16.15	12	19.3	-	38	47	1.8	79378	58233	0.04
Sabbia limosa - Limo sabbioso	2832	11.71	30	19.1	-	37	38	1.5	56405	44741	0.03
Sabbia pulita - Sabbia limosa	3048	21.27	13	19.9	-	39	49	1.7	104226	75904	0.03

Z	Profondità	yt	Peso di volume totale	Dr	Densità relativa
Qt	Resistenza di punta corretta	su	coesione non drenata	OCR	Grado di sovracosolidazione
FC	Contenuto di fine	φ	angolo di attrito interno	Mo	Modulo edometrico confinato
				Ey	Modulo elastico o di Yuong

COMMITTENTE	STUDIO TARABUSI
CONO SISMICO	CPTU - Via Giolitti
Località	MIRANDOLA (Mo)
Data acquisizione	04/07/2012

Profondità	Vp	Vs	v	γ	E _{din}	G _{din}	K _{din}
	m/sec.	m/sec.		T/m³	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²

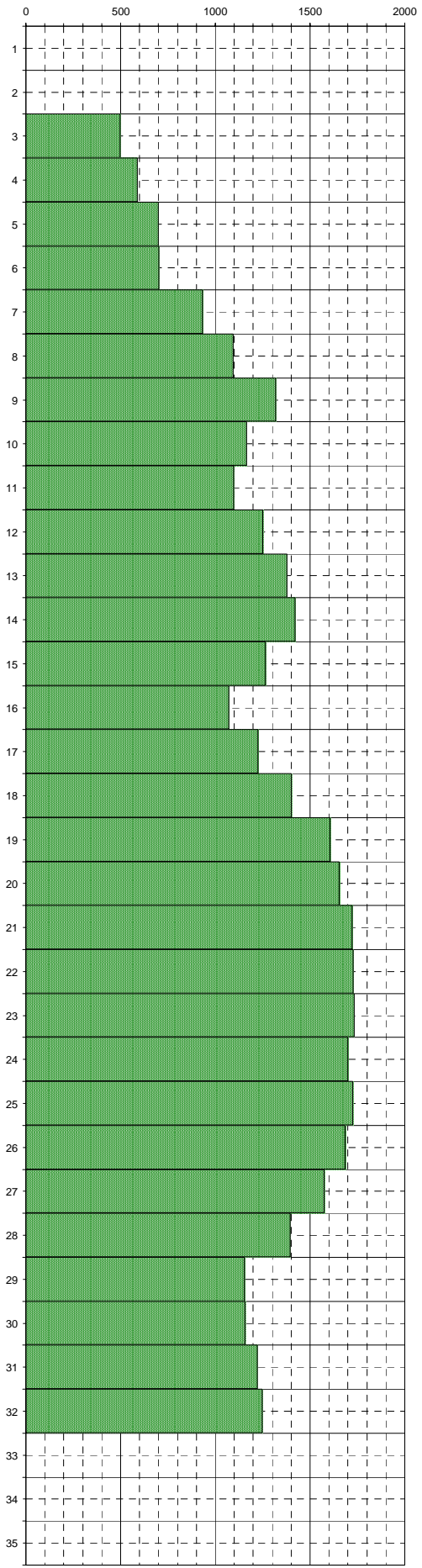
0							
1							
2							
3	497	136	0.46	1.66	909	311	3762
4	589	180	0.45	1.71	1636	565	5307
5	698	191	0.46	1.77	1916	656	7914
6	702	153	0.48	1.77	1240	420	8339
7	931	149	0.49	1.87	1262	424	15947
8	1093	153	0.49	1.93	1364	458	22840
9	1317	174	0.49	2.00	1830	614	34498
10	1165	194	0.49	1.95	2228	750	25970
11	1098	206	0.48	1.93	2463	831	22596
12	1249	217	0.48	1.98	2823	951	30164
13	1378	232	0.49	2.01	3295	1109	37503
14	1419	229	0.49	2.03	3227	1085	40122
15	1265	224	0.48	1.98	3010	1014	30960
16	1071	234	0.47	1.92	3166	1073	21022
17	1224	239	0.48	1.97	3394	1146	28542
18	1400	247	0.48	2.02	3714	1251	38710
19	1605	237	0.49	2.07	3529	1185	52862
20	1653	236	0.49	2.08	3520	1181	56496
21	1721	239	0.49	2.10	3656	1227	61768
22	1728	237	0.49	2.10	3589	1204	62386
23	1732	225	0.49	2.10	3233	1084	62871
24	1698	223	0.49	2.10	3163	1061	60169
25	1724	251	0.49	2.10	4014	1348	61871
26	1686	265	0.49	2.09	4448	1495	58641
27	1573	266	0.49	2.07	4434	1493	50116
28	1395	252	0.48	2.02	3884	1309	38306
29	1154	280	0.47	1.95	4581	1560	24338
30	1156	259	0.47	1.95	3929	1333	24755
31	1223	265	0.48	1.97	4156	1408	28139
32	1248	234	0.48	1.98	3274	1105	29904
33							
34							
35							

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 dinamico	Kg/cm²
v	Coefficiente di Poisson	-			

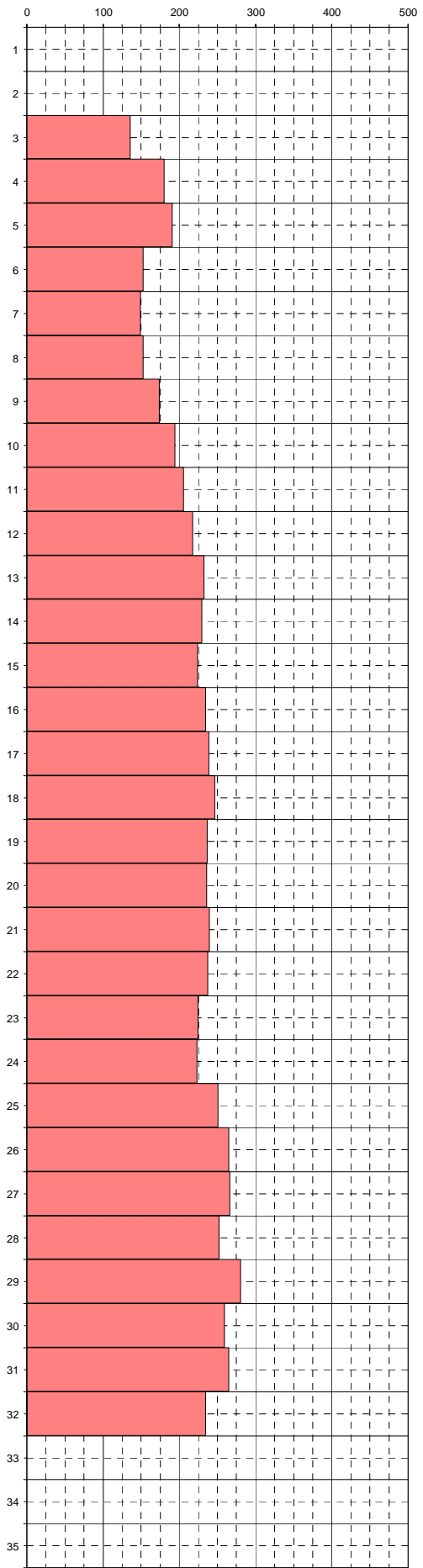
Codice lavoro	509-59
---------------	--------



VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE
m/sec



VELOCITA' ONDE DI TAGLIO
m/sec



CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(D.M. del 14/01/2008)

$$V_{s\ 30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

VS₃₀ = 213 m/sec

CATEGORIA SUOLO = C

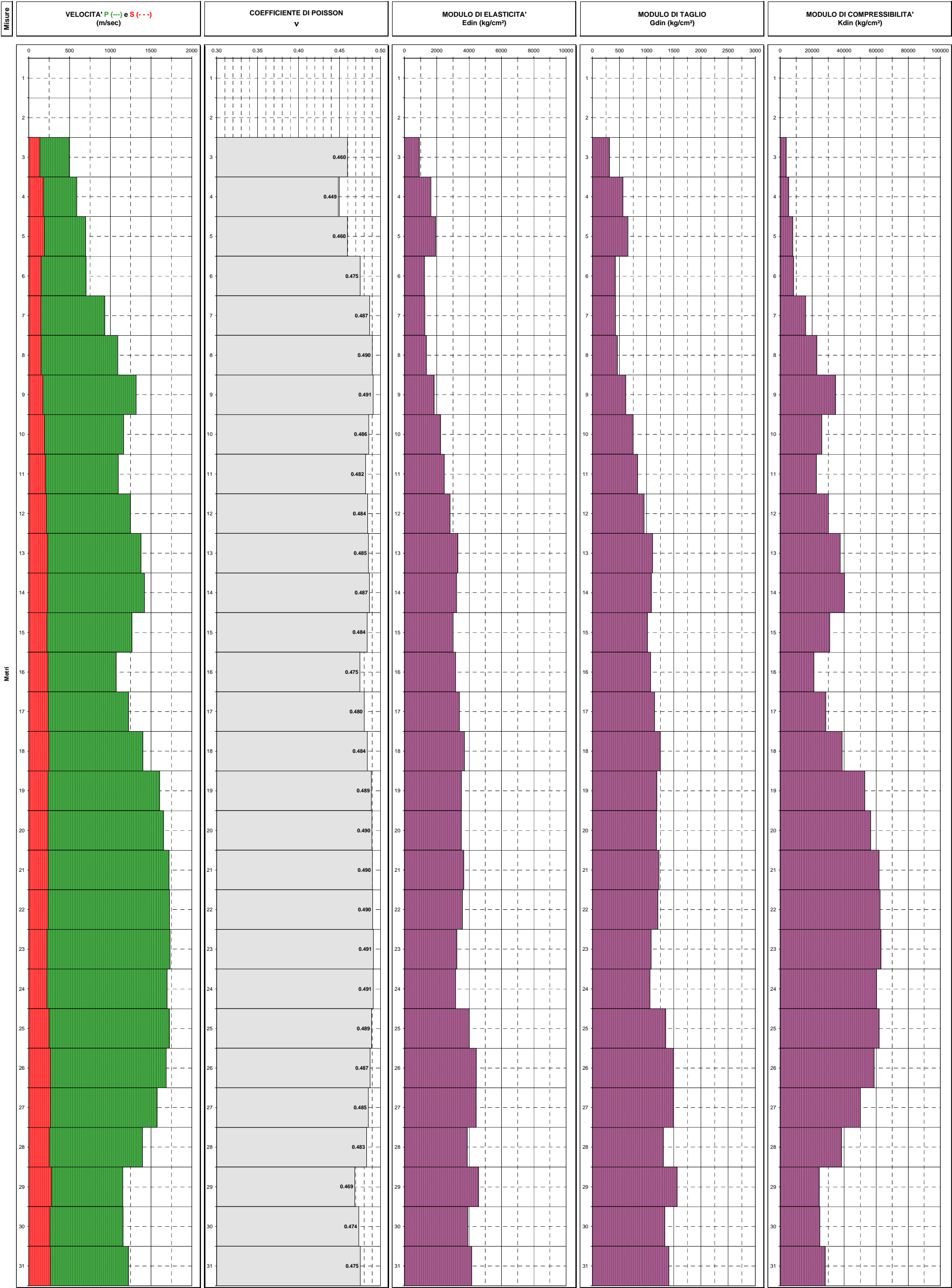
COMMITTENTE
CONO SISMICO
Località
Data acquisizione

STUDIO TARABUSI
CPTU - Via Giolitti
MIRANDOLA (Mo)
04/07/2012



PROGEO s.r.l.
Via Tolete 10/B
47100 Forlì
tel. 0543 723580
fax. 0543 721486
mail: proggeo@gmail.com
www.proggeo.info

GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI



PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE CON METODOLOGIA MASW [Mirandola - via Giolitti]

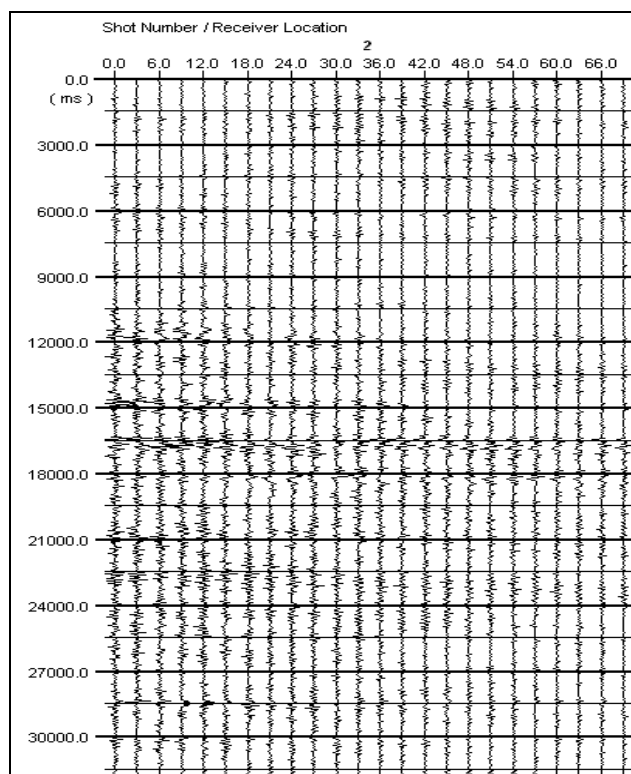
Data di esecuzione: 04-07-2012

Località: Mirandola

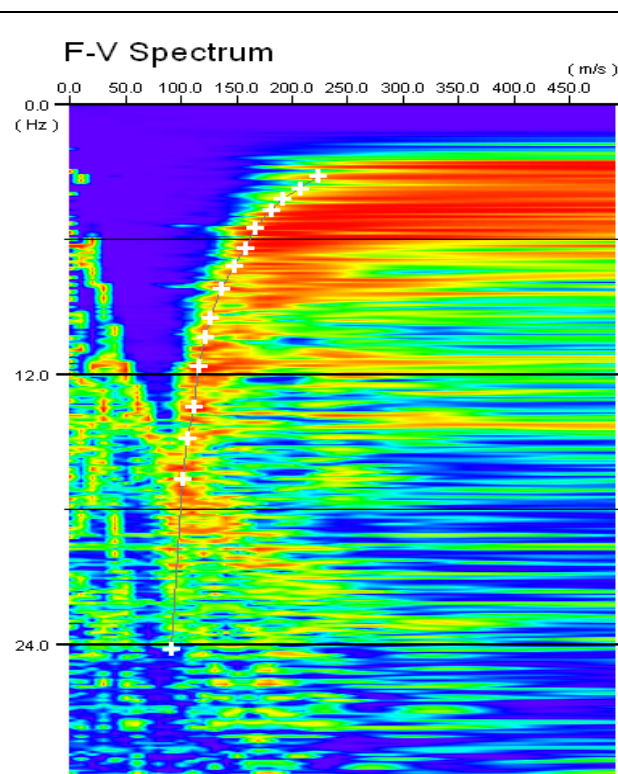
Committente: Comune di Mirandola

Profilo	Direzione	n° tracce	Δx (m)	Δt (ms)	T (s)	L tot (m)	Coordinate geografiche WGS 84
V. Giolitti	N 90° E	30	3,0	2,0	32,0	69,0	44,88683° / 11,05417°

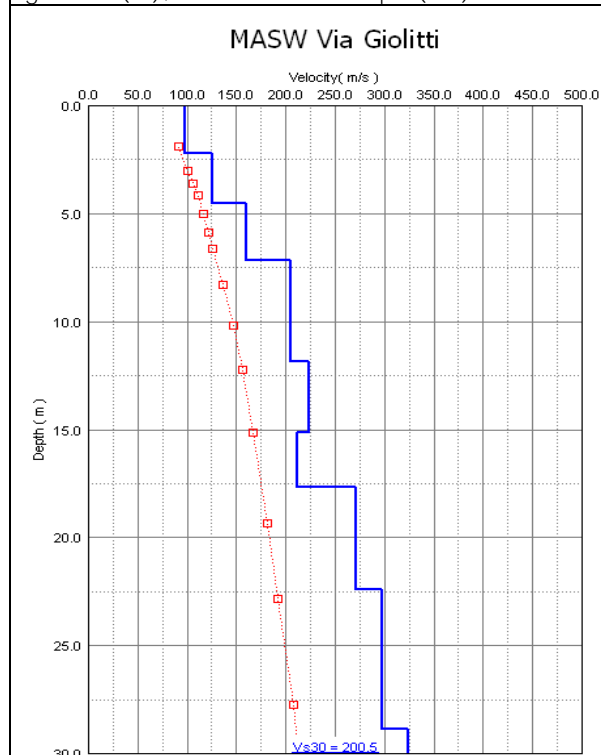
Δx : interdistanza geofonica; Δt : passo di campionamento; T: durata registrazione; L tot: lunghezza profilo.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza fra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio $f-v$ e Picking della curva sperimentali delle onde R (croci bianche).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di V_s 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	2.2	2.2	97
2	4.5	2.3	126
3	7.2	2.6	161
4	11.9	4.7	205
5	15.2	3.3	224
6	17.7	2.5	212
7	22.4	4.8	272
8	28.9	6.5	297
9	30.0	1.1	324

$$V_{s30} = 200 \pm 16 \text{ [m/s]}$$

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e valore di V_{s30} calcolato.

Elaborazione: Dott. Geol. Luca Bianconi, Dott. Geol. Samuel Sangiorgi

MIRANDOLA VIA GIOLITTI, TR1

Strumento: TRS-0027/01-07

Inizio registrazione: 30/06/12 10:50:52 Fine registrazione: 30/06/12 11:10:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 256 Hz

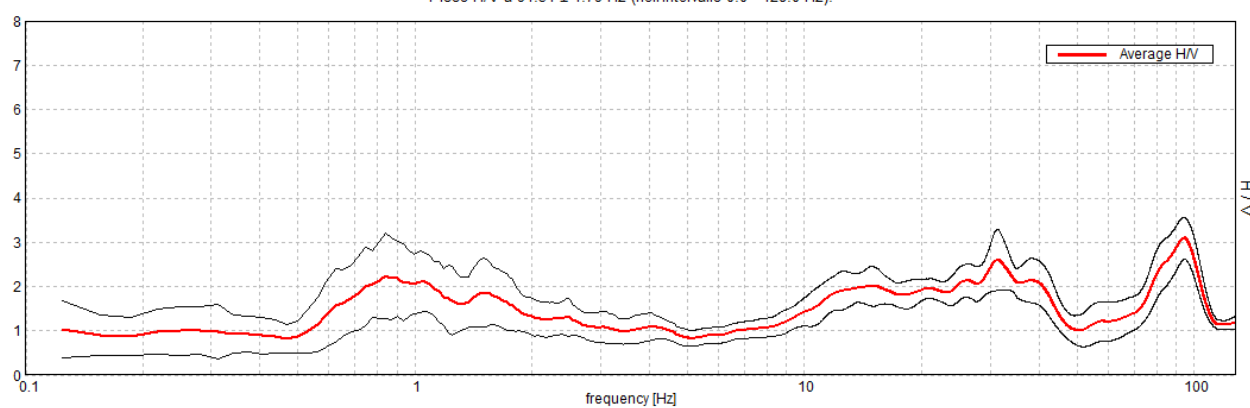
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

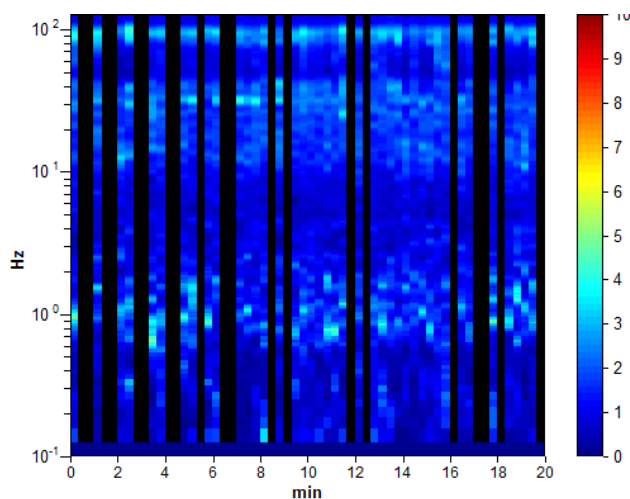
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

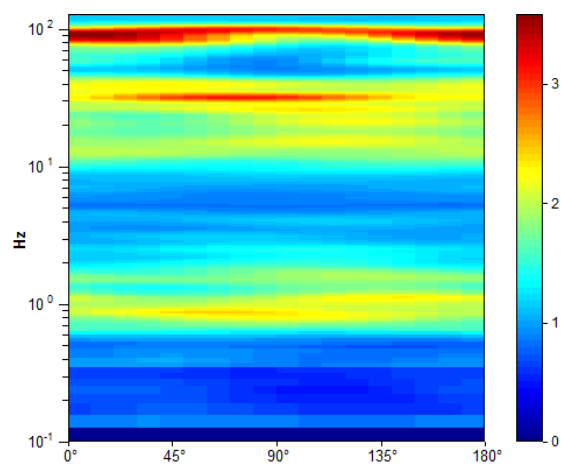
Picco H/V a 94.34 ± 4.79 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).



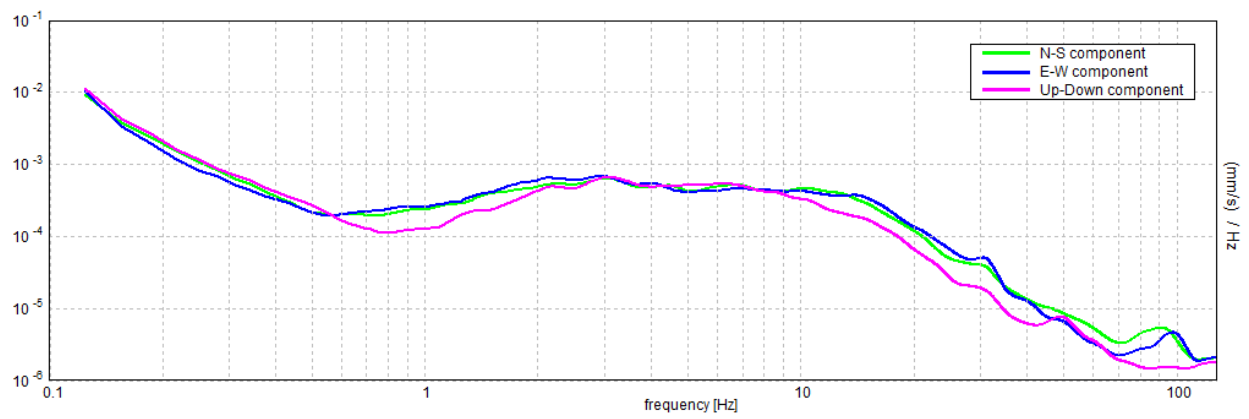
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 94.34 ± 4.79 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$94.34 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$75475.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 2588	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	73.406 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	108.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.09 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02478 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.33815 < 4.71719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2289 < 1.58$	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

MIRANDOLA VIA GIOLITTI, TR2

Strumento: TRS-0027/01-07

Inizio registrazione: 05/07/12 09:17:58 Fine registrazione: 05/07/12 09:29:58

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h12'00".

Analizzato 69% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 256 Hz

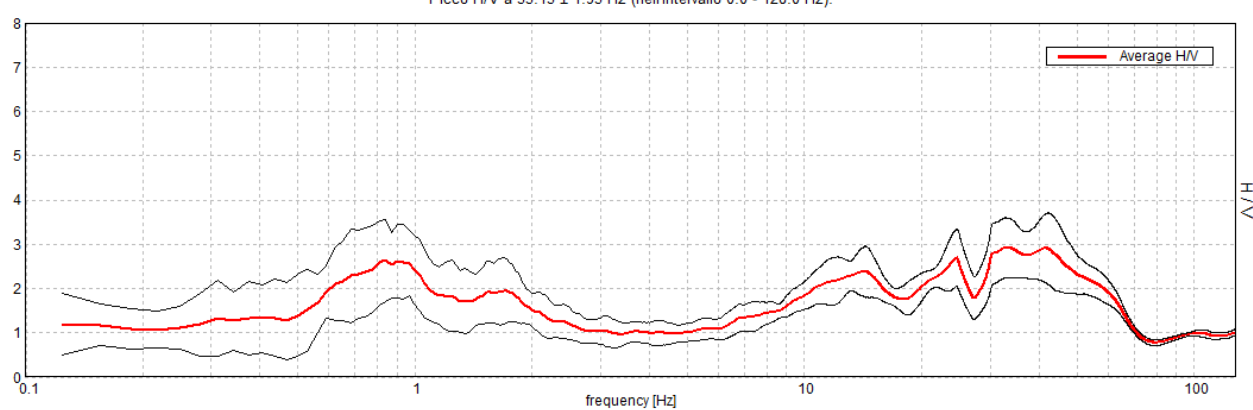
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

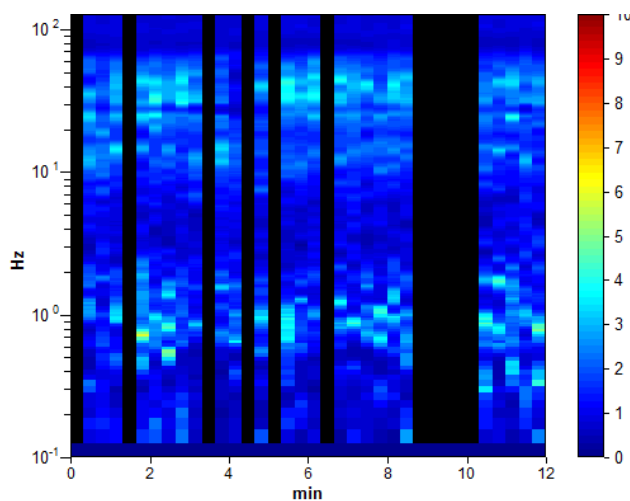
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

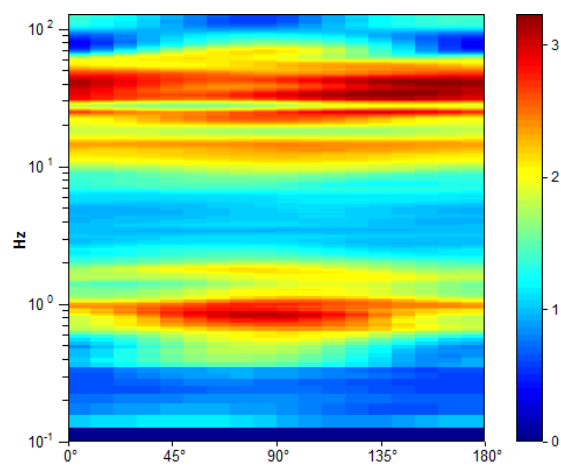
Picco H/V a 33.13 ± 1.95 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).



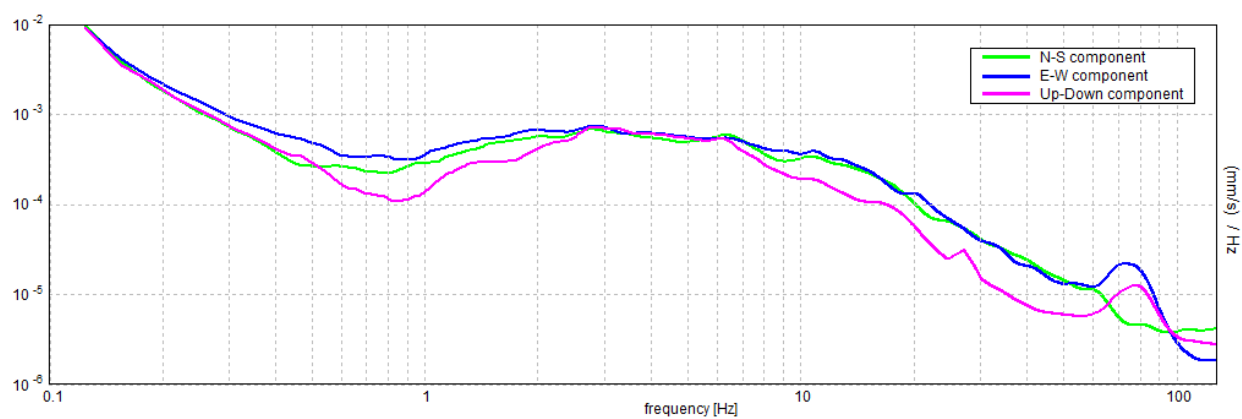
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

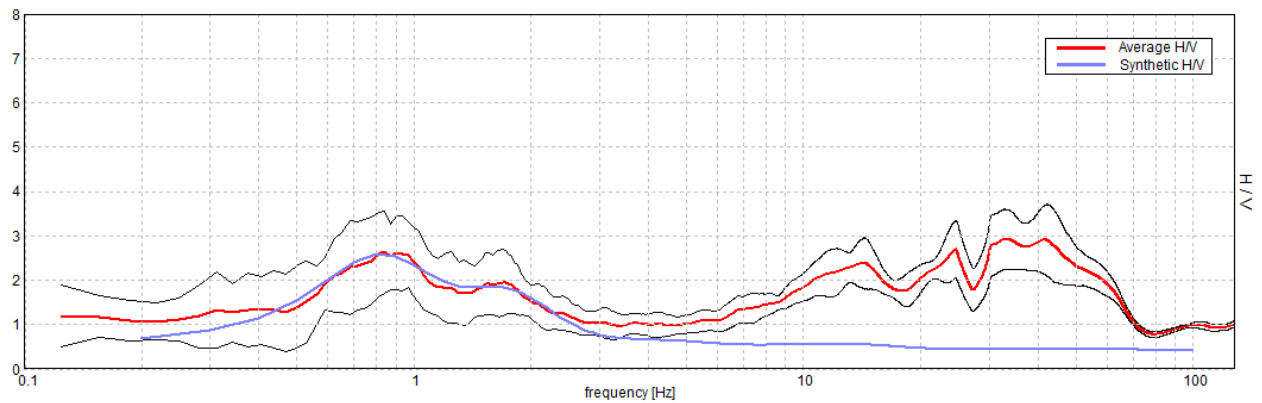


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



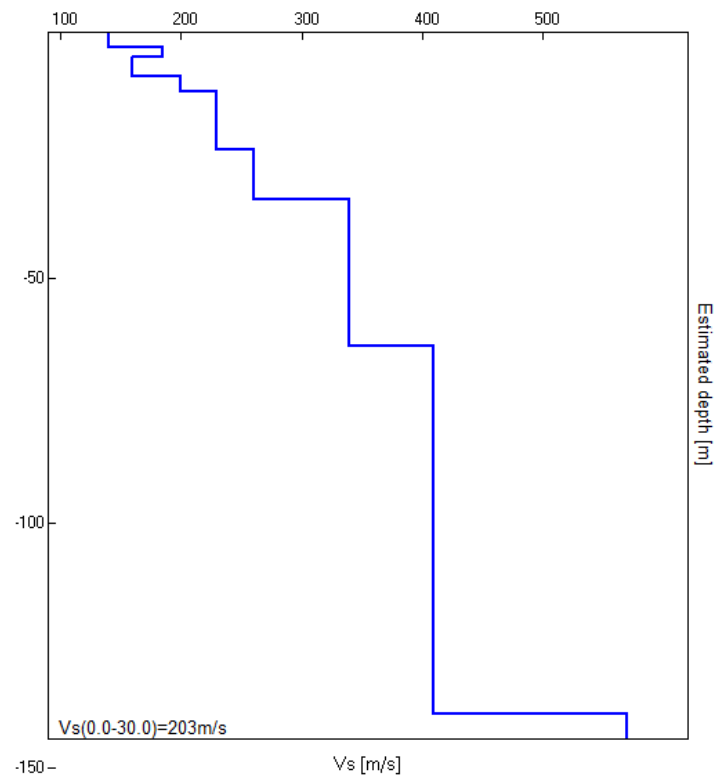
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 33.13 ± 1.95 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.00	3.00	140	0.46
5.00	2.00	185	0.45
9.00	4.00	160	0.48
12.00	3.00	200	0.49
24.00	12.00	230	0.49
34.00	10.00	260	0.48
64.00	30.00	340	0.42
139.00	75.00	410	0.40
inf.	inf.	570	0.35

$V_s(0.0-30.0)=203\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 33.13 ± 1.95 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$33.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16562.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1591	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	65.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.92 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.028 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.92737 < 1.65625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3199 < 1.58$	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

MIRANDOLA VIA GIOLITTI, TR3

Strumento: TRS-0027/01-07

Inizio registrazione: 05/07/12 09:49:11 Fine registrazione: 05/07/12 10:09:12

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 256 Hz

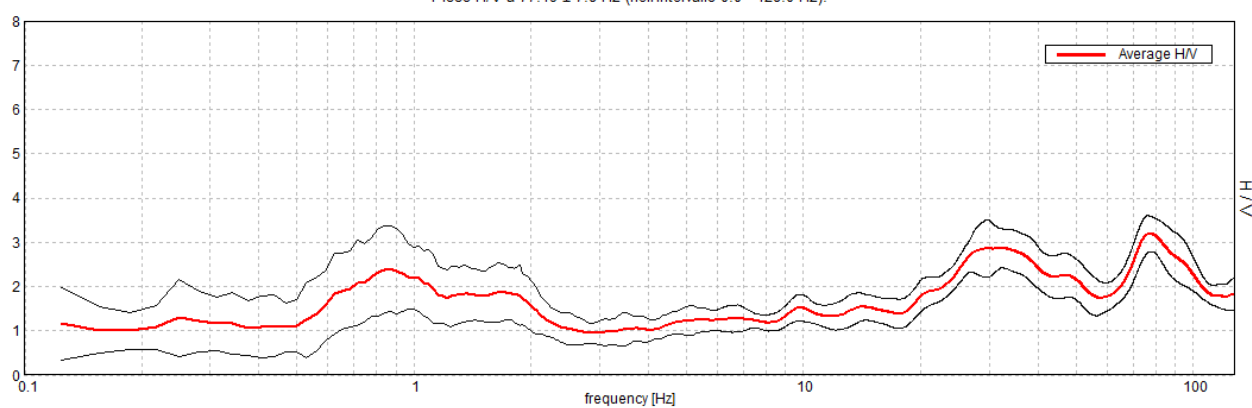
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

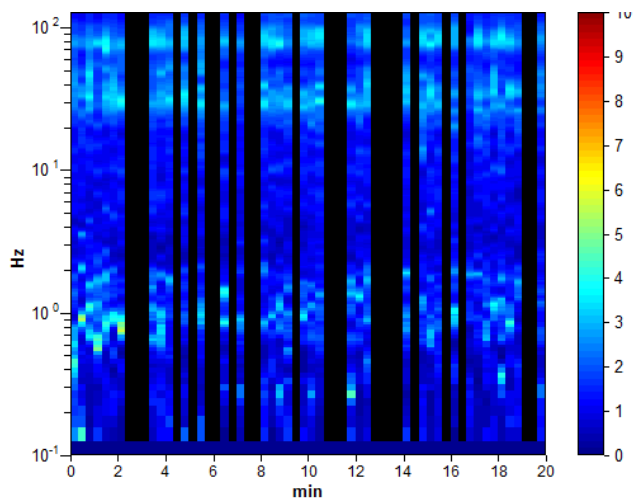
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

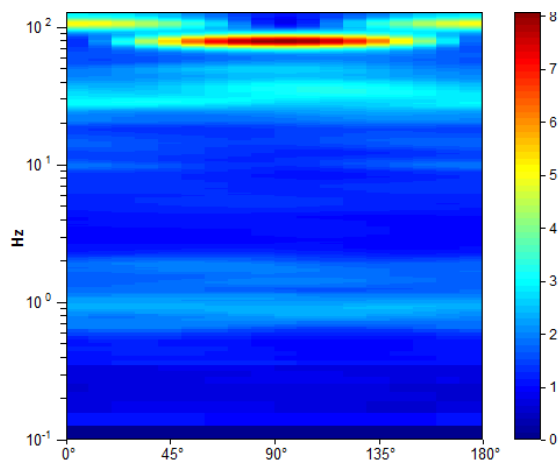
Picco H/V a 77.19 ± 7.8 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).



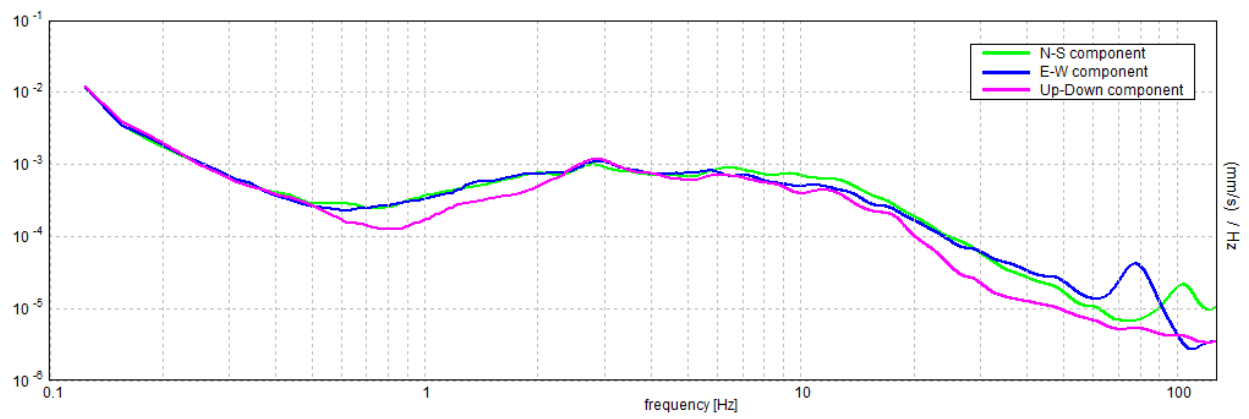
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 77.19 ± 7.8 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$77.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$57118.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 2862	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$3.19 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0491 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.79 < 3.85938$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1975 < 1.58$	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

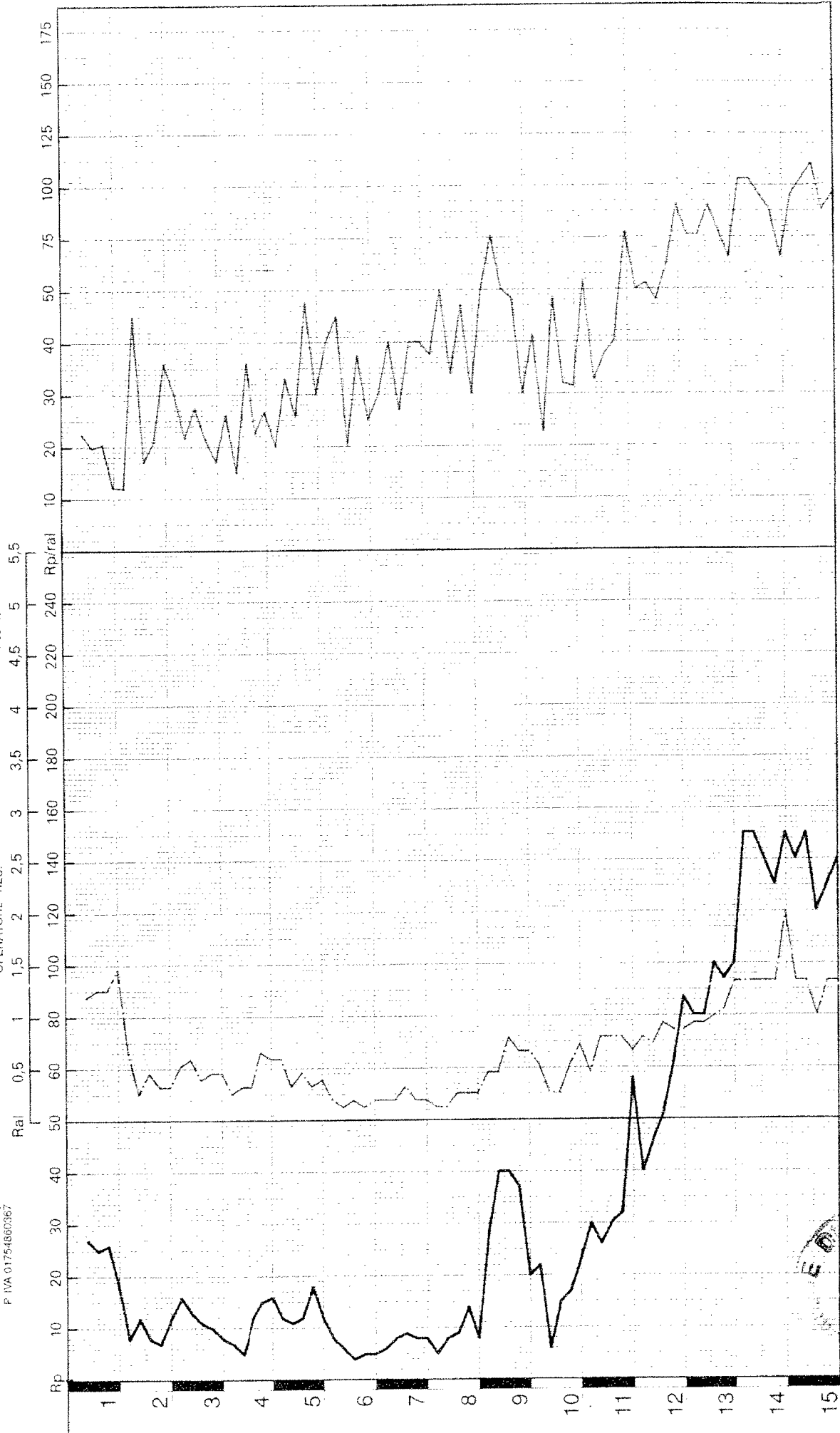
Diagramma prova penetrometrica statica
 COMMITTENTE: **IMM.CLELIA-BELARDI-PEDRONI-**
 CANTIERE: **V.S.Martino Carano-MIRANDOLA**
 DATA PROVA: **19 - 06 - 2003**

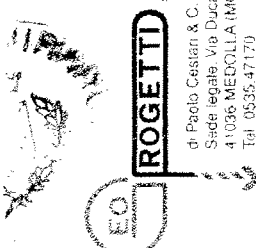
Rp resistenza di punta (Kg/cmq)
 Ral resistenza attrito laterale (Kg/cmq)
 Rp/Ral rapporto Begemann

H20 - 2.00 m. da p.c.

C.P.T.

N° 9





di Paolo Cestari & C.
Sede legale: Via Duca d'Este, 6
41036 MEDOLLIA (MO)
Tel. 0535 47170
Fax 0535 49364
E-mail: soc.rocprogetti@libero.it
P. IVA 01754860367

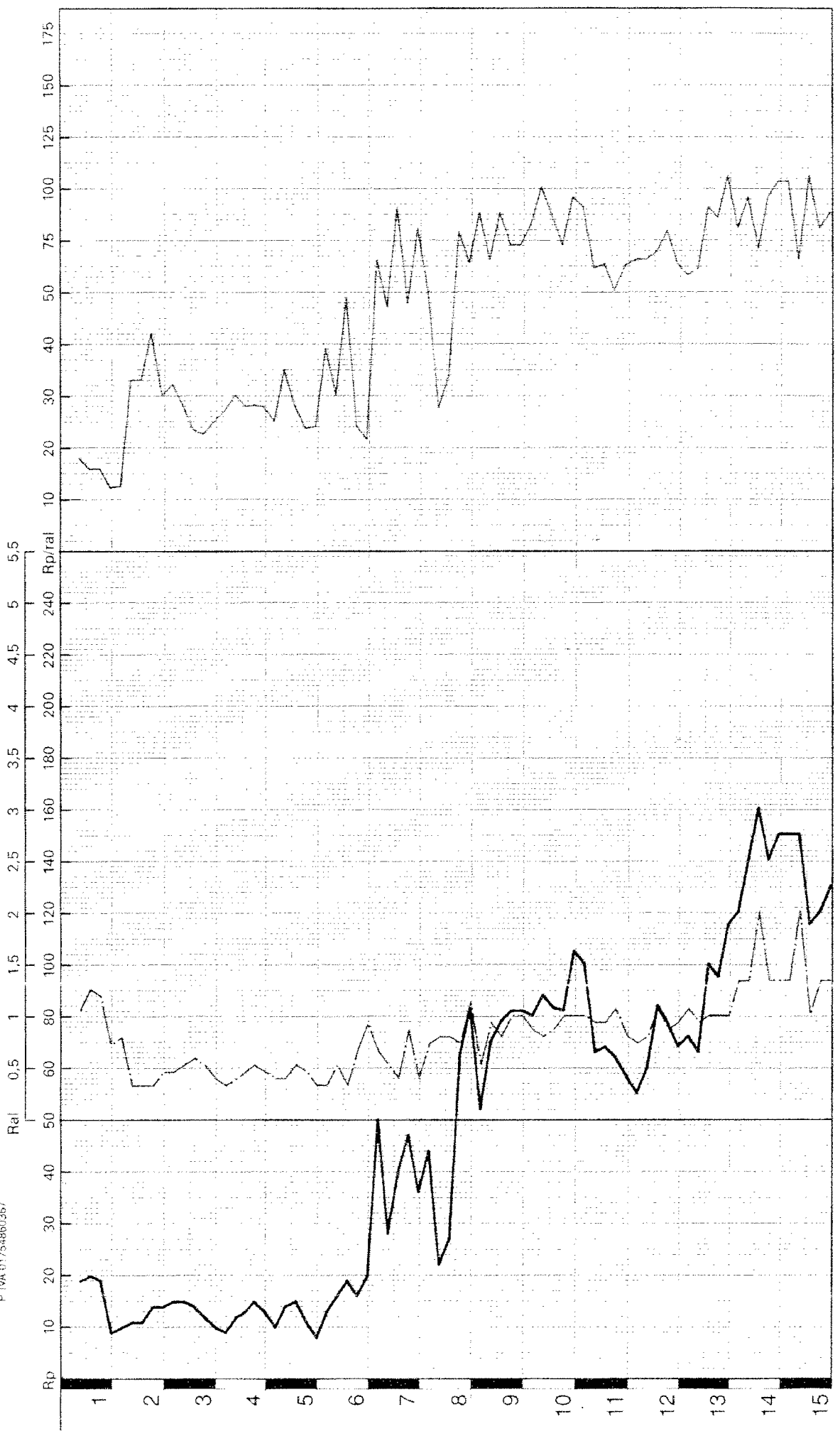
Diagramma prova penetrometrica statica
COMMITTENTE: IMM.CLELIA-BELARDI-PEDRONI-
CANTIERE: V.S.Martino Carano-MIRANDOLA
DATA PROVA: 19 - 06 - 2003
OPERATORE RES:

Rp resistenza di punta (Kg/cmq)
Rai resistenza attrito laterale (Kg/cmq)
Rp/Rai rapporto Bogerman

H20 - 2.00 m. da p.c.

C.P.T.

N°10





ROGETTI
S.r.l.

d Paolo Gestiari & C.
Sede legale: Via Duca d'Este, 6
41036 MEDOLLA (MO)
Tel. 0535 47170
Fax 0535 49364
E-mail: soc.geoprogetti@libero.it
P.IVA 01754660367

Diagramma prova penetrometrica statica

COMMITTENTE: **IMM. CLELIA-BELARDI-PEDRONI-**

CANTIERE: **V.S. Martino Carano-MIRANDOLA**

DATA PROVA: **19 - 06 - 2003**

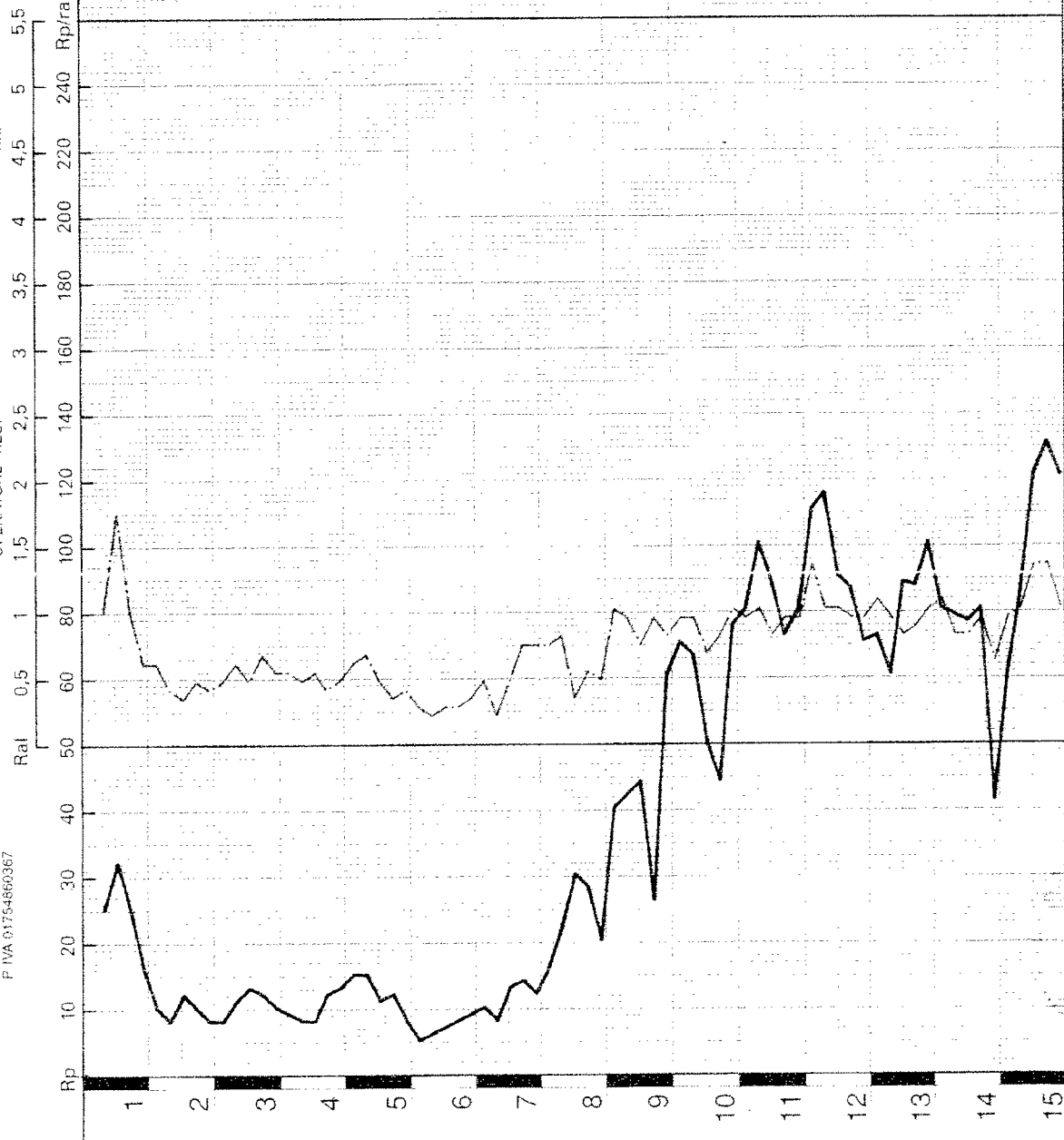
OPERATORE RES:

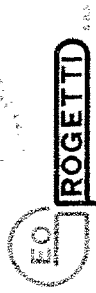
— Rp resistenza di punta (Kg/cmq)
- - - Ral resistenza attrito laterale (Kg/cmq)
- - - Rp/Ral rapporto Begemann

C.P.T.

H20 - 2.00 m. da p.c.

N° 1 1





di Paolo Cesari & C.
Sede legale: Via Duca d'Este, 6
41036 MEDOLLA (MO)
Tel 0535 47170
Fax 0535 49364
E-mail: soc.geoprogetti@libero.it
F. IVA 01754660367

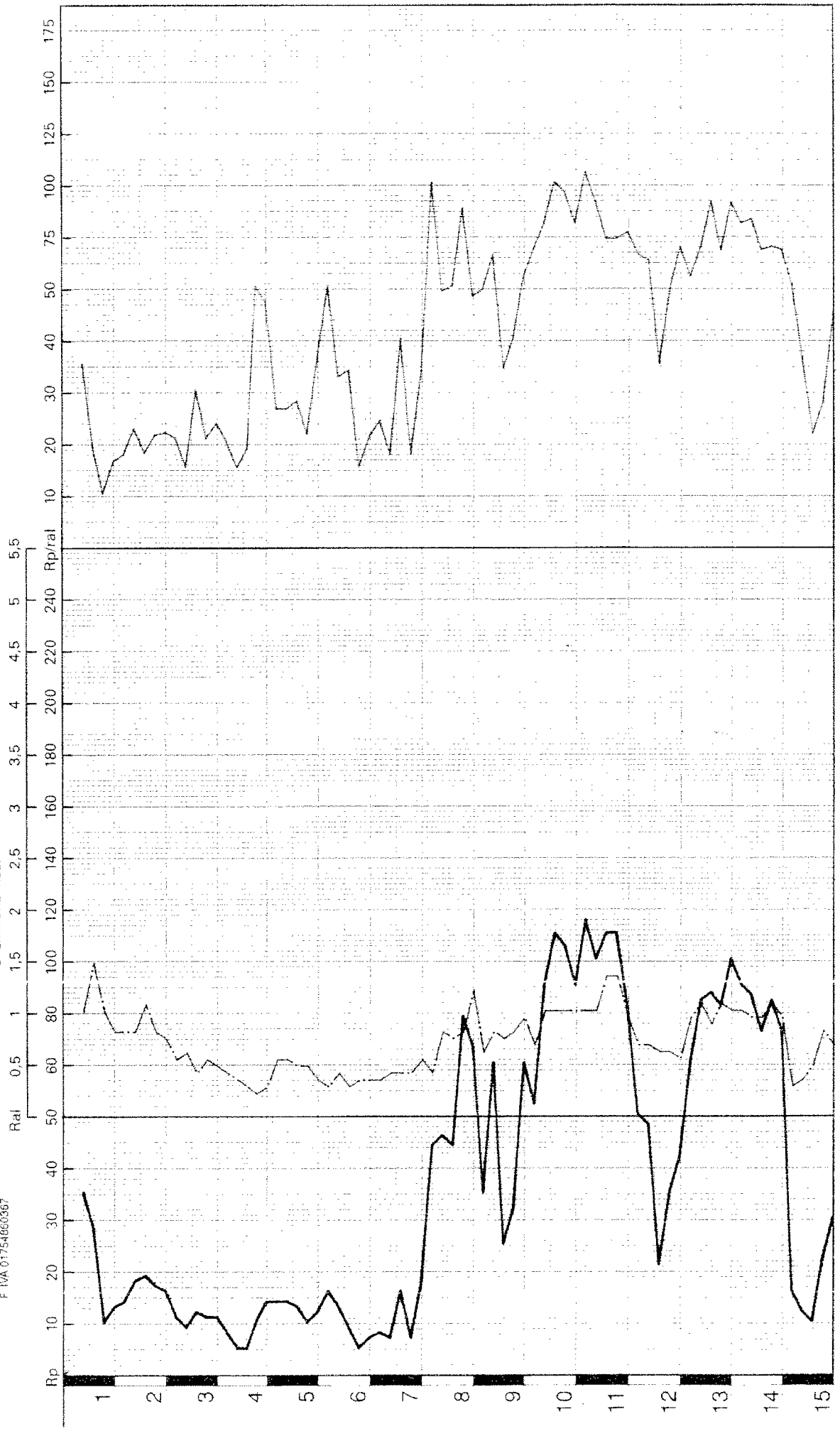
Diagramma prova penetrometrica statica
COMMITTENTE: **IMM. CLELIA-BELARDI-PEDRONI-**
CANTIERE: **V.S. Martino Carano-MIRANDOLA**
DATA PROVA: **19 - 06 - 2003**

— Rp resistenza di punta (Kg/cmq)
— Ral resistenza attrito laterale (Kg/cmq)
— Rp/Ral rapporto Begemann

N° **12**

H20 - 2.20 m. da p.c.

C.P.T.





ROGETTD

di Paolo Cestari & C.
Sede legale: Via Duca d'Este, 6
41036 MEDOLLA (MO)
Tel. 0535.47170
E-mail: soc.geoprogetti@libero.it
P.IVA 0175480367

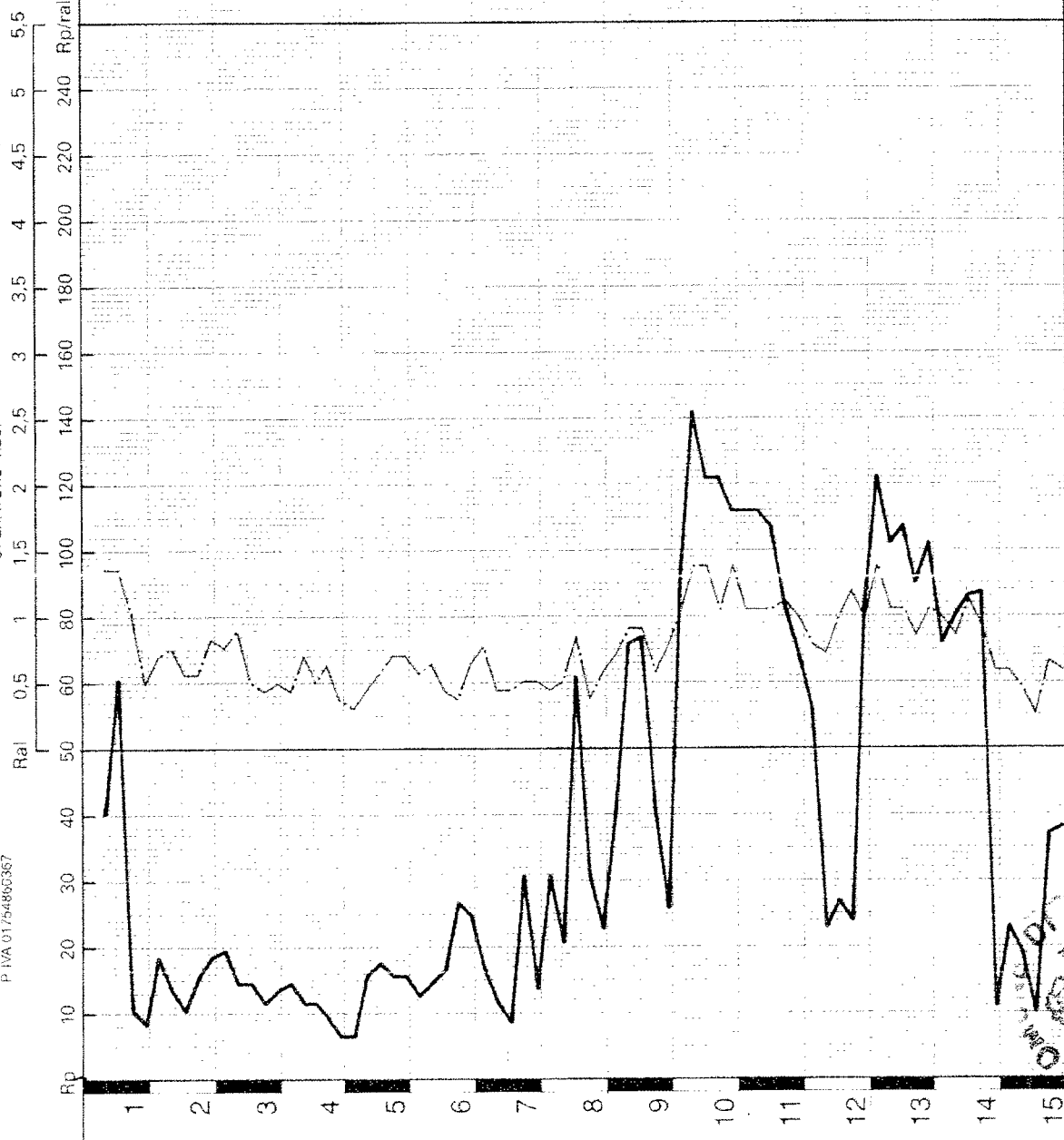
Diagramma prova penetrometrica statica
COMMITTENTE: **IMM.CLELIA-BELARDI-PEDRONI**
CANTIERE: **V.S.Martino Carano-MIRANDOLA**
DATA PROVA: **19 - 06 - 2003**

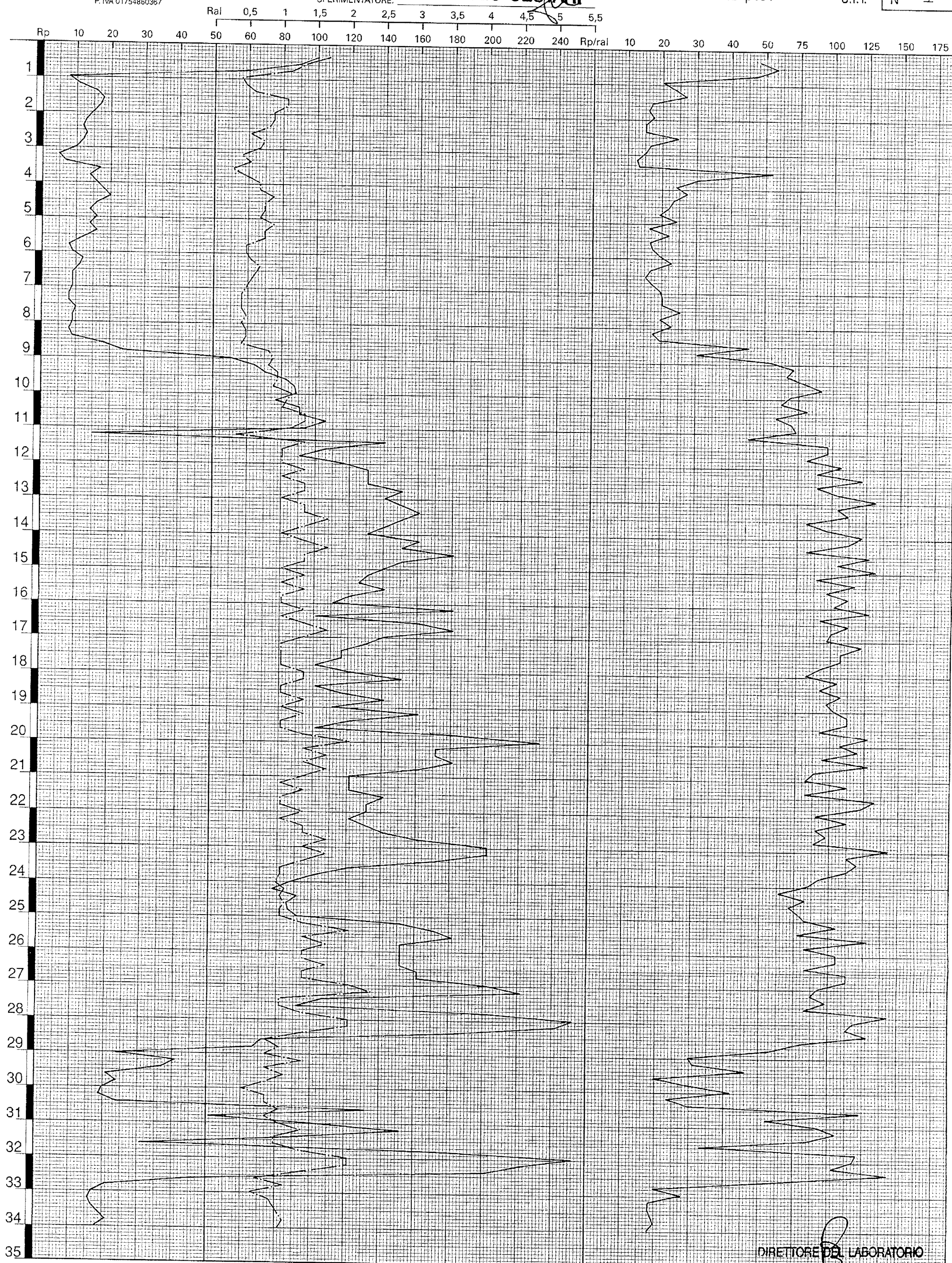
— Rp resistenza di punta (Kg/cmq)
- - - Ral resistenza attrito laterale (Kg/cmq)
- - - Rp/Ral rapporto Begemann

C.P.T.

H20 - 2.20 m. da p.c.

N° 13





**SINTESI STRATIGRAFICA DEI RISULTATI DELLE INDAGINI CPT ESEGUITE NEL 1999 PER LA
VARIANTE AL P.R.G. DEL COMUNE DI MIRANDOLA**

AREA DI VARIANTE N. 18							
Zona di MIRANDOLA OVEST					Destinazione d'uso: Zona residenziale		
PROVA N. 2							
Profondità da m a m		Rp min. Kg/cmq	Rp med. Kg/cmq	Rp max Kg/cmq	Cu Kg/cmq	E med. Kg/cmq	Stratigrafia Tipo
0	0.6	/	/	/	/	/	Terreno agrario
0.6	3	10	12	14	0.57	44	Argille
3	6.8	8	12	28	0.57	44	Argille limose
6.8	10	38	120	260	4	260	Sabbie
		Acqua = -3 m					

AREA DI VARIANTE N. 18							
Zona di MIRANDOLA OVEST					Destinazione d'uso: Zona residenziale		
PROVA N. 3							
Profondità da m a m		Rp min. Kg/cmq	Rp med. Kg/cmq	Rp max Kg/cmq	Cu Kg/cmq	E med. Kg/cmq	Stratigrafia Tipo
0	0.6	/	/	/	/	/	Terreno agrario
0.6	3.2	8	12	14	0.4	36	Argille
3.2	7	8	10	16	0.5	40	Argille limose
7	10	26	120	200	4	260	Sabbie
		Acqua = -3.4 m					