



Responsabile del Procedimento:
Ing. Giovanna Bianco

COMUNE DI PISTOIA

SERVIZIO Lavori Pubblici, Patrimonio, Verde e
Protezione Civile

Progettisti:

Arch. Stefano Bartolini
Ing. Gabriele Passeri

Collaboratori Tecnici:

geom. Fabrizio Strufaldi
geom. Manfredi Mariani

Progetto: 14003/2018

***Intervento di miglioramento sismico
della scuola d'infanzia "La balena" in
via Bassa della Vergine a Pistoia***
CUP C54H17000500002

Progettista strutturale:

Ing. Mirko Bianconi

PROGETTO ESECUTIVO

(art. 23 D.Lgs. n. 50/2016)



Relazione Geologica



benedetta polverosi
geologo

c.f. PLV BDT 65568 B684 L
p.i. 01946830971
via l. da Vinci 48/C
59016 poggio a caiano (po)

COMUNE DI PISTOIA (PT)
VERIFICA SISMICA DELL'EDIFICIO SCOLASTICO PER L'INFANZIA
LA BALENA VIA BASSA DELLA VERGINE



RELAZIONE GEOLOGICA
ai sensi del DM 14.01.2008

novembre 2013



Richiedente: Comune di Pistoia
Verifiche: arch. Maria Rosaria de Vita ing. Maurizio Goracci



INDICE

1 PREMESSE.....	3
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	4
3 INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	4
4 INTERVENTO IN PROGETTO.....	4
5 INDAGINE GEOGNOSTICA.....	4
5.1 prove penetrometriche.....	5
5.2 rilievo freatimetrico.....	6
5.3 indagine sismica.....	6
5.4 prova HVSR.....	8
6 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	11
6.1 stratigrafia.....	11
6.2 parametrizzazione del terreno di fondazione.....	12
7 COMPORTAMENTO SISMICO.....	12
7.1 classificazione sismica.....	12
7.2 azioni sismiche.....	13
7.2.1 vita di riferimento.....	13
7.2.2 stati limite e probabilità di superamento.....	13
7.2.3 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componen. orizzontali.....	13
7.2.4 Analisi della potenzialità di liquefazione.....	14
8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	15

ALLEGATI

- report indagine penetrometrica CPT certificazioni 135 e 136
- elaborati prova sismica MASW
- elaborati prova sismica passiva a stazione singola HVSR



COMUNE DI PISTOIA (PT)
VERIFICA SISMICA DELL'EDIFICIO SCOLASTICO PER L'INFANZIA
LA BALENA VIA BASSA DELLA VERGINE

~~~~~

RELAZIONE GEOLOGICA  
ai sensi del DM 14.01.2008

## 1 PREMESSE

La presente nota descrive i risultati di una indagine geognostica e geologico-tecnica finalizzata alla ricostruzione del MODELLO GEOLOGICO e GEOTECNICO dell'area di imposta di un edificio scolastico che ospita la scuola per l'infanzia "La Balena" in corrispondenza della Via Bassa della Vergine nell'area posta a sud dell'abitato di Pistoia.

In dettaglio l'indagine è basata, oltre sulle osservazioni dirette, sull'esito di una campagna geognostica in sito articolata in due prove penetrometriche statiche realizzate nell'area, di una prova sismica MASW e di una prova di sismica passiva a stazione singola HVSR; le indagini nel complesso sono adeguate all'entità della verifica in corso e risultano tali da consentire la caratterizzazione stratigrafica e la parametrizzazione fisico-meccanica e sismica di un volume significativo di terreno ai fini della progettazione strutturale. Sono stati inoltre consultati tutti i dati geognostica a contorno disponibili nei vari database a livello comunale, regionale, di bacino.

In materia di rischio sismico l'indagine è redatta a norma dell'OPCM 3274/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e successivo OPCM 3519/2006 "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*", cui seguono le proposte di classificazione regionale approvate per la Regione Toscana nella versione attuale con DGRT 878/2012.

L'indagine geognostica in sito, finalizzata alla caratterizzazione del substrato di intervento, è redatta sulla base del DM 14.01.2008 "*Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni*" e relativa circolare applicativa "*Istruzioni per l'applicazione delle NTC*" (Circ.LL.PP., del 02.02.2009), ed è stata programmata coerentemente alla tipologia del substrato di fondazione e al tipo di intervento previsto.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di intervento si inserisce nel contesto della piana dell'Ombrone, in area di fondovalle poco a sud del tracciato della tangenziale sud, lungo Via Bassa della Vergine parallela alla Via Fiorentina.

L'assetto morfologico risulta caratterizzato da pendenze appena accennate nel complesso, degradanti verso Sud e Sud-ovest, con riporti antropici localizzati nell'area di interesse, in area antropizzata e servita da reti tecnologiche, e posta alla quota di circa 51.7 con riferimento al piano stradale, circa 53 il giardino circostante l'edificio.

## 3 INQUADRAMENTO NORMATIVO

L'area ricade in zona sismica 2 (DGRT 878/2012).

Negli elaborati geologico-tecnici redatti a supporto della pianificazione urbanistica ai sensi del DPGR 26/R/2009, la zona studiata ricade nella classe di **pericolosità geomorfologica G2 - media**, mentre per gli **aspetti sismici** è assegnata la classe **S3 - elevata** per possibilità di amplificazioni stratigrafiche legate alla presenza di conoidi alluvionali.

Per gli **aspetti idraulici** è definita la classe **I1 - bassa**.

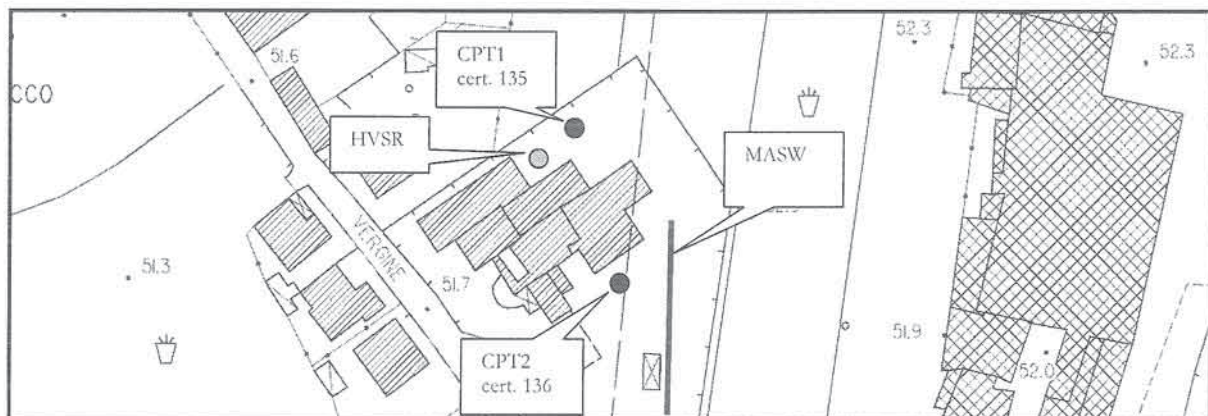
Non ricade in area soggetta a vincolo idrogeologico ai sensi del RD 3264/1923, né sono stati individuati ulteriori vincoli significativi ai fini della presente indagine.

## 4 INTERVENTO IN PROGETTO

Si prevede la verifica sismica dell'edificio scolastico "La Balena", evidenziato in foto aerea.

## 5 INDAGINE GEOGNOSTICA

A supporto della verifica sono state eseguite le indagini indicate nel § 1 e dettagliate nei seguenti punti. La profondità delle indagini stratigrafiche, sismiche e meccaniche è riferita al piano di campagna (giardino).



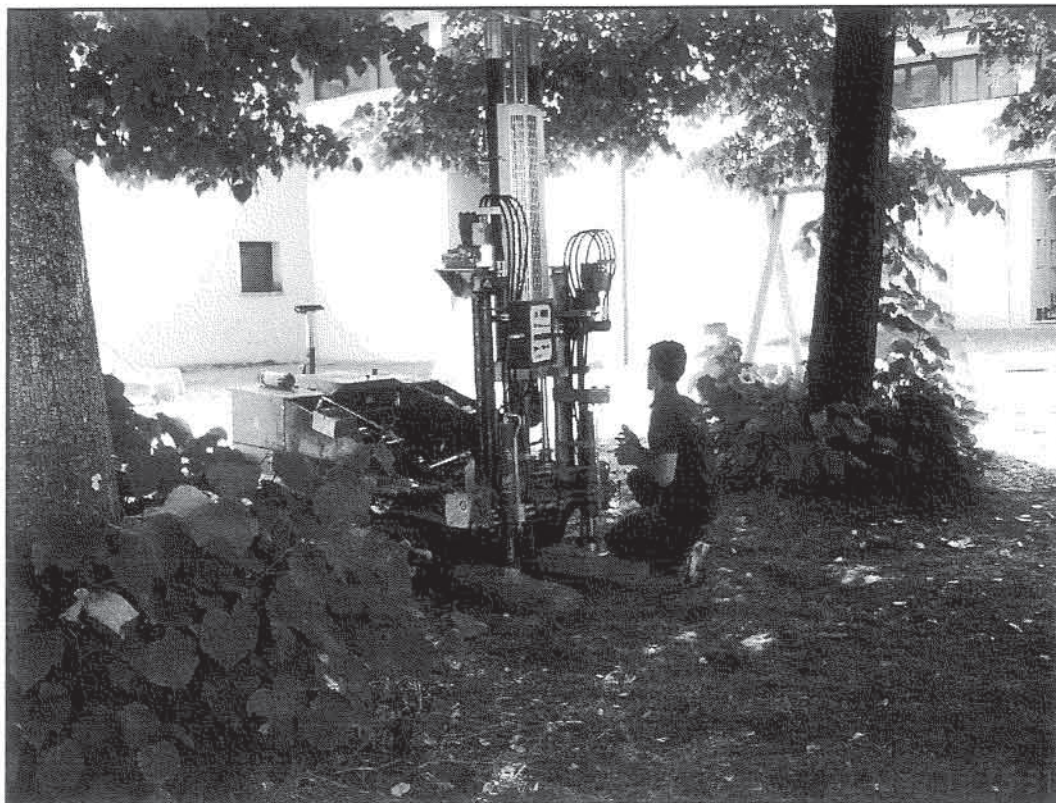


### 5.1 PROVE PENETROMETRICHE

Sono state eseguite in totale 2 prove penetrometriche, ai due vertici N e S dell'edificio in studio; la prova è codificata come CPT (*Cone Penetration Test*), e consiste nella infissione nel terreno di una punta conica con diametro di 35.7 mm e apertura di 60° (secondo le specifiche delle norme ASTM 3441) ad una velocità costante di 20 mm/sec, regolata tramite un martinetto idraulico. I dati restituiti dalla prova consistono nella lettura per unità di avanzamento di resistenza registrata alla punta ( $R_p$  o  $Q_c$ ) e della resistenza laterale ( $R_l$ ) opposta alla penetrazione dal materiale intercettato durante l'avanzamento della prova.

I risultati, certificati in allegato nel dettaglio, consentono le seguenti osservazioni generali:

- ☐ le prove CPT1 e CPT2 evidenziano la presenza di terreni sciolti di copertura caratterizzati, sotto il suolo rimaneggiato spesso 0.4 m, da valori di  $Q_c$  medi di 10 Kg/cm<sup>2</sup> fino a circa 1.4 m, e identificano terreno limoso e limo-sabbioso di origine alluvionale e probabilmente almeno in parte in riporto
- ☐ segue un livello con  $Q_c$  superiore, tra 25 e 40 Kg/cm<sup>2</sup>, attribuibile ad alluvioni sabbioso-limose, fino a 1.8-2.6 m
- ☐ al di sotto si individuano fino ai 9-10 m di profondità indagati, alluvioni a prevalenza ghiaiosa con resistenza elevata ( $Q_c$  oscillante tra 70 e oltre 120 Kg/cm<sup>2</sup> con intercalazione limosa a circa 4 m a resistenza inferiore.





## 5.2 RILIEVO FREATIMETRICO

Sono stati rilevati livelli piezometrici nel piezometro installato nel foro di prova CPT2, con i seguenti risultati:

□ maggio 2013

-3.30 m da p.c. locale

Sono prevedibili modeste ulteriori oscillazioni positive durante la stagione autunnale e primaverile, tuttavia tali, per le condizioni di alto locale del sito, da non interferire con la struttura in oggetto che non dispone di piani interrati.

## 5.3 INDAGINE SISMICA

E' stata realizzata una prova sismica finalizzata alla determinazione del profilo sismo-stratigrafico del sottosuolo in termini di  $V_{sH}$ , e consistente, vista la sostanziale omogeneità geotecnica dell'area e le limitate dimensioni del lotto, di uno stendimento sismico MASW, associato a prova di rumore con elaborazione HVSR. La prova effettuata consente di stimare le velocità delle onde di taglio a partire dalla dispersione delle onde superficiali, in particolare le Rayleigh utilizzate in questo caso e le Love. L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali.

E' stato possibile, per ottimizzare l'interpretazione, riferirsi al locale assetto geolitologico-geotecnico, con riferimento alle prove geomeccaniche effettuate in prossimità del fienile e descritte nella precedente relazione.

### 7.4.1 ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit". Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.1. L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 3 m, con connettori cannon montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz orizzontali, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo. In questo caso si è proceduto con l'acquisizione delle componenti verticali per l'analisi delle onde di Rayleigh.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2 m
- n. shots: a distanze di 5, 8 e 10 metri dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione : 1.000 msec.

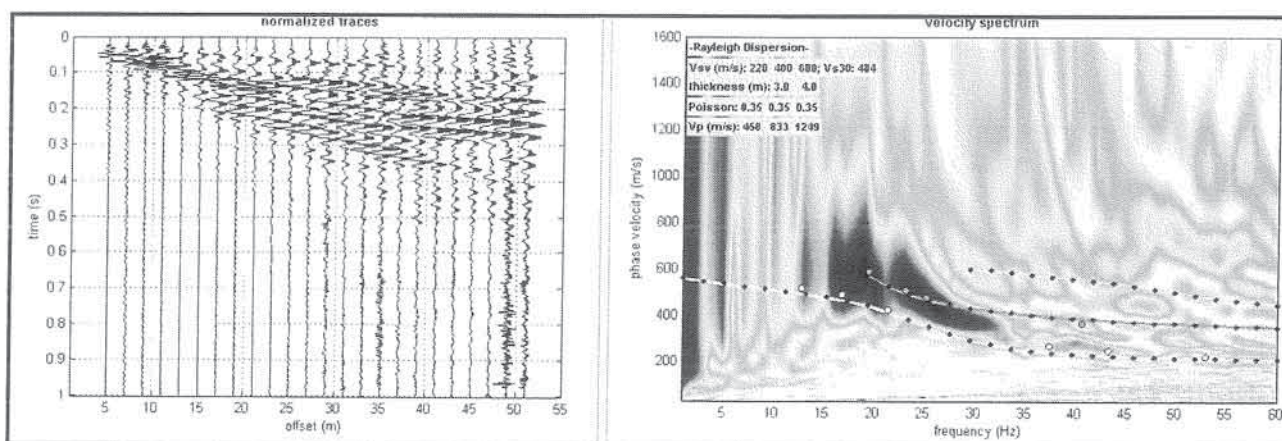
Lo stendimento è da considerare orizzontale ai fini dell'interpretazione, in quanto i dislivelli presenti sono limitati a pochi decimetri.



### 7.4.2 INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW vers. 4.3 Pro, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato .SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Sono stati analizzati entrambi i dataset disponibili; i dati seguenti si riferiscono al dataset più chiaro (offset minimo a 5 m), e rappresentano il dataset di rilievo e il relativo spettro di velocità, a cui si sovrappone il picking relativo al modo di vibrazione fondamentale e i due superiori:



L'inversione dei dati in termini di algoritmi genetici consente di ottenere una successione sismo-stratigrafica caratterizzata da diversi strati a diversa velocità  $V_{sh}$ , con riferimento alla mezzera dello stendimento sismico, come illustrato in allegato.

Sono stati eseguite diverse inversioni, i cui risultati sono allegati a fine nota, e che consentono di ottenere il seguente modello:

#### MODELLO MEDIO

|                             |           |     |     |     |            |
|-----------------------------|-----------|-----|-----|-----|------------|
| strato                      | 1         | 2   | 3   | 4   | 5          |
| $V_{sh}$ (m/sec)            | 199       | 216 | 343 | 425 | 672        |
| spessore (m)                | 0.7       | 1.7 | 1.6 | 4.3 | semispazio |
| Profondità base             | 0.7       | 2.4 | 4.0 | 8.3 | >30        |
| $V_{s30}$ del modello medio | 513 m/sec |     |     |     |            |

Con i dati ottenuti dall'indagine si ottiene, sia a partire dal piano di campagna che da qualche metro sotto lo stesso, un profilo sismo-stratigrafico assimilabile a **suolo B** di cui alle NTC 2008: *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s ....."*





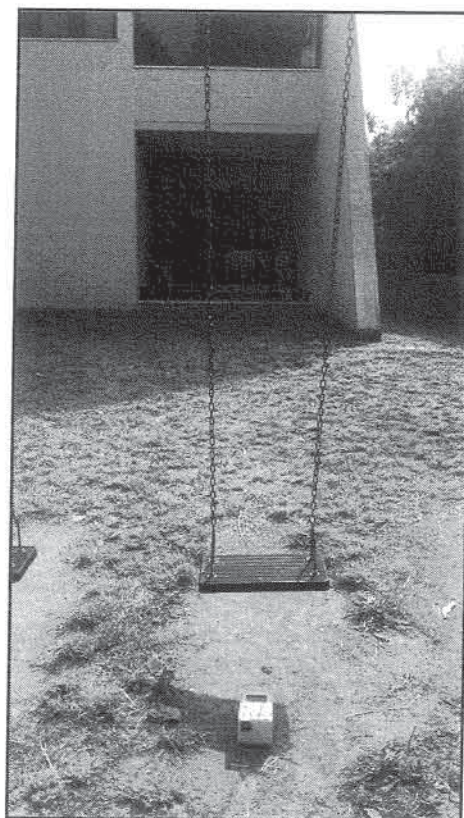
#### 5.4 PROVA HVSR

E' stata realizzata una prova sismica HVSR finalizzata alla rilevazione delle frequenze di vibrazione naturale del suolo e alla verifica della presenza di fenomeni di risonanza del suolo, legati alla presenza di contrasti di impedenza sismica.

La sismica passiva studia il microtremore sismico ambientale (rumore sismico); questa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

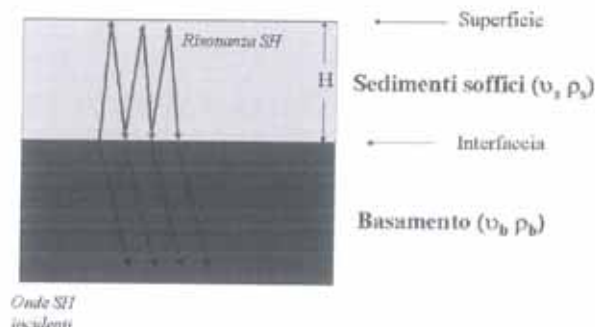
La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. nel campo del rumore sono rappresentate sia onde di volume (fronte d'onda sferico) sia onde di superficie (fronte d'onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.





Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della risonanza, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.



L'equazione del moto di risposta è caratterizzato da massimi alle seguenti frequenze:

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n=1, 3, 5, \dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e H è lo spessore di detto strato.

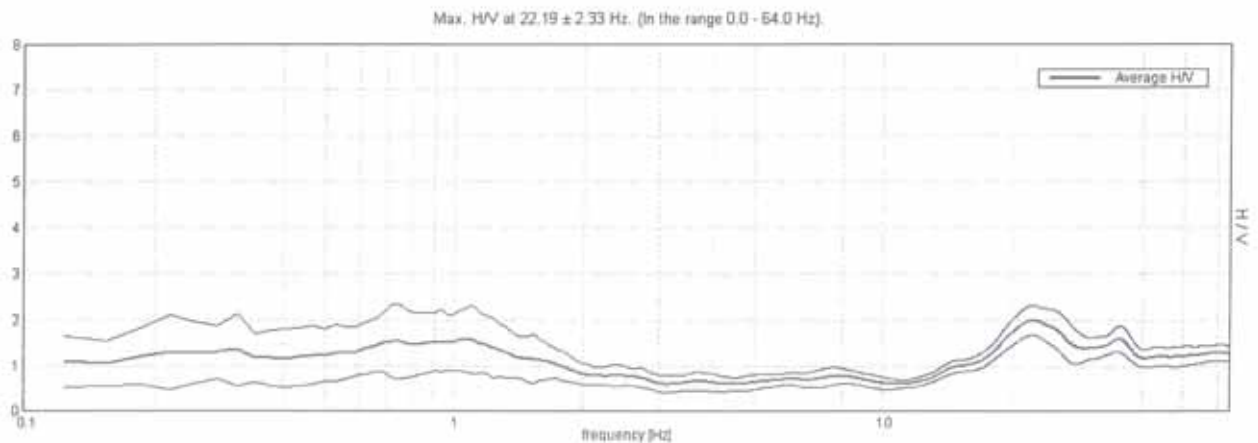
Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un tromografo, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).

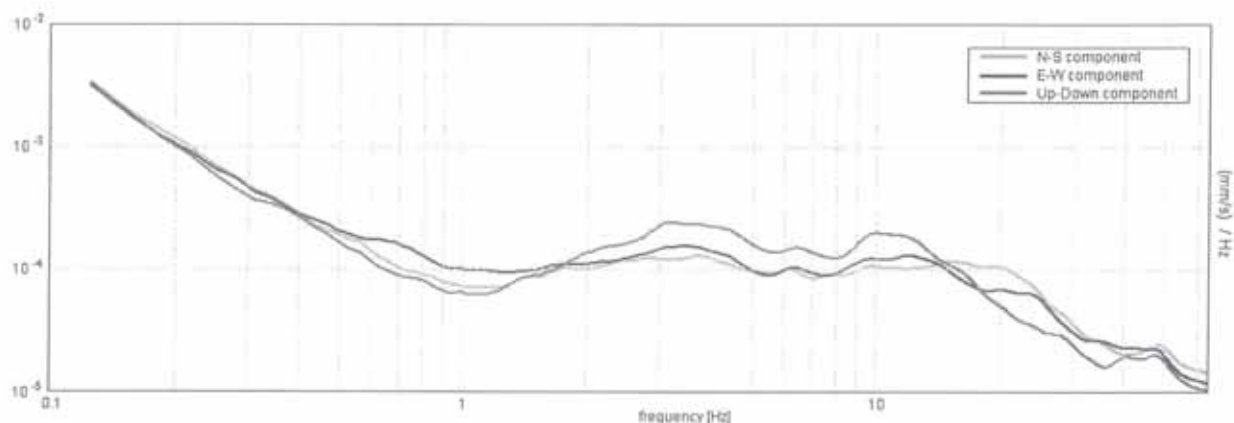
I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in spettri H/V. nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon normalizzatore e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente, relativo all'area in studio:



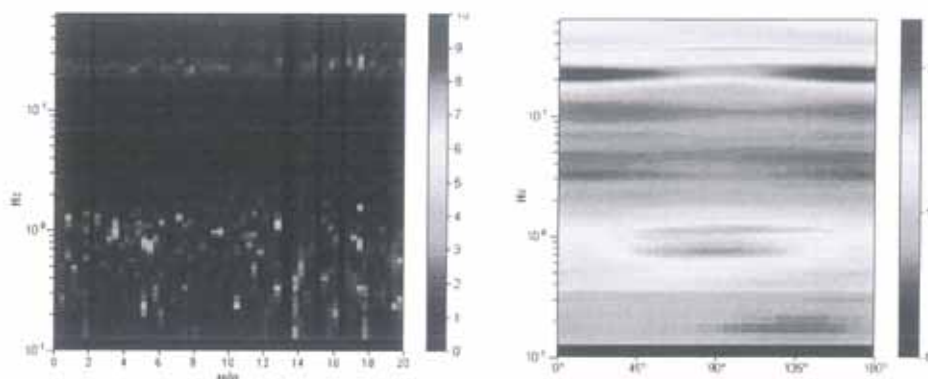


La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di *risonanza*, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi di passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad *artefatti e transienti*, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno smoothing (nel nostro caso triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



Tutti i dettagli dell'analisi e della elaborazione oltre alla classificazione secondo i criteri SESAME sono contenuti nella tavola allegata.

Nel caso specifico è possibile osservare un alto di ellitticità dell'onda oltre i 20 Hz, con valore circa 2, a frequenza posta fuori dal campo di interesse ingegneristico e derivante da anisotropie del segnale; all'analisi delle componenti il picco non mostra significatività statistica, è stabile temporalmente ma mostra anisotropia direzionale; il "picco" ha un probabile valore stratigrafico, legato alle coperture molto superficiali sebbene del tutto privo di interesse ingegneristico.

Applicando i valori delle Vs risultati della prova HVSR, sapendo che la profondità di una superficie risonante è valutabile con:

$$H = V_s / 4v$$

con una Vs equivalente nei primi 2.4 m di 210 m/s alla frequenza di vibrazione di 22 Hz, si ottiene una interfaccia risonante posta a 2.4 m perfettamente corrispondente alla base delle alluvioni sabbioso-limose e al tetto delle ghiaie di conoide.

Il resto della curva risulta piatta, pur con anisotropie di modesta entità, il che fa ritenere che non sussistano contrasti di impedenza significativi tali da produrre effetti sensibili sul comportamento sismico locale.

## 6 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

### 6.1 STRATIGRAFIA

L'indagine in sito ha consentito la discriminazione dei seguenti orizzonti omogenei:

- ☐ livello 0: coperture e riporti, spessore 0.6 m
- ☐ livello A: alluvioni limose e limo-sabbiose NC, consistenza bassa, umido, spessore 1 m, prof. della base da 1.4 m,  $Q_c$  10 Kg/cm<sup>2</sup>, Vs 200 m/s
- ☐ livello B: alluvioni sabbioso-limose NC, consistenza medio-bassa, umido, spessore 0.4-1.2 m, prof. della base 1.8-2.6 m,  $Q_c$  30/40 Kg/cm<sup>2</sup>, Vs 216 m/s
- ☐ livello C: alluvioni sabbioso-ghiaiose con sottili intercalazioni fini, addensamento normale, saturo, spessore >20 m, prof. della base >10 m,  $Q_c$  da 70 a 120 Kg/cm<sup>2</sup>, Vs da 340 a 425 m/s nei primi 10 m.



## 6.2 PARAMETRIZZAZIONE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dei risultati delle indagini in sito descritte nel precedente capitolo si sono attribuiti ai livelli omogenei individuati i parametri meccanici caratteristici tabulati di seguito.

La disponibilità di indagini di tipo differente e l'assunzione dei valori relativi ai dati "di fondo" consente di considerare tali valori come caratteristici dei singoli livelli geotecnici.

Dal momento che le condizioni non drenate non sono significative per terreni permeabili, sono stati omessi i relativi parametri meccanici per i livelli incoerenti.

### CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA, MECCANICA E SISMO-STRATIGR.

| dati id. |                           | parametri puntuali |          |                                                   | parametri caratteristici (M1)   |                                      |                                                  |                           |                                         |                                                          |                               | stratigrafia              |
|----------|---------------------------|--------------------|----------|---------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| strato   | prof. base strato da p.c. | Qc medio           | Vs medio | naturali<br>E<br>modulo di compressib. edometrica | $\gamma$<br>peso di volume nat. | $\gamma'$<br>peso di volume efficace | drenati<br>$\phi'$<br>angolo di attrito efficace | $c'$<br>coesione efficace | $\gamma_{sat}$<br>peso di volume saturo | non drenati<br>$\phi_u$<br>angolo di attrito non drenato | $c_u$<br>coesione non drenata | litotipo                  |
|          | m                         | MPa                | m/s      | MPa                                               | kN/m <sup>3</sup>               | kN/m <sup>3</sup>                    | °                                                | kPa                       | kN/m <sup>3</sup>                       | °                                                        | kPa                           |                           |
| O        | 0.4                       | -                  | 200      | -                                                 | 18                              | 18                                   | -                                                | -                         | 19                                      | -                                                        | -                             | suolo vegetale e rip.     |
| A        | 1.4                       | 1                  | 216      | 4                                                 | 18.5                            | 18.5                                 | 27                                               | 0                         | 20                                      | 0                                                        | 50                            | riporti o alluvioni LS    |
| B        | 1.8/2.6                   | 3/4                | 216      | 12                                                | 19                              | 19                                   | 30                                               | 0                         | 20                                      | 0                                                        | 100                           | alluvioni NC sabbioso-lim |
| C        | 4/4.2                     | 7/10               | 343      | 20                                                | 21                              | 12                                   | 31/33                                            | 0                         | 22                                      | -                                                        | -                             | alluvioni NC sabbghiaiose |
|          | 4.8                       | 1                  | 425      | 4                                                 | 18.5                            | 10                                   | 27                                               | 0                         | 20                                      | 0                                                        | 50                            | alluvioni NC limose       |
|          | >>10                      | 7/12               | 425      | 4.20                                              | 21                              | 12                                   | 31/33                                            | 0                         | 20                                      | -                                                        | -                             | alluvioni NC sabb-gh      |

(- dati non significativi)

## 7 COMPORTAMENTO SISMICO

### 7.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il comune di Pistoia è classificato sismico ed è incluso nella zona 2 di cui all'OPCM 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successivo OPCM 3519/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", cui segue la proposta di classificazione regionale approvata per la Regione Toscana nella versione più recente con DGRT 878/2012, che conferma la classificazione.

La classificazione del profilo di suolo é valutata tramite l'esito di indagini geofisiche in merito alla velocità di propagazione delle onde sismiche nei primi 30 metri di suolo al di sotto del piano di fondazione, in questo caso ad una quota di poco sotto il p.c.

Le risultanze della prova consultata indicano un valore di  $V_{s30}$  a partire dal piano di posa dei plinti superiore a 360 m/s e sostanziale progressione di rigidità sismica nei primi 30 m, il che permette di assegnare la struttura sismo-stratigrafica in studio, con riferimento alla tabella 3.2.II delle NTC alla categoria di suolo B.

## 7.2 AZIONI SISMICHE

Alle azioni sismiche contribuiscono i parametri statici, che dipendono essenzialmente dalla sorgente del terremoto (accelerazione di picco orizzontale al suolo  $a_0$ , intensità macrosismica I) ed i parametri dinamici, che dipendono dalla posizione e dalle caratteristiche geologiche del sito (fattori di amplificazione  $S$  e  $F_0$ ) e dal periodo dello spettro di risposta (periodi di oscillazione massima del suolo).

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_0$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 7.2.1 VITA DI RIFERIMENTO

Il primo aspetto da considerare riguarda la definizione della vita di riferimento della struttura  $V_r$ , intesa come prodotto tra  $V_n$  (vita nominale) e  $c_u$  (classe d'uso per la valutazione della sicurezza).

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo alla quale è stata destinata. La vita nominale  $V_n$  è data dalla tab. 2.4.1 allegata alle NTC.

Le costruzioni risultano inoltre divise in n. 4 classi d'uso in riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, a cui corrispondono coefficienti di uso  $c_u$  diversi.

Pur rimandando allo strutturista la valutazione della vita riferimento, riteniamo che nel caso specifico in quanto trattasi di edificio ordinario con affollamento significativo (tipo di costruzione 2, classe d'uso III) valga:

Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_r = V_n * c_u = 50 * 1.5 = 75$  anni.

### 7.2.2 STATI LIMITE E PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I delle NTC.

### 7.2.3 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

L'accelerazione spettrale orizzontale  $S_e(T)$  è data dalla seguente relazione:



$$S_e(T) = a_g * S * \eta * F_o$$

dove:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito

$\eta$  = fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione  $\eta = 10/(5 + \xi) \geq 0.55$

dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione

$F_o$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2

$S$  = coefficiente che tiene conto della categoria di suolo di fondazione ( $S_s$ ) e delle condizioni topografiche ( $S_t$ ) attraverso la relazione  $S = S_s * S_t$

Il coefficiente  $S_s$  deriva dalla tab. 3.2 V delle NTC, il coefficiente  $S_t$  deriva dalla tab. 3.2.IV.

Nel caso specifico, in considerazione di una categoria di suolo di fondazione di tipo B e di un'area di fondovalle risulta:

|       |     |
|-------|-----|
| $S_t$ | 1.0 |
| $S_s$ | 1.2 |

$$S = 1.2$$

Le immagini successive illustrano la schermata del programma on line della GeoStru che consente di ottenere i parametri di pericolosità sismica locale a partire dai vertici del reticolo di riferimento tabulati dall'INGV, per i due casi ipotizzati in precedenza.

#### 7.2.4 ANALISI DELLA POTENZIALITÀ DI LIQUEFAZIONE

Il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivate da un evento sismico nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre sottoposte all'accelerazione sismica, che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare. Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente. Per tali motivazioni, soltanto i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale tipo di rischio.

Dall'analisi dei dati litotecnici descritti risulta la presenza di una falda superficiale, tale da garantire un grado di imbibizione costante al di sotto dei 3-5 m circa, mentre non risultano a queste profondità depositi incoerenti monogranulari fini, tali da comportare problematiche significative in questo senso.

Ne consegue quindi che nella zona esaminata le possibilità di liquefazione sono da considerare moderate, e pertanto se ne ometteranno pertanto le relative verifiche, con riferimento al comma 5 del § 7.11.3.4.2 delle NTC 2008.



Termini e condizioni d'uso Segnala un errore nella mappa  
43.920323, 10.925622

☒ Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi

| Stato Limite                                 | Tr<br>[anni] | a <sub>s</sub><br>[g] | F <sub>o</sub> | T <sub>c</sub> '<br>[s] |
|----------------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|-------------------------|
| Operatività (SLO)                            | 45           | 0,061                 | 2,517          | 0,260                   |
| Danno (SLD)                                  | 75           | 0,075                 | 2,499          | 0,271                   |
| Salvaguardia vita (SLV)                      | 712          | 0,177                 | 2,390          | 0,299                   |
| Prevenzione collasso (SLC)                   | 1462         | 0,223                 | 2,387          | 0,309                   |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 75           |                       |                |                         |

#### Calcolo dei coefficienti sismici

- ☒ Muri di sostegno ☐ Paratie  
☒ Stabilità dei pendii e fondazioni  
☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)   
 us (m)   
 Categoria sottosuolo   
 Categoria topografica

|                              | SLO  | SLD  | SLV  | SLC  |
|------------------------------|------|------|------|------|
| Ss *                         | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,19 |
| Amplificazione stratigrafica |      |      |      |      |
| Cc *                         | 1,44 | 1,43 | 1,40 | 1,39 |
| Coeff. funz. categoria       |      |      |      |      |
| St *                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Amplificazione topografica   |      |      |      |      |

☐ Personalizza acc. ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

| Coefficienti                         | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                                   | 0,013 | 0,016 | 0,051 | 0,062 |
| kv                                   | 0,007 | 0,008 | 0,026 | 0,041 |
| A <sub>max</sub> [m/s <sup>2</sup> ] | 0,713 | 0,882 | 2,085 | 2,605 |
| Beta                                 | 0,180 | 0,180 | 0,240 | 0,310 |

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'indagine geognostica realizzata nel sito di intervento, basata su indagini in sito commisurate alle finalità della verifica e ai tipi litologici che compongono il substrato, ha consentito di fornire un quadro dell'assetto litotecnico e idrogeologico locale preliminare sufficiente a consentire la corretta impostazione della progettazione architettonica.

E' emersa la presenza di un substrato alluvionale normalconsolidato di elevato spessore, costituito da sedimenti di bassa energia solo nei primi 2-2.5 m, seguiti da sedimenti di elevata energia, incoerenti, riferibili alla conoide alluvionale recente dell'Ombrore, permeati da una falda freatica con soggiacenza di 3-5 metri circa, poggianti su substrato rigido a profondità molto consistenti (superiori a 10 m dai dati della microzonazione).

*Poggio a Caiano, 16 novembre 2013*





## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977  
deviazioni dalla norma: Nessuna

verbale di accettazione n° 081/2013  
certificato di prova n° 0135/2013

del 22/05/2013  
del 28/05/2013

Int. Certificati: Comune di Pistoia  
Località: via Bassa della Vergine, Pistoia - Asilo Balena -  
prova n° 1

## CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro: Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138  
sistema di ancoraggio  $\phi$ : 100 x 1000  
sistema di misura: selettore con cella di carico e scheda elettronica acquisizione dati manuale  
punta: conica meccanica

|                    |      |                 |
|--------------------|------|-----------------|
| diametro           | 3,57 | cm              |
| area punta         | 10   | cm <sup>2</sup> |
| angolo di apertura | 60   | °               |
| area manicotto     | 150  | cm <sup>2</sup> |

## DATI DI PROVA

|                                  |                           |      |         |
|----------------------------------|---------------------------|------|---------|
| data inizio lavori: 22/05/2013   | prof. inizio prova (m): - | 0,00 | da p.c. |
| data fine lavori: 22/05/2013     | prof. fine prova (m): -   | 8,60 | da p.c. |
| Prescavo profondità metri 0,00   | totale metri prova:       | 8,60 | m       |
| Installato piezometro metri 7,00 | livello di falda (m):     | n.r. | da p.c. |

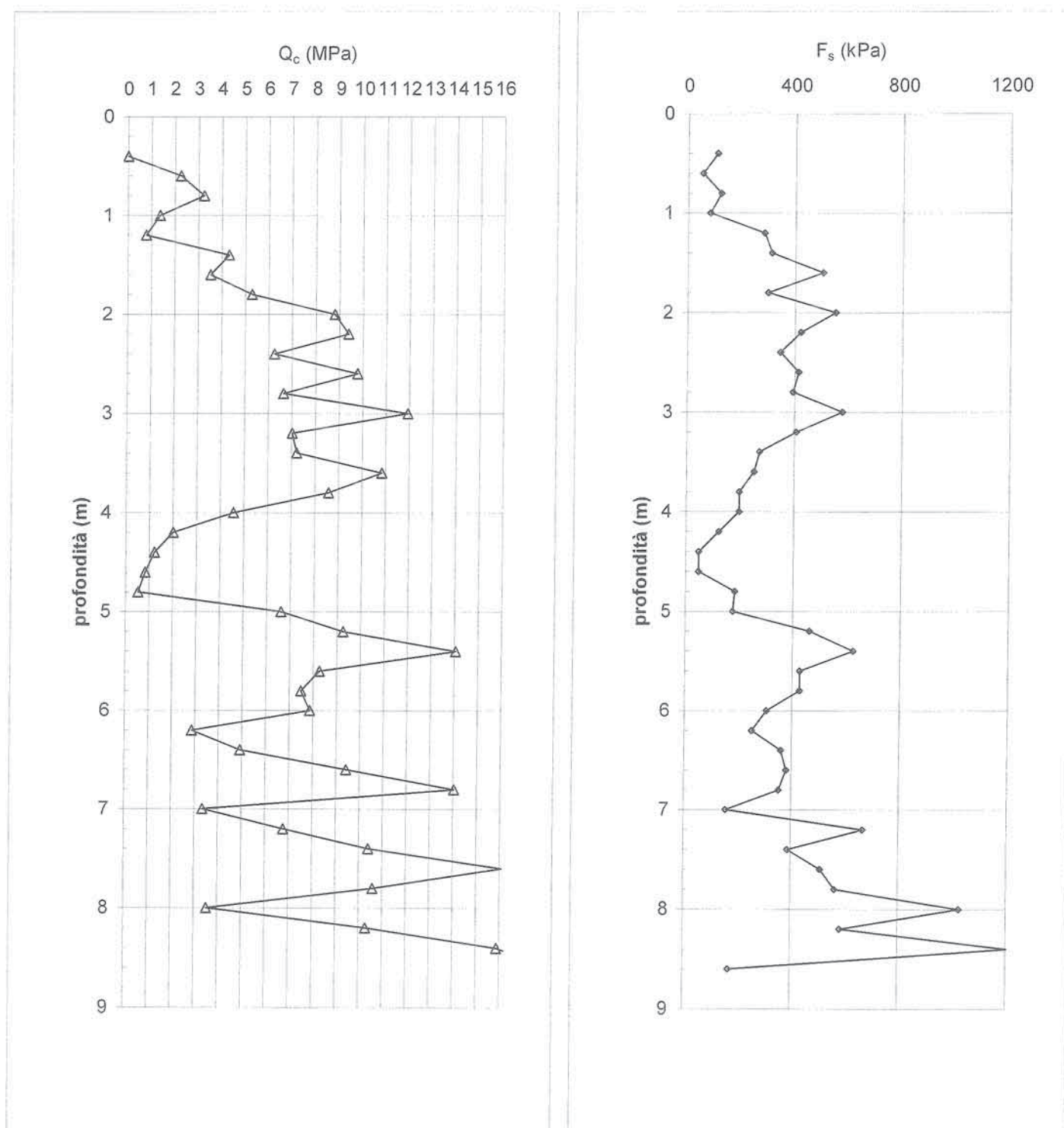
Massima profondità prima del disancoraggio

| profondità<br>base strato<br>da p.c. (m) | Lecture di campagna<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |                      | Forza assiale (kN) |                      | Resistenza<br>alla punta -<br>q <sub>c</sub> (MPa) | Attrito<br>laterale<br>unitario - f <sub>s</sub><br>(kPa) | q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub> | note |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------|
|                                          | punta                                        | punta +<br>manicotto | punta              | punta +<br>manicotto |                                                    |                                                           |                                |      |
| 0,20                                     |                                              |                      |                    |                      |                                                    | 0,00                                                      | 0,00                           |      |
| 0,40                                     | 0,00                                         | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00                                               | 108,77                                                    | 0,00                           |      |
| 0,60                                     | 23,00                                        | 39,00                | 230,00             | 390,00               | 229,33                                             | 54,38                                                     | 41,35                          |      |
| 0,80                                     | 33,00                                        | 41,00                | 330,00             | 410,00               | 329,06                                             | 122,37                                                    | 26,37                          |      |
| 1,00                                     | 14,00                                        | 32,00                | 140,00             | 320,00               | 138,79                                             | 81,58                                                     | 16,68                          |      |
| 1,20                                     | 8,00                                         | 20,00                | 80,00              | 200,00               | 78,52                                              | 285,52                                                    | 2,70                           |      |

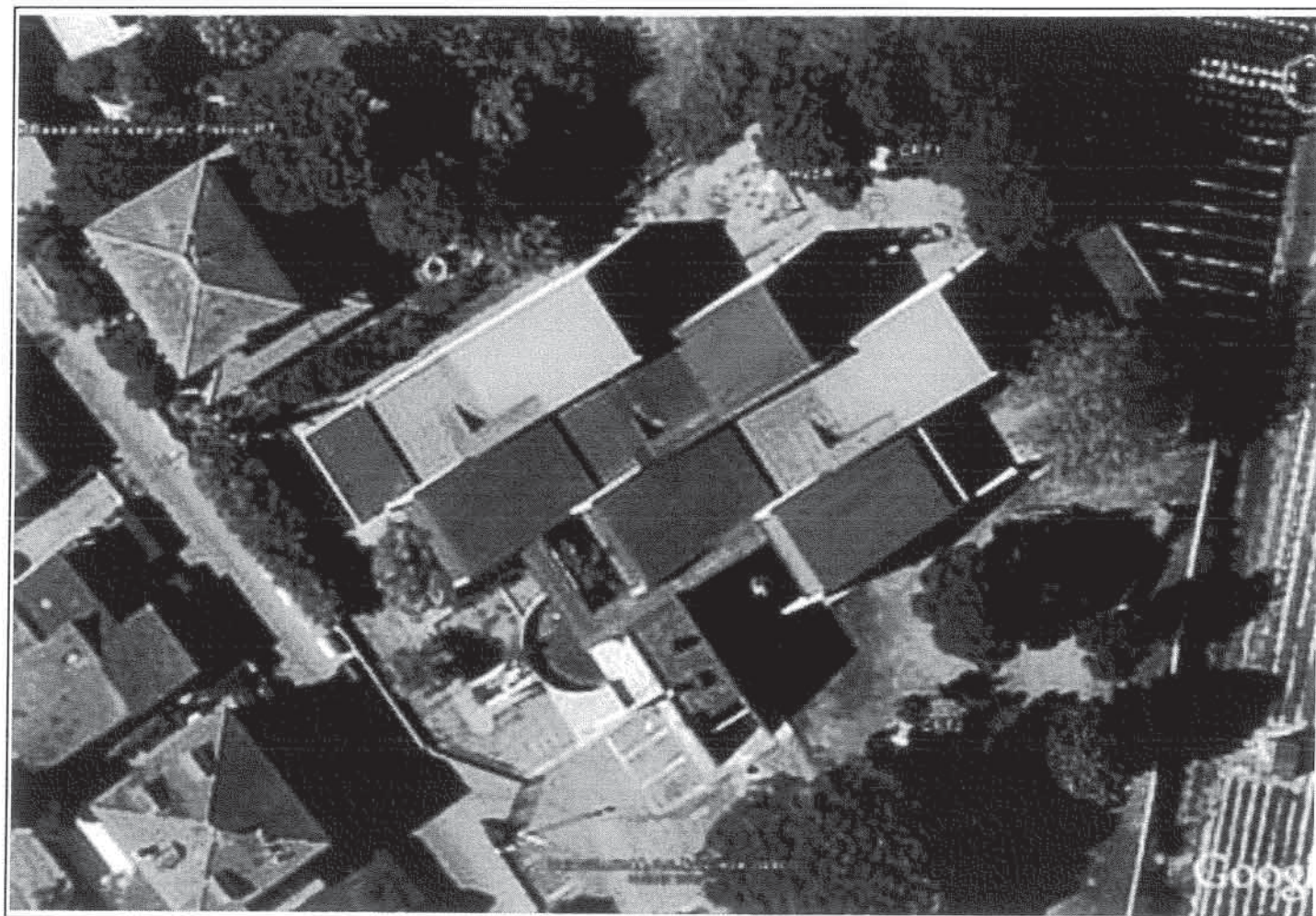
| profondità<br>da p.c. (m) | Lecture (kg/cm2) |                      | Forza assiale (kN) |                      | Resistenza<br>alla punta -<br>q <sub>c</sub> (MPa) | Attrito<br>laterale<br>unitario - f <sub>s</sub><br>(kPa) | q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub> | note |
|---------------------------|------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------|
|                           | punta            | punta +<br>manicotto | punta              | punta +<br>manicotto |                                                    |                                                           |                                |      |
| 1,40                      | 44,00            | 86,00                | 80,00              | 200,00               | 78,52                                              | 312,71                                                    | 2,70                           |      |
| 1,60                      | 36,00            | 82,00                | 3,51               | 8,02                 | 3,51                                               | 503,06                                                    | 6,98                           |      |
| 1,80                      | 54,00            | 128,00               | 5,27               | 12,53                | 5,27                                               | 299,12                                                    | 17,63                          |      |
| 2,00                      | 90,00            | 134,00               | 8,80               | 13,12                | 8,80                                               | 550,65                                                    | 15,98                          |      |
| 2,20                      | 96,00            | 177,00               | 9,39               | 17,33                | 9,39                                               | 421,48                                                    | 22,27                          |      |
| 2,40                      | 64,00            | 126,00               | 6,25               | 12,33                | 6,25                                               | 346,70                                                    | 18,01                          |      |
| 2,60                      | 100,00           | 151,00               | 9,77               | 14,77                | 9,77                                               | 414,68                                                    | 23,57                          |      |
| 2,80                      | 68,00            | 129,00               | 6,63               | 12,61                | 6,63                                               | 394,29                                                    | 16,82                          |      |
| 3,00                      | 122,00           | 180,00               | 11,93              | 17,61                | 11,93                                              | 577,84                                                    | 20,64                          |      |
| 3,20                      | 72,00            | 157,00               | 7,02               | 15,36                | 7,02                                               | 407,89                                                    | 17,21                          |      |
| 3,40                      | 74,00            | 134,00               | 7,21               | 13,10                | 7,21                                               | 271,92                                                    | 26,53                          |      |
| 3,60                      | 111,00           | 151,00               | 10,84              | 14,76                | 10,84                                              | 251,53                                                    | 43,09                          |      |
| 3,80                      | 88,00            | 125,00               | 8,58               | 12,21                | 8,58                                               | 197,15                                                    | 43,53                          |      |
| 4,00                      | 47,00            | 76,00                | 4,56               | 7,40                 | 4,56                                               | 197,15                                                    | 23,12                          |      |
| 4,20                      | 21,00            | 50,00                | 2,01               | 4,85                 | 2,01                                               | 122,37                                                    | 16,39                          |      |
| 4,40                      | 13,00            | 31,00                | 1,22               | 2,98                 | 1,22                                               | 47,59                                                     | 25,59                          |      |
| 4,60                      | 9,00             | 16,00                | 0,82               | 1,51                 | 0,82                                               | 47,59                                                     | 17,30                          |      |
| 4,80                      | 6,00             | 13,00                | 0,53               | 1,21                 | 0,53                                               | 183,55                                                    | 2,87                           |      |
| 5,00                      | 68,00            | 95,00                | 6,60               | 9,25                 | 6,60                                               | 176,75                                                    | 37,36                          |      |
| 5,20                      | 95,00            | 121,00               | 9,25               | 11,80                | 9,25                                               | 462,27                                                    | 20,01                          |      |
| 5,40                      | 144,00           | 212,00               | 14,05              | 20,72                | 14,05                                              | 625,43                                                    | 22,47                          |      |
| 5,60                      | 85,00            | 177,00               | 8,26               | 17,28                | 8,26                                               | 428,28                                                    | 19,29                          |      |
| 5,80                      | 77,00            | 140,00               | 7,48               | 13,65                | 7,48                                               | 428,28                                                    | 17,46                          |      |
| 6,00                      | 81,00            | 144,00               | 7,87               | 14,04                | 7,87                                               | 305,91                                                    | 25,71                          |      |
| 6,20                      | 30,00            | 75,00                | 2,86               | 7,27                 | 2,86                                               | 251,53                                                    | 11,38                          |      |
| 6,40                      | 51,00            | 88,00                | 4,92               | 8,55                 | 4,92                                               | 360,30                                                    | 13,65                          |      |
| 6,60                      | 97,00            | 150,00               | 9,43               | 14,62                | 9,43                                               | 380,69                                                    | 24,76                          |      |
| 6,80                      | 144,00           | 200,00               | 14,03              | 19,52                | 14,03                                              | 353,50                                                    | 39,70                          |      |
| 7,00                      | 35,00            | 87,00                | 3,34               | 8,44                 | 3,34                                               | 156,36                                                    | 21,37                          |      |
| 7,20                      | 70,00            | 93,00                | 6,77               | 9,03                 | 6,77                                               | 666,21                                                    | 10,16                          |      |
| 7,40                      | 107,00           | 205,00               | 10,40              | 20,01                | 10,40                                              | 387,49                                                    | 26,83                          |      |
| 7,60                      | 165,00           | 222,00               | 16,08              | 21,67                | 16,08                                              | 509,86                                                    | 31,54                          |      |
| 7,80                      | 109,00           | 184,00               | 10,59              | 17,94                | 10,59                                              | 564,24                                                    | 18,76                          |      |
| 8,00                      | 37,00            | 120,00               | 3,52               | 11,66                | 3,52                                               | 1026,51                                                   | 3,43                           |      |
| 8,20                      | 106,00           | 257,00               | 10,29              | 25,10                | 10,29                                              | 584,64                                                    | 17,60                          |      |
| 8,40                      | 163,00           | 249,00               | 15,87              | 24,31                | 15,87                                              | 1203,27                                                   | 13,19                          |      |
| 8,60                      | 188,00           | 365,00               | 18,32              | 35,68                | 18,32                                              |                                                           |                                |      |
| 8,80                      |                  |                      |                    |                      |                                                    |                                                           |                                |      |
| 9,00                      |                  |                      |                    |                      |                                                    |                                                           |                                |      |



## DIAGRAMMI



## UBICAZIONE DELLA PROVA





## PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

Il presente certificato è composto da n. 4 pagine

norma di riferimento: Raccomandazioni AGI 1977  
deviazioni dalla norma: Nessuna

verbale di accettazione n° 081/2013  
certificato di prova n° 0136/2013

del 22/05/2013  
del 28/05/2013

Int. Certificati: Comune di Pistoia  
Località: via Bassa della Vergine, Pistoia - Asilo Balena -  
prova n° 2

## CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

penetrometro: Pagani TG 63-100/200 n. matricola P 001138  
sistema di ancoraggio  $\phi$ : 100 x 1000  
sistema di misura: selettore con cella di carico e scheda elettronica acquisizione dati manuale  
punta: conica meccanica

|                    |      |                 |
|--------------------|------|-----------------|
| diametro           | 3,57 | cm              |
| area punta         | 10   | cm <sup>2</sup> |
| angolo di apertura | 60   | °               |
| area manicotto     | 150  | cm <sup>2</sup> |

## DATI DI PROVA

|                                  |                           |      |         |
|----------------------------------|---------------------------|------|---------|
| data inizio lavori: 22/05/2013   | prof. inizio prova (m): - | 0,00 | da p.c. |
| data fine lavori: 22/05/2013     | prof. fine prova (m): -   | 7,00 | da p.c. |
| Prescavo profondità metri 0,00   | totale metri prova:       | 7,00 | m       |
| Installato piezometro metri 0,00 | livello di falda (m):     | n.r. | da p.c. |

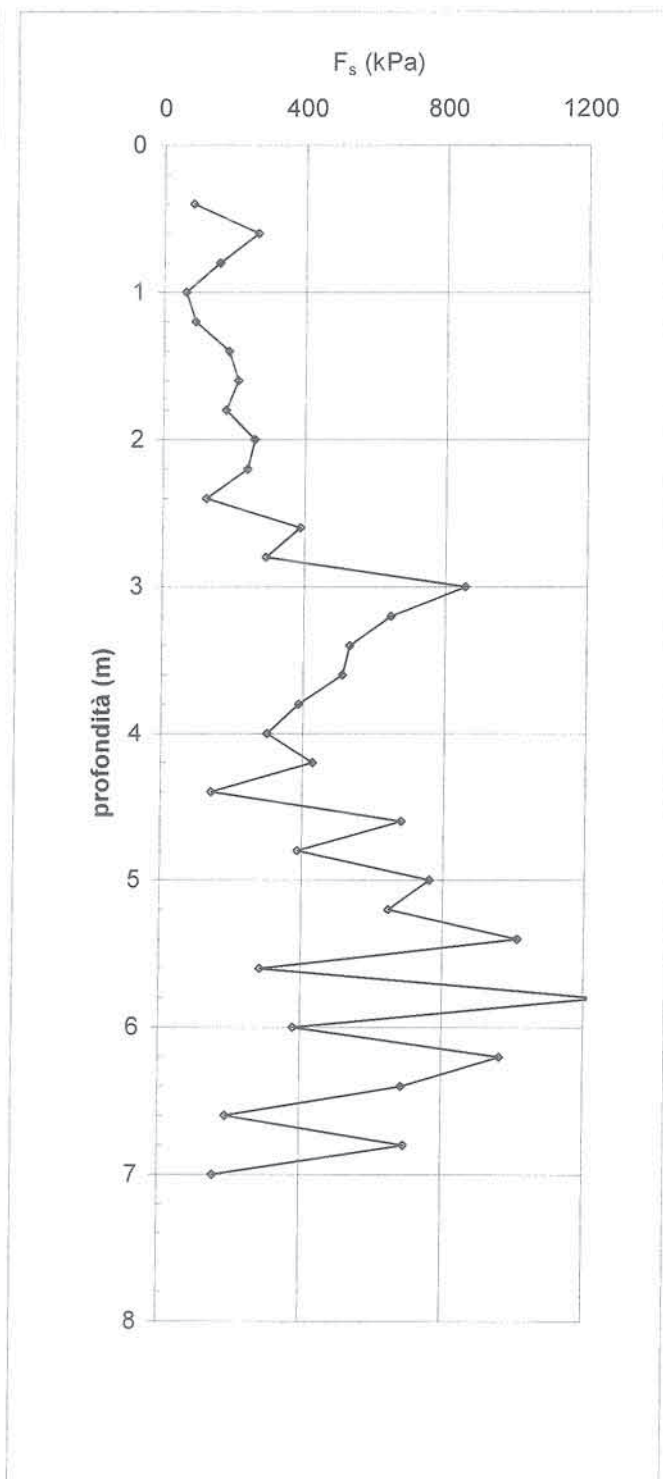
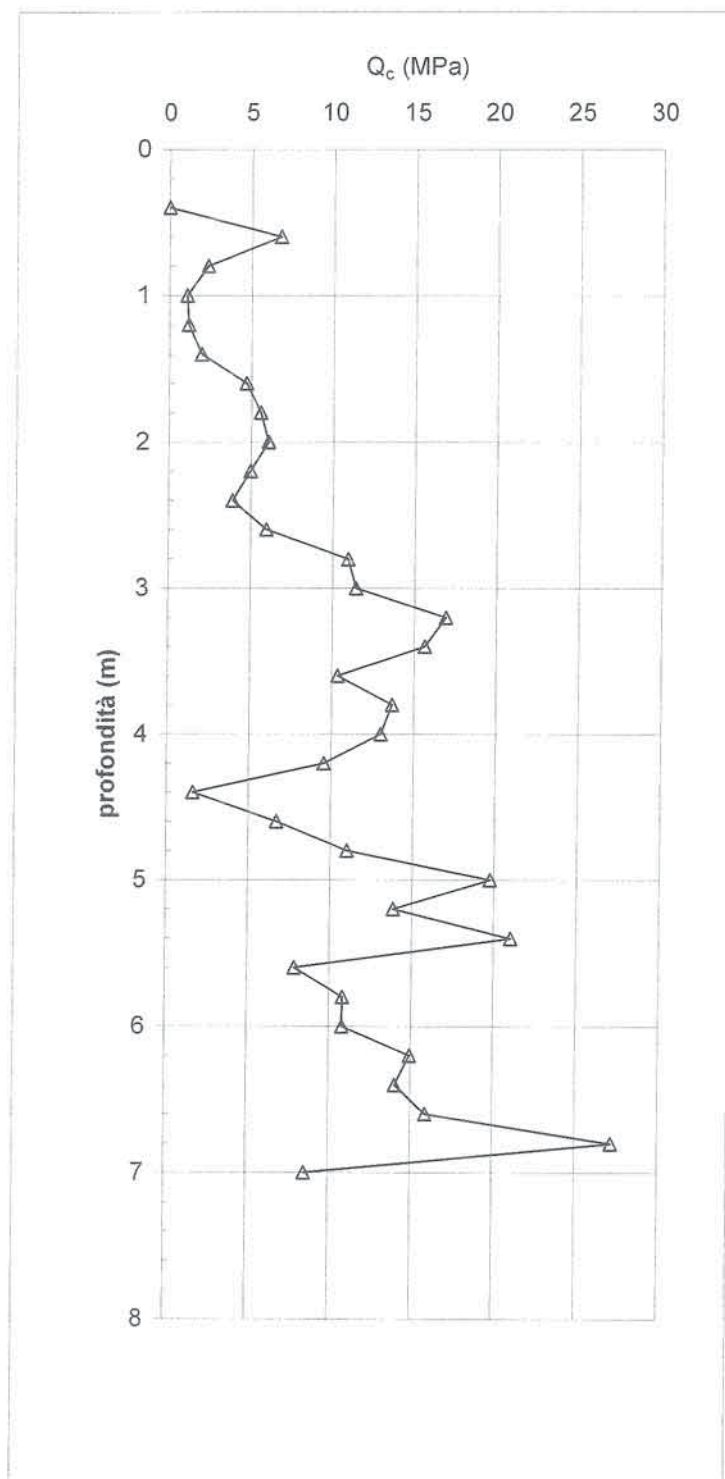
Massima profondità prima del disancoraggio

| profondità<br>base strato<br>da p.c. (m) | Letture di campagna<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |                      | Forza assiale (kN) |                      | Resistenza<br>alla punta -<br>q <sub>c</sub> (MPa) | Attrito<br>laterale<br>unitario - f <sub>s</sub><br>(kPa) | q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub> | note |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------|
|                                          | punta                                        | punta +<br>manicotto | punta              | punta +<br>manicotto |                                                    |                                                           |                                |      |
| 0,20                                     |                                              |                      |                    |                      |                                                    | 0,00                                                      | 0,00                           |      |
| 0,40                                     | 0,00                                         | 0,00                 | 0,00               | 0,00                 | 0,00                                               | 81,58                                                     | 0,00                           |      |
| 0,60                                     | 69,00                                        | 81,00                | 690,00             | 810,00               | 689,33                                             | 265,13                                                    | 25,50                          |      |
| 0,80                                     | 24,00                                        | 63,00                | 240,00             | 630,00               | 239,06                                             | 156,36                                                    | 14,99                          |      |
| 1,00                                     | 11,00                                        | 34,00                | 110,00             | 340,00               | 108,79                                             | 61,18                                                     | 17,44                          |      |
| 1,20                                     | 12,00                                        | 21,00                | 120,00             | 210,00               | 118,52                                             | 88,38                                                     | 13,15                          |      |

| profondità<br>da p.c. (m) | Lecture (kg/cm2) |                      | Forza assiale (kN) |                      | Resistenza<br>alla punta -<br>q <sub>c</sub> (MPa) | Attrito<br>laterale<br>unitario - f <sub>s</sub><br>(kPa) | q <sub>c</sub> /f <sub>s</sub> | note |
|---------------------------|------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|------|
|                           | punta            | punta +<br>manicotto | punta              | punta +<br>manicotto |                                                    |                                                           |                                |      |
| 1,40                      | 20,00            | 33,00                | 120,00             | 210,00               | 118,52                                             | 183,55                                                    | 13,15                          |      |
| 1,60                      | 48,00            | 75,00                | 4,69               | 7,34                 | 4,69                                               | 210,74                                                    | 22,24                          |      |
| 1,80                      | 57,00            | 88,00                | 5,57               | 8,61                 | 5,57                                               | 176,75                                                    | 31,50                          |      |
| 2,00                      | 62,00            | 88,00                | 6,05               | 8,60                 | 6,05                                               | 258,33                                                    | 23,44                          |      |
| 2,20                      | 51,00            | 89,00                | 4,97               | 8,70                 | 4,97                                               | 237,93                                                    | 20,90                          |      |
| 2,40                      | 40,00            | 75,00                | 3,89               | 7,32                 | 3,89                                               | 122,37                                                    | 31,81                          |      |
| 2,60                      | 61,00            | 79,00                | 5,95               | 7,71                 | 5,95                                               | 387,49                                                    | 15,35                          |      |
| 2,80                      | 112,00           | 169,00               | 10,95              | 16,54                | 10,95                                              | 292,32                                                    | 37,45                          |      |
| 3,00                      | 117,00           | 160,00               | 11,44              | 15,65                | 11,44                                              | 856,56                                                    | 13,35                          |      |
| 3,20                      | 173,00           | 299,00               | 16,92              | 29,28                | 16,92                                              | 645,82                                                    | 26,21                          |      |
| 3,40                      | 160,00           | 255,00               | 15,65              | 24,96                | 15,65                                              | 530,25                                                    | 29,51                          |      |
| 3,60                      | 106,00           | 184,00               | 10,35              | 18,00                | 10,35                                              | 509,86                                                    | 20,30                          |      |
| 3,80                      | 140,00           | 215,00               | 13,68              | 21,04                | 13,68                                              | 387,49                                                    | 35,30                          |      |
| 4,00                      | 133,00           | 190,00               | 12,99              | 18,58                | 12,99                                              | 299,12                                                    | 43,43                          |      |
| 4,20                      | 98,00            | 142,00               | 9,56               | 13,87                | 9,56                                               | 428,28                                                    | 22,31                          |      |
| 4,40                      | 17,00            | 80,00                | 1,61               | 7,79                 | 1,61                                               | 142,76                                                    | 11,28                          |      |
| 4,60                      | 69,00            | 90,00                | 6,71               | 8,77                 | 6,71                                               | 679,81                                                    | 9,87                           |      |
| 4,80                      | 113,00           | 213,00               | 11,02              | 20,83                | 11,02                                              | 387,49                                                    | 28,44                          |      |
| 5,00                      | 202,00           | 259,00               | 19,74              | 25,33                | 19,74                                              | 761,39                                                    | 25,93                          |      |
| 5,20                      | 142,00           | 254,00               | 13,86              | 24,84                | 13,86                                              | 645,82                                                    | 21,46                          |      |
| 5,40                      | 215,00           | 310,00               | 21,01              | 30,33                | 21,01                                              | 1012,92                                                   | 20,75                          |      |
| 5,60                      | 81,00            | 230,00               | 7,87               | 22,48                | 7,87                                               | 285,52                                                    | 27,57                          |      |
| 5,80                      | 111,00           | 153,00               | 10,81              | 14,93                | 10,81                                              | 1244,05                                                   | 8,69                           |      |
| 6,00                      | 111,00           | 294,00               | 10,81              | 28,75                | 10,81                                              | 380,69                                                    | 28,39                          |      |
| 6,20                      | 153,00           | 209,00               | 14,92              | 20,42                | 14,92                                              | 965,33                                                    | 15,46                          |      |
| 6,40                      | 144,00           | 286,00               | 14,04              | 27,96                | 14,04                                              | 686,61                                                    | 20,45                          |      |
| 6,60                      | 163,00           | 264,00               | 15,90              | 25,80                | 15,90                                              | 190,35                                                    | 83,53                          |      |
| 6,80                      | 278,00           | 306,00               | 27,17              | 29,92                | 27,17                                              | 693,41                                                    | 39,19                          |      |
| 7,00                      | 88,00            | 190,00               | 8,54               | 18,54                | 8,54                                               | 156,36                                                    | 54,61                          |      |
| 7,20                      | 70,00            | 93,00                | 6,77               | 9,03                 | 6,77                                               | 666,21                                                    | 10,16                          |      |
| 7,40                      | 107,00           | 205,00               | 10,40              | 20,01                | 10,40                                              | 387,49                                                    | 26,83                          |      |
| 7,60                      | 165,00           | 222,00               | 16,08              | 21,67                | 16,08                                              | 509,86                                                    | 31,54                          |      |
| 7,80                      | 109,00           | 184,00               | 10,59              | 17,94                | 10,59                                              | 564,24                                                    | 18,76                          |      |
| 8,00                      | 37,00            | 120,00               | 3,52               | 11,66                | 3,52                                               | 1026,51                                                   | 3,43                           |      |
| 8,20                      | 106,00           | 257,00               | 10,29              | 25,10                | 10,29                                              | 584,64                                                    | 17,60                          |      |
| 8,40                      | 163,00           | 249,00               | 15,87              | 24,31                | 15,87                                              | 1203,27                                                   | 13,19                          |      |
| 8,60                      | 188,00           | 365,00               | 18,32              | 35,68                | 18,32                                              |                                                           |                                |      |
| 8,80                      |                  |                      |                    |                      |                                                    |                                                           |                                |      |
| 9,00                      |                  |                      |                    |                      |                                                    |                                                           |                                |      |



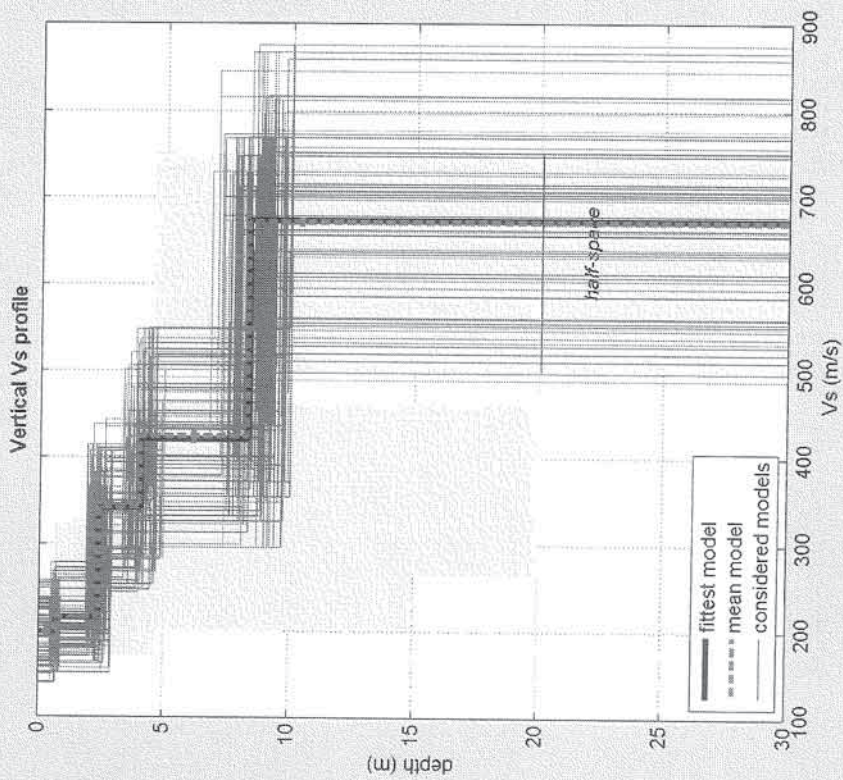
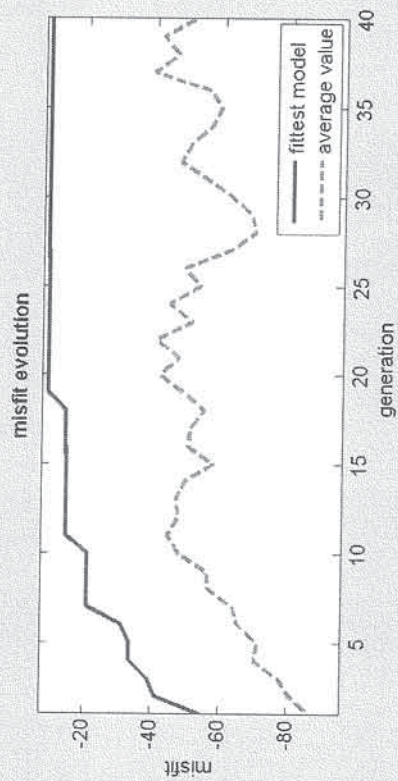
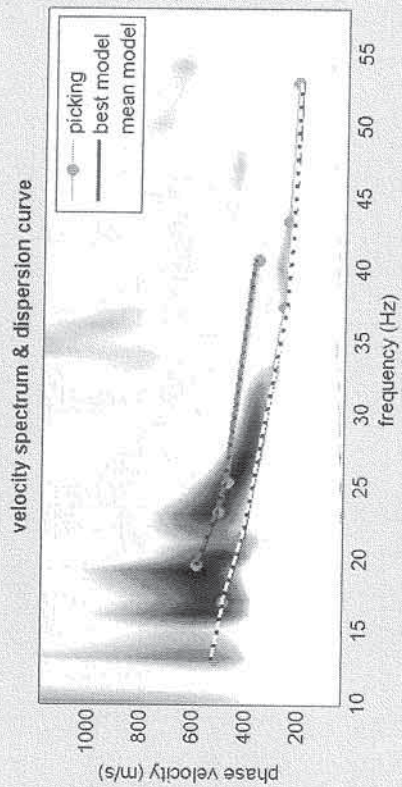
## DIAGRAMMI



## UBICAZIONE DELLA PROVA







dataset: 5rbls.sgy  
 dispersion curve: balena5bls.cdp  
 VS30 (best model): 513 m/s  
 VS30 (mean model): 513 m/s



Vs (m/s): 199, 216, 343, 425, 672

Standard deviations (m/s): 8, 2, 5, 8, 5

Thickness (m): 0.7, 1.7, 1.6, 4.3

Standard deviations (m/s): 0.0, 0.0, 0.1, 0.3

Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.84, 1.86, 1.97, 2.02, 2.11

Shear modulus (MPa): 73, 87, 232, 366, 953

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli (please, see manual)

Vp (m/s): 414, 450, 714, 885, 1257

Poisson: 0.35, 0.35, 0.35, 0.35, 0.30

Bulk modulus (MPa): 218, 261, 696, 1098, 2063

Young's modulus (MPa): 197, 234, 626, 987, 2477

Lamé (MPa): 170, 203, 541, 854, 1428

VS30 (m/s): 513



Dispersion curve: number of frequency-velocity points=10

# ==o== SECTION#1

dataset: 5rbis.sgy  
 minimum offset (m): 5  
 geophone spacing (m): 2  
 sampling (ms): 0.131  
 Dispersion curve: ballena5bis.cdp  
 Number of individuals: 30  
 Number of generations: 31

## Rayleigh-wave dispersion analysis

|                                                |      |          |      |
|------------------------------------------------|------|----------|------|
| Adopted search space (minimum Vs & thickness): | 172  | 0.643704 | 200  |
| 1.287408                                       | 205  | 1.287408 | 265  |
| 500                                            |      | 1.287408 |      |
| Adopted search space (maximum Vs & thickness): | 256  | 4.634669 | 327  |
| 5.149632                                       | 344  | 5.149632 | 465  |
| 750                                            |      | 5.149632 |      |
| Adopted Poisson values:                        | 0.35 | 0.35     | 0.35 |
|                                                |      |          | 0.3  |

Output folder: C:\WINMAS-3\output

# ==o== SECTION#2

## Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -86.9547  
 -54.7196  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -81.1711  
 -41.3389  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -77.8004  
 -39.0149  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -70.5347  
 -33.7458  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -71.3589  
 -33.7458  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -65.5851  
 -31.2171  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -64.0551  
 -21.1467  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -56.9004  
 -21.1467  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -56.1619  
 -21.1467  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -48.0164  
 -21.1467  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -44.5861  
 -14.7464  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -47.7557  
 -14.7464  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -46.9311  
 -14.7464  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -49.4896  
 -14.7464  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -57.9472  
 -14.7464  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -50.5643  
 -14.6253  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -51.0358  
 -14.6253  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -55.1928

# wi nMASW\_report

- 14.6253  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -49.1783  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -41.954  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -47.564  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -40.941  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -51.395  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -44.6766  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -53.6637  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -49.0851  
 -9.23318  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -62.4527  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -69.7909  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -68.6389  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -62.8145  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -55.5296  
 -9.02677

Now a finer search around the most promising search space area

## Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -47.4915  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -50.4781  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -56.4327  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -59.1565  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -55.8915  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -39.3799  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -46.2788  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -41.689  
 -9.02677  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -51.0449  
 -9.02677

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

|                |      |      |      |      |     |
|----------------|------|------|------|------|-----|
| Vs (m/s):      | 199  | 215  | 342  | 422  | 674 |
| Poisson:       | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.3 |
| Thickness (m): | 0.69 | 1.7  | 1.7  | 4.3  |     |

Number of models considered to calculate the average model: 6

#####  
 RESULTS wi nMASW Pro  
 #####

Dat aset : 5rbi s. sgy  
 Analyzed curve: bal ena5bi s. cdp

==o== SECTI ON#3



## =====

MEAN MODEL

VS (m/s): 199 216 343 425 672

Standard deviations (m/s): 8 2 5 8 5

Thickness (m): 0.7 1.7 1.6 4.3

Standard deviations (m): 0.0 0.0 0.1 0.3

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 414 450 714 885 1257

Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.84 1.86 1.97 2.02 2.11

Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 2.08 1.87

Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.30

Young modulus (MPa): 197 234 626 987 2477

Shear modulus (MPa): 73 87 232 366 953

Lamé (MPa): 170 203 541 854 1428

Bulk modulus (MPa): 218 261 696 1098 2063

## Fundamental mode

## Mean model

| f (Hz)  | VR (m/s) |
|---------|----------|
| 12.8509 | 530.4604 |
| 16.8181 | 489.0974 |
| 21.3957 | 418.022  |
| 37.3664 | 256.4155 |
| 43.2664 | 231.2773 |
| 52.9302 | 212.4151 |

## First higher mode

## Mean model

|         |          |
|---------|----------|
| 19.4629 | 593.3821 |
| 23.125  | 515.5213 |
| 25.1595 | 485.6994 |
| 40.6216 | 379.2192 |

==o== SECTI ON#4

## =====

BEST MODEL

Vs (m/s): 199 215 342 422 674

thickness (m): 0.6919 1.6897 1.6524 4.3301

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 414 448 712 878 1261

Density (gr/cm<sup>3</sup>): 1.84 1.86 1.97 2.02 2.11

Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 2.08 1.87

Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.30

Young modulus (MPa): 197 232 623 972 2492

Shear modulus (MPa): 73 86 231 360 959

Lamé (MPa): 170 201 538 839 1438

Bulk modulus (MPa): 218 259 692 1079 2077

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

## Fundamental mode)

## best model

| F (Hz)  | VR (m/s) |
|---------|----------|
| 12.8509 | 530.6362 |
| 16.8181 | 487.7214 |
| 21.3957 | 413.8087 |
| 37.3664 | 255.9441 |
| 43.2664 | 230.8618 |

52. 9302      211. 9324

First higher mode)

best model

19. 4629      588. 916

23. 125      513. 4126

25. 1595      484. 3838

40. 6216      377. 9083

VS5 (mean model): 271 m/s

VS5 (best model): 271 m/s

VS20 (mean model): 459 m/s

VS20 (best model): 458 m/s

VS30 (mean model): 513 m/s

VS30 (best model): 513 m/s

==o== SECTION#6

Possible Soil Type: B  
(based on the mean model)

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

- A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
- B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
- C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
- D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
- E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).
- S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cuS30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
- S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Results saved in the folder "C:\WINMAS-3\out put".

=====

winMASW Pro

Surface Wave Analysis



[www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)

winMASW\_report

## PISTOIA\_VERIFICHE\_SCUOLE, BALENA PISTOIA

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 22/05/13 16:13:34 Fine registrazione: 22/05/13 16:33:34

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

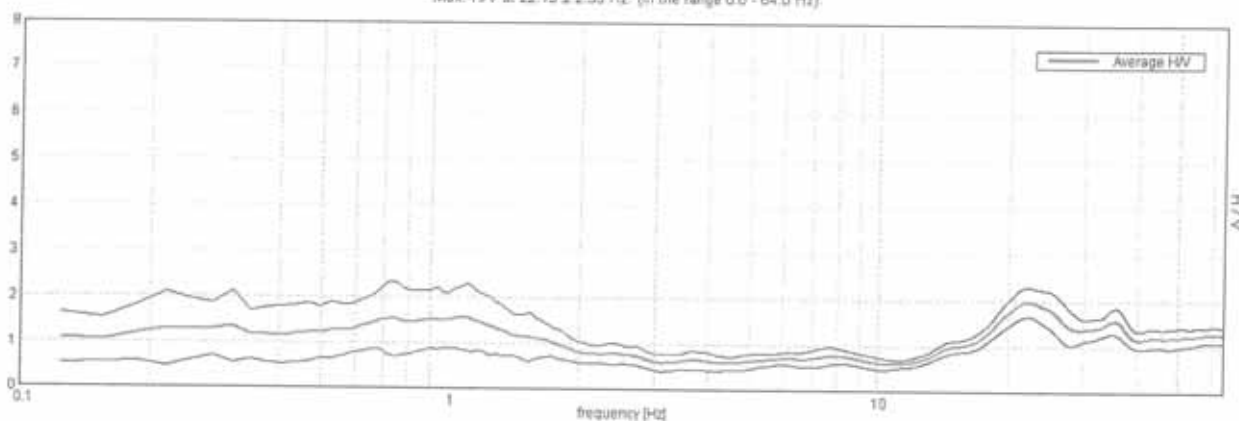
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

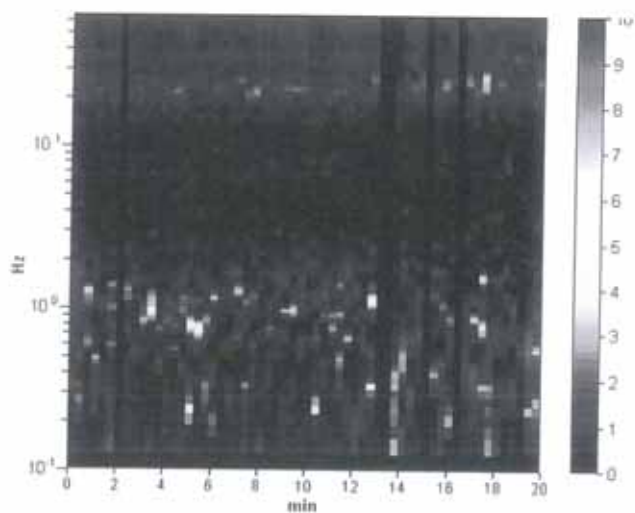
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

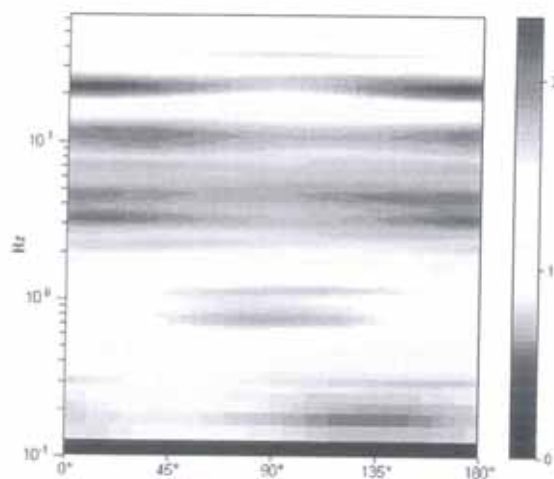
Max. H/V at  $22.19 \pm 2.33$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



### SERIE TEMPORALE H/V

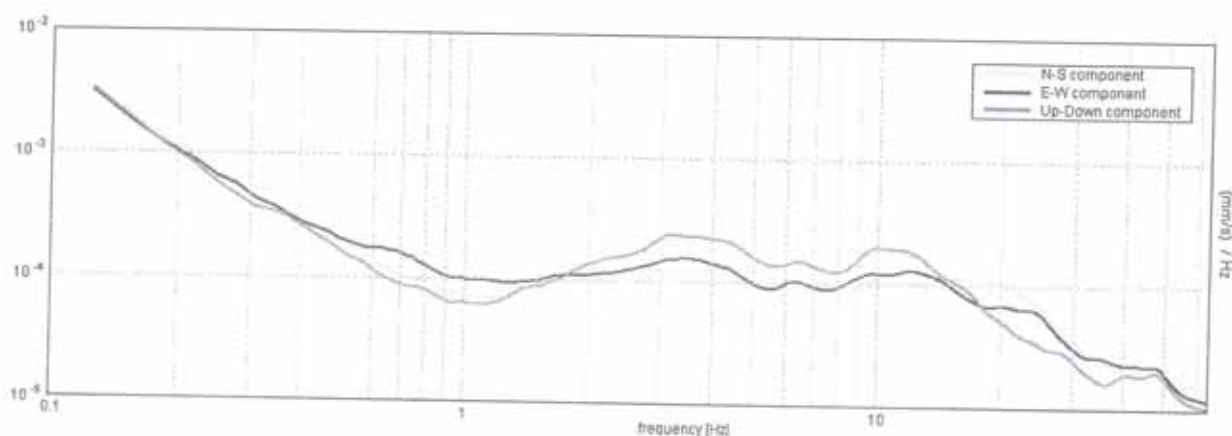


### DIREZIONALITA' H/V





## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

Picco H/V a  $22.19 \pm 2.33$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

### Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|                                                             |                          |  |  |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|--|--|
| $f_0 > 10 / L_w$                                            | $22.19 > 0.50$           |  |  |
| $n_c(f_0) > 200$                                            | $24406.3 > 200$          |  |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz | Superato 0 volte su 1066 |  |  |
| $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz |                          |  |  |

### Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

|                                                              |                     |  |    |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|--|----|
| Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$    | 15.188 Hz           |  |    |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     |                     |  | NO |
| $A_0 > 2$                                                    | $1.98 > 2$          |  | NO |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.0519  < 0.05$   |  | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $1.15162 < 1.10938$ |  | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $0.1603 < 1.58$     |  |    |

|                        |                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_w$                  | 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                                                                                                                     |
| $\sigma_f$             | 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 $\sigma_f$ 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       |