



# STUDIO GEOLOGICO TAMANTINI

Viterbo 01100 – via Garbini 82

Dott.Geol.Sandro Tamantini – Part.Iva 02101960561- TMNSDR52H10M082S

E-mail: [sandro.tamantini@libero.it](mailto:sandro.tamantini@libero.it)

Tel.Cell. 3332322781

## COMUNE DI VITERBO

Lavori di riqualificazione degli impianti sportivi e delle limitrofe aree a verde  
del quartiere Pilastro-Rifacimento campo di calcio "Vincenzo Rossi"

## RELAZIONE GEOLOGICA

Committente: Comune di Viterbo

Maggio 2018

### INDICE

	Pag.
1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	5
4. GEOLITOLOGIA LOCALE	6
5. ASSETTO GEOMORFOLOGICO	8
6. IDROGEOLOGIA	10
7. RISCHIO SISMICO	11
8. INDAGINE GEOGNOSTICA	16
8.1. Indagine penetrometrica	
8.2 Indagine sismica - HVSR	
8.3 Indagine sismica – tecnica MASW	
9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	24
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	25

### Allegati

*Topografia*

*Immagine Satellitare*

*Carta Geologica*

*Carta Idrogeologica*

*Planimetria delle indagini*

*Log di sismica e di penetrometria dinamica*

*Documentazione fotografica*

## 1. PREMESSA

Su richiesta dell'Amministrazione Comunale di Viterbo, nella prima metà del mese di maggio c.a., è stata eseguita un'indagine geologica, ai sensi dell'Art. 6.2.1 e del DPR n. 328 del 5 giugno 2001 e del regolamento sismico n°14/2016, su un'area interessata dal progetto per la realizzazione di un muro di contenimento presso il campo sportivo del Pilastro nel Comune di Viterbo.

L'indagine è stata svolta per individuare gli aspetti geomorfologici, idrogeologici e litologici dell'area in esame e per accertare le caratteristiche geotecniche dei litotipi affioranti al fine di verificare la fattibilità del progetto anche in prospettiva sismica, considerando che l'intervento ricade nella classe di tipo B (Media Pericolosità – zona sismica 2B).

L'ampiezza dell'area investigata è stata definita in funzione delle caratteristiche litologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche, nonché all'ubicazione e alla rilevanza dell'intervento in progetto.

E' stato eseguito un dettagliato rilevamento volto a definire le caratteristiche generali e particolari per verificare così l'idoneità del sito.

In particolare l'indagine è mirata alla caratterizzazione dei litotipi affioranti per valutare la loro idoneità a garantire la stabilità del progetto edilizio; utile in tal senso è stato lo studio degli affioramenti, lo studio della bibliografia e in particolare l'esecuzione di prove di penetrometria dinamica e di prospezioni geofisiche, necessari per la ricostruzione stratigrafica e la stima dei caratteri geomeccanici dei litotipi nel sito esaminato.

La presente relazione illustra le metodologie utilizzate, i risultati ottenuti e le conclusioni a cui si è giunti.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è ubicata nell'abitato di Viterbo al quartiere Pilastro presso il campo sportivo "Vincenzo Rossi".

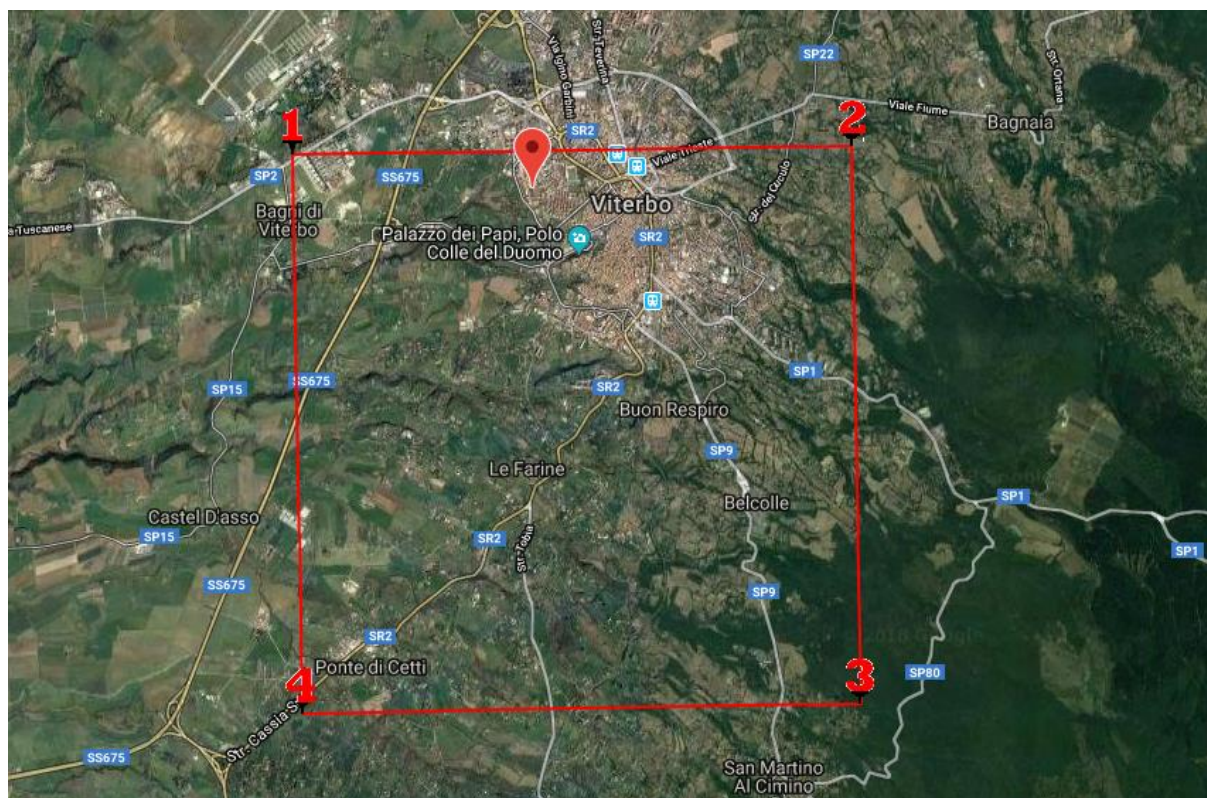
La quota topografica è di circa 320 metri s.l.m..

C.T.R. Lazio sez. 345140.

Le coordinate geografiche nel sistema di riferimento ED 50 che sono le seguenti:

Lat. 42.423131°

Long. 12.096701°



#### PARAMETRI SISMICI:

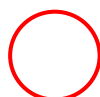
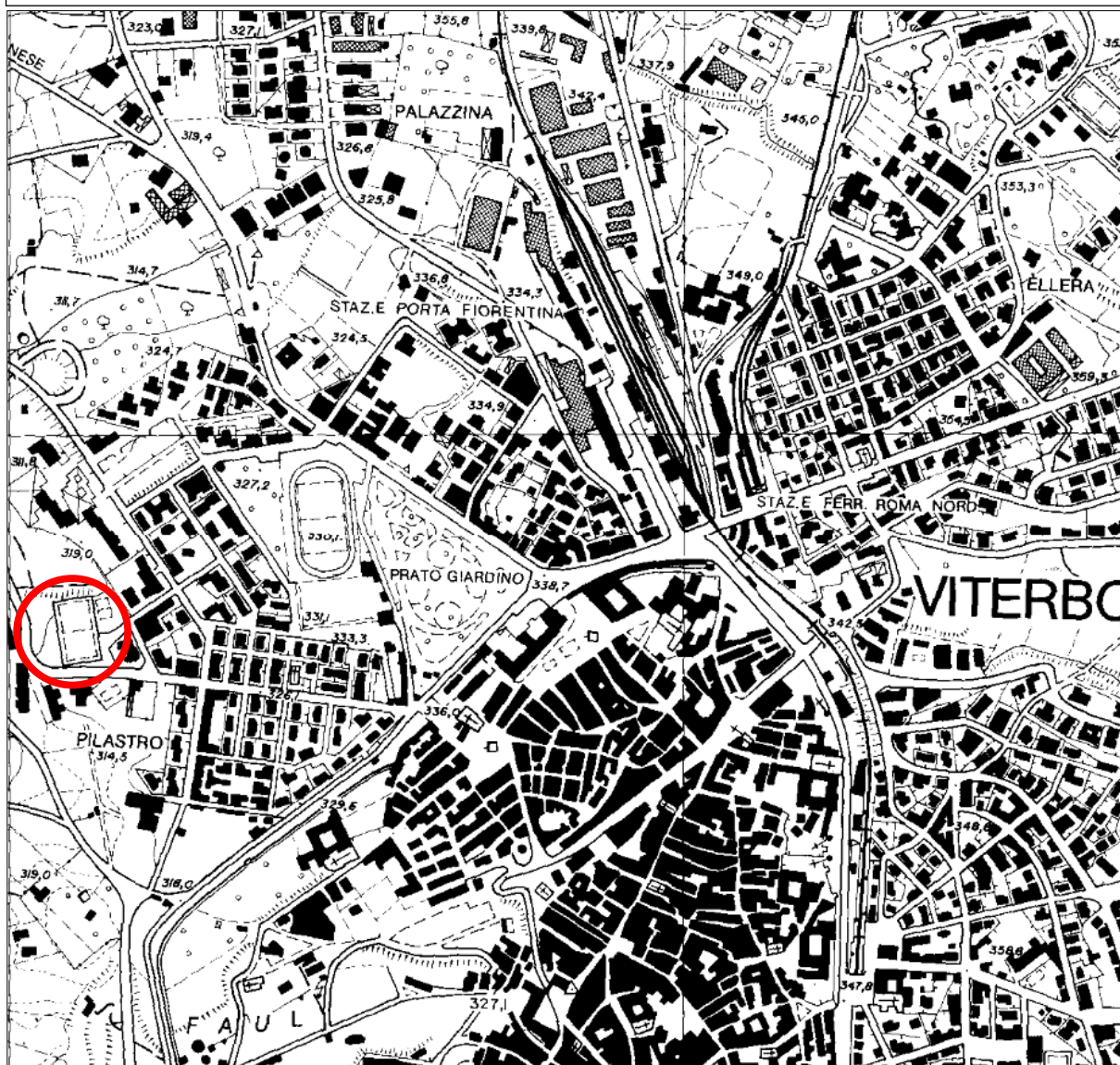
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.045	2.494	0.252
Danno (SLD)	50	0.057	2.509	0.262
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.137	2.481	0.288
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.172	2.509	0.292
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

#### COEFFICIENTI SISMICI:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.015	0.049	0.059
kv	0.006	0.008	0.025	0.030
Amax [m/s²]	0.664	0.837	2.013	2.430
Beta	0.180	0.180	0.240	0.240

## TOPOGRAFIA

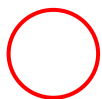
Stralcio CTR Lazio 1:10.000 sez. 345140



AREA IN ESAME



## IMMAGINE SATELLITARE



AREA IN ESAME

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame è ubicata all'interno di quella che viene definita "Provincia vulcanica tosco-laziale", la quale è stata interessata da un intenso e diffuso vulcanismo a partire dalla fine del Pliocene impostatosi su una fascia strutturalmente depressa (il cosiddetto *Graben* principale) parallela alla costa tirrenica.

L'intensa attività vulcanica ha obliterato quasi totalmente la morfologia preesistente, ricoprendo con i suoi prodotti i termini sedimentari di origine marina che caratterizzavano il territorio.

L'alto Lazio è stato interessato dall'attività vulcanica di tre apparati vulcanici, qui elencati in ordine cronologico relativamente al periodo di attività: l'apparato Cimino, l'apparato Vulsino ed infine l'apparato Vicano.

Il vulcanismo di questi tre sistemi vulcanici, in tutti i casi prevalentemente di tipo esplosivo, si differenzia per il chimismo, per la tipologia delle vulcaniti emesse e per le forme morfologiche che essi hanno prodotto: vulcanismo acido quello Cimino, con produzione di lave ed ignimbriti ed edificazione di rilievi domiformi e cupole di ristagno (Monti Cimini), vulcanismo alcali-potassico, potassico ed ultra-potassico quello Vulsino e Vicano, con produzione di tufi, ignimbriti e subordinate lave e successiva formazione di depressioni vulcano-tettoniche (apparato Vulsino) o sprofondamenti a caldera (apparato Vicano), riempite successivamente da bacini lacustri (Bolsena, Vico).

La serie stratigrafica a livello regionale è pertanto costituita da vulcaniti, appartenenti a volte a più di un apparato, poggianti su di un substrato sedimentario caratterizzato da tre facies principali: termini argilloso-sabbioso-conglomeratici, depositati durante la trasgressione marina Plio-pleistocenica, depositi di flysch meso-cenozoici in facies calcareo-marnoso-argillosa ed infine, al margine orientale del plateau vulcanico (area del Monte Soratte), litologie della serie umbro-sabina.

I termini sedimentari sopra citati si ritrovano in affioramento oltre i margini degli estesi plateau vulcanici, oppure anche all'interno di essi, in corrispondenza di alti morfologici e/o strutturali preesistenti rispetto all'attività vulcanica (ad esempio l'area di Monterazzano, presso Viterbo).

#### 4. GEOLITOLOGIA LOCALE

L'area oggetto di studio è caratterizzata dalla presenza dei prodotti vulcanici originati dall'attività pleistocenica dell'apparato Vicano (vedi *Carta geologica*).

Nel sito in esame è stata rilevata in affioramento la presenza dell'*Ignimbrite III* vicana conosciuta anche come 'Tufo rosso a scorie nere'. L'Ignimbrite, originata da colate piroclastiche, si presenta generalmente in facies litoide, di colore giallo-rossiccio, con l'aspetto di una roccia massiva, compatta, di media durezza, derivante da una massa pomicea saldata in cui compaiono come inclusi evidenti scorie nere con leucite e sanidino. Nella parte inferiore della formazione si rinviene un agglomerato ricco di litici seguito alla base da *fall* di lapilli e pomici fonolitiche.

Le vulcaniti poggiano su di un substrato costituito da litotipi sedimentari plio-pleistocenici in facies argilloso-sabbiosa posto a varie decine di metri di profondità.



## CARTA GEOLOGICA



« Ignimbrite » (l.s.) III, prevalentemente tefritico-fonolitica, con transizioni a termini trachitici e latitici, con pomici generalmente giallastre e rossastre frammiste a pomici nere a grossi fenocristalli di leucite e sanidino. Facies a xenoliti di lave diverse, da minute ad enormi, ed a pomici nere, caratteristica soprattutto dei pendii pericalderici, potenza notevole, largamente variabile. Grado di compattezza vario ed in funzione del grado di alterazione: le porzioni più fresche sono grigio-scuri e sciolte (loc. « pozzolana »), mentre quelle alterate, giallo-rossicce con rare pomici nere, sono compatte ed usate per la produzione di « blocchetti » da costruzione (« tufo litoide a scorie nere » SABATINI; « ignimbrite C » LOCARDI) (3q<sup>+</sup>). Zona con impregnazioni travertinose (l). In località C. le Mogliane (Commenda) è stata distinta una facies incoerente probabilmente in passaggio laterale (3q<sup>+</sup>). Questa fase effusiva è aperta da un lancio di pomici bianche che si rinvennero spesso alla base della formazione con potenza di qualche decimetro (v. F<sup>o</sup> Bracciano).



Lave tefritico-fonolitiche a leucite, in fenocristalli di dimensioni molto varie. Rocce di color grigio-violaceo, solitamente poco coerenti (« petriscio » dei locali) perchè diffusamente vescicolate e a vario grado di alterazione; grande estensione delle colate settentrionali (Madonna della Quercia, Fosso Luparo); fonoliti compatte a fenocristalli pirossenici (sud di Vignanello) (3q<sup>1</sup>).

## 5. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

La geomorfologia è generata dal modellamento delle coltri vulcaniche operato dagli agenti esogeni.

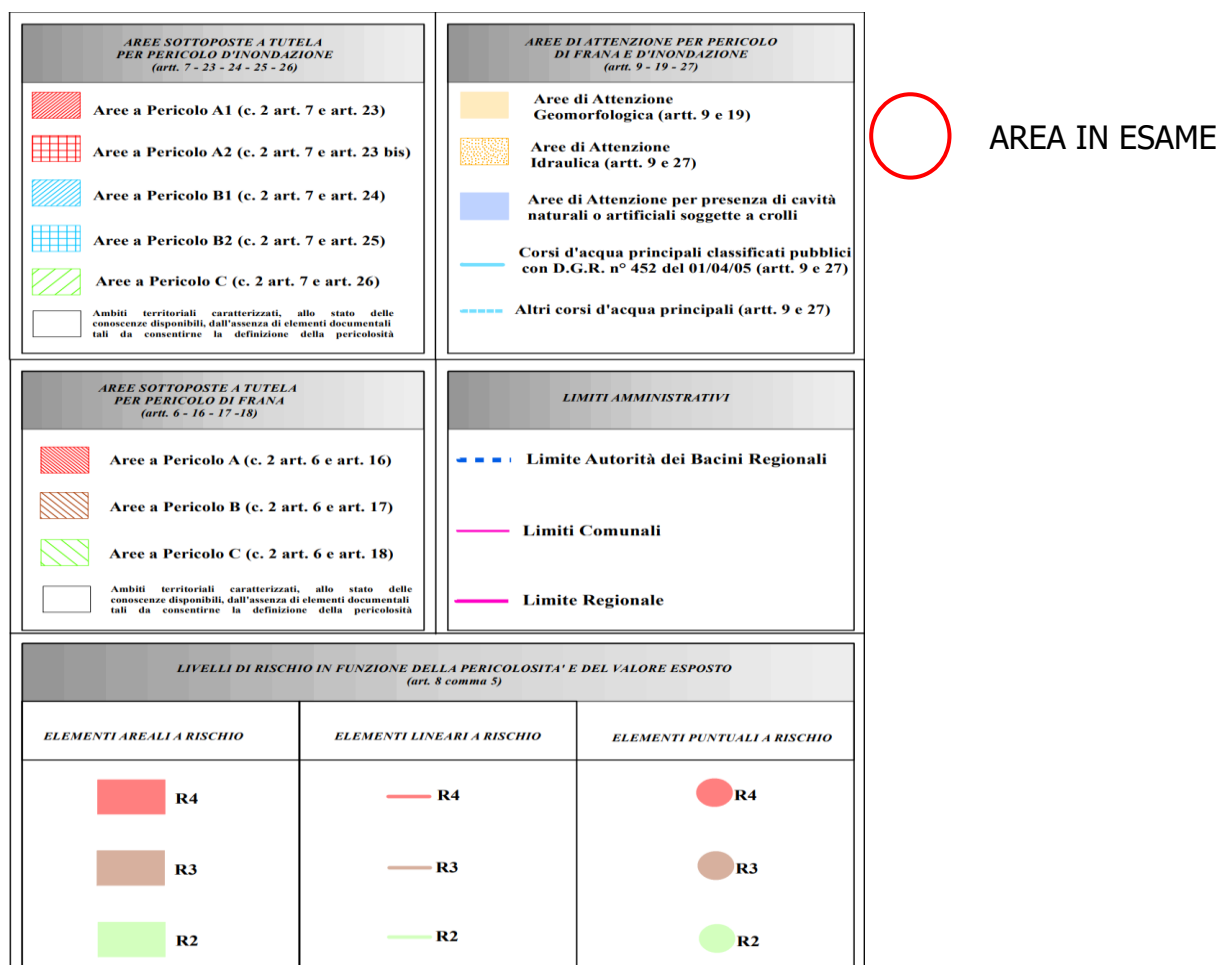
Le vulcaniti, al momento della loro deposizione, hanno conferito al paesaggio un andamento piuttosto regolare, livellando in parte la topografia tra i vari centri effusivi. L'impostarsi successivo dell'idrografia ha creato valli sub-parallele, alcune con versanti ripidi, dovute in parte ad una conformazione preesistente e legate a linee debolezza strutturali.

In generale, l'areale della città di Viterbo è ubicato alle pendici nord-occidentali del Distretto Vulcanico Cimino-Vicano; il settore più orientale comprende le propaggini inferiori dei versanti del complesso vulcanico, interessate da incisioni fluvio-torrentizie con sezione generalmente a V, mentre il settore centro-occidentale comprende una porzione del plateau, caratterizzato da forme tabulari o debolmente ondulate, digradanti verso Ovest ed incise dal reticolo idrografico con sezioni generalmente a fondo piatto.

Secondo il 'Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico' (P.A.I.) dei Bacini Regionali – Tav. 2.04, aggiornato ed adeguato in base all'esito delle risultanze della Conferenza (ex art. 11 comma 4 della L.R. 39/96) del 24 marzo 2009, il sito in esame non risulta classificato come zona a rischio di frana e di inondazione, occorrerà comunque prevedere una corretta raccolta e un adeguato smaltimento delle acque meteoriche per evitare l'insorgere di fenomeni di concentrazione delle acque dilavanti.



## STRALCIO CARTA P.A.I. – BACINI REGIONALI Tav. 2.04



## 6. IDROGEOLOGIA

Le caratteristiche idrogeologiche ed i valori di permeabilità delle formazioni litologiche presenti nel territorio in esame possono essere così riassunte:

- le formazioni incoerenti, quali quelle ignimbriche e tufacee presentano valori di permeabilità medio-alta per porosità;
- le formazioni sedimentarie presentano valori di permeabilità molto bassi o praticamente nulli e rappresentano quindi il basamento impermeabile locale.

L'idrogeologia locale è condizionata dall'infiltrazione delle acque meteoriche nelle vulcaniti, con l'instaurarsi di orizzonti freatici al contatto con i termini argilloso-sabbiosi del sottostante substrato sedimentario impermeabile.

Le isopieze riportate derivano dalla Carta Idrogeologica allegata alla pubblicazione "Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio – Gli acquiferi vulcanici" (Capelli *et alii*, 2005) verificate ed integrate da un rilevamento idrogeologico e da un censimento dei punti d'acqua esistenti.

In generale, si individua la presenza di un acquifero di base con una direzione di flusso orientata in direzione W.

La falda, nel settore in esame, presenta un livello idrostatico posto a circa 40 metri dal piano di campagna.

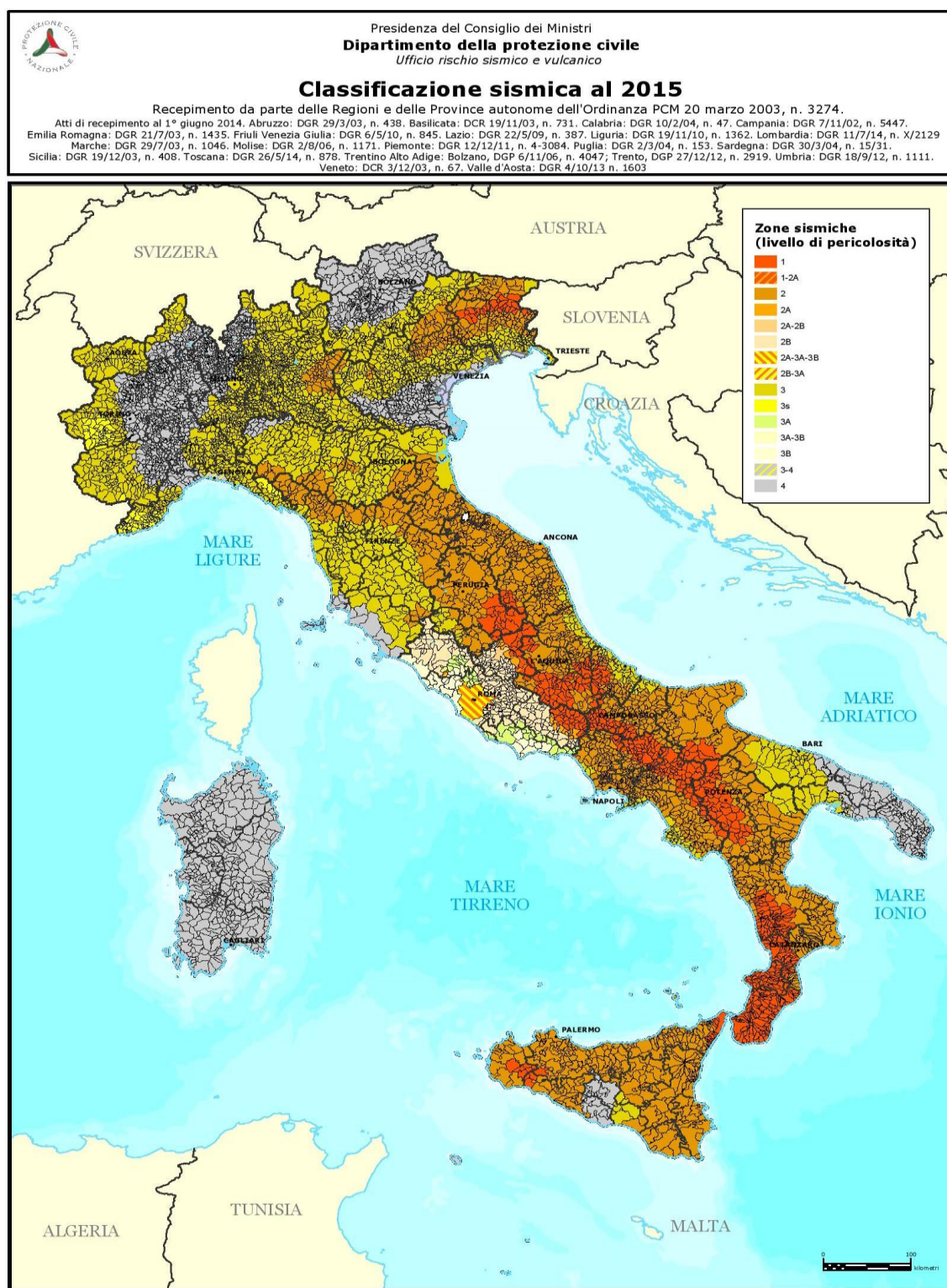
### CARTA IDROGEOLOGICA





## 7. RISCHIO SISMICO

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.



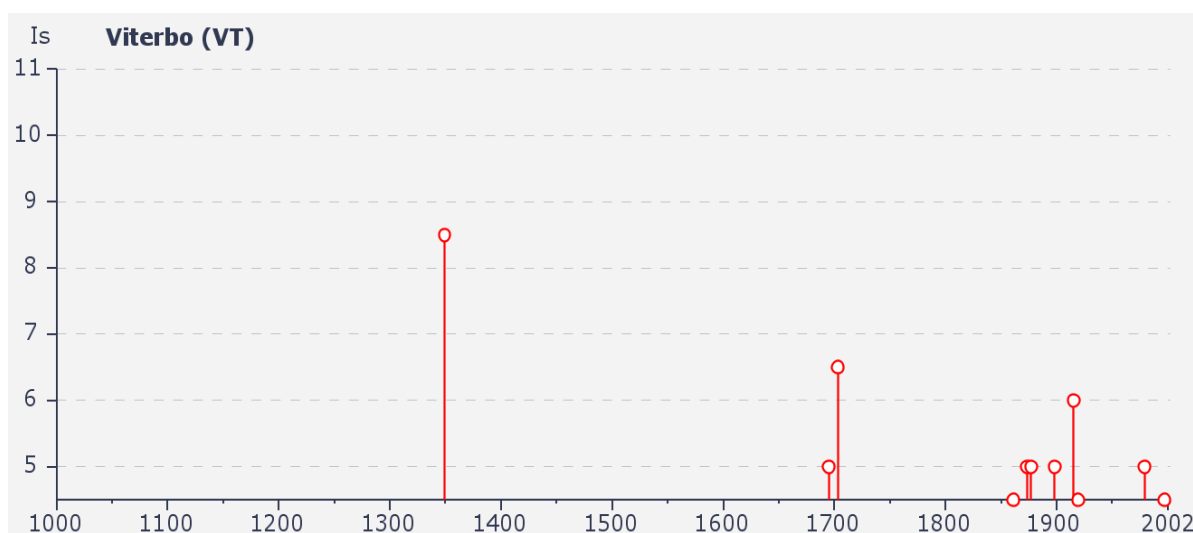


A Viterbo non si riscontra storicamente una apprezzabile sismicità locale, mentre si è avuto il risentimento di alcuni forti terremoti 'appenninici', in particolare del terremoto che colpì la zona al confine tra Lazio meridionale e Molise, nel 1349, in cui si è raggiunto l'VIII-IX grado MCS, del terremoto che si verificò nell'Appennino reatino nel 1703, in cui si è raggiunto il VI-VII grado MCS, del terremoto di Avezzano del 1915, in cui si è raggiunto il VI grado MCS, dei terremoti delle Marche meridionali (1873), di Rieti (1898) e della Valnerina (1979), risentiti a Viterbo con un'intensità pari al V grado MCS, e dei terremoti di Città della Pieve (1861) e dell'Appennino Umbro-Marchigiano (1997), risentiti nell'area in studio con intensità MCS pari al IV-V grado.

Per quanto riguarda l'attività sismica locale, a Viterbo sono stati risentiti gli effetti del terremoto di Bagnoregio (1695) e di Capranica (1877), risentiti con intensità MCS del V grado e dei terremoti di Capranica del 1877 e di Tolfa del 1969, entrambi con intensità pari al V grado MCS.

Infine, un terremoto di tipo *tirrenico* è stato risentito a Viterbo: quello di Anzio (1919), con intensità del IV-V grado MCS.

Il grafico illustra la sismicità storica di Viterbo. Sono riportati gli eventi sismici risentiti con intensità pari o superiore al IV-V grado MCS che corrispondono ai terremoti sopra citati.

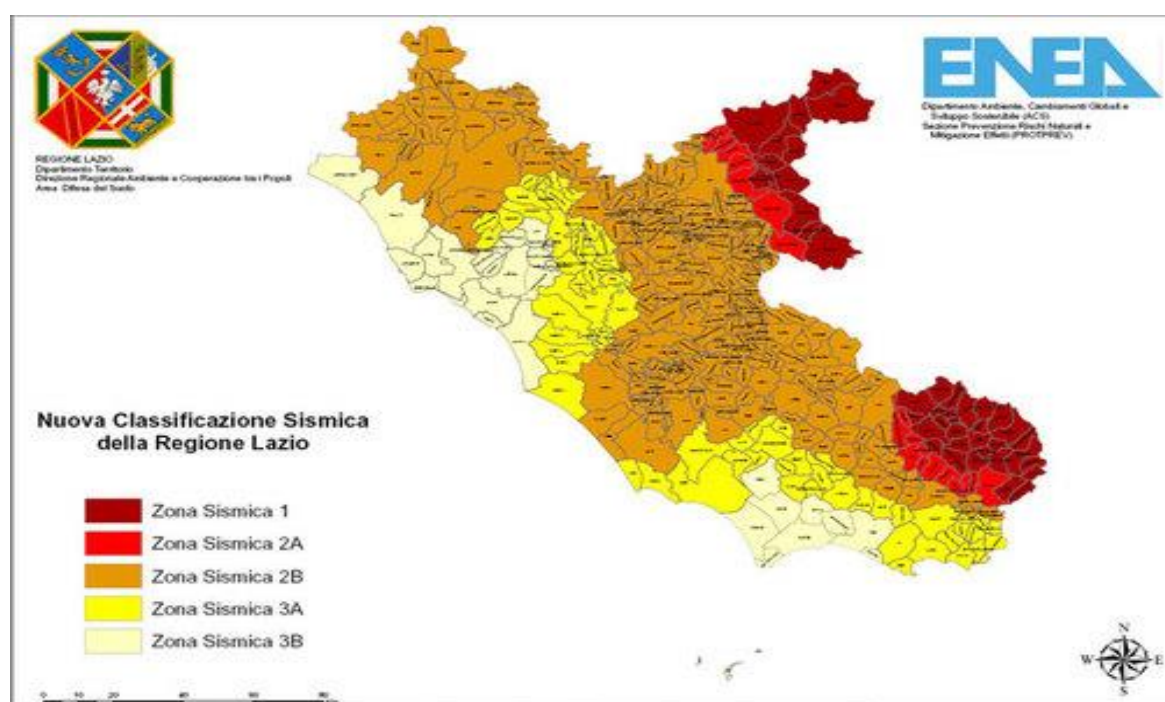


In basso è riportata la zona sismica per il territorio di **Viterbo**, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Lazio n. 387 del 22 maggio 2009.

Zona sismica 2B	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti. La sottozona <b>2B</b> indica un valore di $a_g < 0,20g$ .
-----------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

<i>Zona sismica</i>	<i>Fenomeni riscontrati</i>	<i>Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni</i>
<b>1</b>	Zona con pericolosità sismica <b>alta</b> . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
<b>2</b>	Zona con pericolosità sismica <b>media</b> , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
<b>3</b>	Zona con pericolosità sismica <b>bassa</b> , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
<b>4</b>	Zona con pericolosità sismica <b>molto bassa</b> . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

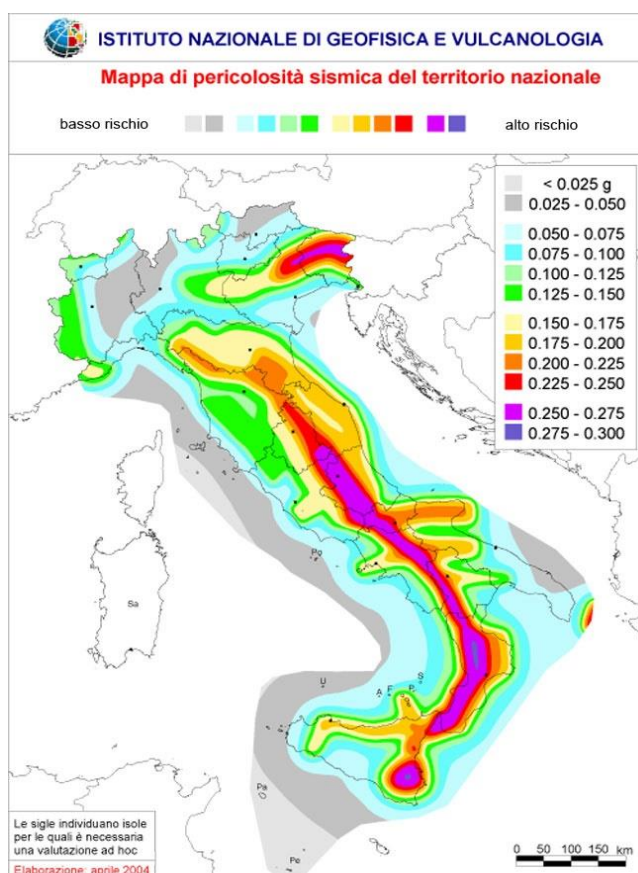
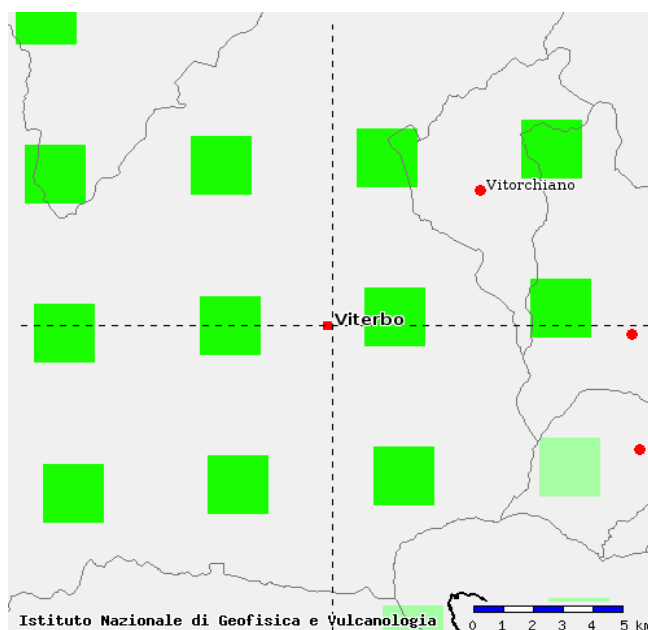


La tabella, estrapolata dal sito internet dell'I.N.G.V., riporta la storia sismica di Viterbo in cui sono indicati l'intensità MCS al sito ( $I_s$ ), la data e l'ora dell'evento sismico, l'area epicentrale, il numero di osservazioni macrosismiche del terremoto (nMDP), l'intensità epicentrale MCS ( $I_o$ ) e la magnitudo momento ( $M_w$ ) dei terremoti. Sono stati evidenziati in giallo i terremoti risentiti a Viterbo con intensità MCS pari o superiore al IV-V grado.

Sismicità storica di Viterbo						
Effects	Earthquake occurred:					
$I_s$	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	$I_o$	$M_w$
NR	1315 12 03 09 30	Italia centrale	CFTI	15	9	6.00
8-9	1349 09 09	Lazio merid.-Molise	CFTI	15	8-9	5.91
5	1695 06 11 02 30	BAGNOREGIO	DOM	50	8-9	5.77
6-7	1703 01 14 18	Appennino reatino	CFTI	196	11	6.81
4	1781 04 04	FAENTINO	DOM	78	9	5.84
4-5	1861 05 09 01 53	CITTA' DELLA PIEVE	DOM	28	6-7	5.03
5	1873 03 12 20 04	Marche meridionali	CFTI	196	8	5.88
2-3	1874 12 06 15 50	Monti della Meta	CFTI	43	7-8	5.47
5	1877 12 23 05 03	CAPRANICA	DOM	19	6	4.83
2	1879 02 23	SERRAVALLE	DOM	13	7	5.22
2	1885 02 26 20 48	SCANDIANO	DOM	78	6	5.22
2	1885 04 10 01 44	M. SIMBRUINI	DOM	43	5-6	4.63
3	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	CFTI	1515	9	6.29
NF	1892 01 22	COLLI ALBANI	DOM	81	6-7	5.17
3	1895 11 01	CASTELPORZIANO	DOM	98	6	4.83
5	1898 06 27 23 38	RIETI	DOM	186	7-8	5.48
3	1903 06 21 13 29	BAGNOREGIO	DOM	8	6	4.83
NF	1905 02 12 08 28	SANTA FIORA	DOM	61	6	4.83
NF	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	DOM	799	6-7	5.53
6	1915 01 13 06 52	AVEZZANO	DOM	1040	11	6.99
2	1915 11 11 03 41	STRONCONE	DOM	16	6-7	5.03
3-4	1917 10 14 17 05	MONTEFIASCONE	DOM	17	6	4.83
4-5	1919 10 22 06 10	ANZIO	DOM	142	7	5.53
4	1922 03 27 00 10	GROTTE DI CASTRO	DOM	9	5-6	4.63
2	1922 12 29 12 22	SORA	DOM	102	7	5.60
3	1927 10 11 14 45	MARSICA	DOM	77	7	5.27
NF	1930 10 30 07 13	SENIGALLIA	DOM	263	9	5.94
3	1931 05 13 00 26	CELLENO	DOM	10	5-6	4.63
3	1940 10 16 13 17	RADICOFANI	DOM	106	7	5.30
4	1957 12 06 04 54	CASTEL GIORGIO	DOM	63	7	5.17
4	1969 07 02 07 55	TOLFA	DOM	72	7	5.08
4	1971 02 06 18 09	TUSCANIA	DOM	89	7-8	4.90
5	1979 09 19 21 35 37	Valnerina	CFTI	691	8-9	5.90
3-4	1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	CFTI	1317	10	6.89
4	1984 04 29 05 02 59	GUBBIO/VALFABBRICA	DOM	709	7	5.68
NF	1993 06 05 19 16 17	GUALDO TADINO	BMING	326	6	4.92
4-5	1997 09 26 09 40 25	Appennino umbro-march.	CFTI	869	8-9	6.05



L'I.N.G.V., nella sua "Mappa della pericolosità sismica", elaborata con modello probabilistico sismotettonico, comprende il comune di Viterbo in una zona con accelerazione orizzontale attesa medio-bassa. Per un sisma con un periodo di ritorno di 475 anni e 10% di probabilità di superamento, questo valore è generalmente compreso nell'intervallo 0,125-0,150 Ag/g (accelerazione su *bedrock*).



## 8. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area in esame affiorano formazioni costituite da termini incoerenti assimilabili ad una sabbia più o meno granulare.

Pertanto, considerando le caratteristiche proprie delle formazioni geologiche incontrate, per avere un'affidabile caratterizzazione geotecnica si è ritenuto opportuno effettuare prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH), adatte a terreni granulari e/o sciolti.

In terreni di questo genere, inoltre, non è possibile il prelievo di campioni indisturbati ai fini delle prove di laboratorio. Per avere un campione indisturbato si necessita oltretutto dell'esecuzione di un sondaggio geognostico, a cui però la normativa prevede come alternativa le prove penetrometriche.

Quindi, tenendo conto della normativa vigente e della geologia dell'area di studio è stato scelto di effettuare prove penetrometriche riuscendo comunque ad avere una buona caratterizzazione geotecnica. Allo scopo di verificare la litostratigrafia locale e caratterizzare dal punto di vista geomeccanico i terreni affioranti, sono stati eseguiti due sondaggi di penetrometria dinamica, una misura di microtremori (HVSr) e un profilo sismico tecnica MASW.

### *8.1. Indagine Penetrometrica*

Il principio delle prove si basa sulla misura dell'energia necessaria per infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste. L'infissione avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio; durante la prova si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita. L'attrezzatura per le prove penetrometriche è costituita da un penetrometro dinamico super pesante (SPDH), in norma ISSMFE, avente le seguenti caratteristiche:

- massa battente ( maglio) : di 63,5 Kg,
- altezza di caduta del maglio: 75 cm
- lunghezza aste : 1,0 m
- diametro aste 32 mm
- massa aste 6,3 Kg/m
- punta conica di 51 mm di diametro e apice di 90°.
- superficie della punta 20 cm<sup>2</sup>
- penetrazione standard 20 cm .

L'analisi degli istogrammi ottenuti mostrano il numero dei colpi "N" necessari per l'infissione della punta conica nel terreno.

Sono stati eseguiti due sondaggi (SPD) e sono stati spinti fino alla profondità di 6,20 m dal piano di campagna.

Entrambi i sondaggi mostrano la presenza di un terreno di riporto con spessore di circa 4,00 metri, seguito da una litologia in facies moderatamente addensata attribuibile alla formazione dell'ignimbrite III alterata che, in successione stratigrafica, ha un aumento dell'addensamento fino ad arrivare al rifiuto penetrometrico alla profondità di 6,20 m.

Non è stata rilevata acqua nei fori di sondaggio.

## 8.2 Indagine sismica - HVSR (analisi di microtremori)

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

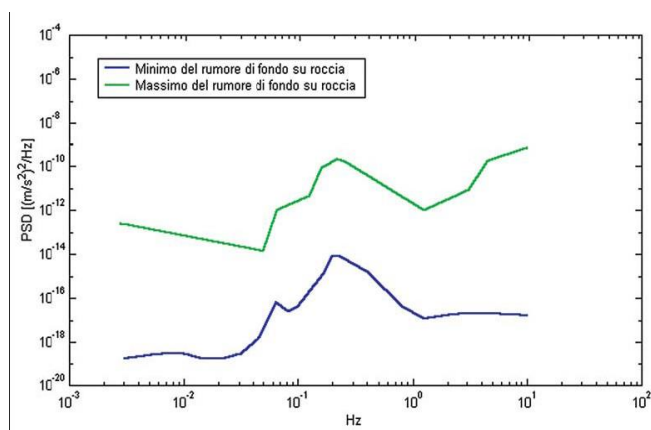


Figura 1 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

## BASI TEORICHE DEL METODO H/V E METODOLOGIA D'INDAGINE

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inoltre, attraverso alcune metodologie (FK, SPAC) con l'impiego di opportuni algoritmi (es. Neighbourhood algorithm - Sambridge 1999), è possibile ottenere l'inversione delle curve dei rapporti H/V finalizzata alla determinazione dei profili di velocità delle onde S nel sottosuolo e quindi delle Vs30 richiesta dalle NTC.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema di Figura 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

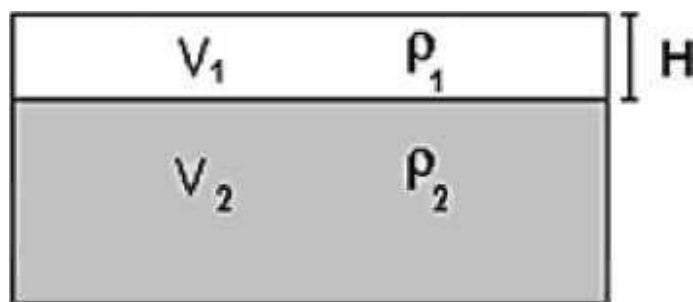


Figura 2 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità  $\rho$  e velocità di propagazione  $V$

Così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$f_r = V_{s1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva  $H/V$  relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto  $H/V$ , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

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

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti  $H/V$  misurati con

quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 1D, derivati con software di analisi sismica tipo EERA e/o PROSHAKE.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. Ciò avviene attraverso la stima di un parametro, scostamento (Misfit - M), che, varia solitamente tra 0 e 1 ove 0 rappresenta la perfetta corrispondenza del valore sperimentale con quello sintetico e 1 rappresenta uno scostamento notevole. Il valore di M si calcola dalla relazione

$$misfit = \sqrt{\sum_{i=0}^{n_F} \frac{(x_{di} - x_{ci})^2}{\sigma_i^2 n_F}}, \quad [2]$$

dove  $x_{di}$  è la velocità della curva di dati sperimentali alla frequenza  $f_i$ ,  $x_{ci}$  è la velocità della curva calcolata alla frequenza  $f_i$ ,  $\delta_i$  è l'incertezza dei campioni di frequenza considerati e  $n_F$  è il numero di campioni di frequenza considerati. Se non vi è nessuna incertezza è fornita,  $\delta_i$  è sostituito da  $x_{di}$  in equazione. Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità  $z$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$V_i = V_0 \left( (z_0 + 1)^\alpha - (z_i + 1)^\alpha + 1 \right), \quad [3]$$

dove  $z_0$  è l'inizio dello strato considerato,  $V_0$  è la velocità a  $z_0$  e  $\alpha$  è l'esponente power-law, generalmente variante tra 0 e 1.

Per calcolare la dispersion-curve, la funzione  $V_i(z)$  è discretizzata in un numero fisso di sublayers omogenei.

Il loro numero è generalmente mantenuto il più basso possibile (tra 5 e 10) per evitare un aumento drastico nel tempo di calcolo di inversione.

Nei casi più complessi per calcolare la dispersion-curve si creano una serie di modelli teorici (costituiti combinazioni di una successione di strati con spessore  $H$ ,  $V_s$ ,  $V_p$  e densità  $\gamma$  variabili) da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali  $H/V$  ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti e le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Wathelet (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love ed impiegando EERA per il calcolo del diagramma sintetico dei rapporti di amplificazione  $H/V$ .

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 20 minuti



ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento (*SR04S3 - SARA electronic instruments*) è un Sismografo triassiale con geofoni da 4.5 Hz dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, con banda utile di lettura 0.2 – 100 Hz , alimentato da 1 batteria 12V esterna, fornito di GPS interno, collegato ad un Netbook.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz tramite il software SEISMOLOG-MT della *SARA electronic instruments*.

I segnali così acquisiti, relativi alle componenti Verticale (Z), Est-Ovest (E) e Nord-Sud (N), sono stati successivamente analizzati col software *Easy Hvsr* della Geostru software.

## RISULTATI

In particolare, dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. le curve HVSR, con parametri:
  - a) larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
  - b) lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 5% della frequenza centrale,
  - c) rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2
2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Dall'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, si è ricostruito il modello del sottosuolo in termini di profili di velocità Vs più vicino al dato sperimentale. L'analisi ha considerato un gran numero di modelli teorici in termini di variazioni dei rapporti tra le componenti Vs, Vp,  $\gamma$  e H.

Il picco di frequenza rappresenta il contrasto d'impedenza esistente tra i litotipi nell'area di indagine. La frequenza di picco del rapporto H/V rilevata è 6.85 Hz  $\pm$  0.15 Hz.

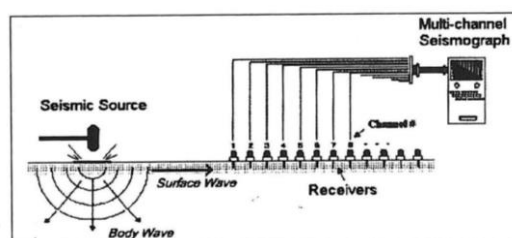
Le condizioni SESAME riguardanti la qualità della acquisizione sono rispettate.

### 8.3 Indagine sismica acquisizione dati Masw

Al fine di offrire una valutazione del comportamento sismico dei litotipi, affioranti nell'area in studio è stato eseguito un profilo di sismica tecnica Masw.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del Sismografo DoReMi, un sistema integrato della SARA a 24 canali, strumento compatto e versatile. Il DoReMi è un sismografo a trasmissione digitale del segnale, con unità miniaturizzate e indipendenti distribuite lungo tutto lo stendimento, realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica Tecnica *M.A.S.W.* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). Il software di acquisizione per piattaforma Windows gestisce il sistema e genera files SEG-2 e SEG-Y. Ogni canale è dotato di un takeout standard con geofoni Geospace GS11D 4.5Hz 4k $\Omega$ .

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8 kg che batte su una piastra in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale, posto in prossimità della piastra.



Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 12 geofoni da 4,5 Hz posizionati lungo il profilo di indagine con distanza intergeofonica di 3 metri e un minimum offset di 5 m.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma *Easy Masw (Geostru)* per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Il valore dell'accelerazione va moltiplicato per un coefficiente S che varia in funzione della categoria del suolo.

Ai fini della determinazione dell'effetto della sismica in funzione delle caratteristiche del sito si definiscono i seguenti tipi di terreno:

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO					
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	Vs (m/s)	N <sub>spt</sub>	Cu (kPa)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V <sub>s30</sub> superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	≥ 800		
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V <sub>s30</sub> compresi fra 360 m/s e 800 m/s (N <sub>spt,30</sub> >50 nei terreni a grana grossa o cu <sub>30</sub> >250 kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	≥360 ≤800	>50	>250
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V <sub>s30</sub> compresi fra 180 e 360 m/s (15< N <sub>spt,30</sub> <50 nei terreni a grana grossa, 70< cu <sub>30</sub> <250 kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	≥180 ≤360	>15 <50	>50 <250
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V <sub>s30</sub> <180 m/s (N <sub>spt,30</sub> <15 nei terreni a grana grossa, cu <sub>30</sub> <70 kPa nei terreni a grana fina).	> 30 m	< 180	<15	>70
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento (V <sub>s30</sub> >800 m/s).	Fino a 20 m	≈ C e D	≈ C e D	≈ C e D
CATEGORIE AGGIUNTIVE DI SOTTOSUOLO					
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs <sub>30</sub> inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu <sub>30</sub> < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.				
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.				

La velocità di propagazione delle onde di taglio si riferisce alla media dei valori entro 30 metri di profondità.

La Vs30 è il parametro geofisico che rappresenta meglio la variabilità geotecnica dei materiali presenti nel sottosuolo, la Vs è, infatti, un parametro elastico (geotecnico) essenziale per caratterizzare un terreno dal punto di vista geomeccanico.

La Vs30 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 metri di profondità e si calcola mediante la seguente espressione:

$$Vs30 = 30 / \sum h_i/V_i$$

dove:

*V<sub>i</sub>* = velocità delle onde S dello strato *i*-esimo

*h<sub>i</sub>* = spessore in metri dello strato *i*-esimo

Il parametro Vs30 può essere acquisito con modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (MASW).

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo sono principalmente di due tipi:

- onde di corpo: onde di volume(P) e onde di Taglio (SV e SH)

- onde di superficie: onde di Rayleigh(P+SV), onde di Love(SH), onde di Lamb.

Si tende a considerare le onde di superficie perché la percentuale di energia convertita in onde Rayleigh è di gran lunga predominante rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P e S:

Tipo di onda	Percentuale di totale energia
Rayleigh	67%
S	26%
P	7%

La propagazione delle onde Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è innanzitutto funzione della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito e negli studi di amplificazione dello scuotimento sismico.

Il profilo verticale delle Onde S ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna, utilizzando l'adeguato software di interpretazione.

Il valore della  $V_{s30\_medio\_calcolato}$  risulta  $330\text{ m/s}$  ed il terreno può essere collocato, secondo la normativa vigente, in classe C.

#### Categoria di suolo di fondazione C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{,30} < 250\text{ kPa}$  nei terreni a grana fina).

#### Categoria topografica T1

Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i = 15^\circ$

## 9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base degli elementi acquisiti si può formulare la caratterizzazione geomeccanica dei terreni interessati dal progetto.

Nel sito esaminato si incontra un terreno di riporto fino alla profondità di circa 4 metri seguito dalla formazione dell'Ignimbrite III dapprima in facies alterata fino a circa 5,20 m dal p.c. e successivamente in facies molto addensata tanto da verificarsi rifiuto penetrometrico a 6,20 m dal p.c.



Ai fini del calcolo geotecnico è stata effettuata una stima dei parametri geomeccanici medi delle litologie interessate dalle fondazioni.

PARAMETRO GEOTECNICO	CORRELAZIONE USATA	<i>Terreno di riporto</i>	<i>Formazione moderatamente addensata</i>	<i>Formazione molto addensata</i>
		Valore	Valore	Valore
Angolo di attrito $\varphi$	Meyerhof (1965)	31°	35°	40°/42°
Coesione C		0	0	0
Peso unità di volume	Meyerhof ed altri	1,5 daN/dm <sup>3</sup>	1,65 daN/dm <sup>3</sup>	1,8 daN/dm <sup>3</sup>
Modulo elastico E (Young)	Bowles (1982)	/ daN/cm <sup>2</sup>	140 daN/cm <sup>2</sup>	360 daN/cm <sup>2</sup>
Densità relativa Dr	Meyerhof 1957	45%	65%	>85%
Coeff. di spinta a riposo K <sub>0</sub>	Navfac 1971 - 1982	1	3	9

## 10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area esaminata ricade in zona sismica 2B. Per ricavare i parametri sismici significativi dell'area in esame, secondo disposto dalle N.T.C. di cui al DM 14/01/2008, si fa specifico riferimento alle coordinate geografiche nel sistema di riferimento *Ed 50* che risultano essere le seguenti:

COORDINATE ED 50	
Lat. 42.423131°	Long. 12.096701°

La litologia, come si è potuto determinare dall'elaborazione delle acquisizioni di sismica, risulta caratterizzata da un valore della velocità Vs30 che la colloca come suolo di *Categoria C*. La categoria topografica è T1.

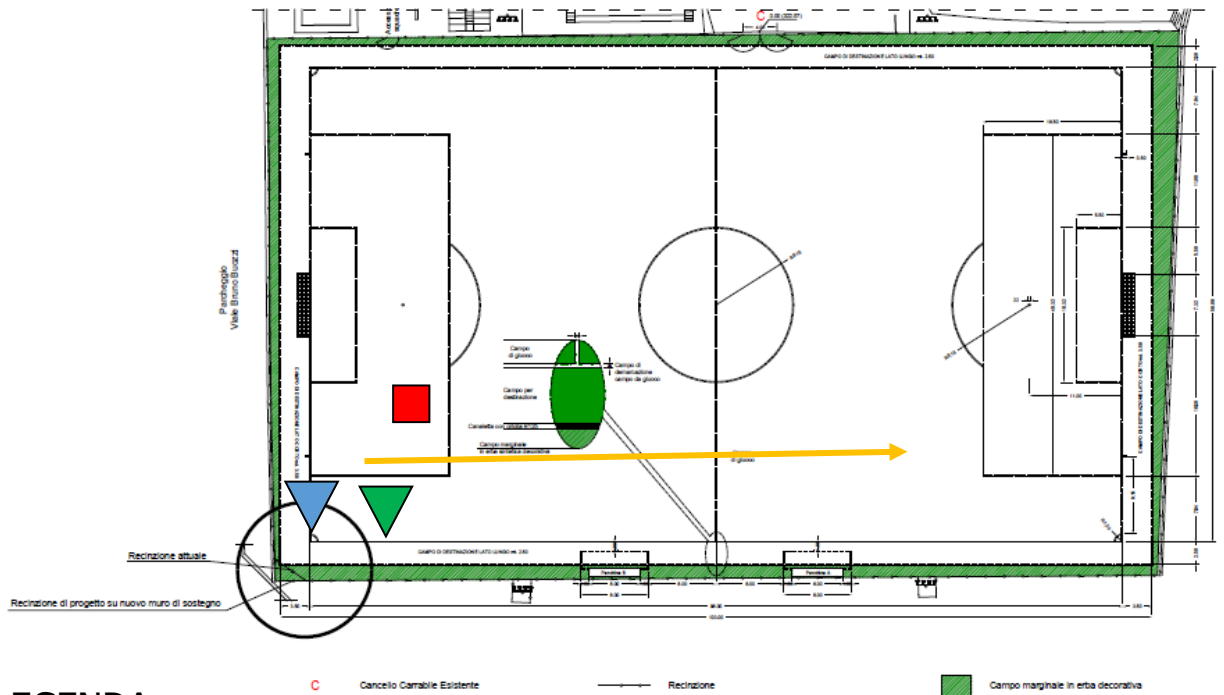
I parametri geotecnici medi dei litotipi compresi nel volume significativo di terreno sono stati definiti utilizzando i dati ricavati da una campagna di indagini consistente nell'esecuzione di sondaggi di penetrometria dinamica e prove geofisiche; inoltre, ad integrazione dei dati ricavati dalle prove, sono stati utilizzati dati di archivio e bibliografici.

I valori dei parametri geotecnici medi relativi alle formazioni comprese nel volume significativo di terreno sono riportati nella tabella riassuntiva.

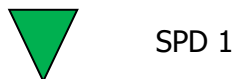
Il livello idrostatico della falda freatica di base è ubicata a circa 40 metri di profondità dal p.c.

In sintesi, dal punto di vista geologico-geomorfologico-idrogeologico, nonché da quello delle caratteristiche geotecniche dei litotipi costituenti il sottosuolo, non sono state rilevate condizioni ostative alle opere di consolidamento. E' necessario provvedere ad una corretta regimazione delle acque meteoriche.

## PLANIMETRIA DELLE INDAGINI



## LEGENDA



## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Viterbo  
 Cantiere: Campo sportivo  
 Località: Pilastro

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,523
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

Classificazione ISSMFE (1988) delle sonde Penetrometriche dinamiche

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa battente in Kg
Leggero	DPL (Light)	M<10
Medio	DPM (Medium)	10<M<40
Pesante	DPH (Heavy)	40<M<60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M>60



## PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 10/05/2018

Profondità prova 6,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	7	0,855	5,70	6,67	285,06	333,55
0,40	5	0,851	4,05	4,76	202,69	238,25
0,60	3	0,847	2,42	2,86	121,08	142,95
0,80	1	0,843	0,80	0,95	40,18	47,65
1,00	2	0,840	1,48	1,76	74,03	88,16
1,20	1	0,836	0,74	0,88	36,86	44,08
1,40	2	0,833	1,47	1,76	73,43	88,16
1,60	5	0,830	3,66	4,41	182,83	220,40
1,80	3	0,826	2,19	2,64	109,27	132,24
2,00	3	0,823	2,03	2,46	101,27	123,02
2,20	2	0,820	1,35	1,64	67,26	82,02
2,40	3	0,817	2,01	2,46	100,53	123,02
2,60	3	0,814	2,00	2,46	100,17	123,02
2,80	3	0,811	2,00	2,46	99,82	123,02
3,00	3	0,809	1,86	2,30	93,01	115,01
3,20	2	0,806	1,24	1,53	61,80	76,67
3,40	3	0,803	1,85	2,30	92,40	115,01
3,60	5	0,801	3,07	3,83	153,51	191,68
3,80	6	0,798	3,67	4,60	183,65	230,02
4,00	5	0,796	2,87	3,60	143,25	179,96
4,20	6	0,794	3,43	4,32	171,40	215,95
4,40	9	0,791	5,13	6,48	256,37	323,93
4,60	9	0,789	5,11	6,48	255,65	323,93
4,80	11	0,787	6,23	7,92	311,62	395,91
5,00	6	0,785	3,20	4,07	159,75	203,50
5,20	15	0,733	7,46	10,18	372,92	508,76
5,40	38	0,631	16,27	25,78	813,32	1288,85
5,60	37	0,629	15,79	25,10	789,52	1254,93
5,80	37	0,627	15,74	25,10	787,19	1254,93
6,00	34	0,625	13,64	21,81	681,98	1090,34
6,20	50	0,574	18,40	32,07	919,93	1603,44

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1****TERRENI INCOERENT I**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Meyerhof 1957	46,19
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Meyerhof 1957	67,57
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Meyerhof (1965)	31,56
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Meyerhof (1965)	35,14
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Meyerhof (1965)	42,69

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Bowles (1982) Sabbia Media	14,23
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Bowles (1982) Sabbia Media	36,26

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,65
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	5,52
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	14,57

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Meyerhof ed altri	14,82
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Meyerhof ed altri	16,98
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Meyerhof ed altri	18,64

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,41
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,13
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Terzaghi-Peck 1948-1967	21,39

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	(A.G.I.)	0,34
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	(A.G.I.)	0,24

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Ohsaki (Sabbie pulite)	27,58
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Ohsaki (Sabbie pulite)	76,33
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Ohsaki (Sabbie pulite)	294,28

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$ 

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Navfac 1971-1982	0,93
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Navfac 1971-1982	2,93
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Navfac 1971-1982	9,70

 $Q_c$  ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Mpa)
Strato (1) Strato	4,75	0.00-4,00	4,75	Robertson 1983	0,93
Strato (2) Strato	14,03	4,00-5,20	14,03	Robertson 1983	2,75
Strato (3) Strato	58,96	5,20-6,20	58,96	Robertson 1983	11,56

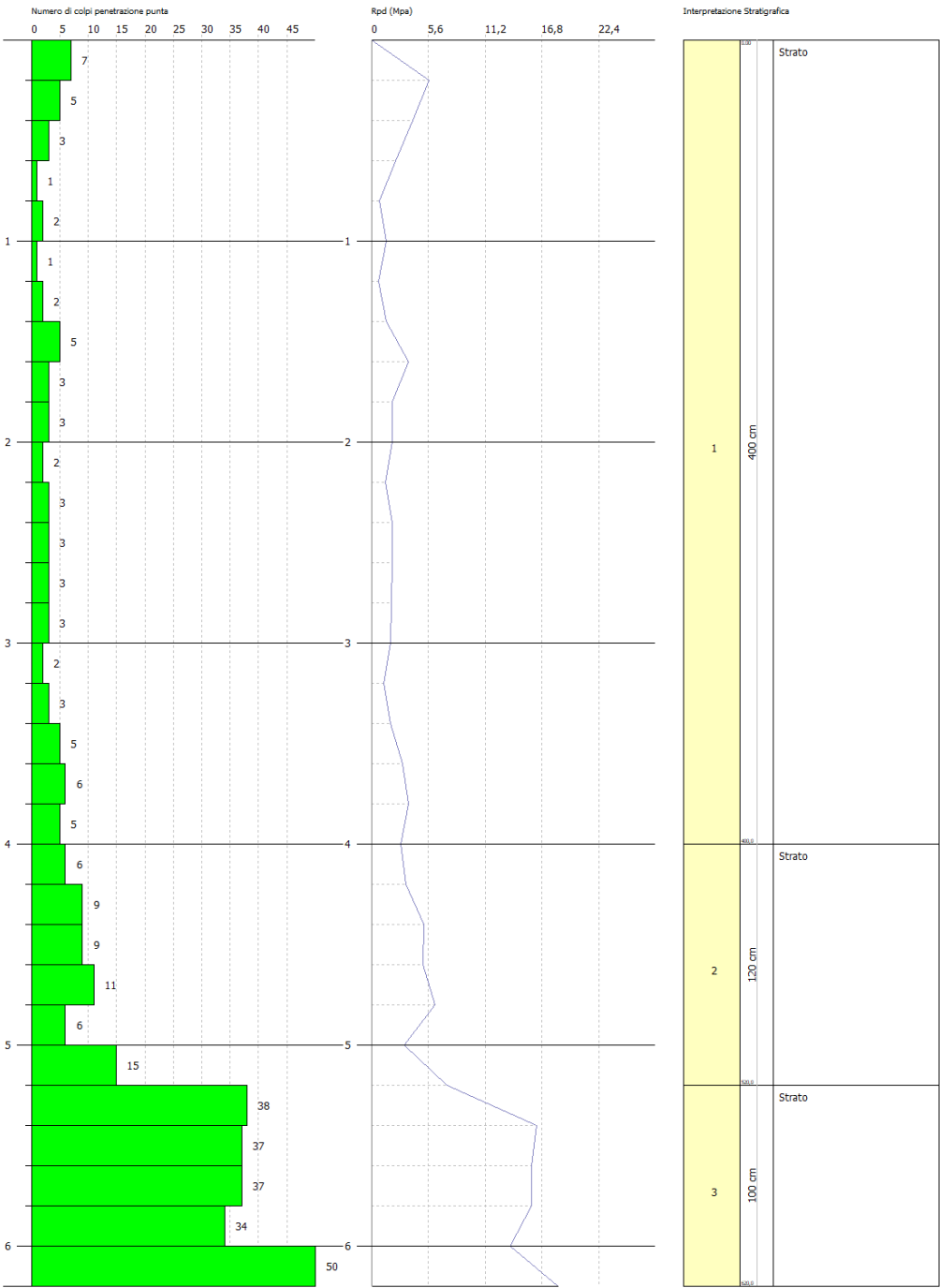
GEOSTRU  
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS  
COMPANY  
.....

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

Committente: viterbo  
Caricatore:  
Località:

Data: 10/05/2018

Scale 1:28





# PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 10/05/2018  
 Profondità prova 6,20 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	6	0,855	4,89	5,72	244,34	285,90
0,40	5	0,851	4,05	4,76	202,69	238,25
0,60	2	0,847	1,61	1,91	80,72	95,30
0,80	2	0,843	1,61	1,91	80,37	95,30
1,00	3	0,840	2,22	2,64	111,05	132,24
1,20	2	0,836	1,47	1,76	73,73	88,16
1,40	2	0,833	1,47	1,76	73,43	88,16
1,60	4	0,830	2,93	3,53	146,27	176,32
1,80	3	0,826	2,19	2,64	109,27	132,24
2,00	4	0,823	2,70	3,28	135,03	164,03
2,20	3	0,820	2,02	2,46	100,90	123,02
2,40	2	0,817	1,34	1,64	67,02	82,02
2,60	3	0,814	2,00	2,46	100,17	123,02
2,80	3	0,811	2,00	2,46	99,82	123,02
3,00	4	0,809	2,48	3,07	124,01	153,35
3,20	3	0,806	1,85	2,30	92,70	115,01
3,40	2	0,803	1,23	1,53	61,60	76,67
3,60	4	0,801	2,46	3,07	122,81	153,35
3,80	5	0,798	3,06	3,83	153,04	191,68
4,00	5	0,796	2,87	3,60	143,25	179,96
4,20	6	0,794	3,43	4,32	171,40	215,95
4,40	10	0,791	5,70	7,20	284,85	359,92
4,60	9	0,789	5,11	6,48	255,65	323,93
4,80	10	0,787	5,67	7,20	283,29	359,92
5,00	5	0,785	2,66	3,39	133,13	169,59
5,20	14	0,733	6,96	9,50	348,06	474,84
5,40	39	0,581	15,37	26,46	768,58	1322,77
5,60	38	0,629	16,22	25,78	810,86	1288,85
5,80	37	0,627	15,74	25,10	787,19	1254,93
6,00	35	0,625	14,04	22,45	702,04	1122,41
6,20	50	0,574	18,40	32,07	919,93	1603,44

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2****TERRENI INCOERENT I**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Meyerhof 1957	47,44
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Meyerhof 1957	65,57
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Meyerhof (1965)	31,69
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Meyerhof (1965)	34,97
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Meyerhof (1965)	42,67

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Bowles (1982) Sabbia Media	13,99
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Bowles (1982) Sabbia Media	36,71

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,71
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	5,42
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	14,75

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Meyerhof ed altri	14,86
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Meyerhof ed altri	16,92
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Meyerhof ed altri	18,68

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,43
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,09
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Terzaghi-Peck 1948-1967	21,41

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	(A.G.I.)	0,34
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	(A.G.I.)	0,23

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Ohsaki (Sabbie pulite)	29,16
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Ohsaki (Sabbie pulite)	73,82
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Ohsaki (Sabbie pulite)	298,50

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$ 

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Navfac 1971-1982	1,00
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Navfac 1971-1982	2,84
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Navfac 1971-1982	9,89

 $Q_c$  ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Mpa)
Strato (1) Strato	5,04	0.00-4,00	5,04	Robertson 1983	0,99
Strato (2) Strato	13,54	4,00-5,20	13,54	Robertson 1983	2,66
Strato (3) Strato	59,86	5,20-6,20	59,86	Robertson 1983	11,74

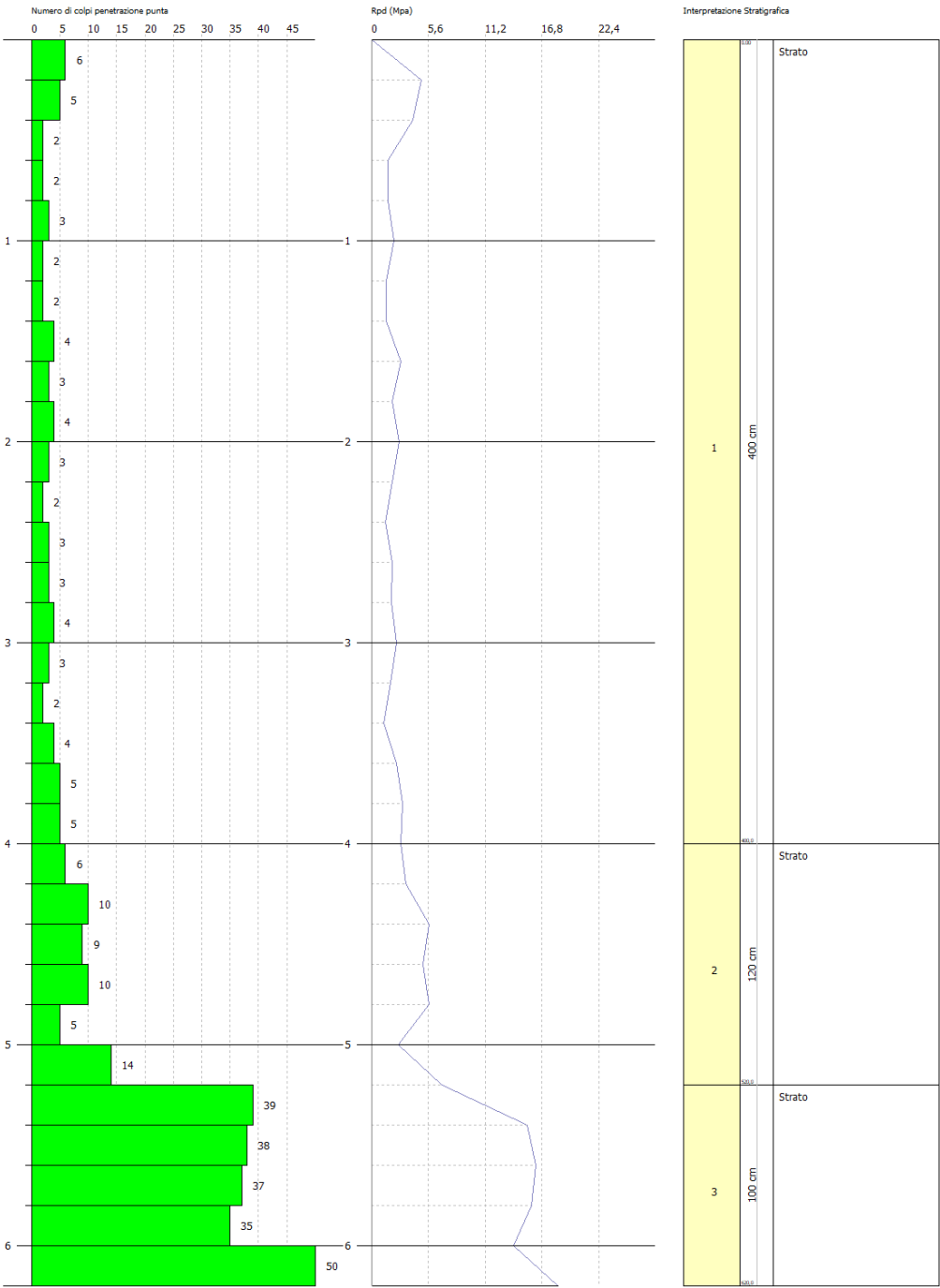
GEOSTRU  
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS  
COMPANY

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: viterbo  
Cantieri:  
Località:

Data: 10/05/2018

Scale 1:28



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2



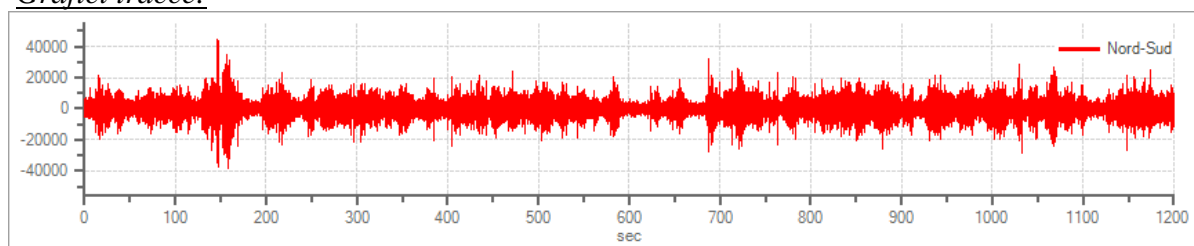
## HVSR

### Tracce in input

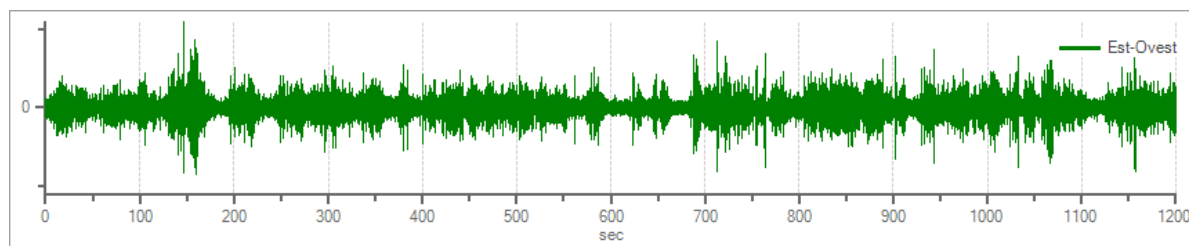
#### Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3  
 Durata registrazione: 1200 s  
 Frequenza di campionamento: 300.00 Hz  
 Numero campioni: 360000  
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

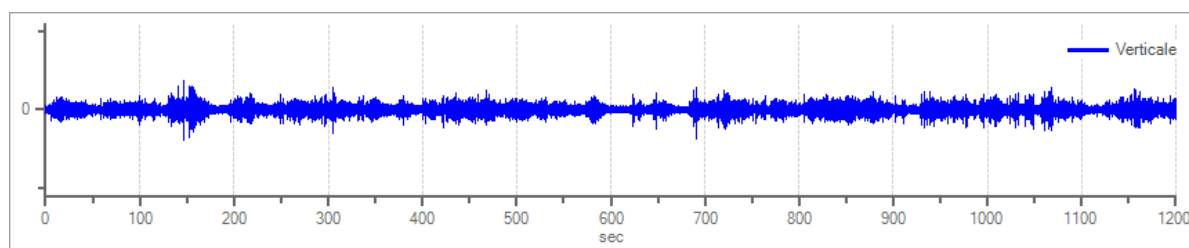
#### Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

## Finestre selezionate

#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 63  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 63  
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s  
 Tipo di lisciamento: Konno & Ohmachi

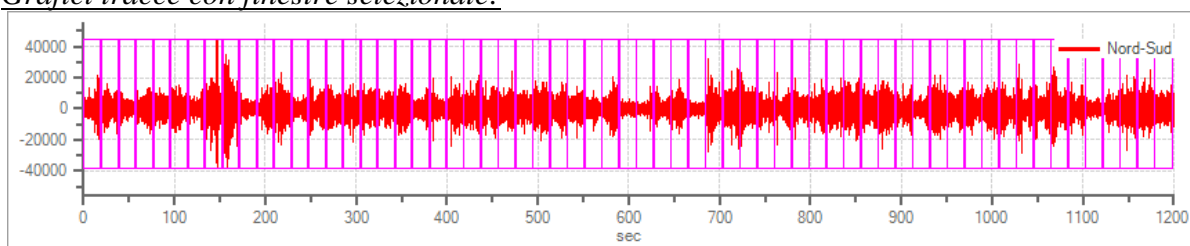
#### Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	19	39	Inclusa

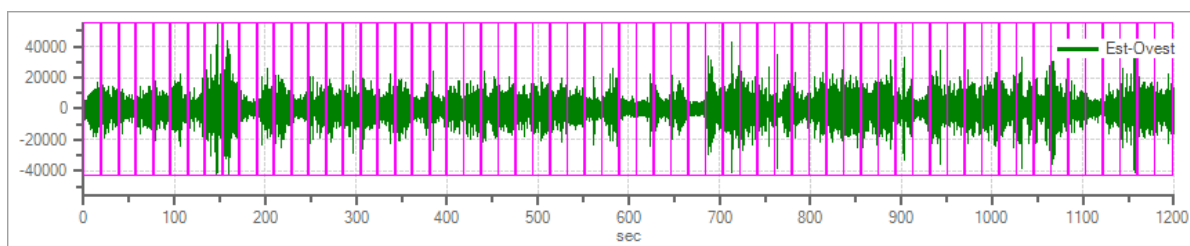
3	38	58	Inclusa
4	57	77	Inclusa
5	76	96	Inclusa
6	95	115	Inclusa
7	114	134	Inclusa
8	133	153	Inclusa
9	152	172	Inclusa
10	171	191	Inclusa
11	190	210	Inclusa
12	209	229	Inclusa
13	228	248	Inclusa
14	247	267	Inclusa
15	266	286	Inclusa
16	285	305	Inclusa
17	304	324	Inclusa
18	323	343	Inclusa
19	342	362	Inclusa
20	361	381	Inclusa
21	380	400	Inclusa
22	399	419	Inclusa
23	418	438	Inclusa
24	437	457	Inclusa
25	456	476	Inclusa
26	475	495	Inclusa
27	494	514	Inclusa
28	513	533	Inclusa
29	532	552	Inclusa
30	551	571	Inclusa
31	570	590	Inclusa
32	589	609	Inclusa
33	608	628	Inclusa
34	627	647	Inclusa
35	646	666	Inclusa
36	665	685	Inclusa
37	684	704	Inclusa
38	703	723	Inclusa
39	722	742	Inclusa
40	741	761	Inclusa
41	760	780	Inclusa
42	779	799	Inclusa
43	798	818	Inclusa
44	817	837	Inclusa
45	836	856	Inclusa
46	855	875	Inclusa
47	874	894	Inclusa
48	893	913	Inclusa
49	912	932	Inclusa
50	931	951	Inclusa
51	950	970	Inclusa
52	969	989	Inclusa

53	988	1008	Inclusa
54	1007	1027	Inclusa
55	1026	1046	Inclusa
56	1045	1065	Inclusa
57	1064	1084	Inclusa
58	1083	1103	Inclusa
59	1102	1122	Inclusa
60	1121	1141	Inclusa
61	1140	1160	Inclusa
62	1159	1179	Inclusa
63	1178	1198	Inclusa

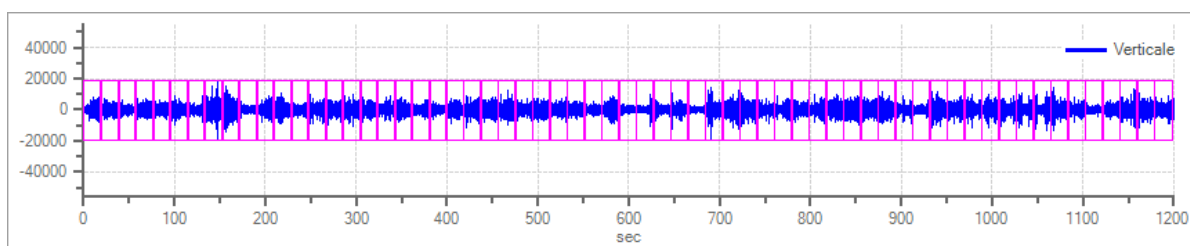
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

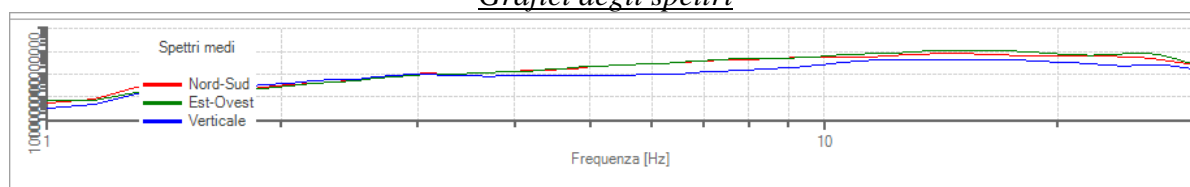


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

## Rapporto spettrale H/V

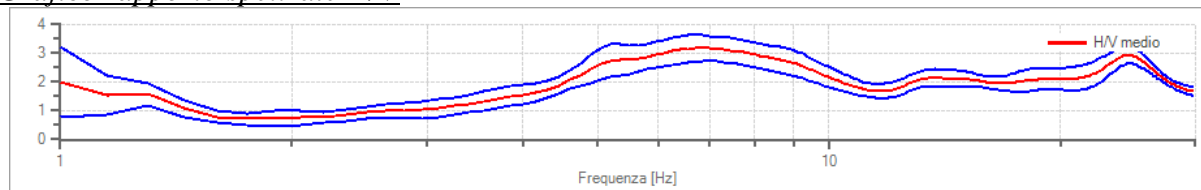
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 30.00 Hz  
 Frequenza minima: 1.00 Hz  
 Passo frequenze: 0.15 Hz  
 Tipo lisciamento:: Konno & Ohmachi

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 6.85 Hz  $\pm 0.15$  Hz

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

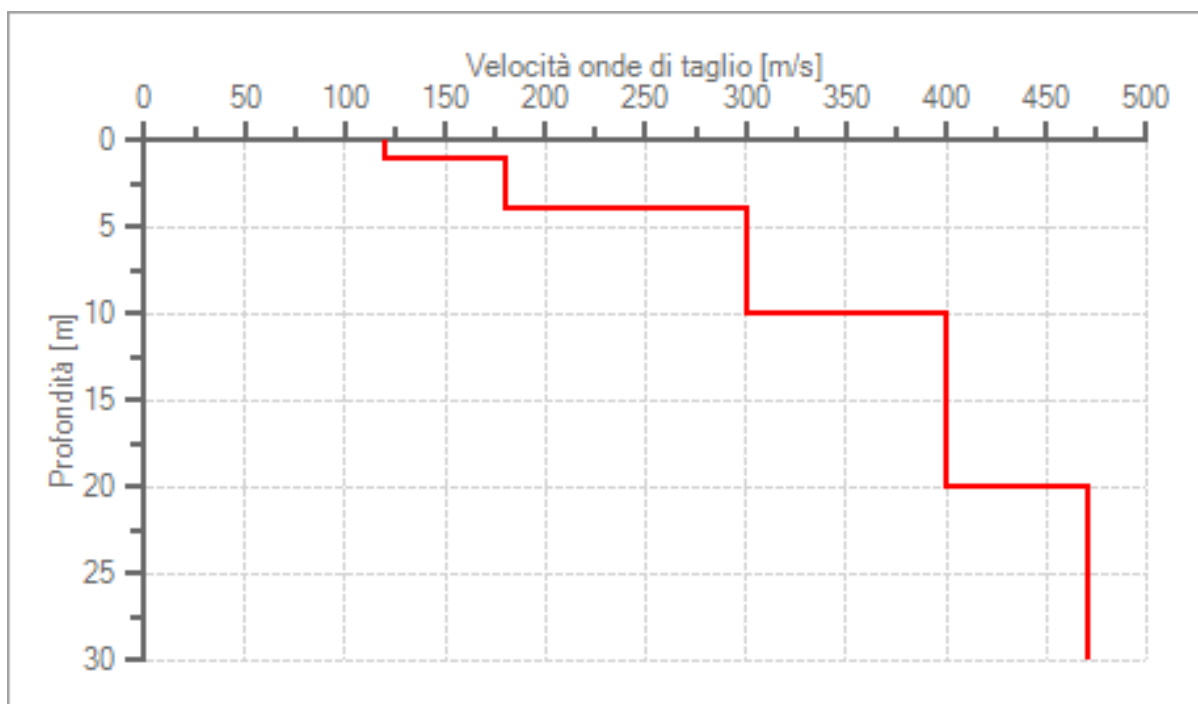
## Modello stratigrafico

### Dati riepilogativi:

Numero strati: 5  
 Valore Vs30: 328.67 m/s

### Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1	18	120
2	1	3	18	180
3	4	6	18	300
4	10	10	18	400
5	20	10	18	470

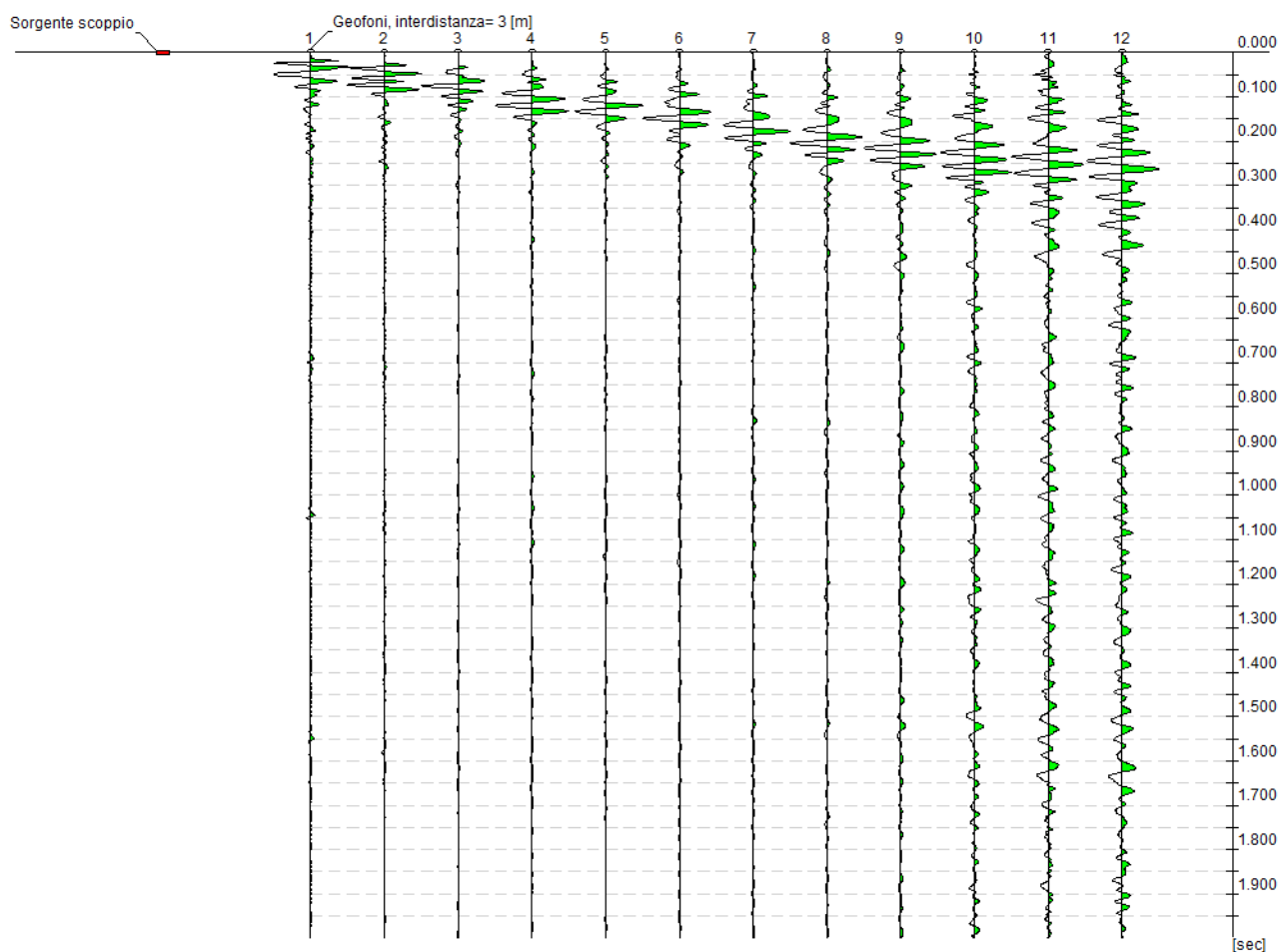


Profilo delle velocità delle onde di taglio.



## MASW Tracce

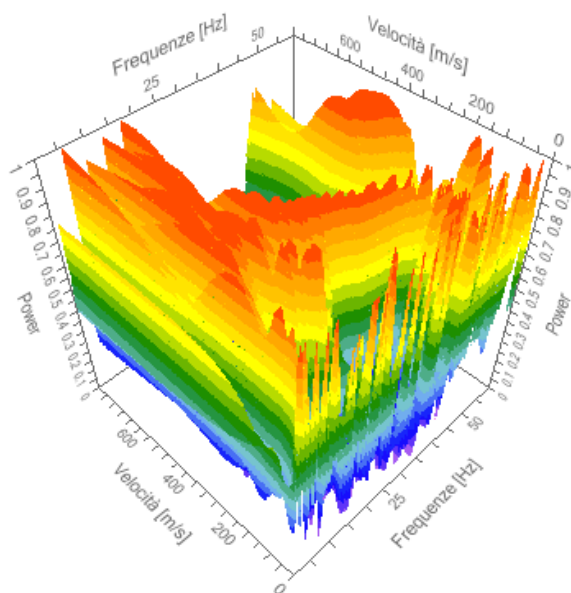
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2000.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	3.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00



## Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1

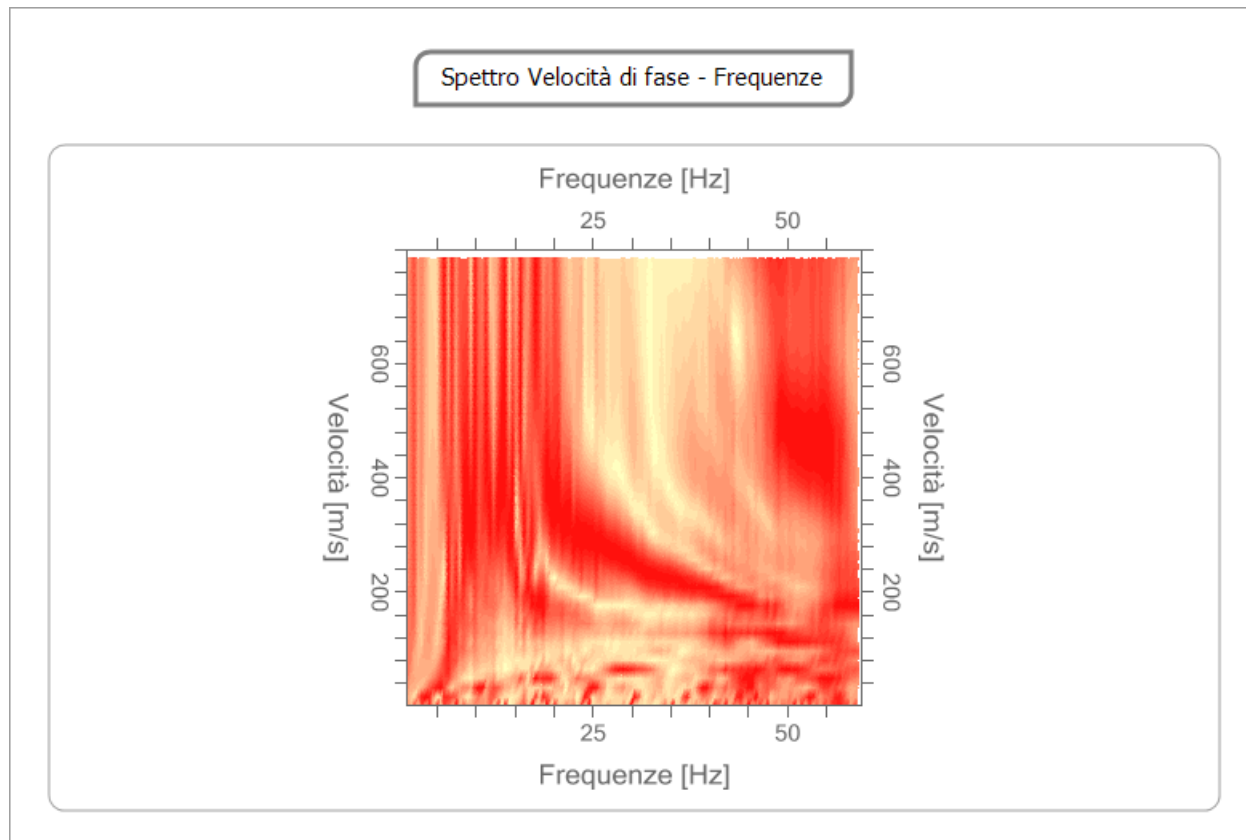
Spettro Velocità di fase - Frequenze



Curva di dispersione

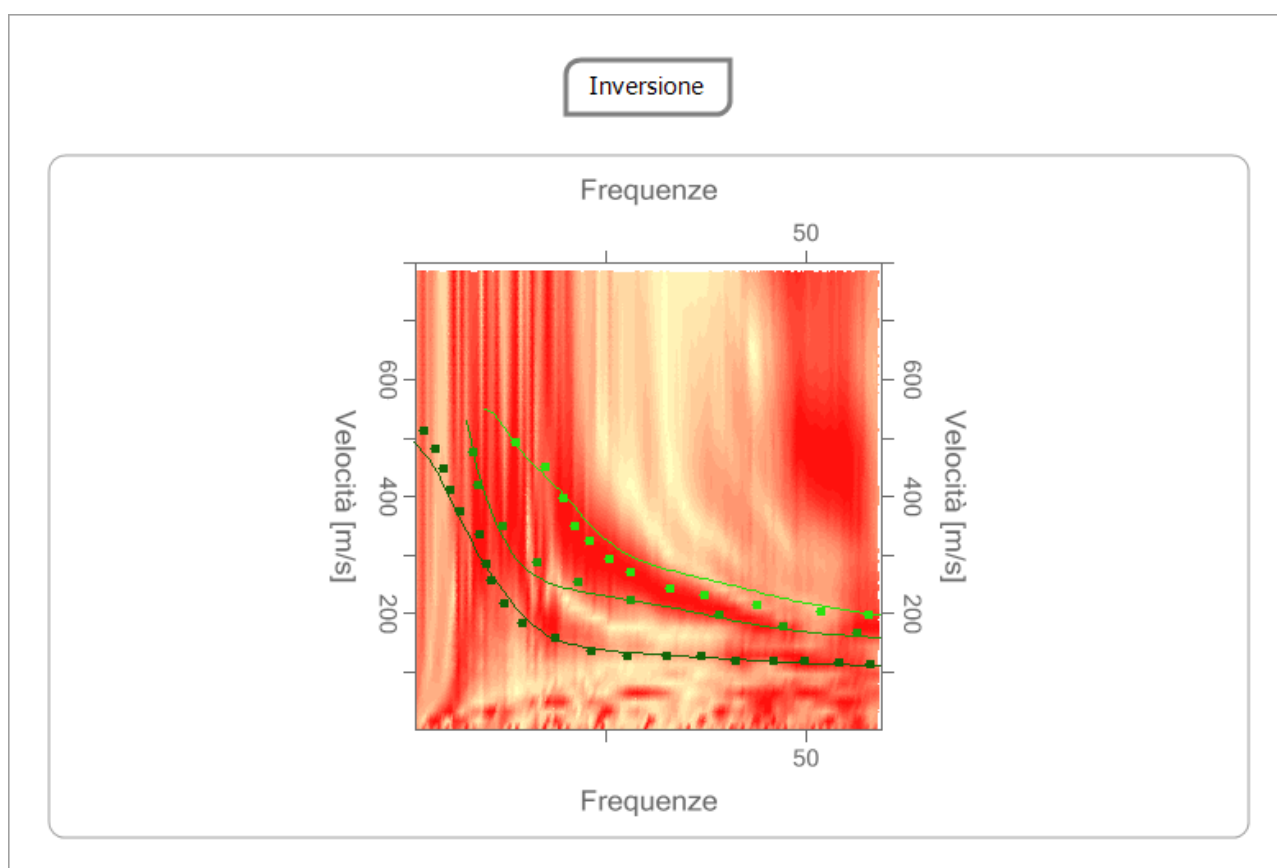
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.1	511.6	0
2	3.7	481.6	0
3	4.8	445.6	0
4	5.4	409.5	0
5	6.7	373.5	0
6	8.3	475.6	1
7	9.0	418.5	1
8	9.2	334.4	0
9	10.1	283.4	0
10	10.7	256.3	0
11	12.1	349.4	1
12	12.3	217.3	0
13	13.8	490.6	2
14	14.5	184.2	0
15	16.5	286.4	1
16	17.4	448.6	2
17	18.7	157.2	0

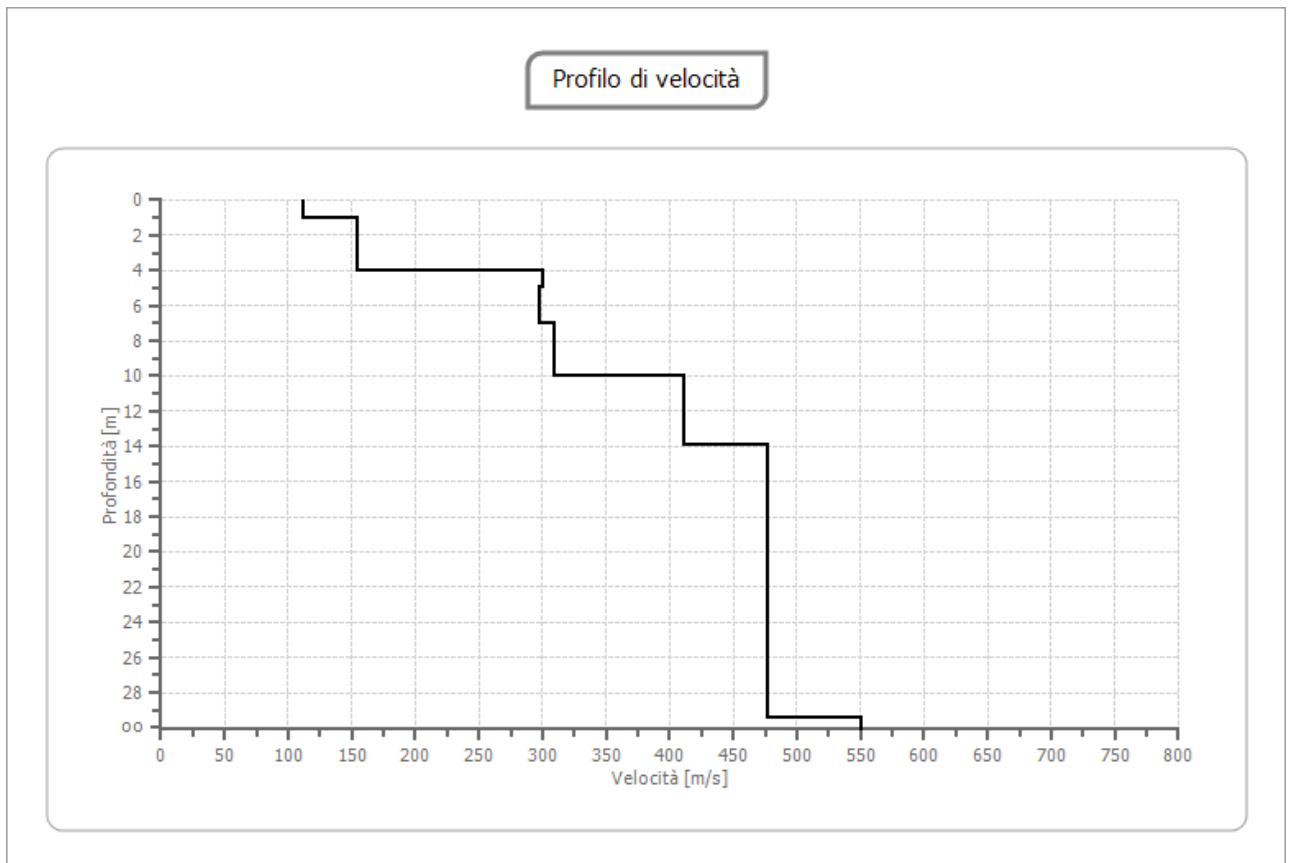
18	19.8	397.5	2
19	21.1	349.4	2
20	21.6	253.3	1
21	22.9	322.4	2
22	23.1	136.2	0
23	25.5	292.4	2
24	27.8	127.2	0
25	28.2	223.3	1
26	28.2	271.3	2
27	32.6	127.2	0
28	33.1	241.3	2
29	37.0	127.2	0
30	37.5	229.3	2
31	39.3	196.2	1
32	41.2	118.1	0
33	43.9	214.3	2
34	46.1	118.1	0
35	47.2	178.2	1
36	49.9	118.1	0
37	52.1	202.3	2
38	54.3	115.1	0
39	56.5	166.2	1
40	58.0	196.2	2
41	58.3	112.1	0



**Inversione**

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1800.0	0.3	No	207.8	111.1
2		4.00	3.00	1800.0	0.3	No	288.3	154.1
3		5.00	1.00	1800.0	0.3	No	560.8	299.8
4		7.00	2.00	1800.0	0.3	No	555.2	296.8
5		10.00	3.00	1800.0	0.3	No	578.9	309.5
6		13.88	3.88	1800.0	0.3	No	769.5	411.3
7		29.45	15.56	1800.0	0.3	No	891.4	476.5
8		oo	oo	1800.0	0.3	No	1029.0	550.0





### Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs30 [m/sec]	328.41
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < \text{NSPT}_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < \text{cu}_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





