



**StudioTondi**

Via P.G. Martini n° 38/F  
40134 Bologna  
Tel. - Fax: +39 051 6144617  
Mob: +39 339 2587461  
[www.studio-tondi.it](http://www.studio-tondi.it) - [luca@studio-tondi.it](mailto:luca@studio-tondi.it)

## **COMUNE DI BOLOGNA**

**PROVINCIA DI BOLOGNA**

**PRESENTAZIONE DI MANIFESTAZIONI DI INTERESSE  
PREORDINATE ALL'INSERIMENTO PIANO OPERATIVO  
COMUNALE PER LA LOCALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI DI  
DISTRIBUZIONE CARBURANTI AD USO PUBBLICO IN VIA  
MATTEI**

## **STUDIO GEOLOGICO-SISMICO APPROFONDIMENTO DI III LIVELLO**

**Redazione**

**DOTT. GEOLOGO LUCA TONDI**



**BOLOGNA – luglio 2017**



<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>MORFOLOGIA E GEOLOGIA .....</b>	<b>1</b>
<b>INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA.....</b>	<b>1</b>
• <i>PROVE PENETROMETRICHE STATICHE C.P.T.</i> .....	1
<b>CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE .....</b>	<b>2</b>
<b>INDAGINI SISMICHE.....</b>	<b>3</b>
<i>ESECUZIONE DI MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE</i> .....	3
<i>GENERALITÀ SULLA TECNICA DI NAKAMURA</i> .....	3
<i>STRATIGRAFIA SISMICA</i> .....	4
<b>INQUADRAMENTO SISMICO E TETTONICO .....</b>	<b>5</b>
• <b>INQUADRAMENTO TETTONICO (DA PSC)</b> .....	5
• <b>ZONE E SORGENTI SISMOGENETICHE</b> .....	7
<b>INQUADRAMENTO SISMICO LOCALE.....</b>	<b>8</b>
• <b>STORIA SISMICA DELL'AREA</b> .....	8
• <b>CLASSIFICAZIONE SISMICA SECONDO L'O.P.C.M. N° 3274 DEL 20 MARZO 2003</b> .....	10
• <b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b> .....	10
<b>SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....</b>	<b>10</b>
<b>STUDIO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>11</b>
• <b>PROFILO SISMICO</b> .....	11
• <b>CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE</b> .....	12
<i>FUNZIONE DI TRASFERIMENTO</i> .....	13
<i>SPETTRO DI RISPOSTA DEL SITO</i> .....	14
• <b>FATTORI DI AMPLIFICAZIONE</b> .....	16
<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>16</b>

ALLEGATI A FINE TESTO

## **PREMESSA**

A seguito di incarico professionale ricevuto è stata effettuata un'indagine geologica-sismica su terreno sito in Comune di Bologna, in via Mattei.

Scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire il modello geologico e sismico del comparto eseguendo inoltre un approfondimento di III livello con studio della R.S.L.. Questo in relazione alla manifestazioni di interesse preordinate all'inserimento Piano Operativo comunale per la localizzazione degli impianti di distribuzione carburanti ad uso pubblico.

Le indagini sono state realizzate attraverso sopralluoghi atti a riconoscere il quadro geologico generale e sono proseguite mediante l'esecuzione di n° 2 prova penetrometrica statica C.P.T. (cone penetration test), s.; inoltre si è proceduto alla realizzazione di una misura di sismica passiva a stazione singola per mezzo di tromografo digitale, per inquadrare la zona dal punto di vista sismico. In ultimo, si è proceduto con la consultazione del materiale utile reso disponibile dal Comune, dalla provincia e dalla Regione (Cartografia geologica ed ortofoto con CTR).

Lo studio è stato svolto come previsto secondo il D.a.L. 112/2007 e aggiornamenti seguenti (D.G.R. 2193/2015), per la valutazione della pericolosità sismica del sito

## **MORFOLOGIA E GEOLOGIA**

L'area in cui ricade l'intervento in oggetto, inserita nella C.T.R. n. 221052, ad una quota di circa 49 m s.l.m. ed è caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante con bassi gradienti topografici. Si trova ubicata in sinistra idrografica del Torrente Savena, all'interno della zona industriale posta ad E rispetto al centro della città di Bologna, che dista circa 4,6 Km.

I terreni del primo sottosuolo sono rappresentati da materiali continentali di età quaternaria, costituiti in prevalenza da litologie sabbiose e limoso-sabbiose presenti in banchi e/o lenti, con intercalazioni di litologie più sottili quali limi e limi argillosi.

Tali processi sedimentari hanno modellato l'assetto morfologico della pianura alluvionale, differenziando le diverse forme deposizionali a seconda dei diversi ambienti sedimentari: dossi allungati in leggero rilievo, corrispondenti agli argini e/o a paleo-alvei del fiume; vaste bassure argillose e paludose, corrispondenti alle aree di decantazione delle piene. Quando i suddetti materiali alluvionali traboccavano dal letto ordinario, si espandevano ai lati di esso, perdendo in velocità e perciò abbandonando il loro carico: i detriti più grossolani si arrestavano ai lati del letto, quelli più fini invece arrivavano in sospensione anche nelle bassure più distanti; gli stessi processi sedimentari, inoltre, hanno colmato i paleoalvei di canali ora abbandonati, con materiali a granulometria decrescente dal basso verso l'alto.

In particolare la zona in esame ricade nella parte mediana del conoide relativo al corso d'acqua del Savena che, durante le diverse fasi deposizionali dovute alle deviazioni del corso d'acqua, ha determinato l'accumulo dei litotipi sopra descritti, con spessori di parecchie decine di metri.

Da quel che si evince dalla lettura della Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna (a cura di R.E.R. – Servizio Sistemi Informativi Geografici – Ufficio Geologico - scala 1:250.000) l'area è inserita in corrispondenza di *"Sabbie, limi sabbiosi e limi, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo"* (vedi Tav. 3).

## **INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA**

### **• Prove penetrometriche statiche C.P.T.**

Le indagini sono state ubicate in modo da essere rappresentativa per la zona indagata (per l'ubicazione indagini vedi Tav. 4).

Le prove sono state eseguite con apparecchiatura statica di tipo "Gouda" (SP120C "Deep-Drill") dotata di punta standard tipo Begemann (punta conica con angolo di apertura di 60° ed una sezione di 10 cm<sup>2</sup>) e del manicotto di frizione "Friction Jacket", per la misura della resistenza di attrito laterale locale. I valori ottenuti sono riportati nei diagrammi a fine testo dove figurano:

1. La curva di resistenza alla punta **qc** che si riferisce ai valori della resistenza offerta dal terreno all' avanzamento della punta conica.
2. La curva **fs** che si riferisce alla resistenza di attrito locale misurata mediante il manicotto di frizione.

Dai risultati si può risalire alla litologia dei terreni attraversati secondo la teoria di Begemann in base ai rapporti tra **qc** e **fs** (vedi tabelle allegate a fine testo).

Dall'elaborazione dei dati ottenuti si è estrapolata la seguente stratigrafia:

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO				
Unità litostrat.	Litologia	Id. Prova	Profondità (m dal p.c.)	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>T/R</b>	Terreno rimaneggiato, con detriti di materiale antropico nella parte superficiale. Terreno sovraconsolidato per essiccamento	CPT1	0,0 ÷ -1,0	40 ÷ 72
		CPT2	0,0 ÷ -1,0	39 ÷ 78
<b>A</b>	Limi argillosi ed argille limose con livelli di limi sabbiosi e sabbie in subordine (più frequenti nella C.P.T. 2)	CPT1	1,0 ÷ -5.6	24÷ 50
		CPT2	1,0 ÷ - 5.4	21÷ 56
<b>B</b>	Sabbie e sabbie ghiaiose addensate che diventano impenetrabili dalla strumentazione adoperata. Presenza di rari livelli di limi sabbiosi	CPT1	5.6 ÷ -6.8	44 ÷ >600
		CPT2	5.4÷ -14.40	27 ÷ >800

Tabella 1: interpretazione prove penetrometriche statiche (CPT).

Dall'elaborazione delle indagini si è riscontrata in superficie la presenza di terreno rimaneggiato/riporto sovraconsolidato Oltre, fino a circa – 5.5 m dal p.c., sono presenti prevalentemente limi e argille mediamente consistenti. A quote inferiori si è riscontrata la presenza di sabbie e ghiaie che diventano impenetrabili dalla strumentazione adoperata.

## **CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE**

Nei fori di sondaggio è stata effettuata un'apposita misura del livello piezometrico mediante freatimetro, ottenendo i seguenti risultati:

MISURA DEL LIVELLO DI FALDA		
Posizione	Data	Livello da p.c. (m)
<b>CPT1</b>	06-07-2017	assente
<b>CPT2</b>	06-07-2017	assente

Tabella 2: misurazione dei livelli idrici all'interno dei fori d'indagine.

Nei fori di prova non è stata riscontrata la presenza della falda per le profondità investigate (-14.40 m dal p.c.). Tale situazione è in accordo con quanto riportato sulle carte idrogeologiche a corredo del PSC dove nella zona la falda libera Sup. 4 viene segnalata a circa – 16 m dal p.c..

## **INDAGINI SISMICHE**

### ***Esecuzione di misure di rumore sismico ambientale***

Per le misure è stato utilizzato un tromografo digitale portatile (TROMINO), progettato specificamente per la registrazione del rumore sismico ambientale. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, e permette la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz.

In sintesi, dopo che il segnale dei tre velocimetri è stato acquisito, per un determinato tempo  $t$ , e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

- divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
- depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
- "taper" con una finestra di Bartlett;
- "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
- calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- smoothing (lisciamento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;
- calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

### ***Generalità sulla tecnica di Nakamura***

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole ( $10^{-15}$  (m/s<sup>2</sup>) in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica di Nakamura dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

I primi studi furono effettuati da Kanai (1957) in seguito aggiornati e modificati da vari autori per ottenere informazioni dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e poi da Nakamura (1989), per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Su questo punto

non è però ancora stato raggiunto consenso, sebbene sia ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, informazione che è comunque di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

-) quelle orizzontali di superficie ( $H_s$ ) e quelle orizzontali al bedrock ( $H_b$ );

-) quelle verticali di superficie ( $V_s$ ) e quelle verticali al bedrock ( $V_b$ ).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori  $A_s(\omega)$  (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = V_s(\omega) / V_b(\omega) \quad (1)$$

in cui  $V_s(\omega)$  e  $V_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale  $Se(\omega)$ :

$$Se(\omega) = H_s(\omega) / H_b(\omega) \quad (2)$$

dove  $H_s(\omega)$  e  $H_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Per compensare l'effetto di sito  $Se(\omega)$  dallo spettro di sorgente  $A_s(\omega)$  viene calcolato il rapporto spettrale modificato  $Sm(\omega)$  come:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / A_s(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse  $H_b(\omega)/V_b(\omega) = 1$ , basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato  $Sm(\omega)$  è descritto da:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / A_s(\omega) = H_s(\omega)/V_s(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati.

### **Stratigrafia sismica**

Le misure di microtremori vengono anche utilizzate per valutazioni stratigrafiche o, alternativamente, di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

Nel caso ideale di un sottosuolo formato da due soli strati (la copertura (1) ed il bedrock (2)), separati da una superficie orizzontale e distinguibili per un diverso valore di impedenza sismica, ovvero per differenti densità e/o velocità delle onde sismiche, un'onda che viaggia nel mezzo (1) viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze di oscillazione (condizione di risonanza), quando la sua lunghezza d'onda  $\lambda$  è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza  $f_r$  della copertura (mezzo (1)), relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1} / (4 h) \quad (5)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1} / (4 h) \quad (6)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati alle varie profondità. Questo, insieme ad una stima degli spessori degli strati, che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sulle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il problema principale di questa visione è che i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. Essi sono costituiti in misura molto maggiore da onde superficiali e in particolare da onde di Rayleigh, tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte dall'interferenza costruttiva di queste ultime.

Per affinare il risultato interpretativo in termini di sismostrati si procede creando curve sintetiche H/V simulando il campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in Aki (1964)<sup>1</sup> e Ben-Menahem e Singh (1981)<sup>2</sup>. Il modello, opportunamente applicato, può essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 metri di profondità<sup>3</sup>.

## **INQUADRAMENTO SISMICO E TETTONICO**

### **• Inquadramento tettonico (da PSC)**

Nel territorio comunale di Bologna si distinguono nettamente diverse zone caratterizzate da differenti assetti topografici, stratigrafici e morfologici: area pedeappenninica che comprende la zona dei "colli bolognesi"; area di alta pianura, caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali appartenenti alle conoidi dei fiumi e torrenti appenninici; area appenninica più francamente montana, che lambisce marginalmente il territorio.

Dal punto di vista sismico dell'area di maggiore interesse, tralasciando la parte appenninica, è individuata nella fascia pedeappenninica. In questo settore si realizza la sovrapposizione di terreni appartenenti alla successione neoautoctona emiliana su formazioni caotiche dando luogo a due strutture tettoniche principali:

- La sinclinale intrappenninica (Fig.1 – 1). È dislocata nei circa 40 km compresi tra le valli del Panaro e dell'Idice, presenta un orientamento NO/SE, ed è caratterizzato da terreni del Pliocene medio-superiore che evolvono gradualmente, verso l'alto, in depositi continentali costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie.
- L'anticlinale di Monte Capra - San Luca - Monte Calvo (Fig.1 – 2). Elemento di separazione tra la sinclinale intrappenninica e la grande depressione padana, difficilmente individuabile a causa della presenza di abbondanti depositi caotici e per il raddrizzamento del fianco settentrionale.

L'area di alta pianura è costituita da una stretta fascia di alluvioni prevalentemente ghiaiose e sabbiose deposte dai sistemi fluviali allo sbocco in pianura sulle sabbie gialle pleistoceniche in giacitura monoclinale con direzione di immersione orientata N-NE.

L'area di pianura presenta potenti accumuli alluvionali Quaternari. Le alluvioni sono collegate con strutture plicative sottostanti interessate da sistemi di faglia:

- Anticlinale di Anzola (Fig.1 – 3). Segue all'incirca parallelamente la Via Emilia, ma entra solo molto marginalmente nell'area di Bologna;

---

<sup>1</sup> Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665-666

<sup>2</sup> Ben-Menahem A. e Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York

<sup>3</sup> Castellaro S., 2007. Un'introduzione all'inversione teorica delle curve H/V a fini stratigrafici. Micromed s.p.a.

- Sinclinale di Sala Bolognese – Castel Maggiore – Granarolo (Fig.1 – 4). Grande depressione quasi completamente colmata dalle alluvioni in accumulo sui sedimenti marini plio-pleistocenici, si sviluppa secondo due direttrici, uno ad andamento tipicamente appenninico che si dirige verso Castenaso, l'altra orientata E-O in direzione Budrio dove incontra l'Anticlinale di Budrio – Imola in leggero sollevamento.
- Anticlinale di Budrio – Imola (Fig.1 – 5). Si tratta di un rilievo posto in profondità estremamente fagliato nella parte nordorientale;
- Allontanandosi dall'area di studio in direzione E ed ENE si possono riconoscere ulteriori strutture di notevole importanza ai fini tettonici:
- Anticlinale di Selva – Lugo (Fig.1 – 6). Struttura particolarmente estesa che presenta leggere ondulazioni riconducibili probabilmente a sollecitazioni generate da sistemi di pieghe e faglie profonde poste al substrato;
- Sinclinale di Conselice (Fig.1 – 7). Struttura plicativa molto simile a quella descritta come anticlinale di Selva – Lugo anche per quanto riguarda l'orientamento e l'estensione, presentando però una dislocazione inversa nel substrato;
- Anticlinale di Argenta – Alfonsine (Fig.1 – 8). Piegia sepolta parallela alle precedenti, ubicata al margine NE dell'area di pianura, il suo innalzamento ha determinato sensibili effetti sui depositi quaternari, riveste un discreto interesse geologico per la presenza di idrocarburi.

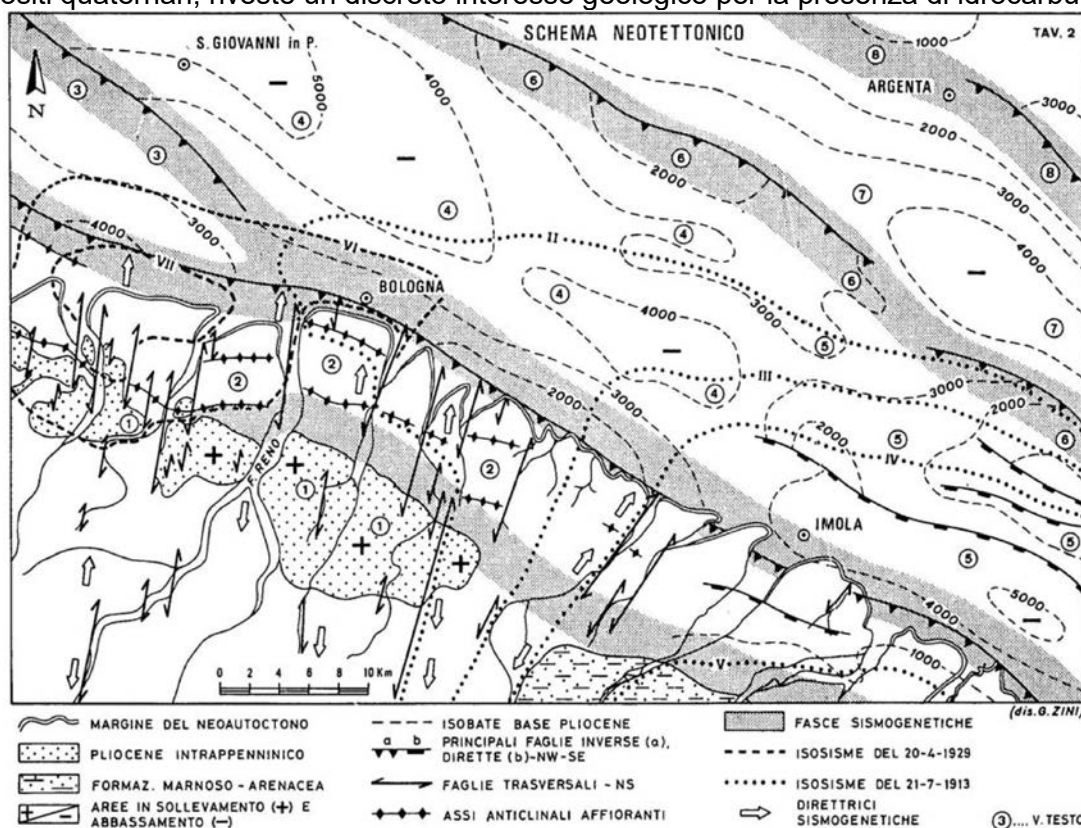


Fig. 1 – Schema neotettonico dell'area bolognese (G. Carloni, F. Franchivilla, R. Zecchi, 1978).

- In termini neotettonici le più significative dislocazioni sono senza dubbio la faglia pedeappenninica e le faglie orientate in direzione N-S del margine padano.



- Faglia pedeappenninica – è un lineamento tettonico che assume scala regionale in quanto si sviluppa attraverso Bazzano, Bologna, Castel S. Pietro, Imola e Faenza rappresentando l'elemento di separazione fra il margine appenninico e la pianura Padana. Nell'area pianeggiante si sono poi distinti ulteriori dislocazioni e strutture plicative che accompagnano l'approfondimento dei terreni appenninici.
- Faglie N-S del margine padano. Prosecuzione in territorio pianeggiante del sistema di faglie a rigetto prevalentemente orizzontale che caratterizza gli assi vallivi dei fiumi Reno, Savena ed Idice. È un complesso di faglie a rigetto molto contenuto orientale in modo variabile ma prevalentemente influenzate dall'andamento generale dell'arco appenninico orientato in direzione NO-SE nel tratto a S di Bologna.

Nel complesso si può sottolineare che il margine padano dell'Appennino bolognese presenta un sollevamento recente testimoniato sia dai lineamenti dislocati in direzione N-S, responsabili dei moti disgiunti trasversali nonché della frastagliatura del margine padano. Da sottolineare che la distribuzione degli epicentri dei terremoti si raccorda coerentemente con le strutture sepolte della pianura.

### • Zone e sorgenti sismogenetiche

Dalla consultazione della on line della mappa sismogenetica (zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche DISS 3) si evince che buona parte del comune oggetto di studio ricade al di sopra della zona ITCS047 Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme e nelle immediate vicinanze della sorgente ITIS091 – Casalecchio di Reno; di seguito vengono riportate l'ubicazione e le informazioni riguardo le caratteristiche fisico/sismiche di tali zone:

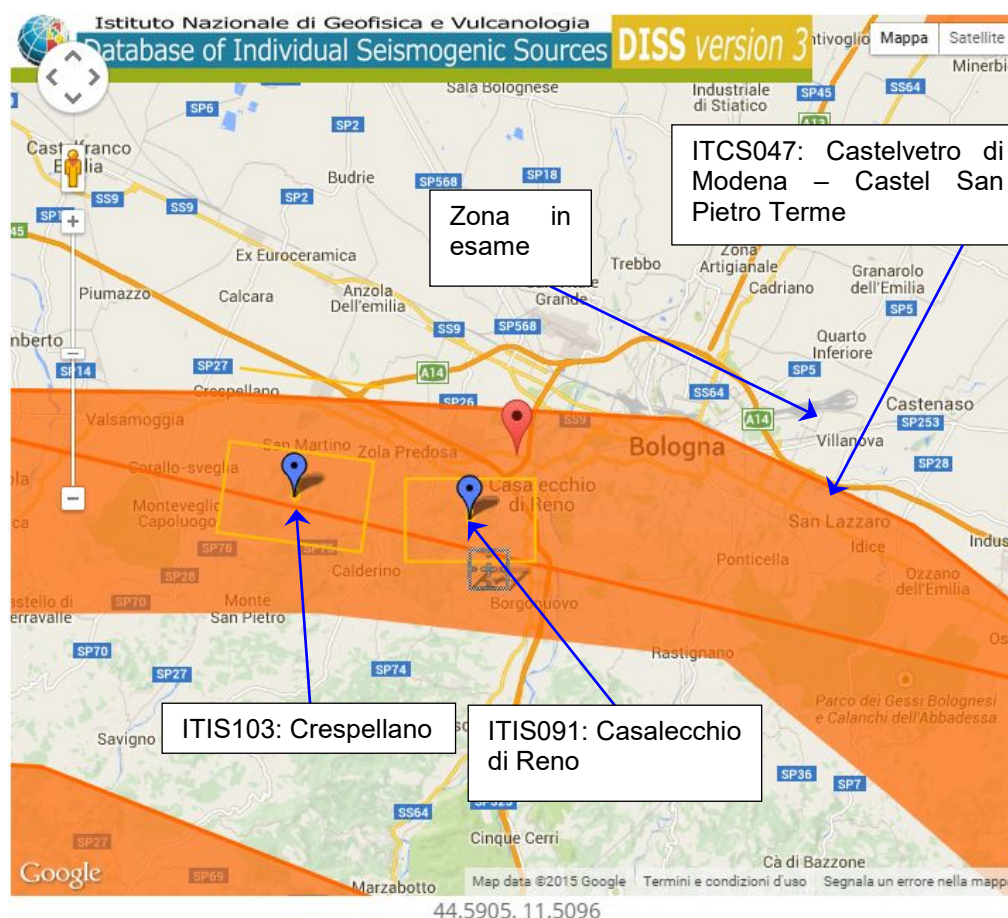


Fig. 2 - Mappa delle zone e sorgenti sismogenetiche collocate nell'intorno del comune di Bologna.

## **INQUADRAMENTO SISMICO LOCALE**

### **• Storia sismica dell'area**

Dalla consultazione della mappa interattiva dei sismi storici (dal 217 A.C – 2002, tratto da "Portale Abruzzo"), si evince che il comune oggetto di studio non è stato interessato storicamente da terremoti di alta intensità.

Dall'elenco dei terremoti storici tratto da Portale Abruzzo, si deduce che tra gli eventi sismici più importanti, avvenuti in un raggio di 30 km dalla zona oggetto di studio, il terremoto più significativo è avvenuto nel comune di Monteveglio nel 1929, dove si sono avute magnitudo di 5,55 maw, ad una distanza di circa 13 km.

Passando all'analisi della situazione sismica recente (2009-2013), il terremoto più significativo, nello stesso intorno, si è verificato a circa 20 km dal comune oggetto di studio, con magnitudo di 3,8, nel maggio 2012. Di seguito sono riportate le mappe dei terremoti storici e di quelli attuali ed i rispettivi elenchi dei principali eventi sismici, con relativa data, magnitudo, zona epicentrale e distanza di quest'ultima dal comune in cui ricade l'intervento in progetto.

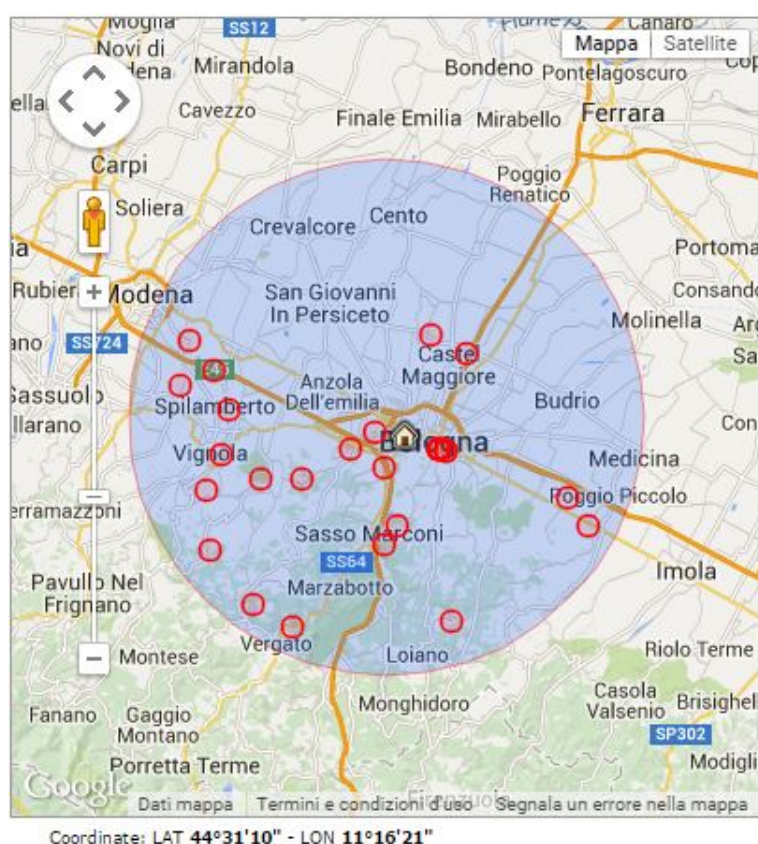


Fig. 4 - Mappa delle zone epicentrali storiche nel raggio di 30 km dal comune di Bologna, tratto da Portale Abruzzo.

raggio 30 km			
data	MAG	zona	dist. in km
1) 01/10/1967	4,52	Castelnuovo Rangone	26,10
2) 26/05/1966	4,83	Zola Predosa	6,14
3) 27/08/1957	5,06	Guiglia	26,14
4) 29/10/1951	4,6	Marano sul Panaro	23,50
5) 18/09/1934	4,5	Vignola	20,84
6) 10/06/1931	4,84	Spilamberto	20,08
7) 20/04/1929	5,55	Monteveglia	12,57
8) 08/03/1889	4,83	Zola Predosa	2,82
9) 24/01/1881	5,14	Monterenzio	23,02
10) 12/03/1878	4,83	Castel San Pietro Terme	24,64
11) 25/06/1869	5,32	Vergato	26,01
12) 15/03/1864	5,03	Zocca	26,44
13) 18/09/1850	4,83	Modena	26,53
14) 04/10/1834	4,63	Castel Maggiore	11,83
15) 08/10/1801	4,63	Bologna	5,86
16) 06/02/1780	4,85	Argelato	11,80
17) 04/06/1779	4,97	Ozzano dell'Emilia	21,10
18) 14/04/1666	4,83	Bologna	5,26
19) 12/01/1586	4,83	San Cesario sul Panaro	22,72
20) 15/05/1505	4,63	Bologna	5,86
21) 03/01/1505	5,47	Casalecchio di Reno	4,74
22) 20/12/1455	5,18	Sasso Marconi	11,06
23) 06/02/1455	5,37	Sasso Marconi	13,40
24) 04/05/1433	5,03	Bologna	5,05
25) 20/07/1399	5,4	Monteveglia	16,98
26) 25/07/1365	5,03	Bologna	5,05
27) 25/02/1323	4,63	Bologna	5,05

Fig. 5 - Elenco dei terremoti storici nel raggio di 30 km dal comune di Bologna, tratto da Portale Abruzzo.



Fig. 6 - Mappa delle zone epicentrali recenti nel raggio di 30 km dal comune di Bologna, tratto da Portale Abruzzo.



raggio 30 km			
data ora UTC	MAG	distretto	dist. in km
1) 29/05/2012 11.10.37	3,8	Emilia Romagna	19,55
2) 06/12/2010 2.48.24	3	Emilia Romagna	29,40
3) 05/12/2010 8.17.01	3,2	Emilia Romagna	26,69
4) 16/09/2010 6.20.32	3,1	Emilia Romagna	26,56
5) 30/05/2010 16.10.41	3,2	Emilia Romagna	21,39

Fig. 7 - Elenco dei terremoti recenti nel raggio di 30 km dal comune di Bologna, tratto da Portale Abruzzo.

### • **Classificazione sismica secondo l'O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003**

Secondo la classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n° 3274, il Comune di Argelato viene classificato in Zona 3.

### • **Categoria topografica**

Visto il contesto geologico e morfologico dell'area, come coefficiente per gli effetti di amplificazione topografica, si potrà far riferimento ad una categoria T1, che esprime la sostanziale assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fattori topografici.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3: categorie topografiche individuate in normativa e relativa descrizione.

## **SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**

In condizioni sismiche, il termine "liquefazione" comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono collegati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una riduzione della tensione media efficace presente nel terreno e, quindi, una riduzione della resistenza a taglio. La riduzione della resistenza può rappresentare solo una condizione temporanea, seguita da un successivo recupero, o può indurre nel terreno una condizione di collasso generalizzata e definitiva.

L'avvenuta liquefazione si manifesta, in condizioni di *free-field* (cioè in assenza di manufatti sulla superficie del deposito), attraverso la formazione di vulcanelli di sabbia, rotture o spostamenti laterali del terreno, ovvero in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

Durante l'evento sismico, se la superficie del piano campagna è orizzontale questo può subire oscillazioni di grande ampiezza. Al termine della sollecitazione, la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e il conseguente riassetto dei grani possono dar luogo a fenomeni di subsidenza. I fattori principali che rendono i terreni suscettibili alla liquefazione sono legati alle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche del territorio.

In base alla normativa vigente la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Nel caso in esame, vista l'assenza della falda nei primi 16 m di profondità, non sussistono le condizioni per cui si verifichino fenomeni di liquefazione in caso di sisma.

## **STUDIO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

### • **Profilo sismico**

Nella tabella e nel grafico seguenti vengono riportati gli strati sismici con le relative velocità delle onde s ricavate dall'indagine geofisica eseguita.

Profondità [m]	Strati sismici	$V_s$ [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	110	0.45
5.60	5.00	200	0.42
10.60	5.00	320	0.40
55.60	45.00	370	0.38
165.60	110.00	550	0.34
inf.	inf.	800	0.30

Tabella 6: sismostratigrafia ottenuta dall'inversione della misura sismica HVSR.

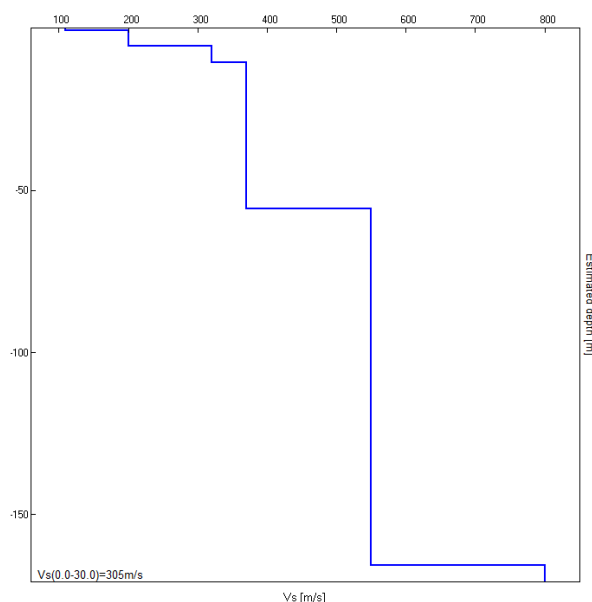


Figura 8: profilo sismico di  $V_s$  del sito.

- **Calcolo della risposta sismica locale**

La Regione Emilia Romagna per studi di risposta sismica locale, nell'ambito della microzonazione sismica con livello di approfondimento III, ha elaborato e reso disponibili per ogni comune un set di tre accelerogrammi di riferimento. Tali accelerogrammi sono resi disponibili già scalati e definiti per uno spettro con vita nominale ( $V_n$ ) pari a 50 anni e classe d'uso dell'opera II (con coefficiente d'uso del valore di 1,0).

Di seguito sono riportati i 3 accelerogrammi non scalati di riferimento utilizzati per l'analisi numerica.

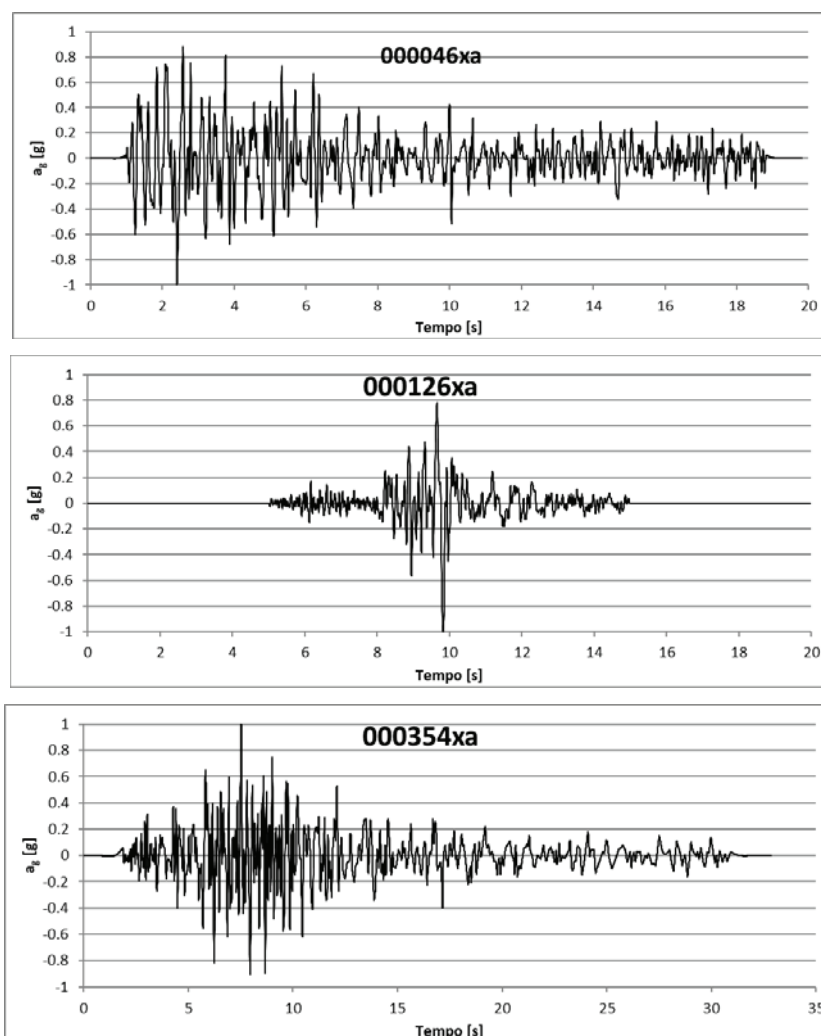


Figura 9: Tre segnali si input non scalati forniti dalla Regione Emilia Romagna.

Una volta definiti i segnali di input, opportunamente scalati al valore  $a_g$  di riferimento per il sito (0,171 g), è stato inserito il modello fisico-meccanico e sismico del sottosuolo (1-d) fino alla profondità del bedrock sismico. A tal fine, utilizzando i dati ottenuti dalle indagini compiute nel sito, è possibile definire nel programma le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali di riferimento per la ricostruzione del profilo del sito. In particolare sono associati a ciascuna litologia il peso di volume del materiale e le curve di degrado ( $g/g_{max}$  in funzione dello sforzo di taglio [%]) e di smorzamento (damping ratio [%] in funzione dello sforzo di taglio [%]). I valori utilizzati per il sito derivano da apposite curve riportate in bibliografia (Idriss (1990) per Sabbie e Argille). Al bedrock sismico (ultimo strato del profilo sismico) viene riferito un valore di smorzamento pari a 1,0%.

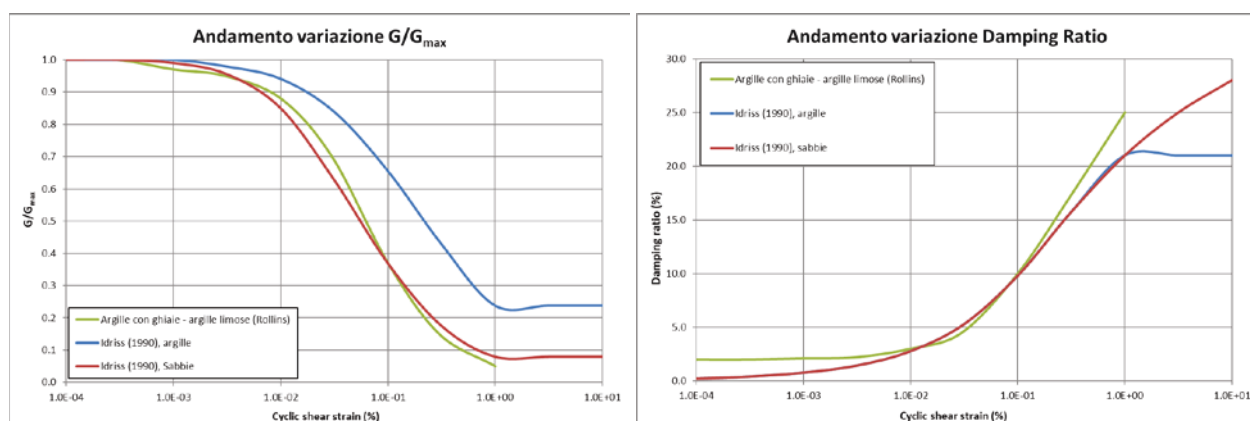


Figura 10: grafici delle curve di degrado e di smorzamento dei materiali presenti nel sito

I parametri che caratterizzano i materiali sono stati attribuiti agli strati definiti nel profilo sismico, così come ricavato dall'indagine geofisica. Di seguito viene riportato il modello di sottosuolo utilizzato per il sito.

Strati sismici	Profondità [m]	Vs [m/s]	Materiali	Peso unità di volume [kn/m <sup>3</sup> ]	Curva di degrado	Curva di smorzamento
1	0.60	110	Terreno di riporto	18,50	Argille con ghiaie e argille limose (Rollins)	Argille con ghiaie e argille limose (Rollins)
2	5.00	200	Argille	18,00	Idriss (1990) argille	Idriss (1990) argille
3	5.00	320	Sabbie	18,50	Idriss (1990) sabbie	Idriss (1990) sabbie
4	45.00	370	Argille	19,50	Idriss (1990) argille	Idriss (1990) argille
5	110.00	550	Sabbie	20,00	Idriss (1990) sabbie	Idriss (1990) sabbie
6	inf.	800	Bedrock sismico	22,00	-	1,0%

Tabella 7 – modello sismostratigrafico del sito.

### Funzione di trasferimento

Nella figura 4 è riportata la funzione di trasferimento per ogni segnale ed il valore medio nel campo delle frequenze che corrisponde al rapporto tra lo spettro del moto sismico atteso in superficie e lo spettro della sollecitazione in corrispondenza del bedrock sismico.

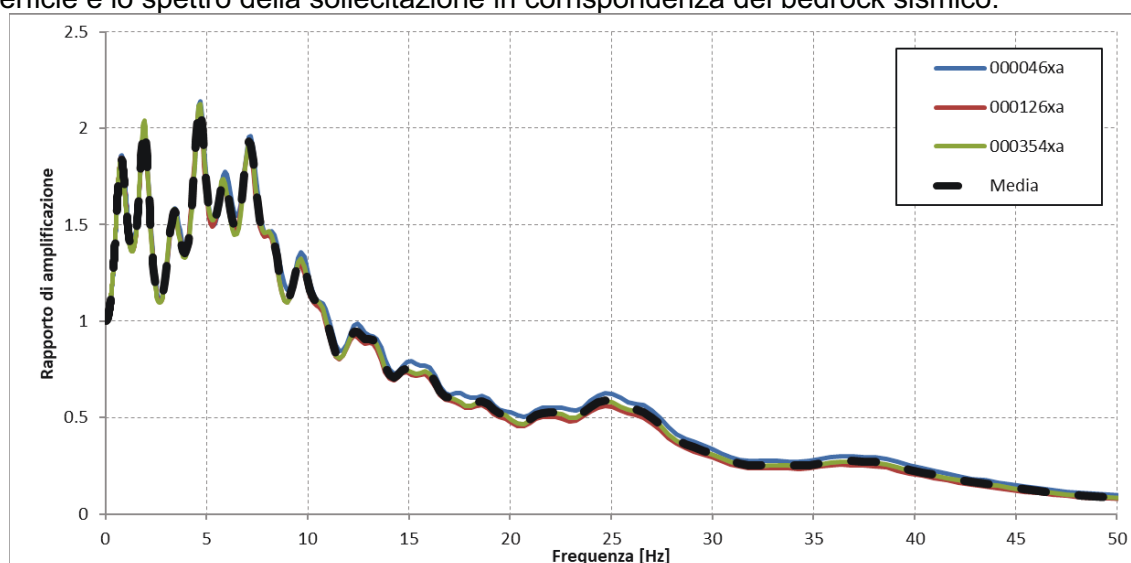


Fig 11 - funzione di trasferimento (rapporto tra lo spettro del moto in superficie ed al bedrock)

### Spettro di risposta del sito

Nella figura 12 sono riportati gli spettri di risposta in accelerazione relativi ai 3 sismi, così come ottenuti dall'elaborazione numerica.

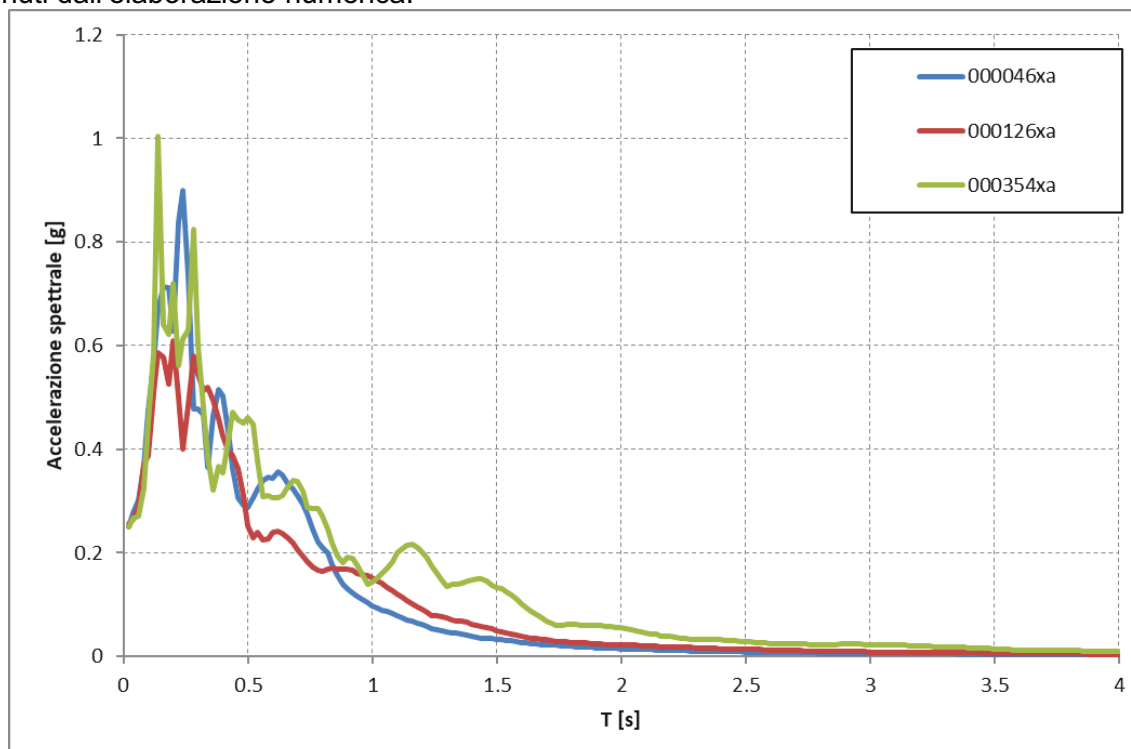


Fig 12 –spettri di risposta calcolati a partire dai 3 sismi di riferimento.

Alla luce di quanto emerso dall'elaborazione numerica dei 3 sismi, si ritiene che la curva dei valori medi costituisca una buona rappresentazione della curva di risposta sismica locale attesa per il sito.

Nella tabella 9 vengono riportate le coordinate numeriche dello spettro di risposta medio ottenuto.

T	Media	T	Media	T	Media	T	Media	T	Media
0.02	0.252405	0.82	0.201871	1.62	0.044917	2.42	0.016252	3.22	0.008975
0.04	0.2695	0.84	0.187199	1.64	0.042376	2.44	0.015949	3.24	0.008856
0.06	0.287323	0.86	0.171658	1.66	0.040153	2.46	0.015634	3.26	0.008741
0.08	0.354866	0.88	0.162319	1.68	0.038202	2.48	0.015316	3.28	0.008676
0.1	0.437167	0.9	0.161457	1.7	0.036421	2.5	0.015	3.3	0.008615
0.12	0.552796	0.92	0.15672	1.72	0.034788	2.52	0.014684	3.32	0.008547
0.14	0.733566	0.94	0.149037	1.74	0.033385	2.54	0.014362	3.34	0.008469
0.16	0.641316	0.96	0.140408	1.76	0.032991	2.56	0.014035	3.36	0.008375
0.18	0.615061	0.98	0.131255	1.78	0.032516	2.58	0.013712	3.38	0.008259
0.2	0.650633	1	0.128347	1.8	0.031939	2.6	0.013409	3.4	0.008118
0.22	0.617465	1.02	0.127093	1.82	0.031281	2.62	0.013138	3.42	0.007952
0.24	0.604844	1.04	0.125907	1.84	0.030585	2.64	0.012906	3.44	0.007764
0.26	0.607873	1.06	0.125327	1.86	0.02984	2.66	0.012709	3.46	0.007563
0.28	0.611653	1.08	0.125273	1.88	0.029347	2.68	0.012536	3.48	0.007356
0.3	0.537913	1.1	0.123886	1.9	0.028858	2.7	0.012371	3.5	0.007152
0.32	0.486229	1.12	0.120342	1.92	0.02829	2.72	0.012206	3.52	0.006956



0.34	0.41795	1.14	0.11797	1.94	0.027681	2.74	0.012035	3.54	0.006771
0.36	0.419427	1.16	0.114445	1.96	0.027077	2.76	0.011868	3.56	0.006598
0.38	0.442616	1.18	0.109535	1.98	0.026531	2.78	0.011719	3.58	0.006436
0.4	0.422825	1.2	0.103728	2	0.026072	2.8	0.011602	3.6	0.006283
0.42	0.415485	1.22	0.097134	2.02	0.025662	2.82	0.011523	3.62	0.006159
0.44	0.404472	1.24	0.090931	2.04	0.025202	2.84	0.011481	3.64	0.006052
0.46	0.370133	1.26	0.085939	2.06	0.024614	2.86	0.01146	3.66	0.00595
0.48	0.344609	1.28	0.081598	2.08	0.023906	2.88	0.011438	3.68	0.005853
0.5	0.322235	1.3	0.078264	2.1	0.023151	2.9	0.011387	3.7	0.005811
0.52	0.315871	1.32	0.07691	2.12	0.022408	2.92	0.011287	3.72	0.005773
0.54	0.308108	1.34	0.075661	2.14	0.021683	2.94	0.011128	3.74	0.005736
0.56	0.285992	1.36	0.074773	2.16	0.020943	2.96	0.01092	3.76	0.005697
0.58	0.289675	1.38	0.073275	2.18	0.02047	2.98	0.010681	3.78	0.005654
0.6	0.293029	1.4	0.071183	2.2	0.020075	3	0.010436	3.8	0.005608
0.62	0.298326	1.42	0.069051	2.22	0.019638	3.02	0.010205	3.82	0.005559
0.64	0.296382	1.44	0.067176	2.24	0.019163	3.04	0.010003	3.84	0.005508
0.66	0.292224	1.46	0.065255	2.26	0.018641	3.06	0.009834	3.86	0.005457
0.68	0.288272	1.48	0.062621	2.28	0.01809	3.08	0.009699	3.88	0.005406
0.7	0.278378	1.5	0.060457	2.3	0.017868	3.1	0.00959	3.9	0.005357
0.72	0.262934	1.52	0.058376	2.32	0.017613	3.12	0.009496	3.92	0.00531
0.74	0.243288	1.54	0.055962	2.34	0.017342	3.14	0.009406	3.94	0.005266
0.76	0.229818	1.56	0.053341	2.36	0.017072	3.16	0.009311	3.96	0.005226
0.78	0.218772	1.58	0.050497	2.38	0.016806	3.18	0.009207	3.98	0.005187
0.8	0.210582	1.6	0.047666	2.4	0.016537	3.2	0.009094	4	0.005151

Tabella 9: coordinate della curva dei valori medi degli spettri di risposta calcolati

Nella figura 13 si riporta lo spettro di risposta di riferimento per il sito.

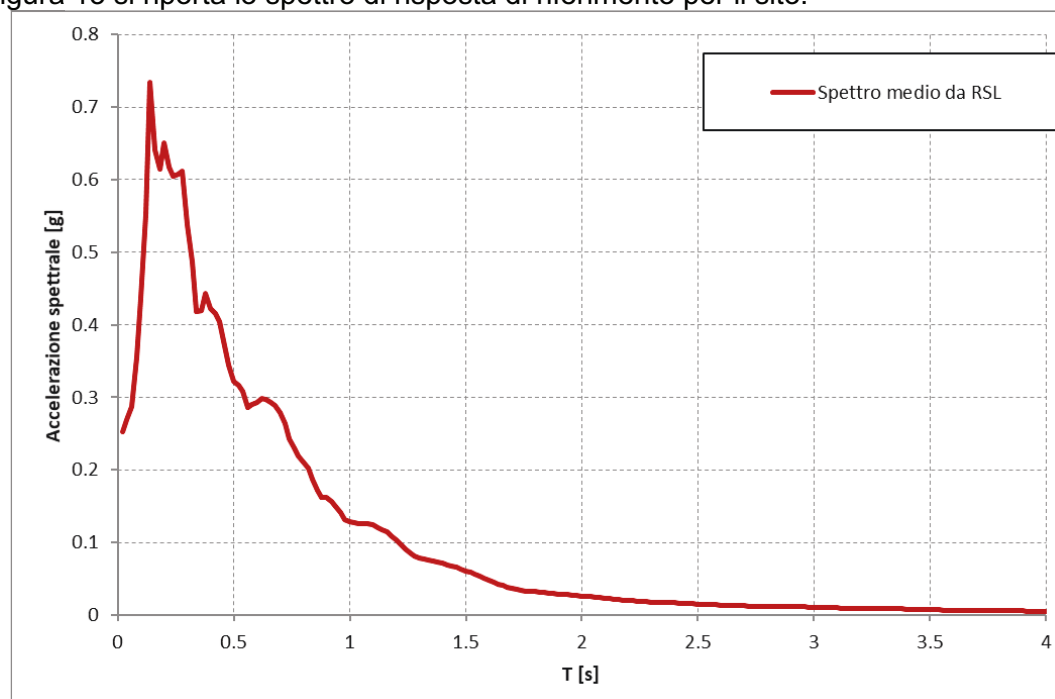


Fig 13 – spettro di risposta medio calcolato.

- **Fattori di amplificazione**

A completamento della caratterizzazione del sito in termini di pericolosità sismica, secondo quanto definito dalla normativa regionale in materia di microzonazione sismica (D.a.l. 112/2007) di seguito si riportano i valori di PGA (Peak Ground Acceleration) e di IS (Arias intensity) ottenuti dall'elaborazione numerica. Il parametro IS è stato considerato all'interno dei range di interesse per l'azione sismica delle strutture (tra 0,1 e 0,5 s, tra 0,5 e 1,0 s e tra 1,0 s e 1,5 s).

In particolare nella seguente tabella vengono riportati i valori di PGA e di IS (tra 0,1-0,5 s, tra 0,5 e 1,0 s e tra 1,0 s e 1,5 s) per ognuno dei tre segnali sismici di input così come ottenuti dall'analisi numerica ed il loro valore medio. Si presentano anche i valori di PGA0 e di IS0 (tra 0,1-0,5 s e tra 0,5 e 1,0 s) di riferimento, corrispondenti alla sollecitazione esercitata dai segnali sismici di riferimento in corrispondenza al substrato sismico (suolo privo di amplificazioni assimilabile ad un suolo di tipo A).

Il rapporto tra tali valori permette di ottenere i valori di amplificazione stratigrafica per il sito in esame.

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE					
F.A.		000046xa	000126xa	000354xa	media
	PGA	1.439	1.481	1.450	1.456
	IS(0,1-0,5)	1.442	1.426	1.503	1.458
	IS(0,5-1,0)	1.528	1.530	1.522	1.526
	IS(1,0-1,5)	1.518	1.582	1.741	1.652
	IS(0,0-4,0)	1.505	1.524	1.544	1.529

### **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Sulla base dello studio eseguito è emerso non sono emerse controindicazioni di carattere geologico e sismico per le opere in progetto.

Bologna, 06-07-2017

dott. Luca Tondi



# TAVOLE

- **Tav. 1 Corografia 1:25.000**
- **Tav. 2 Corografia 1:5.000**
- **Tav. 3 Carta geologica 1:10.000**
- **Tav. 4 Ubicazione indagini planimetria**



Legenda



Area in oggetto



○ Area in oggetto



## LEGENDA



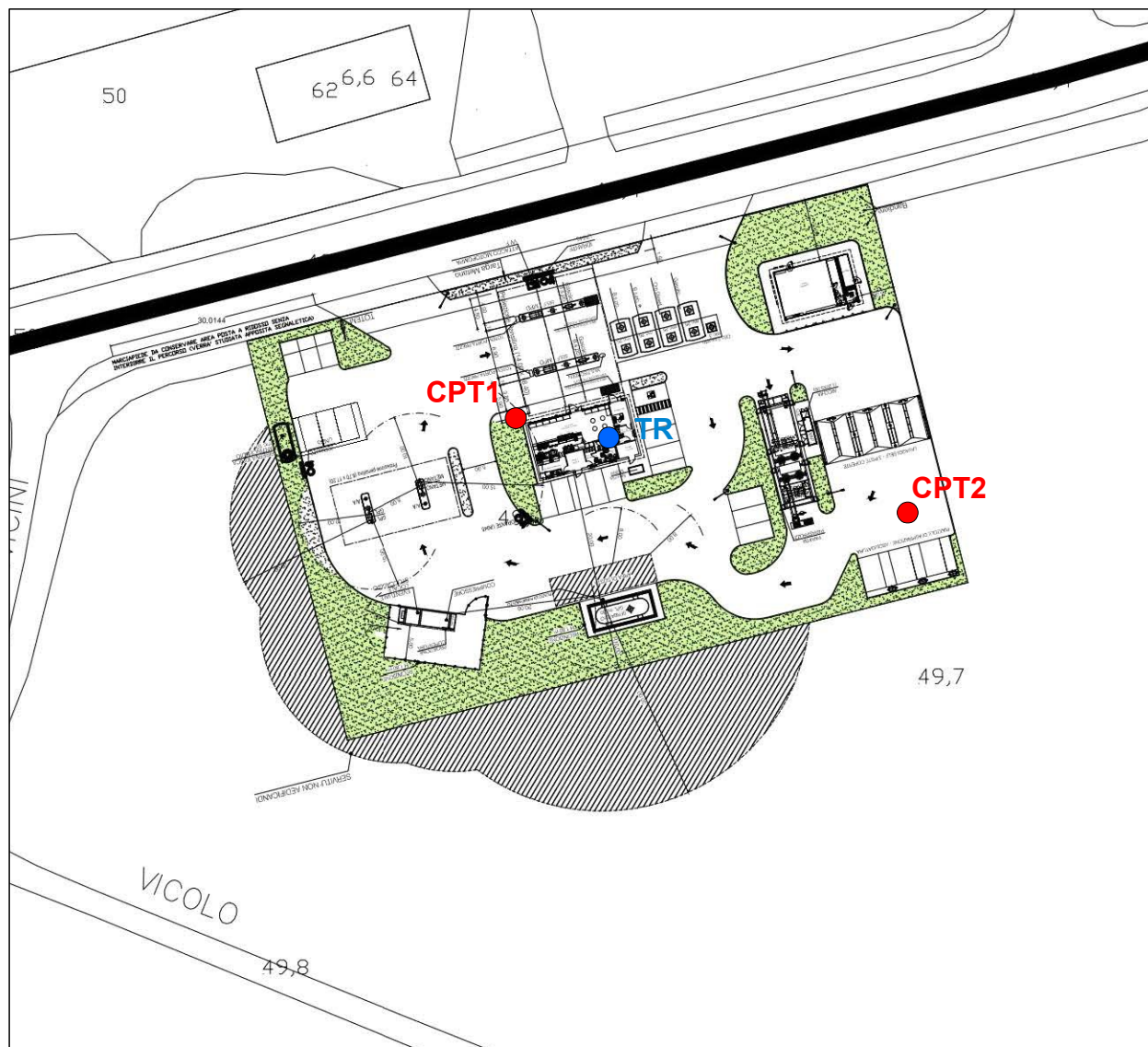
Area in oggetto

2

Sabbie, limi sabbiosi e limi - ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari  
Depositi di conoide e di terrazzo

\* R.E.R.- Servizio Sistemi Informativi Geografici - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli





- **CPT1** Prove penetrometriche statiche
- **TR** Indagine geofisica con tromografo digitale

# PROVE PENETROMETRICHE

## CONE PENETRATION TEST (C.T.P.)

### PENETROMETRO STATICO SP120-C (DEEP-DRILL)

#### Caratteristiche Tecniche-Strumentali

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Letture	Punta-Laterale
Baricentro punta lungo l'altezza	30 cm
Area punta	10 cm <sup>2</sup>
Area interna punta cono	8.5 cm <sup>2</sup>
Angolo di apertura punta	60°
Diametro punta conica meccanica	35.7 mm
Altezza manicotto laterale	13.3 cm
Sistema di misura:	Meccanico
Passo:	20 cm
Peso manicotto ancoraggio	2 Kg
Superficie manicotto	150 cm <sup>2</sup>
Anello allargatore:	Sì
Costante di trasformazione	20



## 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'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	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 DI RESISTENZA

**CPT****1**

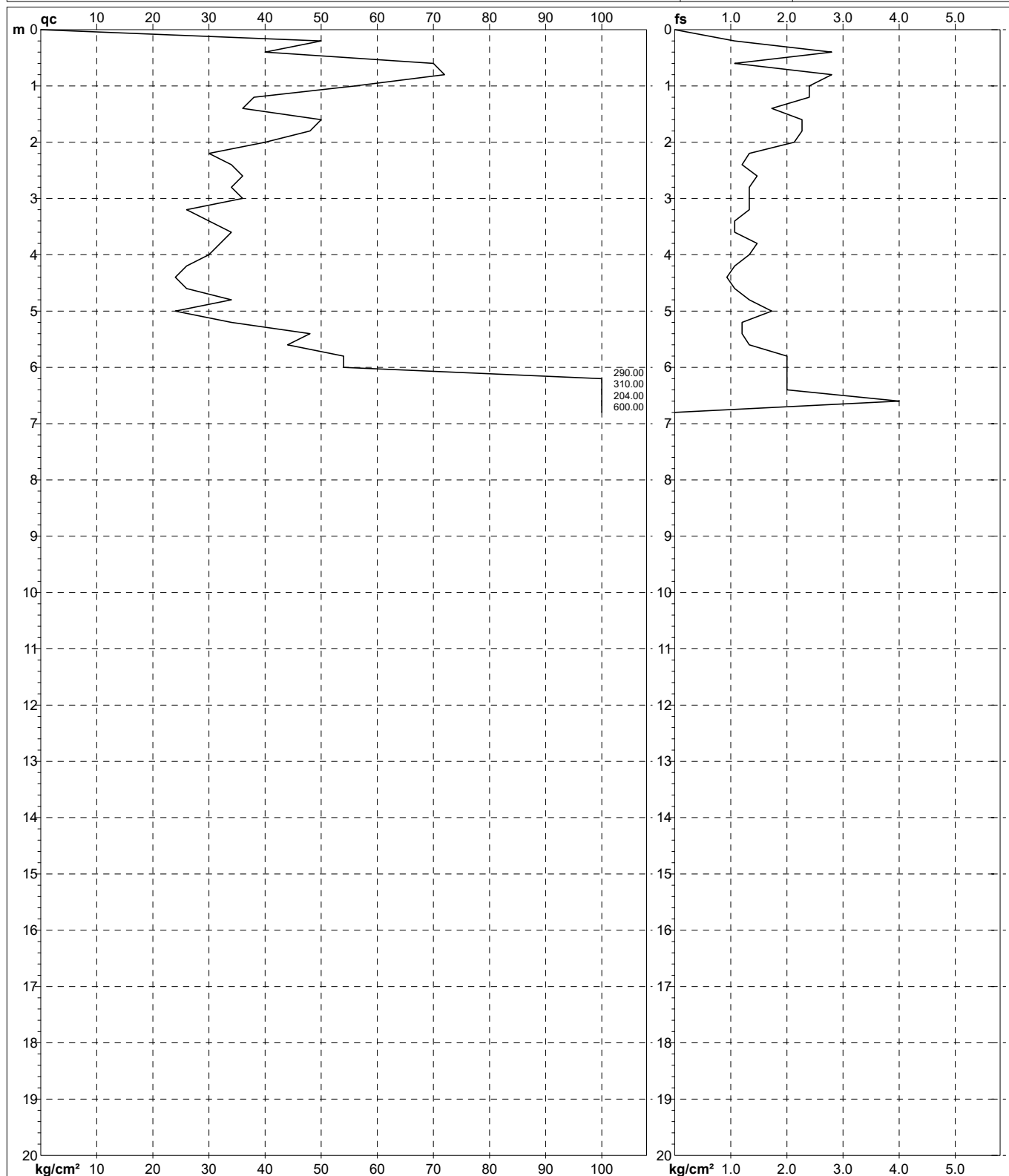
riferimento

**032-2017**

certificato n°

Committente: **Geometra Benuzzi**Cantiere: **Via Mattei**Località: **Bologna**U.M.: **kg/cm²**Scala: **1:100**Pagina: **1**

Elaborato:

Data esec.: **06/07/2017**Data certificato: **07/06/2017**Quota inizio: **Piano Campagna**Falda: **Assente**Penetrometro: **SP200**

Responsabile:

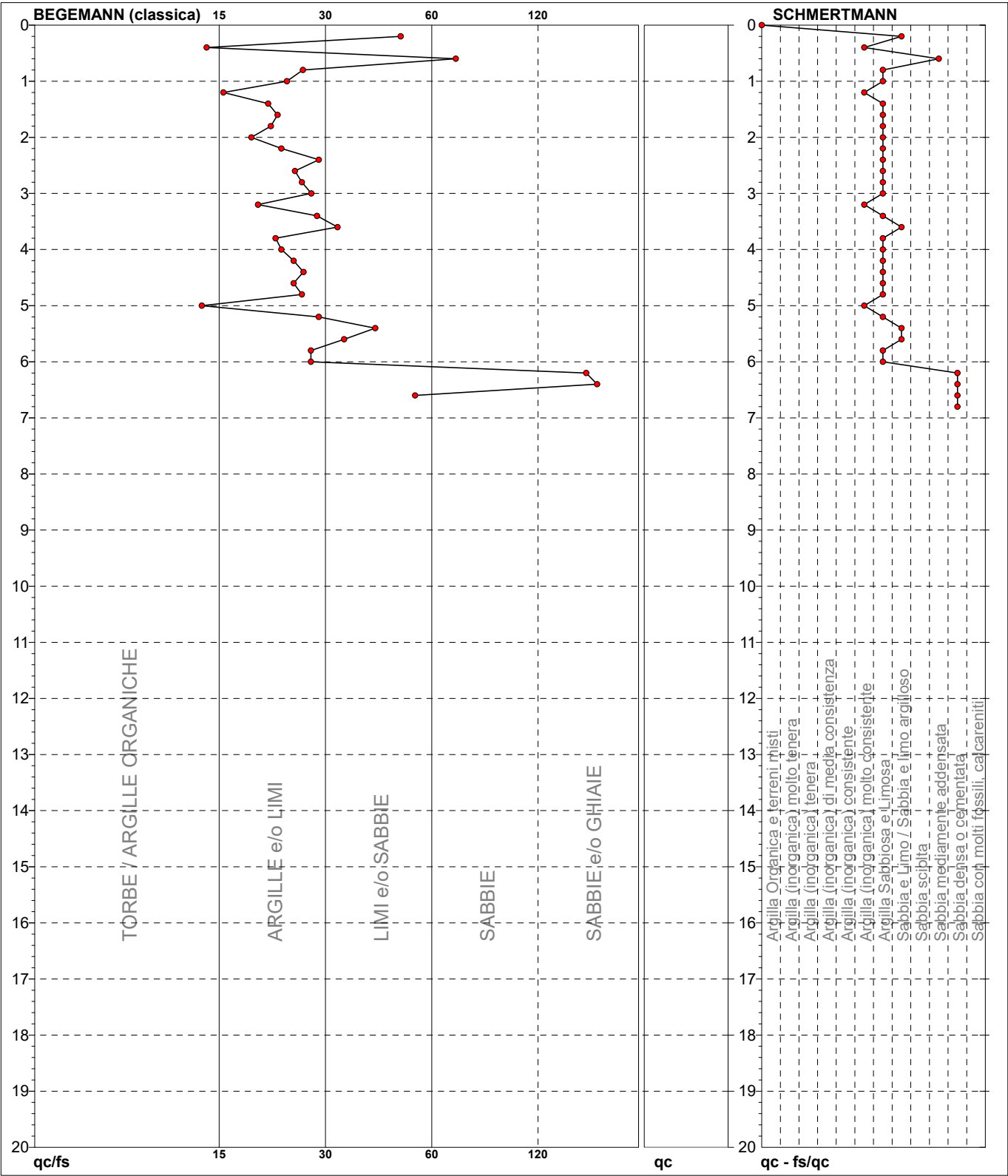
Assistente:

Preforo: **m**Corr.astine: **kg/ml**Cod.ISTAT: **037006**

Cod. punta:

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>DIAGRAMMI LITOLOGIA</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>032-2017</b>
	certificato n°	

Committente: <b>Geometra Benuzzi</b>	U.M.: <b>kg/cm²</b>	Data eseg.: <b>06/07/2017</b>
Cantiere: <b>Via Mattei</b>	Scala: <b>1:100</b>	Data certificato: <b>07/06/2017</b>
Località: <b>Bologna</b>	Pagina: <b>1</b>	
	Elaborato:	Falda: <b>Assente</b>



Torbe / Argille org. :	69 punti, 69.70%	Argilla (inorganica) molto consist.:	4 punti, 4.04%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	21 punti, 21.21%
Argille e/o Limi :	23 punti, 23.23%			Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	4 punti, 4.04%
Limi e/o Sabbie :	5 punti, 5.05%			Sabbia mediamente addensata:	1 punti, 1.01%
Sabbie:	1 punti, 1.01%			Sabbia densa o cementata:	3 punti, 3.03%
Sabbie e/o Ghiaie :	2 punti, 2.02%				

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>032-2017</b>
	certificato n°	

Committente: <b>Geometra Benuzzi</b>	U.M.: <b>kg/cm²</b>	Data esec.: <b>06/07/2017</b>
Cantiere: <b>Via Mattei</b>	Pagina: <b>1</b>	Data certificato: <b>07/06/2017</b>
Località: <b>Bologna</b>	Elaborato:	Falda: <b>Assente</b>

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0.20	50.00	60.00		50.00	1.07	47	2.1								
0.40	40.00	56.00		40.00	2.80	14	7.0								
0.60	70.00	112.00		70.00	1.07	65	1.5								
0.80	72.00	88.00		72.00	2.80	26	3.9								
<b>1.00</b>	<b>56.00</b>	<b>98.00</b>		<b>56.00</b>	<b>2.40</b>	<b>23</b>	<b>4.3</b>								
1.20	38.00	74.00		38.00	2.40	16	6.3								
1.40	36.00	72.00		36.00	1.73	21	4.8								
1.60	50.00	76.00		50.00	2.27	22	4.5								
1.80	48.00	82.00		48.00	2.27	21	4.7								
<b>2.00</b>	<b>40.00</b>	<b>74.00</b>		<b>40.00</b>	<b>2.13</b>	<b>19</b>	<b>5.3</b>								
2.20	30.00	62.00		30.00	1.33	23	4.4								
2.40	34.00	54.00		34.00	1.20	28	3.5								
2.60	36.00	54.00		36.00	1.47	24	4.1								
2.80	34.00	56.00		34.00	1.33	26	3.9								
<b>3.00</b>	<b>36.00</b>	<b>56.00</b>		<b>36.00</b>	<b>1.33</b>	<b>27</b>	<b>3.7</b>								
3.20	26.00	46.00		26.00	1.33	20	5.1								
3.40	30.00	50.00		30.00	1.07	28	3.6								
3.60	34.00	50.00		34.00	1.07	32	3.1								
3.80	32.00	48.00		32.00	1.47	22	4.6								
<b>4.00</b>	<b>30.00</b>	<b>52.00</b>		<b>30.00</b>	<b>1.33</b>	<b>23</b>	<b>4.4</b>								
4.20	26.00	46.00		26.00	1.07	24	4.1								
4.40	24.00	40.00		24.00	0.93	26	3.9								
4.60	26.00	40.00		26.00	1.07	24	4.1								
4.80	34.00	50.00		34.00	1.33	26	3.9								
<b>5.00</b>	<b>24.00</b>	<b>44.00</b>		<b>24.00</b>	<b>1.73</b>	<b>14</b>	<b>7.2</b>								
5.20	34.00	60.00		34.00	1.20	28	3.5								
5.40	48.00	66.00		48.00	1.20	40	2.5								
5.60	44.00	62.00		44.00	1.33	33	3.0								
5.80	54.00	74.00		54.00	2.00	27	3.7								
<b>6.00</b>	<b>54.00</b>	<b>84.00</b>		<b>54.00</b>	<b>2.00</b>	<b>27</b>	<b>3.7</b>								
6.20	290.00	320.00		290.00	2.00	145	0.7								
6.40	310.00	340.00		310.00	2.00	155	0.6								
6.60	204.00	234.00		204.00	4.00	51	2.0								
6.80	600.00	660.00		600.00	0.00	51	0.0								

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

**2**

referimento

**032-2017**

certificato n°

Committente: **Geometra Benuzzi**

Cantiere: **Via Mattei**

Località: **Bologna**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Scala: **1:100**

Pagina: **1**

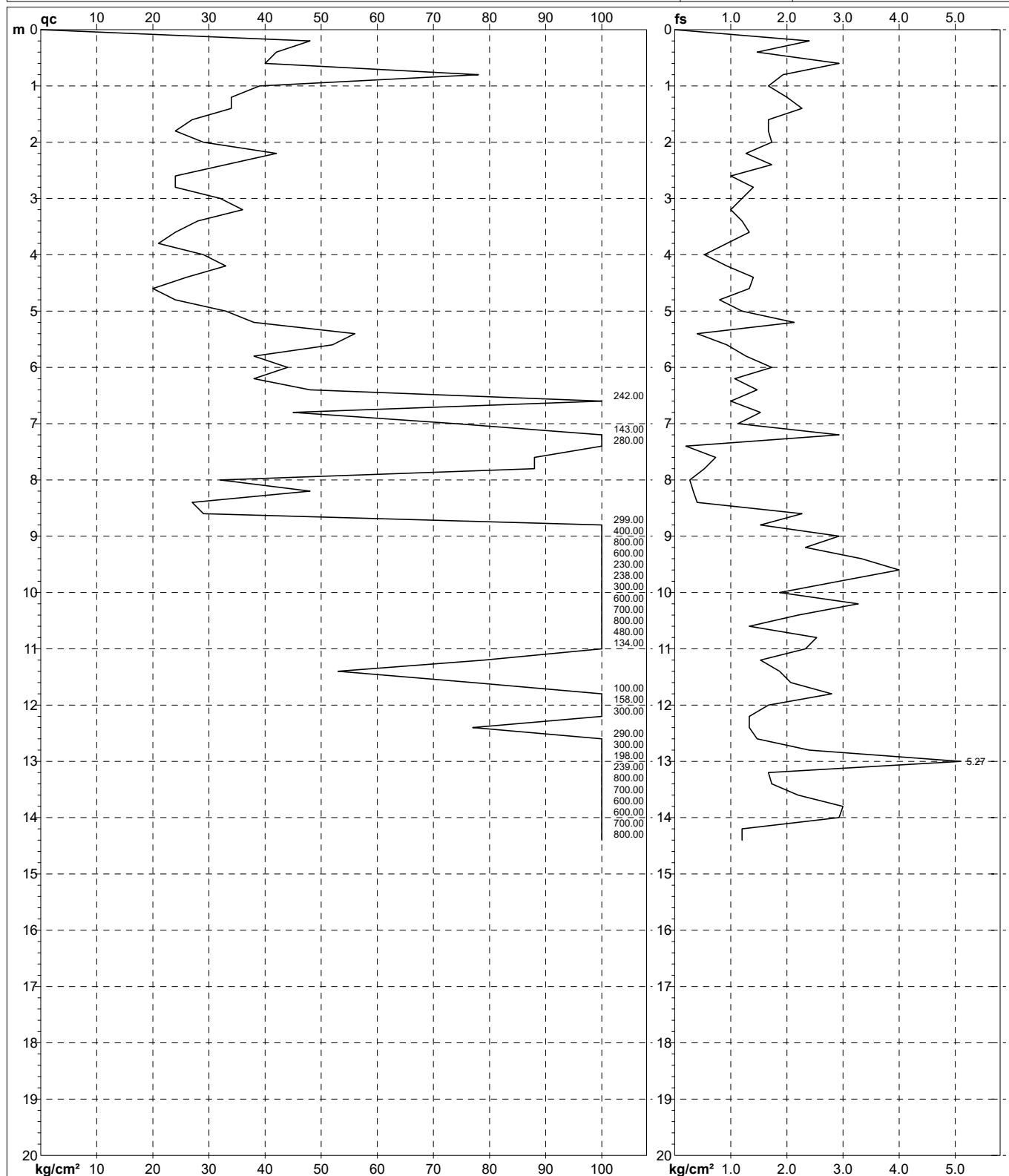
Elaborato:

Data esec.: **06/07/2017**

Data certificato: **06/07/2017**

Quota inizio:

Falda:



Penetrometro: **SP200**

Responsabile:

Assistente:

Preforo: **m**

Corr.astine: **kg/ml**

Cod.ISTAT: **037006**

Cod. punta:

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

**CPT**

**2**

referimento

**032-2017**

certificato n°

Committente: **Geometra Benuzzi**

Cantiere: **Via Mattei**

Località: **Bologna**

U.M.: **kg/cm²**

Scala: **1:100**

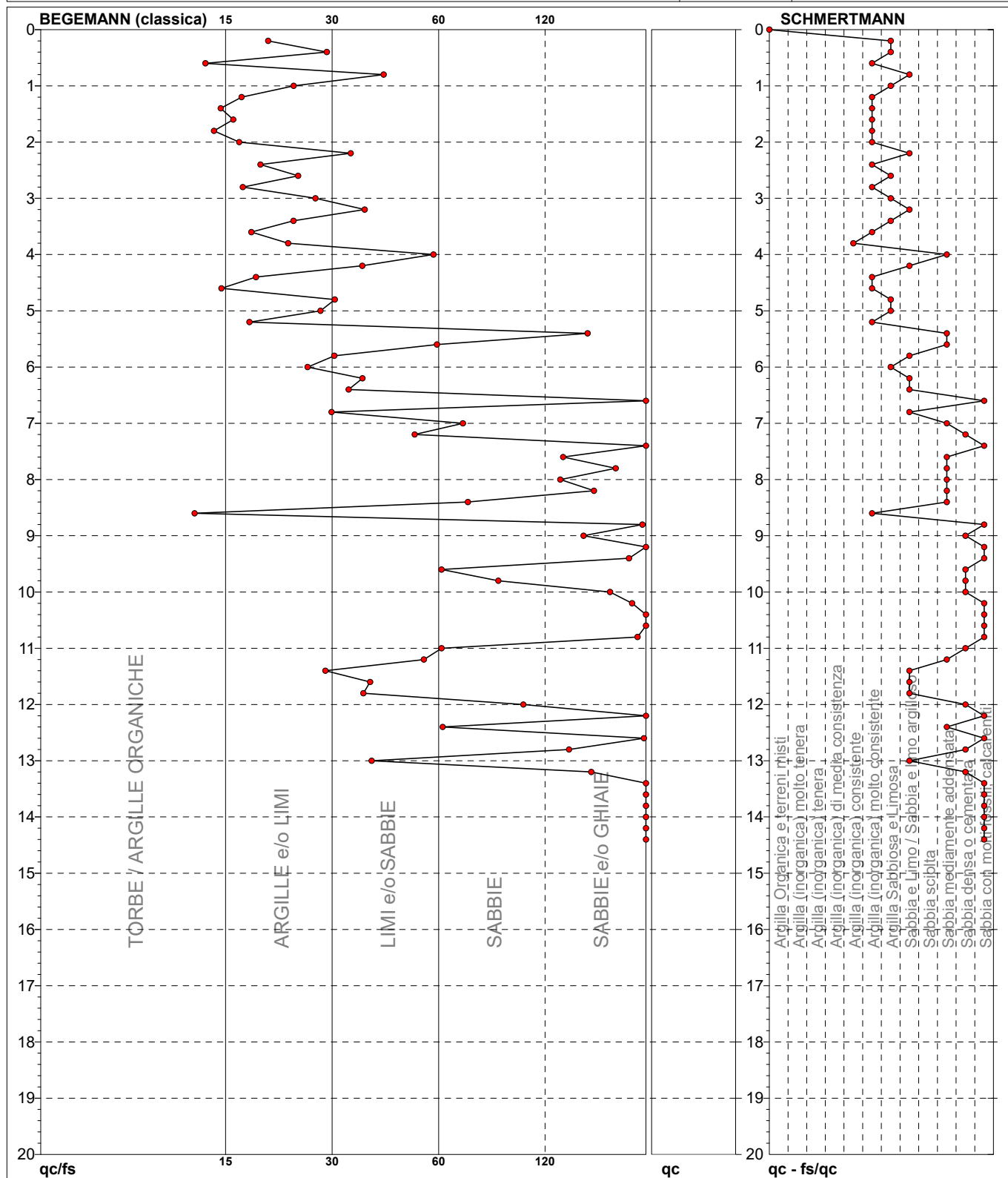
Pagina: **1**

Elaborato:

Data esec.: **06/07/2017**

Data certificato: **06/07/2017**

Falda:



Torbe / Argille org. :	32 punti, 32.32%	Argilla (inorganica) consistente:	1 punti, 1.01%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	9 punti, 9.09%
Argille e/o Limi :	22 punti, 22.22%	Argilla (inorganica) molto consist.:	13 punti, 13.13%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	12 punti, 12.12%
Limi e/o Sabbie :	16 punti, 16.16%			Sabbia mediamente addensata:	11 punti, 11.11%
Sabbie:	5 punti, 5.05%			Sabbia densa o cementata:	9 punti, 9.09%
Sabbie e/o Ghiaie :	25 punti, 25.25%			Sabbia con molti fossili, calcareniti:	17 punti, 17.17%

<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>2</b>
	riferimento	<b>032-2017</b>
	certificato n°	

Committente: <b>Geometra Benuzzi</b>	U.M.: <b>kg/cm²</b>	Data esec.: 06/07/2017
Cantiere: <b>Via Mattei</b>	Pagina: 1	Data certificato: 06/07/2017
Località: <b>Bologna</b>	Elaborato:	Falda:

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%	m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%
0.20	48.00	60.00		48.00	2.40	20	5.0								
0.40	42.00	78.00		42.00	1.47	29	3.5								
0.60	40.00	62.00		40.00	2.93	14	7.3								
0.80	78.00	122.00		78.00	1.93	40	2.5								
1.00	39.00	68.00		39.00	1.67	23	4.3								
1.20	34.00	59.00		34.00	2.00	17	5.9								
1.40	34.00	64.00		34.00	2.27	15	6.7								
1.60	27.00	61.00		27.00	1.67	16	6.2								
1.80	24.00	49.00		24.00	1.67	14	7.0								
2.00	29.00	54.00		29.00	1.73	17	6.0								
2.20	42.00	68.00		42.00	1.27	33	3.0								
2.40	33.00	52.00		33.00	1.73	19	5.2								
2.60	24.00	50.00		24.00	1.00	24	4.2								
2.80	24.00	39.00		24.00	1.40	17	5.8								
3.00	32.00	53.00		32.00	1.20	27	3.8								
3.20	36.00	54.00		36.00	1.00	36	2.8								
3.40	28.00	43.00		28.00	1.20	23	4.3								
3.60	24.00	42.00		24.00	1.33	18	5.5								
3.80	21.00	41.00		21.00	0.93	23	4.4								
4.00	29.00	43.00		29.00	0.53	55	1.8								
4.20	33.00	41.00		33.00	0.93	35	2.8								
4.40	26.00	40.00		26.00	1.40	19	5.4								
4.60	20.00	41.00		20.00	1.33	15	6.7								
4.80	24.00	44.00		24.00	0.80	30	3.3								
5.00	33.00	45.00		33.00	1.20	28	3.6								
5.20	38.00	56.00		38.00	2.13	18	5.6								
5.40	56.00	88.00		56.00	0.40	140	0.7								
5.60	52.00	58.00		52.00	0.93	56	1.8								
5.80	38.00	52.00		38.00	1.27	30	3.3								
6.00	44.00	63.00		44.00	1.73	25	3.9								
6.20	38.00	64.00		38.00	1.07	36	2.8								
6.40	48.00	64.00		48.00	1.47	33	3.1								
6.60	242.00	264.00		242.00	1.00	242	0.4								
6.80	45.00	60.00		45.00	1.53	29	3.4								
7.00	74.00	97.00		74.00	1.13	65	1.5								
7.20	143.00	160.00		143.00	2.93	49	2.0								
7.40	280.00	324.00		280.00	0.20	1400	0.1								
7.60	88.00	91.00		88.00	0.73	121	0.8								
7.80	88.00	99.00		88.00	0.53	166	0.6								
8.00	32.00	40.00		32.00	0.27	119	0.8								
8.20	48.00	52.00		48.00	0.33	145	0.7								
8.40	27.00	32.00		27.00	0.40	68	1.5								
8.60	29.00	35.00		29.00	2.27	13	7.8								
8.80	299.00	333.00		299.00	1.53	195	0.5								
9.00	400.00	423.00		400.00	2.93	137	0.7								
9.20	800.00	844.00		800.00	2.33	343	0.3								
9.40	600.00	635.00		600.00	3.33	180	0.6								
9.60	230.00	280.00		230.00	4.00	58	1.7								
9.80	238.00	298.00		238.00	2.93	81	1.2								
10.00	300.00	344.00		300.00	1.87	160	0.6								
10.20	600.00	628.00		600.00	3.27	183	0.5								
10.40	700.00	749.00		700.00	2.20	318	0.3								
10.60	800.00	833.00		800.00	1.33	602	0.2								
10.80	480.00	500.00		480.00	2.53	190	0.5								
11.00	134.00	172.00		134.00	2.33	58	1.7								
11.20	79.00	114.00		79.00	1.53	52	1.9								
11.40	53.00	76.00		53.00	1.87	28	3.5								
11.60	77.00	105.00		77.00	2.07	37	2.7								
11.80	100.00	131.00		100.00	2.80	36	2.8								
12.00	158.00	200.00		158.00	1.67	95	1.1								
12.20	300.00	325.00		300.00	1.33	226	0.4								
12.40	77.00	97.00		77.00	1.33	58	1.7								
12.60	290.00	310.00		290.00	1.47	197	0.5								
12.80	300.00	322.00		300.00	2.40	125	0.8								
13.00	198.00	234.00		198.00	5.27	38	2.7								
13.20	239.00	318.00		239.00	1.67	143	0.7								
13.40	800.00	825.00		800.00	1.73	462	0.2								
13.60	700.00	726.00		700.00	2.20	318	0.3								
13.80	600.00	633.00		600.00	3.00	200	0.5								
14.00	600.00	645.00		600.00	2.93	205	0.5								
14.20	700.00	744.00		700.00	1.20	583	0.2								
14.40	800.00	818.00		800.00	1.20	667	0.2								

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

# **INDAGINI SISMICHE**

- MISURE CON TROMOGRAFO DIGITALE



## BOLOGNA, VIA MATTEI TR1

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 01/07/17 11:15:17 Fine registrazione: 01/07/17 11:35:18

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

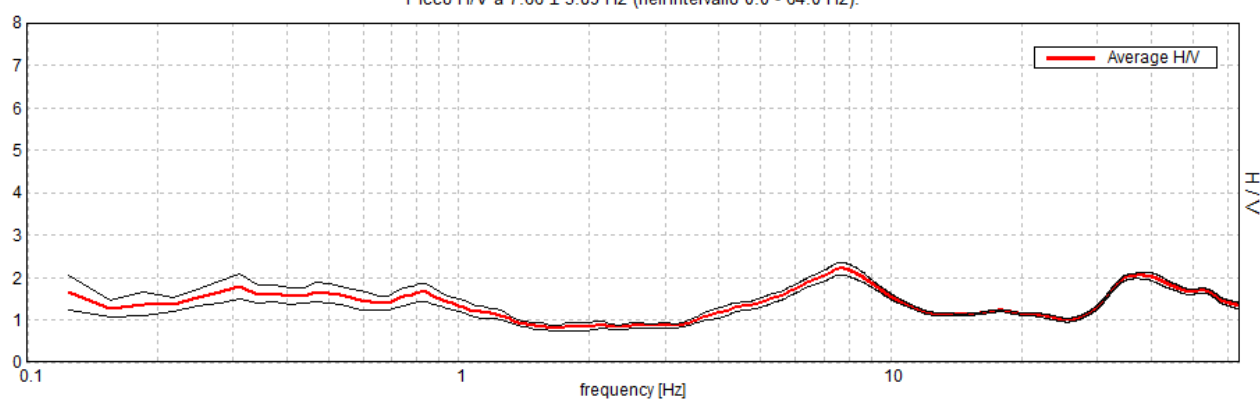
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

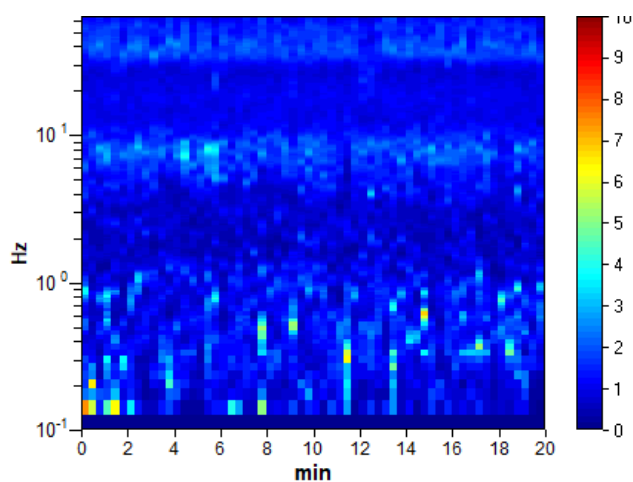
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

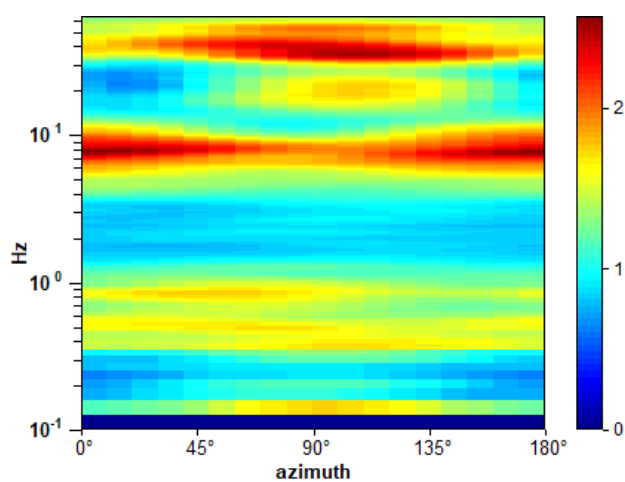
Picco H/V a  $7.66 \pm 3.89$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



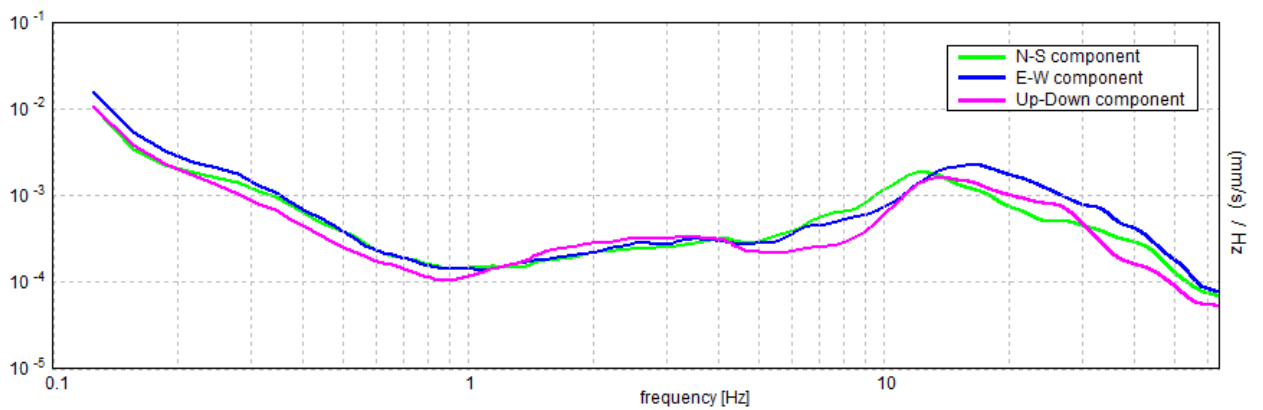
### SERIE TEMPORALE H/V



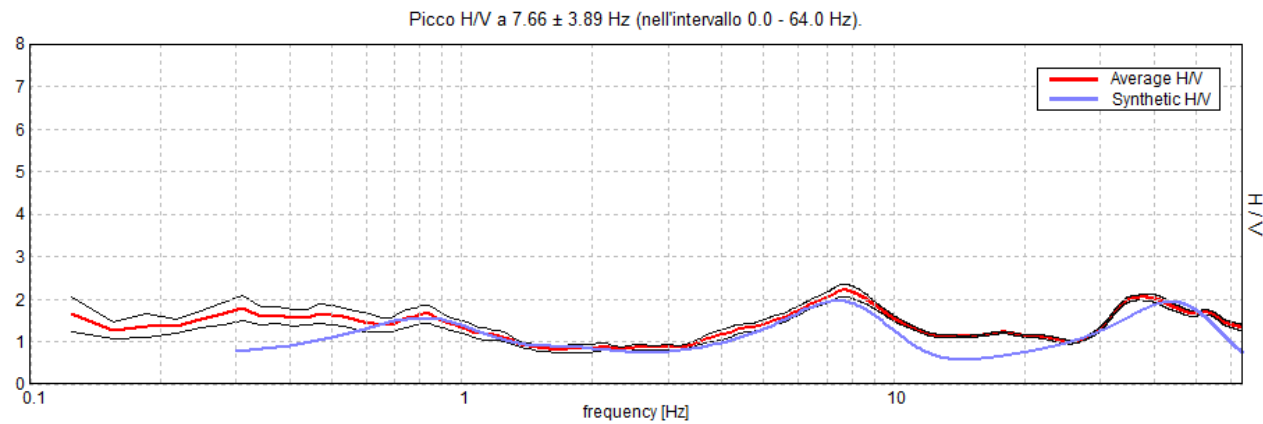
### DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	110	0.45
5.60	5.00	200	0.42
10.60	5.00	320	0.40
55.60	45.00	370	0.38
165.60	110.00	550	0.34
inf.	inf.	800	0.30

Vs(0.0-30.0)=305m/s

