



REGIONE LAZIO

Piattaforma di trattamento rifiuti GEAConsulting s.r.l., ubicata nel Comune di Viterbo. Provvedimento Autorizzativo Unico Regionale (art. 27-bis D.Lgs. 152/2006 ed s.m.i.)



Geaconsulting Srl
Unipersonale

GEAconsulting S.r.l.



Sede legale e logistica: Via Aldo Moro 113, 66020 S.Giovanni Teatino (CH)
Telefono: (+39) 0854464091, Fax: (+39) 0854409931,
Uffici Amministrativi e Commerciali: Via Pacinotti 5, 01100 Viterbo (VT)
Telefono: (+39) 0761253135, Fax: (+39) 0761391949,
P.IVA: 02116160694, mail: geaconsultingsrl@libero.it

IL RICHIEDENTE:
(Timbro e firma)

IL PROGETTISTA:
(Timbro e firma)

Indice	Revisione / Revision / Modification	Data	Disegno



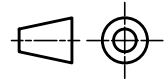
RANABLU S.r.l.

Via Aldo Moro 113, 66020 S.Giovanni Teatino (CH)
Telefono: (+39) 0858434565, web: www.ranablu.it,
e-mail: info@ranablu.it, pec: a.ronccone@pec.ranablu.it

DISEGNI DI RIFERIMENTO N°:
Reference drawings / Plans de référence

SCALA DISEGNO:
Drawing Scale
Echelle Dessin

1:1



SCALA PLOTTAGGIO:
Plot scale / Echelle de plot.

1:1

Piattaforma polifunzionale di trattamento rifiuti
Relazione geologica

SOSTITUISCE il NUM.
Replaces Number
Remplaces Nombre

REDATTO:
Prepared by / Rédigé par

22/03/2021

V. Romagnuolo

VERIFICATO:
Checked by / Vérifié

22/03/2021

A. Roncone

APPROVATO:
Approved / Approuvé

30/03/2021

A. Levato

CLIENTE:
Customer / Client

Geaconsulting S.r.l.

LOCALITA':
Locality / Localité

Viterbo (VT)

ELABORATO N°: Document N°

18.023.05U.0104

Rev.

Pagina / Page

1 di 106



REGIONE LAZIO
COMUNE DI VITERBO

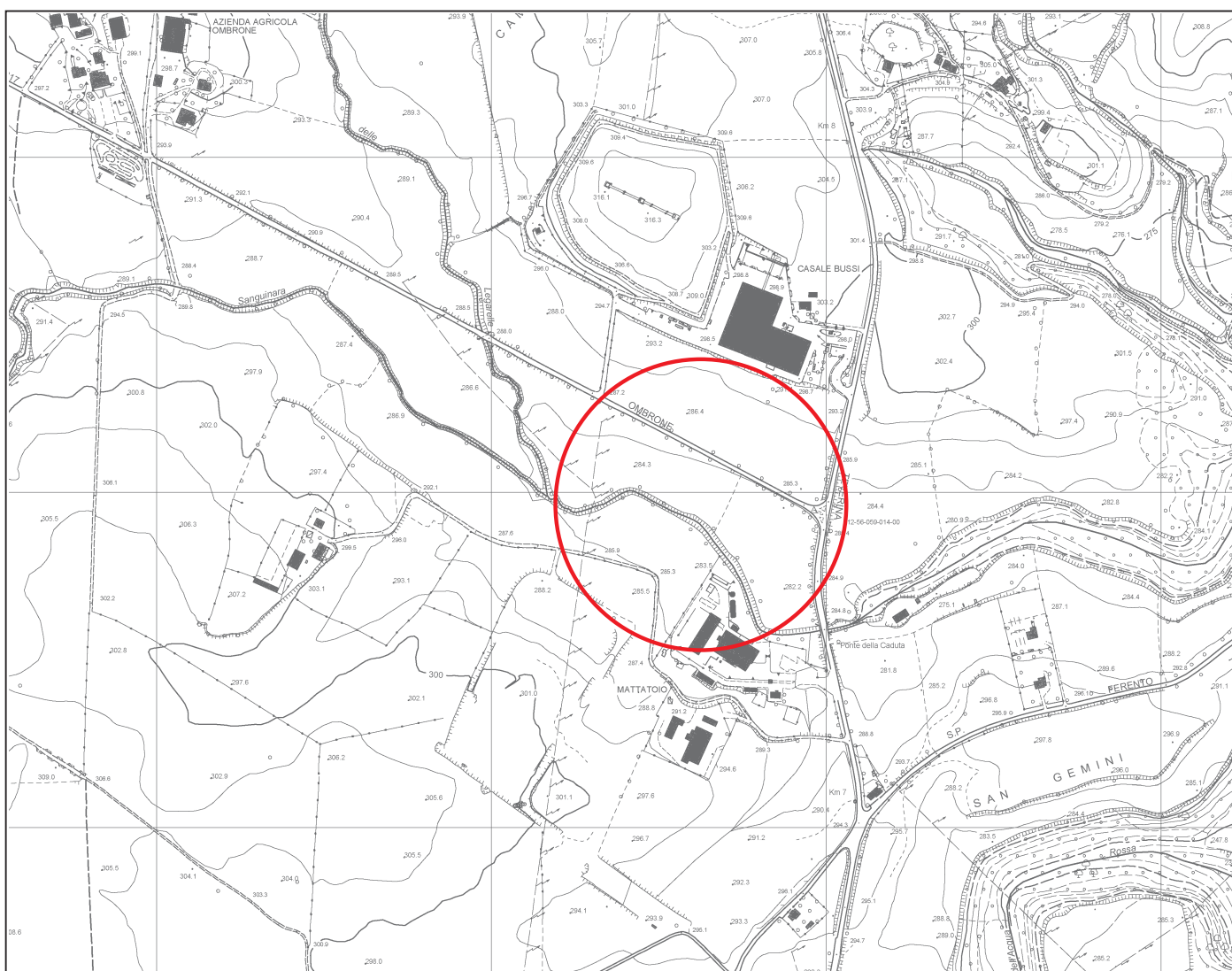
(Provincia di Viterbo)

Località "Pian di Giorgio"



STUDIO GEOLOGICO

ai sensi dell'art.41 del D.P.R. 328/01, del D.M. 17 gennaio 2018 (N.T.C.) e R.R. Lazio n.26 del 26/10/2020
per la realizzazione di un impianto industriale



Codice ID:
102/2020

Coordinate geografiche WGS84:
Lat. 42°29'14.97"N – Long. 12°06'37.97"E

Data:
Dicembre 2020

Committente:
Soc. GEA Consulting s.r.l

Il Tecnico:
Dott. Geol. Matteo Pelorosso



Studio di Tecnologie per la Geologia e l'Ambiente
GEOFISICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGIA
SERVIZI PER L'INGEGNERIA - TOPOGRAFIA - PROGETTAZIONE
Via Monte San Valentino n° 2 - 01100 Viterbo (VT)
info@stega.it - www.stega.it - stega@pec.stega.it - Tel/Fax (+39) 0761 228191
Partita IVA: 01410320566



Studio di Tecnologie per la Geologia e l'Ambiente
GEOFISICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGIA
SERVIZI PER L'INGEGNERIA - TOPOGRAFIA - PROGETTAZIONE

Via Monte San Valentino n.2 - 01100 Viterbo (VT)
info@stega.it www.stega.it Tel/Fax (+39) 0761228191
Partita IVA: 01410320566





Viterbo 11/12/2020

1. PREMESSA

Su richiesta e per conto della Soc. GEA Consulting s.r.l., a partire dalla prima metà del mese di Ottobre c.a. abbiamo eseguito uno studio geologico in un'area nella zona artigianale, in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo, interessata da un progetto per la realizzazione di un impianto industriale. Il presente elaborato è finalizzato alla realizzazione delle strutture di impianto.

A tal fine sono state eseguite le seguenti attività:

- rilevamento geologico e geomorfologico dell'area;
- rilevamento idrogeologico dell'area e definizione del modello idrogeologico di riferimento;
- n. 8 indagini penetrometriche dinamiche con strumentazione superpesante (DPSH);
- n. 5 sondaggi meccanici a rotazione di cui uno spinto fino a 30 metri da p.c.
- n. 2 prove SPT in foro;
- definizione del modello geologico-tecnico di riferimento;

Ai fini della Modellazione sismica del sito sono stati eseguiti:

- analisi della sismicità dell'area;
- n. 1 prova sismica in foro di tipo Down-Hole;
- n. 2 profili di sismica di superficie con metodologia MASW;
- n. 2 profili di sismica di superficie con metodologia Re.Mi.,
- n. 1 misura di microtremori a stazione singola elaborata mediante rapporto delle componenti spettrali (H/V);

La relazione che ne riferisce le risultanze, è stata redatta ai sensi dei seguenti riferimenti normativi:

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

- D.P.R. 328 del 2001 – art.41: *“Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di Stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni, nonché della disciplina dei relativi ordinamenti.”*
- D.M. 17 gennaio 2018: *“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C)”*.
- R.R. Lazio n.26 del 26/10/2020: *“Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016 n.14 e successive modifiche”*.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area risulta ubicata nella porzione settentrionale della zona produttiva di Pian di Giorgio, con sviluppo parallelo alla S.P. dell'Ombrone, che collega la S.P. Teverina alla S.S. Cassia. L'area si pone a quote topografiche di circa 285 metri s.l.m.

Essa è riferibile alla seguente cartografia:

- IGM Foglio 137 - III - NE, alla scala 1:25.000,
- CTR Sezione n. 345100, alla scala 1:10.000,
- Foglio n. 79 particelle 74, 429, 495, 496, 497, 502, 503, 509, 533, 1206, 1214, 1215, 1265,
- Coordinate Geografiche s.d.r. WGS84 – Lat. 42°29'14.97"N –Long. 12°06'37.97"E

In relazione alle indicazioni fornite dal Progettista le opere sono ascrivibili alla classe d'uso IV e, risultando ricadenti in un territorio classificato alla categoria sismica 2B, secondo quanto previsto dal R.R. Lazio 26/2020, si configura un livello di pericolosità per le opere di tipo

ALTO.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.

PERICOLOSITA'					
Zona Sismica					
PROGETTI	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Specchietto riassuntivo gradi di pericolosità. R.R. 26/2020

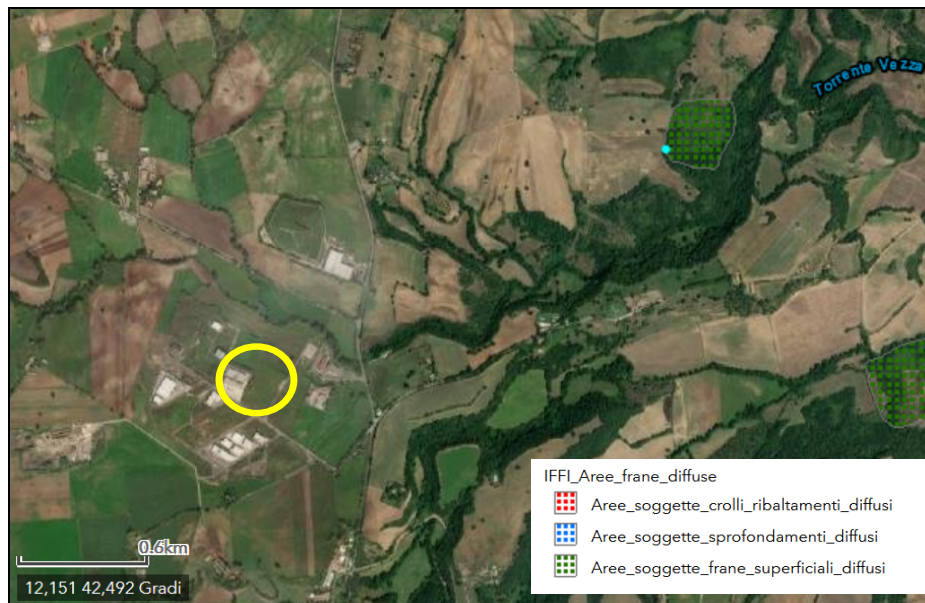


Ubicazione aree su immagine satellitare

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

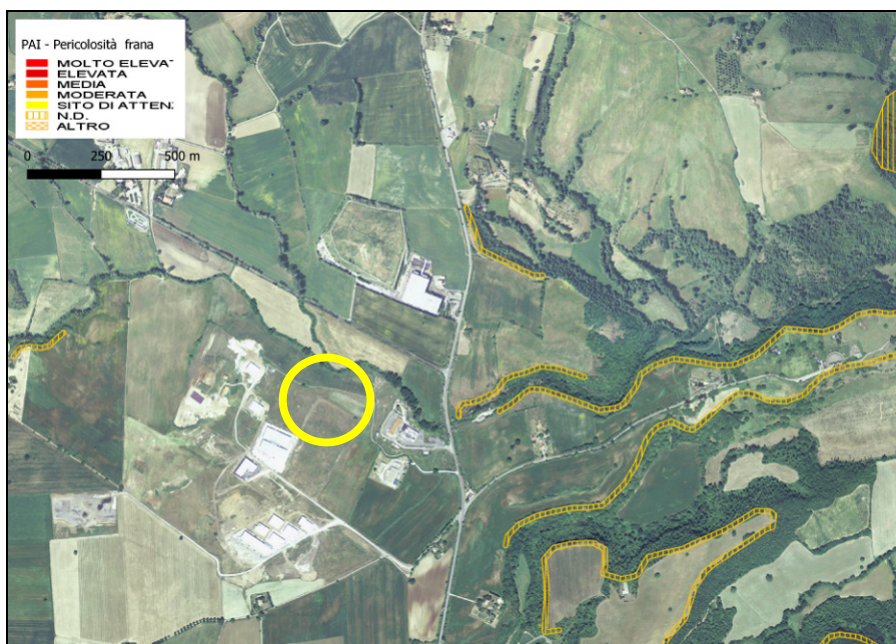
La morfologia dei luoghi mostra caratteri di blanda collina con un pianoro posto nella porzione sommitale del plateau vulcanico, sul quale si sviluppa buona parte dell'area artigianale, delimitata da versanti contraddistinti da pendenze modeste, stimate nell'ordine del 5%. La zona in esame, nel dettaglio, appare tendenzialmente pianeggiante e si estende trasversalmente al versante esposto in direzione Nord, verso la vallata incisa dal Fosso Sanguinara. Sull'area in esame e nell'intorno non si individuano fenomeni di dissesto progressivi o in atto, tuttavia al fine di verificare le osservazioni di campana è stato eseguita una ricerca di dati bibliografici consultando il database IFFI (inventario Fenomeni Franosi Italiani) e la cartografia del PAI Tevere (Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale).



IFFI, instabilità di versante rilevate, nel cerchio l'area di studio.

In particolare, in quest'ultima cartografia, non si individuano fenomeni areali attivi o quiescenti nei pressi dell'area in esame, ma si riconoscono tuttavia fenomeni lineari perimetrati in corrispondenza delle scarpate che delimitano i fossi e le valli da questi scavate, comunque a distanze tali dall'area in esame, da escludere eventuali interferenze con le opere in progetto.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



PAI Tevere, pericolosità per frana, nel cerchio l'area di studio.

Dal punto di vista geologico la zona risulta interessata dalla presenza dei prodotti vulcanici degli apparati Vicano e Vulsino, risultando sostanzialmente equidistante da entrambi gli apparati.

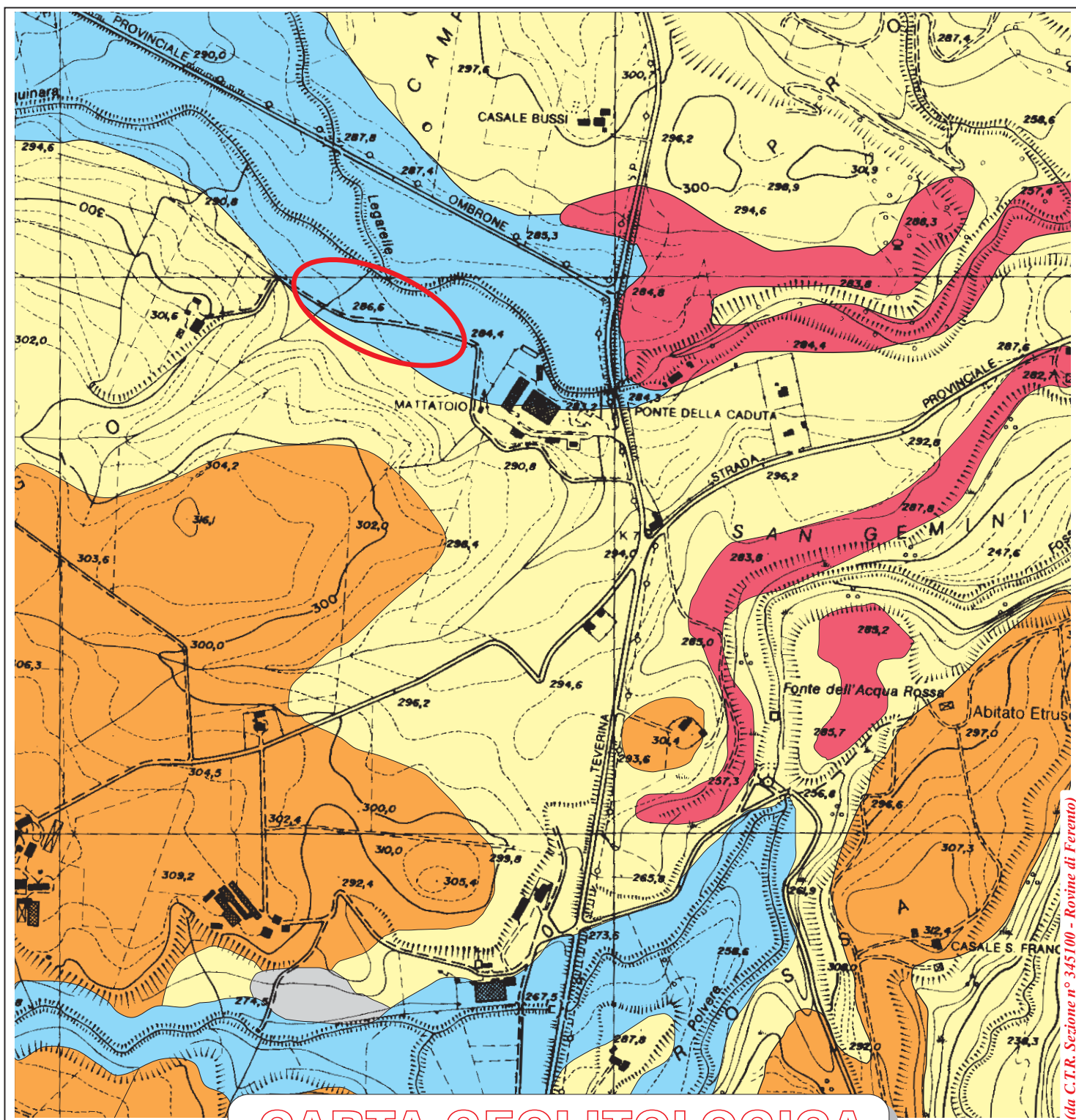
Si riconoscono in affioramento diffuso nella porzione sommitale del colle, depositi piroclastici di colore bruno rossiccio, caratterizzati dalla tipica presenza di scorie nerastre, riferibili alla Formazione del Tufo Rosso a scorie nere, l'Ignimbrite IIIa vicana. Nella zona la formazione mostra spessori modesti, nell'ordine di pochi metri, come rilevato durante indagini realizzate nelle vicinanze del sito in studio e potrebbe risultare totalmente elisa sulla zona in esame. Lungo il versante interessato dal progetto, si evince la presenza della formazione dei Tufi leucititici basali del complesso vulsino, caratterizzati dalla presenza di sabbie grigio-giallastre, mediamente addensate, alternate a paleosuoli alterati di colore rossiccio ed orizzonti diatomeiferi. Questi depositi sono localmente intercalati ad Est, lungo il corso d'acqua immediatamente a valle dell'area in esame, da lingue di lave leucititiche, di colore grigiastro, molto compatte, riferibili alle Lave di Ferento.

Sulla verticale in studio le lave potrebbero essere presenti a profondità di circa 10 metri, come rilevato nelle stratigrafie di alcune perforazioni reperite nel database ISPRA (Istituto

REGIONE LAZIO
COMUNE DI VITERBO







(Provincia di Viterbo)

Località "Pian di Giorgio"



(da C.T.R. Sezione n° 345100 - Rovine di Ferento)

Legenda

-  Detrito di falda
-  Alluvioni medio-recenti ed attuali
-  Ignimbrite III^a vicana ("tufo rosso a scorie nere")
-  Lave e scorie
-  Tufi leucititici basali
-  Ubicazione area in studio

Scala 1:10.000

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e di cui si riporta di seguito quella ubicata nelle immediate vicinanze dell'area in esame.

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 150935 Regione: LAZIO Provincia: VITERBO Comune: VITERBO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 36,00 Quota pc slm (m): 300,00 Anno realizzazione: 1997 Numero diametri: 2 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): ND Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 1 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 4 Longitudine WGS84 (dd): 12,107131 Latitudine WGS84 (dd): 42,488731 Longitudine WGS84 (dms): 12° 06' 25.67" E Latitudine WGS84 (dms): 42° 29' 19.44" N (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia	

MISURE PIEZOMETRICHE				
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
lug/1997	16,30	ND	ND	ND

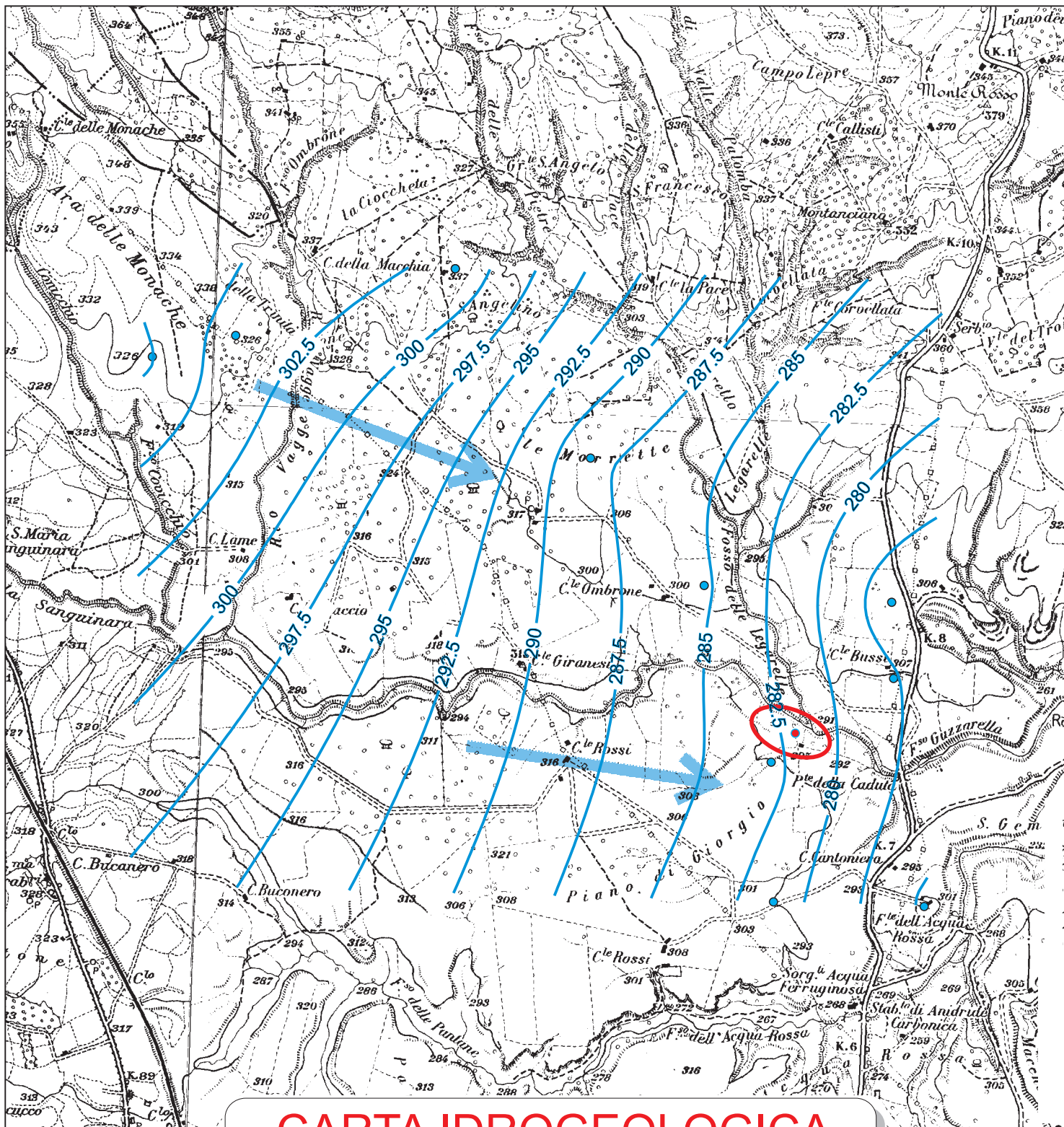
STRATIGRAFIA					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	7,00	7,00		TUFO ROSSO
2	7,00	19,00	12,00		POZZOLANE
3	19,00	35,00	16,00		TUFI NERI
4	35,00	36,00	1,00		SABBIE NERE

Nel sito analizzato, posto ad una quota di circa 10 metri più rilevata rispetto alla precedente, a 19 metri di profondità da p.c. si rinviene la presenza di quelli che vengono classificati come "Tufi neri", con ogni probabilità riconducibili alle lave sopra descritte, le quali risultano grossomodo rilevate in tutte le altre stratigrafie, alla profondità in questione.






Il substrato locale, al di sotto delle vulcaniti, risulta rappresentato dai depositi argillosi pliocenici, affioranti lungo le incisioni dei corsi d'acqua più a Est. Dall'analisi della carta del tetto del substrato, redatta da Baldi e Calamai, sovrapposta all'immagine satellitare, è stato possibile evincere come questo si ponga sulla verticale dell'area in esame, ad una quota assoluta di circa 190 m. s.l.m. che, in relazione alle quote topografiche di sito, consente di definire uno spessore globale delle vulcaniti pari a circa 100 metri.

COMUNE DI VITERBO

Località "Pian di Giorgio"

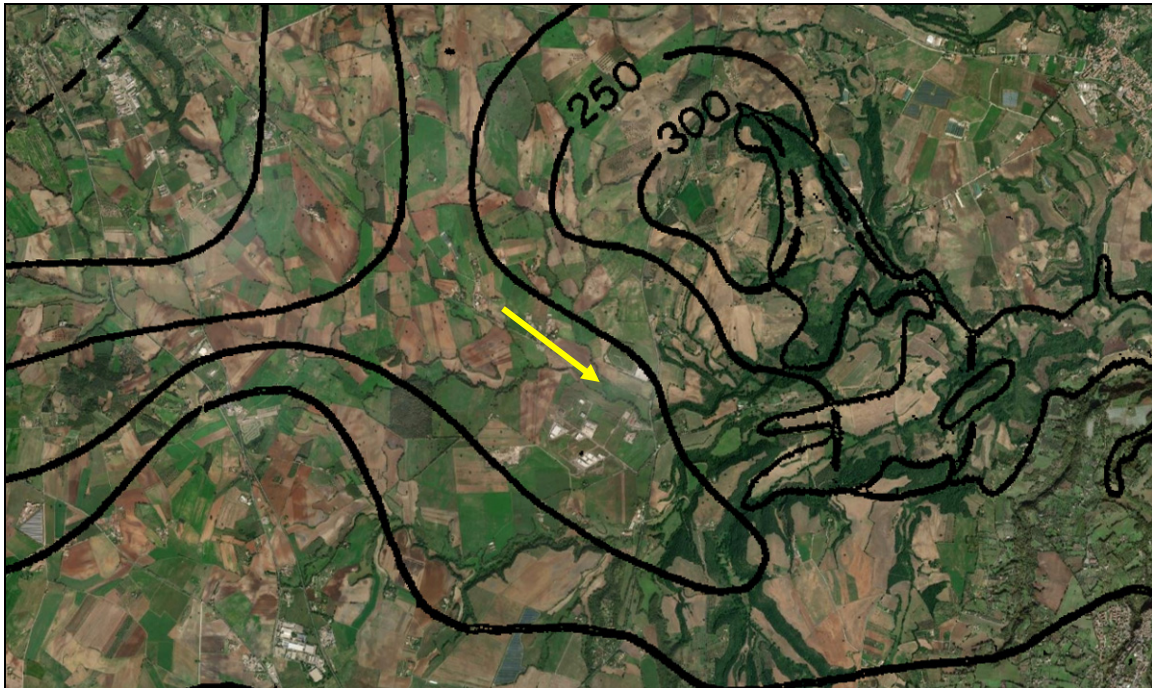


Legenda

-  Pozzi esistenti censiti
-  Piezometro test realizzato
-  Isopieze e loro quota in m. s.l.m.
-  Direzione di deflusso ipogea
-  Area in esame

Scala 1:10.000

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
Novembre 2020.



Carta del tetto del substrato delle vulcaniti. Nella freccia l'area in esame.

4. PERFORAZIONI

Al fine di verificare il modello geologico sopra descritto ed acquisire dati stratigrafici e geotecnici, è stata realizzata una campagna di perforazione costituita da 5 punti di indagine all'interno dei quali sono state realizzate 2 prove SPT i cui risultati sono riportati al capitolo che segue, ubicate all'interno dei sondaggi S1, ed S2 (dove è stato prelevato anche un campione indisturbato). L'ubicazione delle indagini è riportata nella cartografia allegata. Il sondaggio S1, realizzato in posizione baricentrica rispetto alle opere in progetto, è stato realizzato con tecnica a carotaggio continuo che ha permesso di analizzare la stratigrafia di dettaglio dell'area di studio.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Realizzazione perforazione S1

La stratigrafia ottenuta, riportata nella tavola allegata, vede la presenza di circa 2 metri di depositi sabbiosi rimaneggiati di colore rossiccio, alternati a limi e limi sabbiosi giallastri, seguiti fino a circa 8,5 metri da alternanze di sabbie più o meno grossolane, paleosuoli, livelli organici, sabbie e sabbie argillose e livelli diatomeiferi, riferibili al complesso dei Tufi basali. Al di sotto di questi sono state intercettate lave fratturate, leucitiche, seguite da lave estremamente compatte, rilevate fino a circa 12 metri da p.c.

Il foro è stato rivestito con tubazione in metallo (diametro 4'') e nell'intercapedine fra la perforazione ed il rivestimento è stato inserito ghiaietto siliceo di adeguata granulometria. La tubazione è fenestrata nel tratto fra 5 ed 8 metri di profondità, mentre la restante parte è cieca al fine di consentire la verifica, insieme agli altri punti di monitoraggio, l'andamento della piezometria sull'area di studio.

REGIONE LAZIO
COMUNE DI VITERBO
(Provincia di Viterbo)

Località "Pian di Giorgio"

Gea Consulting S.r.l.





INQUADRAMENTO CATASTALE
CON UBICAZIONE SONDAGGI

Data: **Novembre 2020**

Scala: **1:1000**

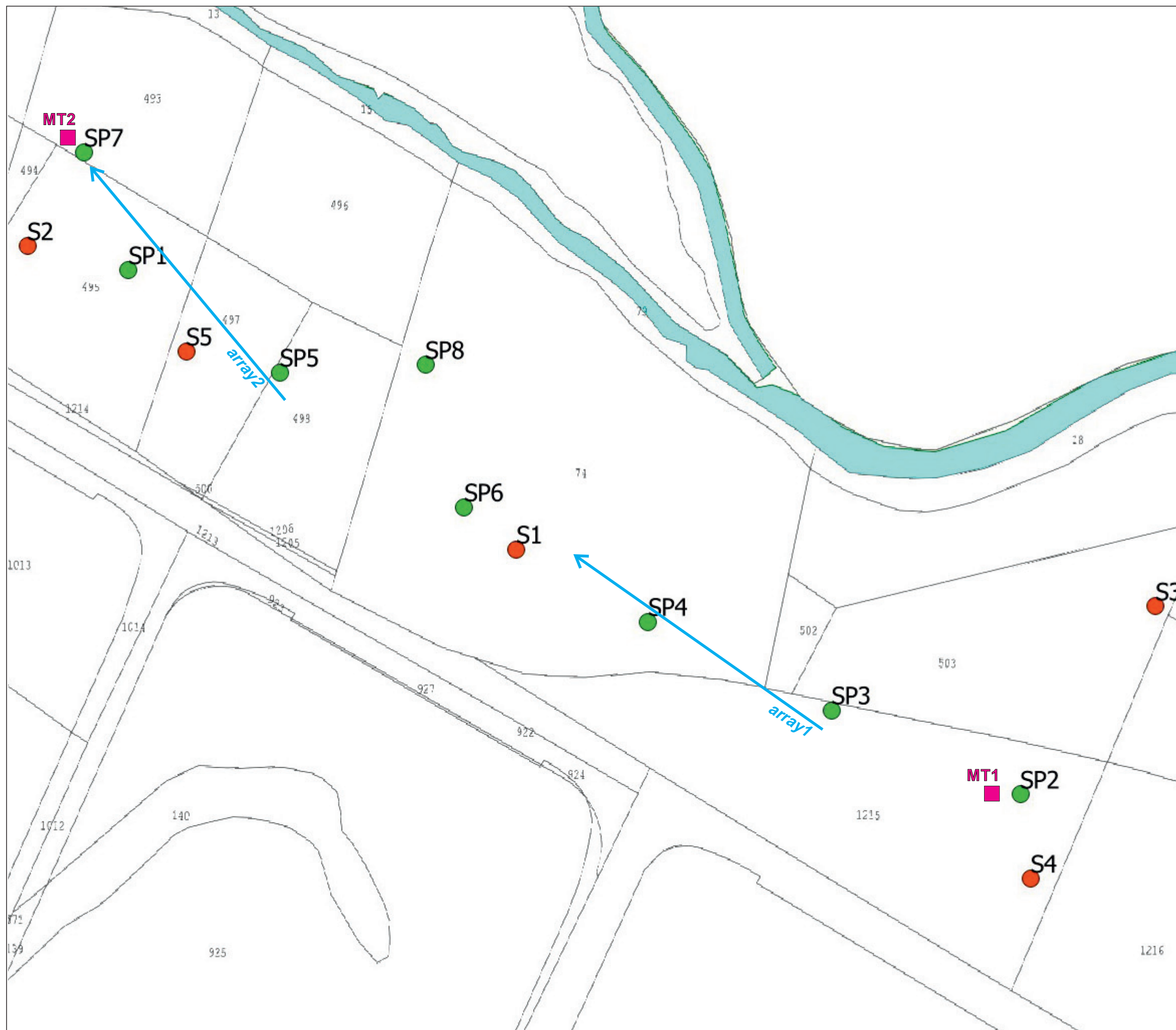
Foglio 79 - particelle 74, 492, 495, 496, 497, 502, 503,
509, 519, 533, 1206, 1214, 1215, 1265

Legenda

-  Sondaggi penetrometrici dinamici
-  Sondaggi meccanici
-  Profilo di sismica a rifrazione con metodologia MASW
-  Misura di microtremori a stazione singola (MT)



Studio di Tecnologie per la Geologia e l'Ambiente
GEOFISICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGIA
SERVIZI PER L'INGEGNERIA - TOPOGRAFIA - PROGETTAZIONE
Via Monte San Valentino n° 2 - 01100 Viterbo (VT)
Info@stega.it - www.stega.it - stega@pec.stega.it - Tel/Fax (+39) 0761 228191
Partita IVA: 01410320566



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
Novembre 2020.



Stratigrafie del sondaggio S1.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Tubazione metallica di rivestimento del piezometro messo in opera sulla verticale del sondaggio S1.

La tubazione è stata completata con la messa in opera di una copertura metallica a protezione ed è stata deliberatamente lasciata sporgente per circa 80 cm da p.c. in quanto le successive fasi di lavorazione, che prevedono un rimodellamento morfologico e la messa in opera di terreno che porterà ad una sopraelevazione dell'attuale piano campagna, obbligheranno alla realizzazione di prolunghe nelle tubazioni esistenti.

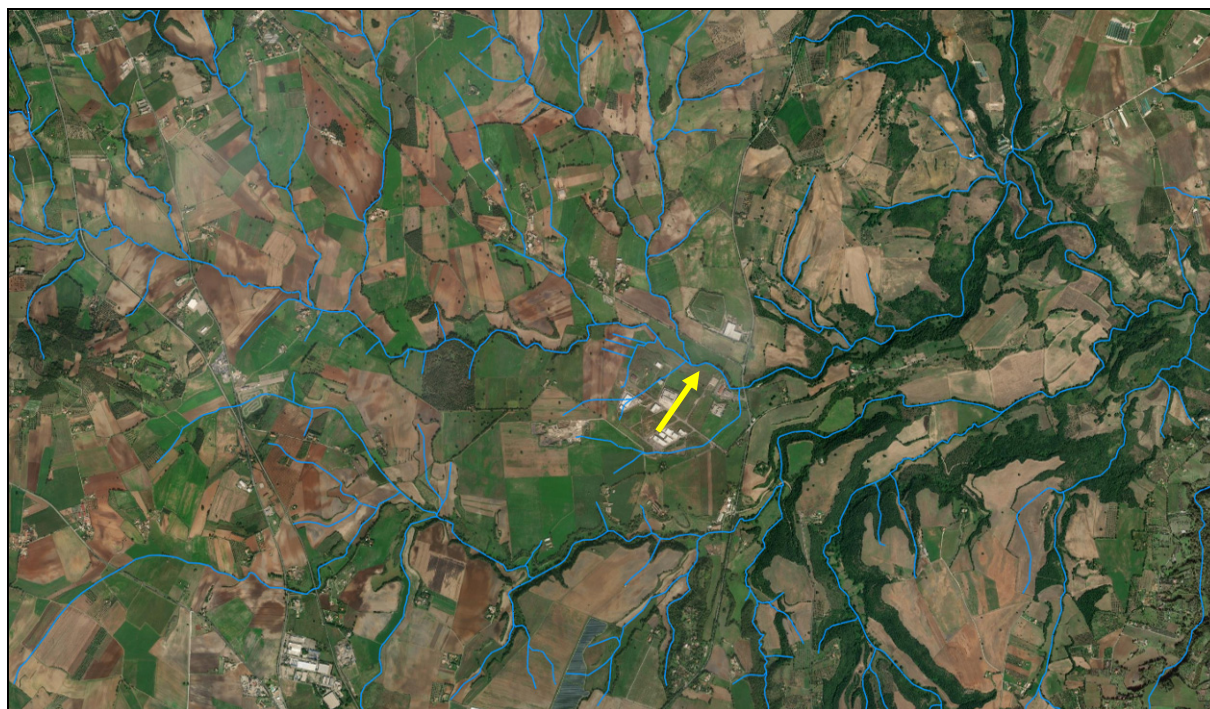
In corrispondenza dei sondaggi S2, S3 ed S4 si rinviene la medesima stratigrafia al netto di modeste variazioni attribuibili alle dinamiche deposizionali delle lave e delle piroclastiti, nonché le coperture sedimentarie più superficiali attribuibili alla dinamica sedimentaria recente del Fosso della Sanguinara.

La perforazione in corrispondenza del sondaggio S5 è stata spinta fino a circa 31 m dal piano campagna. In questo caso il foro è stato eseguito con tecnica a roto-percussione ma, tuttavia, dal materiale di *cutting* portato in superficie si individua chiaramente al disotto delle lave, che mostrano uno spessore di circa 6 metri, la presenza di materiali di natura piroclastica.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Il reticolo idrografico principale risulta essere piuttosto gerarchizzato, con la presenza di una serie di corsi d'acqua che convergono in direzione del principale collettore idrico della zona, rappresentato dal Fosso Sanguinara che scorre al limite settentrionale dell'area investigata. Lo spartiacque superficiale è situato ad Est dell'area di studio e corrisponde grossomodo alla culminazione della caldera del complesso vulcanico dei Vulsini. Tutti i corsi d'acqua confluiscono localmente nel Torrente Vezza, immissario di destra del Fiume Tevere.



Reticolo idraulico principale. La freccia indica l'area in esame.

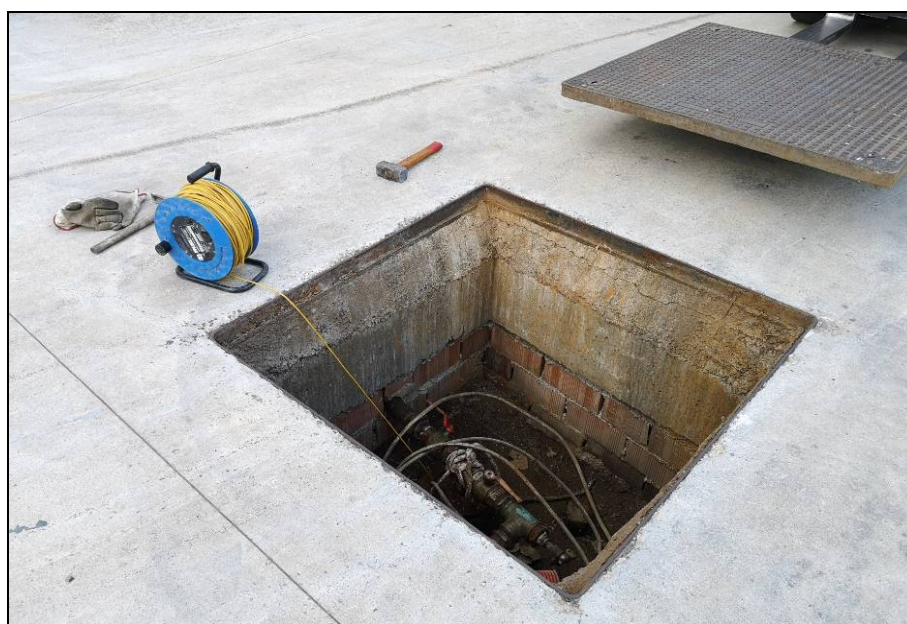
La circolazione idrica ipogea di base è sostanzialmente guidata dalla permeabilità delle vulcaniti, che costituiscono un acquifero a scala provinciale, sostenuto dalle sottostanti argille impermeabili.

Il complesso delle vulcaniti infatti presenta una notevole permeabilità per porosità, mentre i depositi sedimentari pliocenici sono caratterizzati da una permeabilità primaria generalmente bassa, costituendo di fatto un aquiclude a scala provinciale.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Non di rado, nelle condizioni stratigrafiche come quelle presenti nell'area in esame, si possono però instaurare delle falde in orizzonti sospesi, sostenuti da livelli lavici compatti, scarsamente permeabili.

Al fine di definire nel dettaglio l'andamento del deflusso ipogeo della zona è stato eseguito un censimento di una serie di pozzi nei quali, mediante freatimetro digitale, è stato rilevato il livello di falda.



Pozzo censito in loc. Pian di Giorgio

Questi sono stati implementati con i livelli dichiarati nelle perforazioni censite nel database ISPRA e quindi interpolati mediante procedura di analisi attraverso software dedicato (*Surfer 10 – Golden Software*). Dalla carta idrogeologica ottenuta, allegata di seguito, si evince un deflusso idrico orientato in direzione Est sulla verticale della zona in studio, con una piezometrica che si pone a quote assolute comprese fra i 283 ed i 280 metri s.l.m. che, in considerazione delle quote topografiche di sito, porta la tavola d'acqua a livellare a circa 3-5 metri da p.c.

Il modello ipotizzato è stato verificato in seguito ai dati ottenuti dal piezometro P1 (attrezzato sulla verticale del Sondaggio S1), in data 14/10/2020 è stato infatti rilevato per la prima volta il livello di falda, risultato ad una profondità dal p.c. di circa 2,7 metri che, in

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

considerazione delle quote topografiche di sito, porta ad una quota assoluta di 284 metri s.l.m. Il livello rilevato appare sostanzialmente coerente con il modello ottenuto dall'interpolazione dei punti d'acqua (al netto di modeste disomogeneità) confermandone la attendibilità. Sull'area di studio sono state quindi realizzate in totale 5 perforazioni, 4 delle quali sono state attrezzate a piezometri, che permetteranno nel tempo di monitorare la falda ed eseguire prelievi di campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio.



In rosso l'area in esame. I segnaposto risultano ubicati in corrispondenza dei piezometri.

Nel periodo successivo alla realizzazione dei piezometri sono state effettuate una serie di misure volte alla predisposizione di un sistema di monitoraggio della falda superficiale.

In particolare, si è proceduto alla misura delle quote relative dei punti di perforazione mediante GPS (Stonex S700A), attraverso il quale sono state misurate le quote topografiche del piano campagna con precisione centimetrica, in seguito, grazie all'accoppiamento con i punti quotati della CTR Lazio in scala 1:5000 è stato possibile passare dal sistema di riferimento relativo a quello assoluto. Una volta completati i piezometri sono state realizzate due campagne di misura della quota di livellamento della falda superficiale in data

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

20/10/2020 e 2/11/2020, la prima nei giorni immediatamente successivi alla realizzazione dei piezometri stessi e la seconda a distanza di circa due settimane dalla prima.

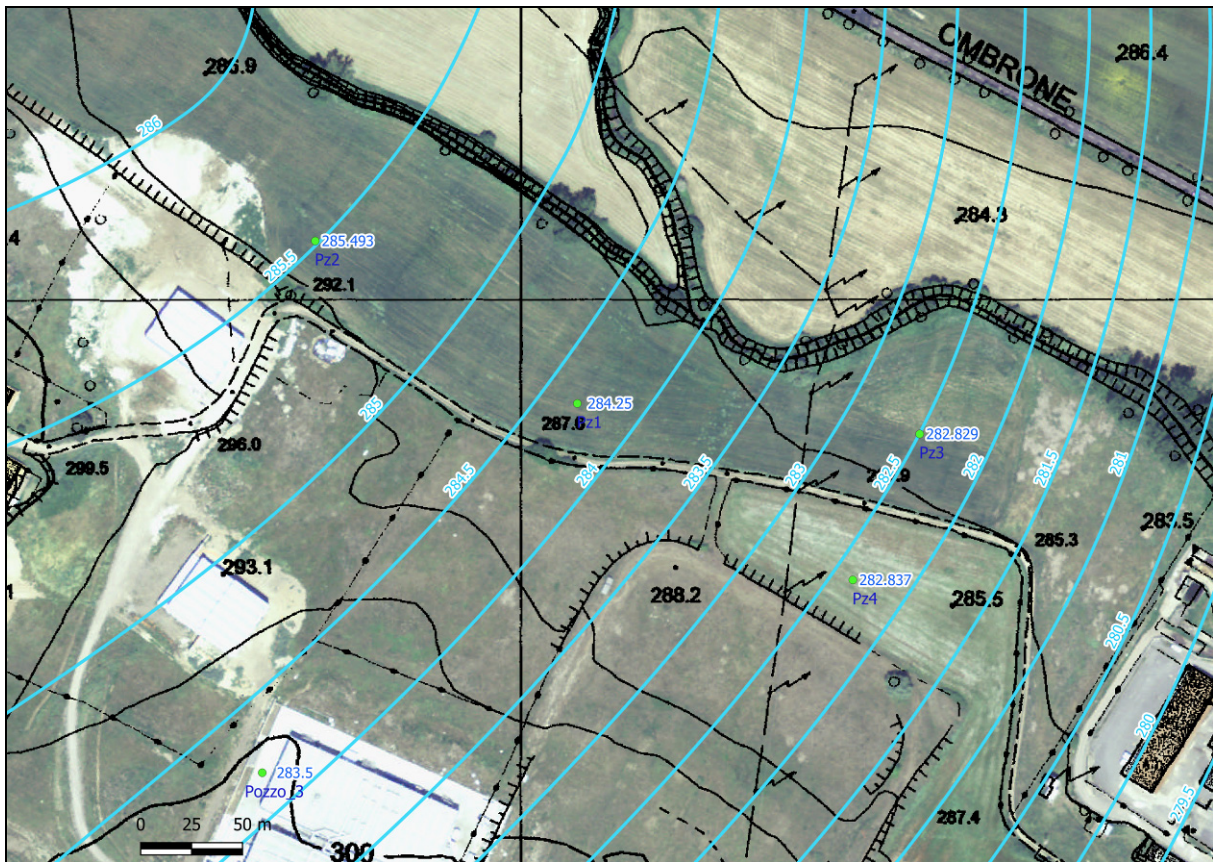
Di seguito si riportano i risultati delle misure effettuate in forma tabulata e grafica, si osserva come il livello di falda si sia stabilizzato nel tempo su valori prossimi a quelli misurati nei giorni successivi alla realizzazione (in conseguenza della buona permeabilità e trasmissività dell'acquifero).

data	Quota piezometrica p.c. (m)				Quota piezometrica assoluta (m s.l.m.)			
	pz1	pz2	pz3	pz4	pz1	pz2	pz3	pz4
20/10/2020	2.75	3.14	1.53	3.50	284.25	285.493	282.829	282.837
2/11/2020	2.70	3.19	1.62	3.58	284.30	285.443	282.739	282.757

Valori tabulati delle quote piezometriche riferite al p.c. e assolute.

Attraverso la rappresentazione nello spazio del dato geo-riferito è possibile ricostruire l'andamento del deflusso ipogeo nell'area di interesse e definire i rapporti esistenti tra gli elementi idrogeologici presenti nella zona. Tale procedimento è stato realizzato interamente in ambiente GIS, mediante la creazione di un *layer* vettoriale di dati puntuali (in corrispondenza dei piezometri realizzati) nel quale per ogni elemento, sono riportati i valori di interesse (nome piezometro, quota assoluta p.c., profondità della falda, quota piezometrica assoluta). I dati relativi alle quote piezometriche rilevate sono stati interpolati mediante algoritmi di triangolazione, al fine di individuare una superficie rappresentativa della tavola d'acqua. A partire da questo dato derivato è stato ricostruito l'andamento delle isopieze (con equidistanza di 0,5 metri), il gradiente idraulico (0,008) ed è stata individuata la direzione di deflusso (SE).

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.



Estrapolazione in ambiente GIS del dato idrogeologico inerente il sistema di piezometri realizzato. Le informazioni sono sovrapposte ad una foto aerea IGM ripresa nel 2012 e alla CTR Lazio.

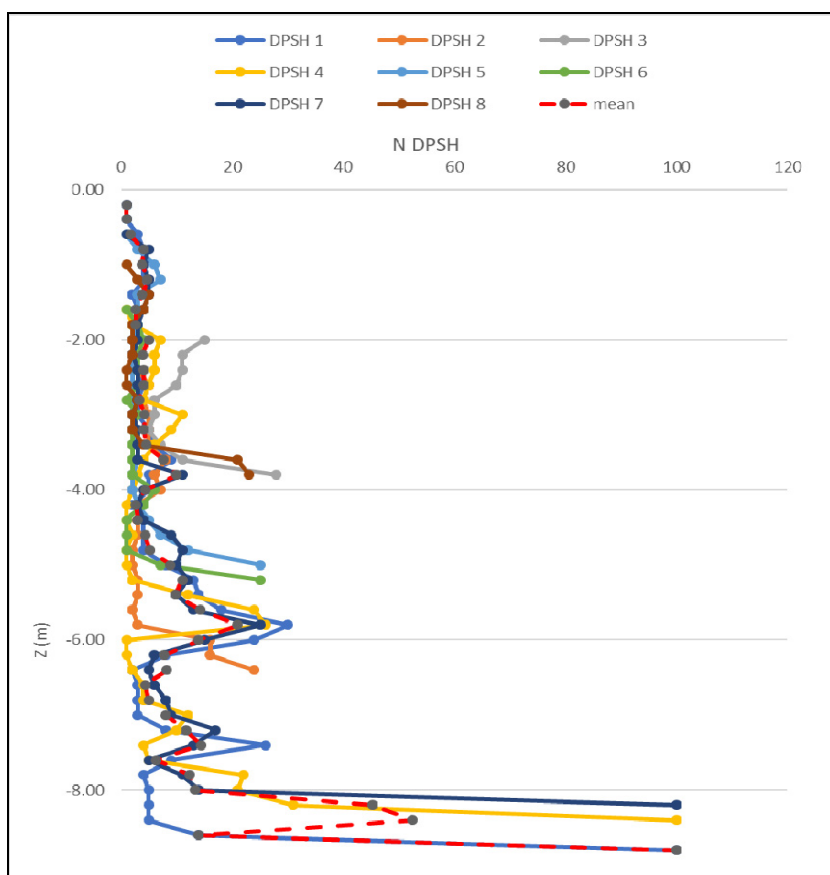
A partire dai dati misurati è possibile individuare un modello idrogeologico dell'area di studio che vede la presenza di una falda superficiale sostenuta dalle lave e drenata dal Fosso della Sanguinara che di fatto, almeno nell'area di studio, rappresenta una vera e propria "sorgente lineare", alimentata dalla falda in questione. Considerando gli andamenti delle precipitazioni nella zona, caratterizzate da un minimo nel periodo tardo-estivo, si ritiene ragionevole ipotizzare che lo stato osservato del sistema idrogeologico in studio, sia rappresentativo della condizione di minima ricarica e quindi è plausibile attendersi valori nel flusso più elevati nel periodo primaverile.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Con l'intento di analizzare il comportamento geomeccanico del terreno di sedime, sono stati eseguiti 8 sondaggi penetrometrici dinamici ubicati come nella planimetria allegata. È stata utilizzata una strumentazione superpesante, Pagani TG 63/100, un DPSH a norme ISSMFE con maglio da 63,5 Kg e volata di 0,75 metri, punta conica diametro 51 mm ed apice di 60°, azionamento elettromeccanico, conta dei colpi ogni 20 cm di penetrazione (N_{20}). Gli istogrammi allegati mostrano le variazioni della resistenza dinamica con la profondità. Al fine di ottenere per il sito di studio un modello geotecnico di sintesi è stata prodotta una analisi dei dati tenendo conto complessivamente della resistenza all'avanzamento misurata ad una certa profondità riportando i dati rispetto alle quote assolute del piano campagna. Successivamente si è provveduto ad un filtraggio dei dati che riportano dei picchi nei valori della resistenza all'avanzamento raggiunti nei primi metri dal P.C., evidentemente attribuibili alla presenza di orizzonti a maggior resistenza che non sempre sono stati attraversati. La suddetta elaborazione ha permesso di ricostruire l'andamento della resistenza di seguito riportato.

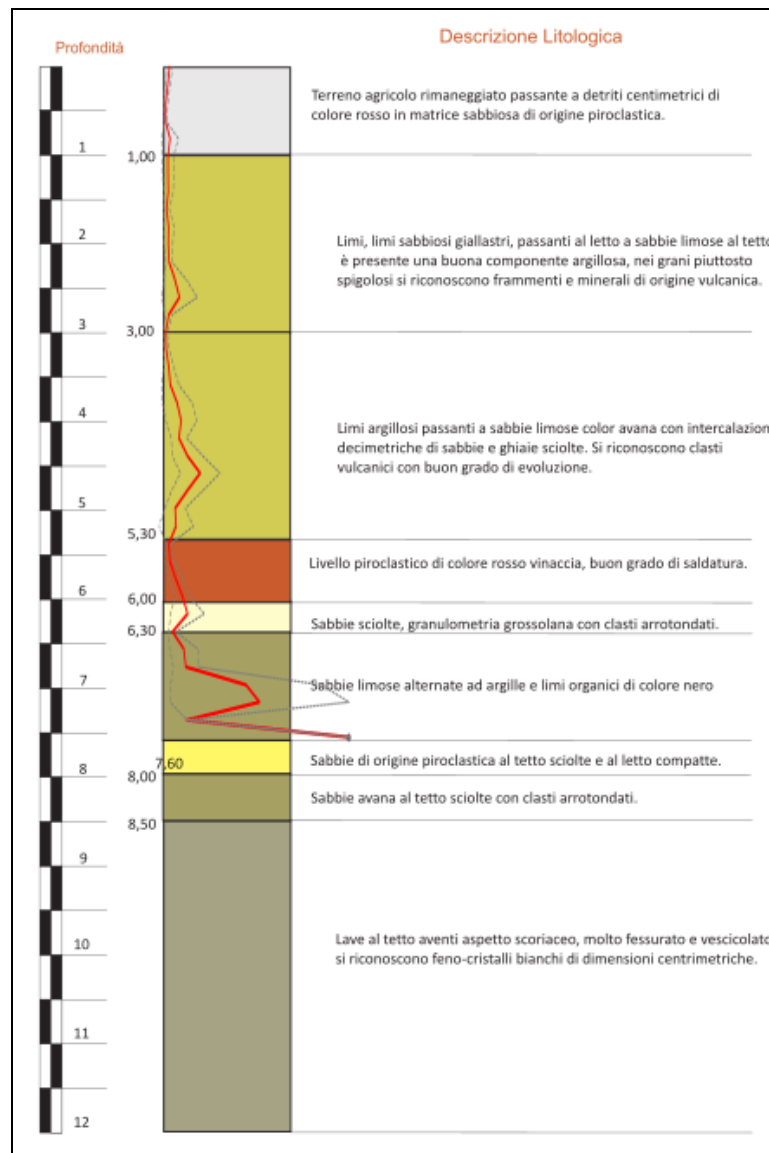
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Valori DPSH rappresentati in funzione della profondità, in rosso tratteggiata la media dei dati.

La dispersione dei dati così rappresentata permette una correlazione diretta con i dati stratigrafici rilevati in corrispondenza del sondaggio S1, in corrispondenza del quale, il piano campagna si trova circa 1,5 m più in basso rispetto all'area dove è stata eseguita la prova DPSH1 (288,5 m s.l.m.).

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Rappresentazione schematica della media dei valori n DPSH e relativa STD sovrapposta alla stratigrafia rilevata in corrispondenza del sondaggio S1. Si osserva una buona correlazione tra la resistenza all'avanzamento e le caratteristiche granulometriche e l'addensamento nei vari livelli attraversati.

La vasta sperimentazione internazionale ha portato alla correlazione sperimentale del dato DPSH con lo Standard Penetration Test (SPT) espressa dalla seguente relazione empirica:

$$N_{spt} = N_{20} \times 1,5$$

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Sondaggio penetrometrico SP3



Sondaggio penetrometrico SP7

L'andamento degli istogrammi dei sondaggi penetrometrici precedentemente descritti ha evidenziato un trend piuttosto omogeneo a conferma dell'assenza di importanti variazioni stratigrafiche laterali e, nonostante le dimensioni relativamente estese dell'area, è possibile sintetizzare la stratigrafia come di seguito riportata.

Si evince la presenza al disotto del terreno agricolo, di circa 9 metri di terreni per i quali, facendo riferimento alla media dei valori del numero di colpi ottenuti, è possibile definire uno stato di addensamento variabile da medio-basso a medio.

Nell'ottica di considerare un modello comune per l'intera area di indagine, si ritiene plausibile considerare, facendo riferimento allo schema sopra riportato, un primo spessore di depositi debolmente addensati, pari a circa 5 metri, classificabile con un valore cautelativo di $N_{20\text{medio}} = 2-3$. Si sottolinea che la porzione basale dello strato, per circa uno spessore di 1 metro, tende a mostrare caratteristiche geotecniche moderatamente superiori rispetto ai terreni soprastanti. Questo complesso può essere ricondotto al corpo delle alluvioni, frammiste ai depositi piroclastici alterati e rimaneggiati, quest'ultimi prevalenti al bottom del livello.

Oltre i 5 metri di profondità si assiste ad un aumento della resistenza all'avanzamento con un N_{20} che in media si attesta a circa 10 colpi, con alcuni picchi di 25 colpi, potenzialmente relazionabili alla presenza di trovanti isolati. Facendo riferimento alla stratigrafia desunta dai sondaggi eseguiti, è possibile riferire questo orizzonte alla presenza delle vulcaniti a

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

granulometria prevalentemente sabbiosa, caratterizzate dall'alternanza ritmica di livelli più o meno saldati e/o addensati, rilevate fino alla profondità di circa 9 metri da p.c.

La porzione basale di questo livello, sempre in falda, mostra a luoghi un modesto rammollimento, prima di far registrare il rifiuto strumentale all'avanzamento.

Il livello sul quale i sondaggi penetrometrici più profondi si sono interrotti corrisponde, grossomodo, al tetto dei depositi piroclastici più addensati, sopra descritti.

Oltre alle prove penetrometriche dinamiche come riportato nei capitoli precedenti, sono state realizzate ulteriori indagini volte ad approfondire la conoscenza delle caratteristiche geotecniche dei materiali investigati e definire nel dettaglio i parametri geotecnici di riferimento.

Sulla verticale dei sondaggi S1 ed S2 alla profondità rispettivamente di 2,40 e 2,80 m dal p.c. all'interno di un livello costituito da depositi a granulometria prevalentemente sabbiosa e quindi non campionabili, sono state eseguite due prove SPT (*standard penetration test*), queste hanno dato come risultato i valori riportati in tabella:

	S1	S2
Profondità (m)	2,4 - 2,85	2,8 - 3,25
N SPT	4	8

I valori così misurati sono concordi con quanto registrato dalle prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area di studio ed hanno dato in media, alla stessa profondità, valori di SPT equivalente $N_{spt} = 6$.

Al fine di verificare le indagini effettuate e fornire una più robusta stima dei parametri caratteristici dei terreni alla profondità di circa 2 m, dove sono stati rinvenuti i valori più bassi della resistenza all'avanzamento, si è proceduto al prelievo di un campione indisturbato sulla verticale del sondaggio S2, mediante l'infissione nel terreno di una fustella lunga 0,5m (includendo quindi i depositi compresi fra 1,8 e 2,3 m dal piano campagna).

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Prelievo e confezionamento del campione indisturbato

Il campione indisturbato è stato sigillato immediatamente dopo il prelievo, al fine di mantenere inalterato il contenuto d'acqua naturale che è stata rilevata essere il 41,6 %. In laboratorio sono state realizzate le analisi della curva granulometrica mediante setacciatura, la determinazione del peso di volume allo stato naturale e la prova di taglio diretto (ASTM D3080), per la determinazione dell'angolo d'attrito e della coesione efficaci. L'analisi della curva granulometrica ha permesso di individuare una preponderante percentuale di materiale fino nel campione (Passante al setaccio 200=96%) ed è stato quindi possibile classificare il terreno come un limo argilloso. Di seguito si riportano i suddetti parametri in forma tabulare.

Parametri	valori
γ (kN/m ³)	16.4
ϕ (°)	27.6
c (kPa)	13.7

Alla luce delle indagini sopra descritte e considerando i parametri individuati grazie alla prova di laboratorio eseguita, è stato possibile discretizzare, in funzione della litologia

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

attraversata dai sondaggi penetrometrici, l'interpretazione in chiave geomeccanica delle prove eseguite; la procedura è stata eseguita per mezzo delle correlazioni fornite dai principali Autori disponibili in letteratura e fornisce i seguenti parametri sulla verticale del sito:

Strato 1 - Coperture e alluvioni scarsamente addensate - (da 0 a -5 metri):

$$N_{20} = 3 \quad N_{spt} \text{ equivalente} = 4-5$$

Densità relativa 25%

Attrito interno efficace $\phi' = 27^\circ$

Coesione efficace $c' = 10 \text{ kPa}$

Modulo di deformazione $E_s = 3 (N+6) = 36 \text{ Kg/cmq}$

Peso di volume $\gamma = 1,65 \text{ t/mc}$

Strato 2 - Tufi Leucitici Basali in alternanze più o meno addensate - (da 5 a 9 metri):

$$N_{20} = 10 \quad N_{spt} \text{ equivalente} = 15$$

Densità relativa 50%

Attrito interno efficace $\phi' = 32^\circ$

Coesione efficace $c' = 0$ (cautelativo)

Modulo di deformazione $E_s = 6 (N+6) = 126 \text{ Kg/cmq}$

Peso di volume $\gamma = 1,7 \text{ t/mc}$

Strato 3 - Lave - (da 9 a 15 metri):

$N_{spt} \text{ equivalente} > 50$

Densità relativa 85%

Attrito interno efficace $\phi' = 36^\circ$

Coesione efficace $c' = 0,5 \text{ Kg/cmq}$ (cautelativo)

Il valore di coesione efficace può essere stimato in relazione alla resistenza mono-assiale allo schiacciamento. Sulla base di prove condotte su formazioni similari è possibile, in termini estremamente cautelativi, assumere valori nell'ordine di quelli sopra definiti.

Peso di volume $\gamma = 1,75 \text{ t/mc}$

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

In un'ottica cautelativa è stata considerata nulla la coesione ($c'=0$) per la totalità degli orizzonti individuati. I parametri suddetti, poiché risultano dalla interpretazione di differenti punti di sondaggio e dall'applicazione di procedure cautelative, possono essere considerati come "caratteristici" dei terreni interessati dal progetto, in quanto, come identificato nell'EUROCODICE 7, il valore caratteristico di un determinato parametro deve corrispondere ad una valutazione cautelativa del valore medio di quel parametro e, se si utilizzano metodi statistici, il valore caratteristico dovrebbe essere cautelativamente rilevato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli che determinano la manifestazione dello stato limite non sia maggiore del 5%.

7. MODELLAZIONE SISMICA DI SITO

In una ricognizione storica degli eventi sismici che hanno fatto risentire i loro effetti nella zona in studio, si è fatto riferimento ai dati sulla distribuzione delle massime intensità macrosismiche nei Comuni italiani, reperibili al sito <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>.

Storia sismica di Viterbo. Eventi sismici avvenuti in Italia che hanno avuto effetti nell'area in esame.

Seismic history of Viterbo [42.421, 12.110]						
Total number of earthquakes: 37						
Effects	Earthquake occurred:					
Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	Studio	nMDP	Io	Mw
NR	1315 12 03 09 30	ITALIA CENTRALE	CFTI	15	9	6.00
8-9	1349 09 09	VITERBESE-UMBRIA	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

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

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

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

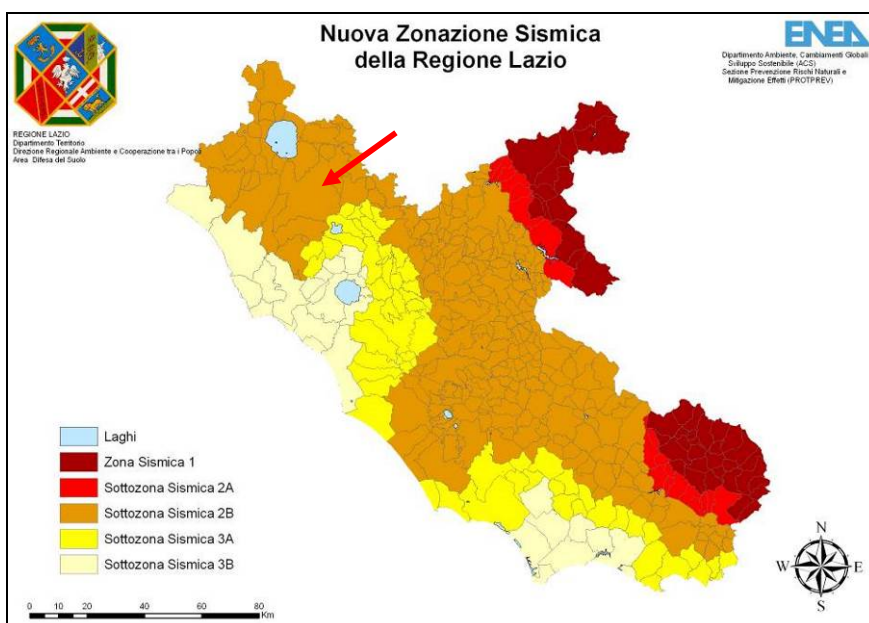
Is = Intensità al sito

Ae = Denominazione dell'area epicentrale

Mw = Magnitudo momento

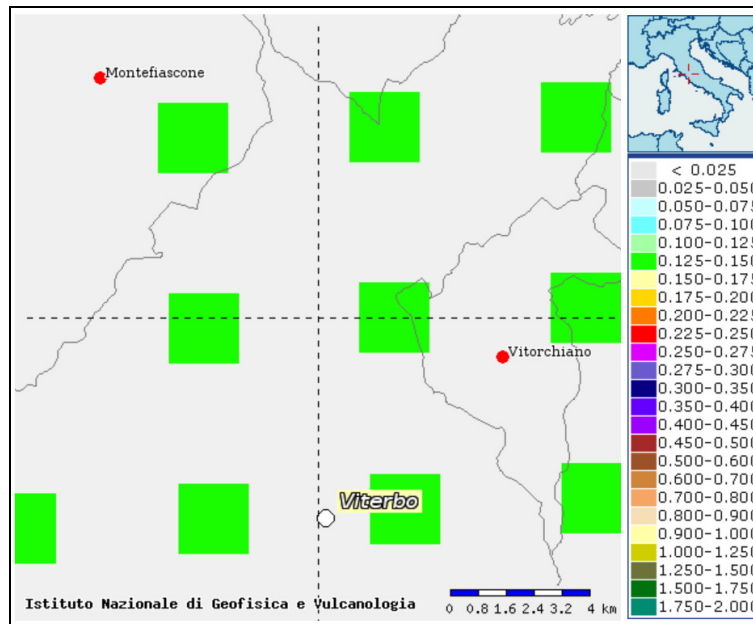
IO = Intensità epicentrale (Scala MCS)

Il quadro complessivo mostra come gli eventi considerati hanno prodotto nel sito intensità macrosismiche (MCS) comprese fra 2 e 9, con una larga prevalenza di valori fra 3 e 4. Nel complesso il Rischio sismico, inteso come il prodotto della Vulnerabilità x il Valore esposto x la Pericolosità del sito, può essere considerato modesto, come peraltro sottolineato dalla recente riclassificazione del territorio regionale (DGR 387/2009), per la quale l'area rientra nella zona sismica 2B.



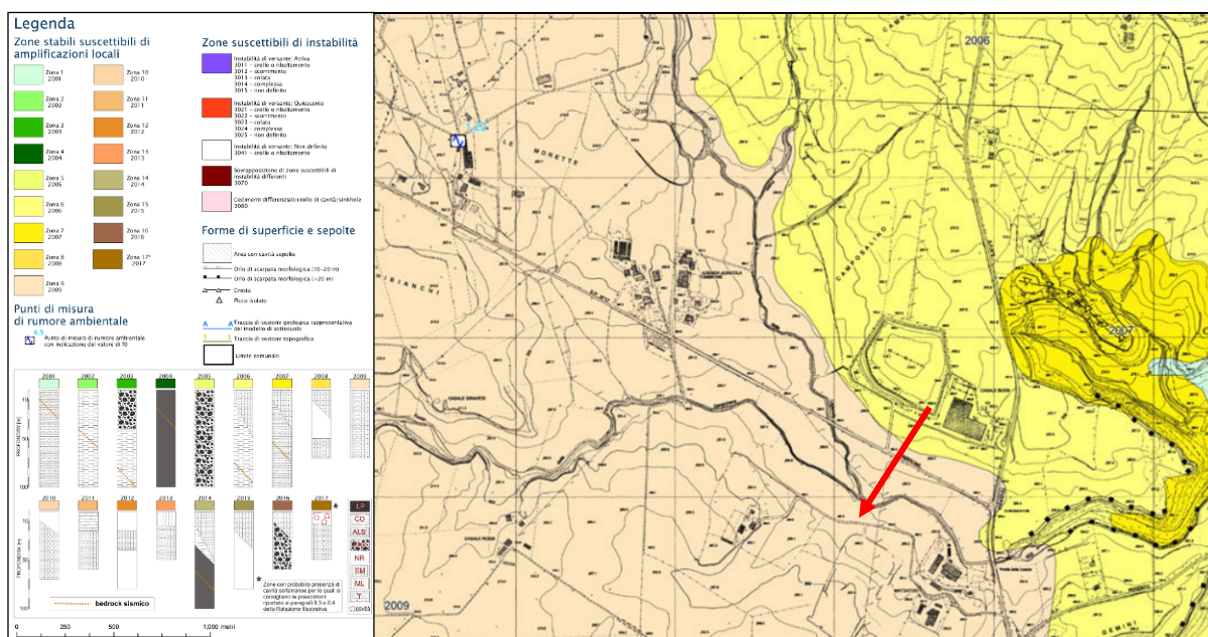
A livello di Pericolosità sismica inoltre, la consultazione del sito dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/> porta ad individuare Nella porzione Nord-Occidentale del territorio municipale, tale pericolosità in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi, nell'intervallo 0,125 – 0,150 g.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Lo studio di microzonazione di primo livello, redatto dallo Studio scrivente, ha portato a classificare l'area in esame fra quelle "suscettibili di amplificazione sismica", e nello specifico alla MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) denominata 2009. Il log di quest'ultima vede la presenza, in affioramento e per tutto lo spessore della colonna stratigrafica, delle piroclastiti. Questa zona può dar luogo a fenomeni di amplificazione soprattutto se le piroclastiti presentano forti variazioni nel grado di compattazione e pseudo-saldatura; in questo caso si può determinare un netto contrasto d'impedenza tra la copertura piroclastica superficiale poco addensata e la sottostante. A valle delle informazioni raccolte attraverso le indagini precedentemente descritte, si osserva che il contrasto di impedenza sismica nell'area di studio può essere dato anche a seguito della presenza del corpo lavico, presente dalla profondità di circa 8-9 m dal p.c. che ha delle caratteristiche in termini di impedenza sismica nettamente differenti dalle piroclastiti e dalle coperture soprastanti.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Stralcio Microzonazione sismica – Tav. 4 e relativa legenda. Nella freccia l'area in esame

8. PROSPEZIONI SISMICHE

Le NTC 2018 prevedono la definizione della Categoria di sottosuolo in corrispondenza delle aree destinate alla edificazione, come approccio alle risposte sismiche di sito, con l'evidente scopo di conoscere il comportamento del sedime in presenza di sollecitazioni prodotte da eventi sismici naturali. In questa prospettiva, il legislatore ha individuato nella velocità di propagazione delle onde elastiche di taglio V_s nel sottosuolo, il riferimento più immediato al problema ed in particolare la velocità delle onde S equivalente nei depositi posti al tetto del bedrock sismico (V_{seq}), come media delle velocità V_s negli strati del sottosuolo, calcolata con la relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad (1)$$

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Dove:

h_i = spessore dello strato iesimo

V_{si} = velocità delle onde di taglio nello strato iesimo

N = numero degli strati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiori a 800 m/s.

A partire dagli anni '70 si è affermata la metodica geofisica definita M.A.S.W. (Multichannel Analysis Surface Waves) mediante la quale si ottiene un profilo verticale delle V_s dal quale è possibile ricavare successivamente la V_{s30} . Nelle indagini sismiche di superficie, energizzando il sottosuolo mediante la caduta di un grave, generalmente uno o più colpi di mazza, si generano onde di compressione in un'ampia gamma di frequenze, la cui energia viene trasmessa al terreno prevalentemente sotto forma di onde di Rayleigh, ovviamente anch'esse distribuite in una gamma ampia di frequenze. Queste viaggiano con oscillazioni ellittiche su piani orizzontali in prossimità della superficie del suolo, in una fascia di profondità generalmente compresa fra 1 e 2λ , ma con una velocità di propagazione differente per ogni frequenza: questo fenomeno costituisce la "dispersione" delle onde di Rayleigh.

Se la si analizza con tecniche spettrali, attraverso procedimenti matematici come la trasformata di Fourier, è possibile ottenere lo spettro di dispersione in un piano cartesiano, in cui l'asse x rappresenta la frequenza (Hz) e l'asse y la Velocità di fase (m/s), in pratica la velocità di propagazione di una cresta d'onda.

In essa si riconosce l'andamento della curva di dispersione del primo modo di Rayleigh, ma talora anche quella dei modi superiori, in sostanza l'andamento della Velocità di fase in funzione della frequenza, che deve essere invertita a partire da un modello numerico del terreno ipotizzato sulla base della stratigrafia reale del sottosuolo.

Nell'area sono stati realizzati due profili sismici utilizzando:

- n. 17 geofoni verticali, con frequenza di risonanza propria di 4,5 Hz, spazati di 5,3 metri, con il primo in funzione anche di trigger, collegati da:

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

- un cavo a 17 take out provvisto di un digitalizzatore per ogni geofono;
- un acquisitore digitale a 24 bit collegato ad un computer portatile;
- una mazza per l'energizzazione del suolo del peso di 8 Kg.

Il tempo di acquisizione è pari ad 1" e la frequenza di campionamento a 512 Hz. I segnali sono stati elaborati con il software "Grilla", che ha consentito l'analisi delle curve di dispersione mediante la realizzazione di modelli sismostratigrafici sintetici. Al fine di modellizzare anche eventuali contatti profondi è stato eseguito un fit congiunto fra le misure in array e le misure di microtremori a stazione singola.

Questo approccio di analisi consente di implementare simultaneamente entrambi i risultati ottenuti mediante le differenti tecniche, ovviando ai limiti che le singole metodologie presentano; le prove in array, come noto, mostrano infatti dei limiti interpretativi alle basse frequenze (che risultano spesso chiare nelle misure a stazione singola).

D'altro canto, per poter modellizzare una curva di microtremori è necessario porre almeno un vincolo, che sia la profondità del contatto stratigrafico, o la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato al di sopra del contatto (ottenibile dallo spettro di velocità delle prove in array). Di seguito si riportano quindi i modelli sismostratigrafici ottenuti mediante l'analisi congiunta sopra descritta.



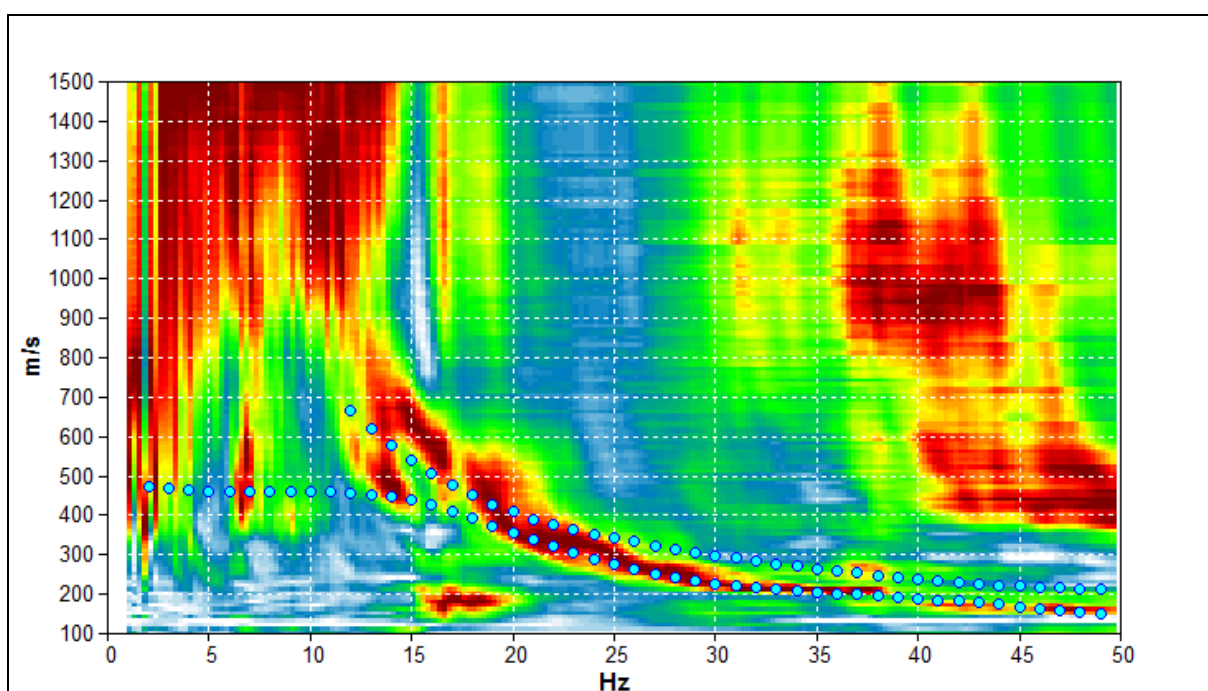
Ubicazione array sismico MASW 2 con il geofono 17 ubicato nei pressi del limite Nord-Occidentale dell'area.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

VITERBO - GEA (ZONA ARTIGIANALE ACQUAROSSA)_24-09-2020, MASW 1

Start recording: 24/09/20 10:06:44 End recording: 24/09/20 10:07:51
 Trace length: 0h00'01". Sampling rate: 512 Hz
 Channel labels: TR01 +TR01 ; TR02 +TR02 ; TR03 +TR03 ; TR04 +TR04 ; TR05 +TR05 ;
 TR06 +TR06 ; TR07 +TR07 ; TR08 +TR08 ; TR09 +TR09 ; TR10 +TR10 ; TR11 +TR11 ; TR12
 +TR12 ; TR13 +TR13 ; TR14 +TR14 ; TR15 +TR15 ; TR16 +TR16 ; TR17 +TR17
 Array geometry (x): 0.0 5.3 10.6 15.9 21.2 26.5 31.8 37.1 42.4 47.7 53.0 58.3 63.6 68.9 74.2 79.5 84.8
 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



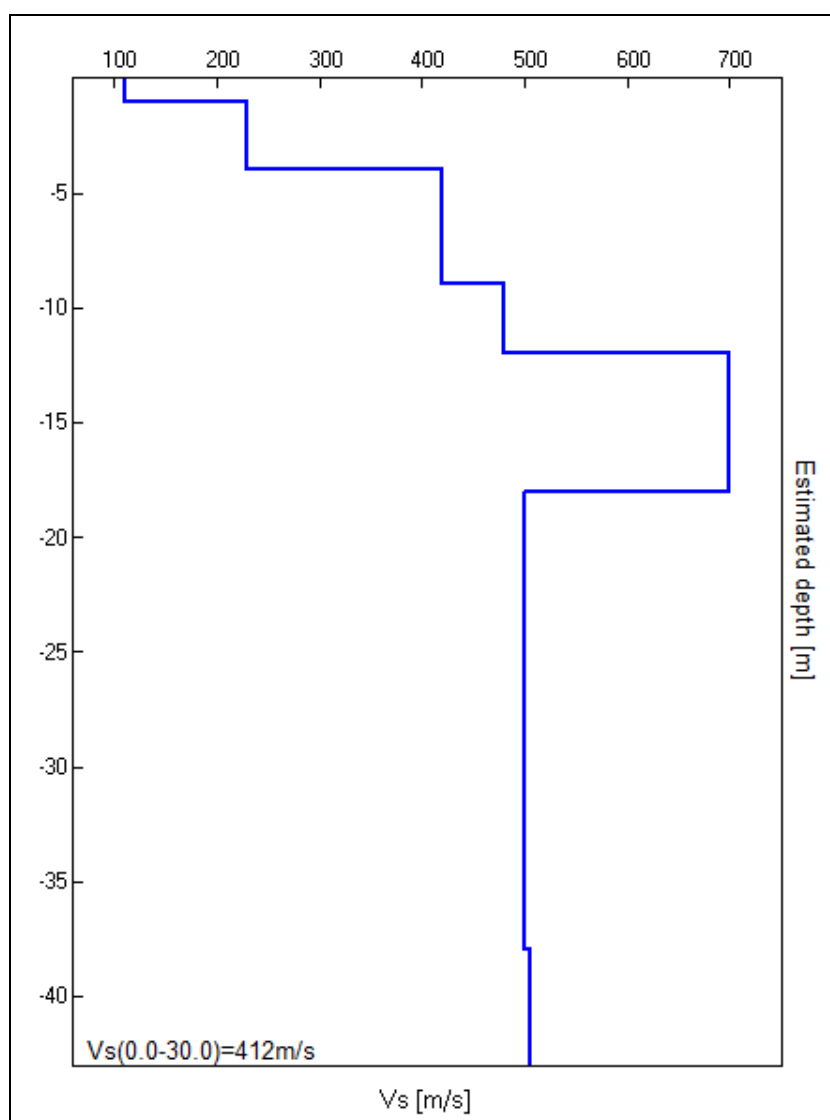
L'elaborazione permette di ottenere un modello sismo-stratigrafico a 7 strati che presenta il minimo misfit rispetto alla curva di dispersione sperimentale: si ottiene così la successione di strati compatibile con il contesto geologico noto, con spessori e relative velocità Vs, dalla quale attraverso la (1) si ottiene la Vs₃₀ cercata.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	110	0.42
4.00	3.00	230	0.42
9.00	5.00	420	0.42

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

12.00	3.00	480	0.42
18.00	6.00	700	0.42
38.00	20.00	500	0.42
inf.	inf.	505	0.42

$V_s(0.0-30.0) = 412 \text{ m/s}$



Allo scopo di verificare ulteriormente i dati ottenuti, utilizzando lo stesso array, ma in configurazione di sismica passiva, è stato applicato il metodo Re.Mi., basato sulla registrazione dei Microtremori. Questi vengono generati da cause naturali (onde oceaniche,

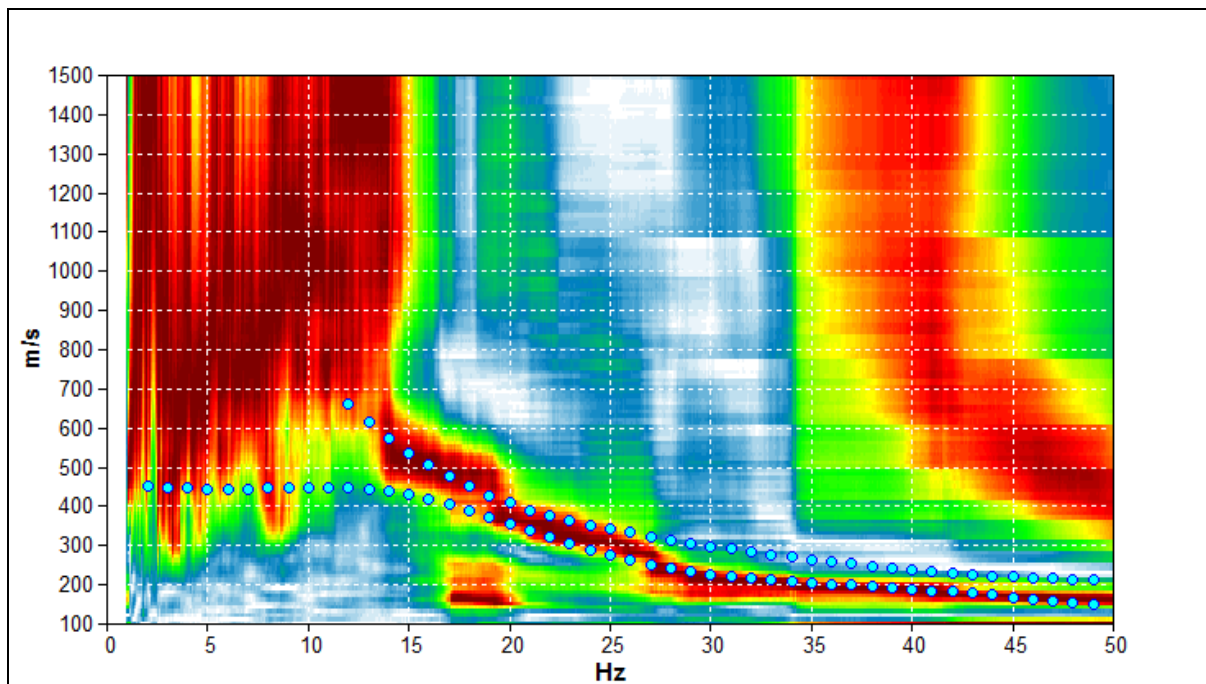
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

perturbazioni atmosferiche, ecc) in un campo di frequenze generalmente inferiori ad 1 Hz e da cause antropiche in un campo di frequenze comprese fra 1 e qualche decina di Hz. Il metodo prevede l'acquisizione in continuo del rumore sismico attraverso un array geofonico in tutto simile a quello adottato per la sismica attiva, ma con un tempo di registrazione di 5 minuti, utilizzando ancora la frequenza di campionamento di 512 Hz. I segnali registrati vengono successivamente scomposti in finestre temporali della durata di 10 secondi e poi trattati con la stessa procedura della MASW, che conduce prima alla dispersione delle onde di Rayleigh e poi all'inversione di un modello numerico adeguato.

VITERBO - GEA (ZONA ARTIGIANALE ACQUAROSSA)_24-09-2020, REMI 1

Start recording: 24/09/20 10:08:27 End recording: 24/09/20 10:18:34
 Trace length: 0h10'06". Sampling rate: 512 Hz
 Channel labels: TR01 +TR01 ; TR02 +TR02 ; TR03 +TR03 ; TR04 +TR04 ; TR05 +TR05 ;
 TR06 +TR06 ; TR07 +TR07 ; TR08 +TR08 ; TR09 +TR09 ; TR10 +TR10 ; TR11 +TR11 ; TR12
 +TR12 ; TR13 +TR13 ; TR14 +TR14 ; TR15 +TR15 ; TR16 +TR16 ; TR17 +TR17
 Array geometry (x): 0.0 5.3 10.6 15.9 21.2 26.5 31.8 37.1 42.4 47.7 53.0 58.3 63.6 68.9 74.2 79.5 84.8
 m.

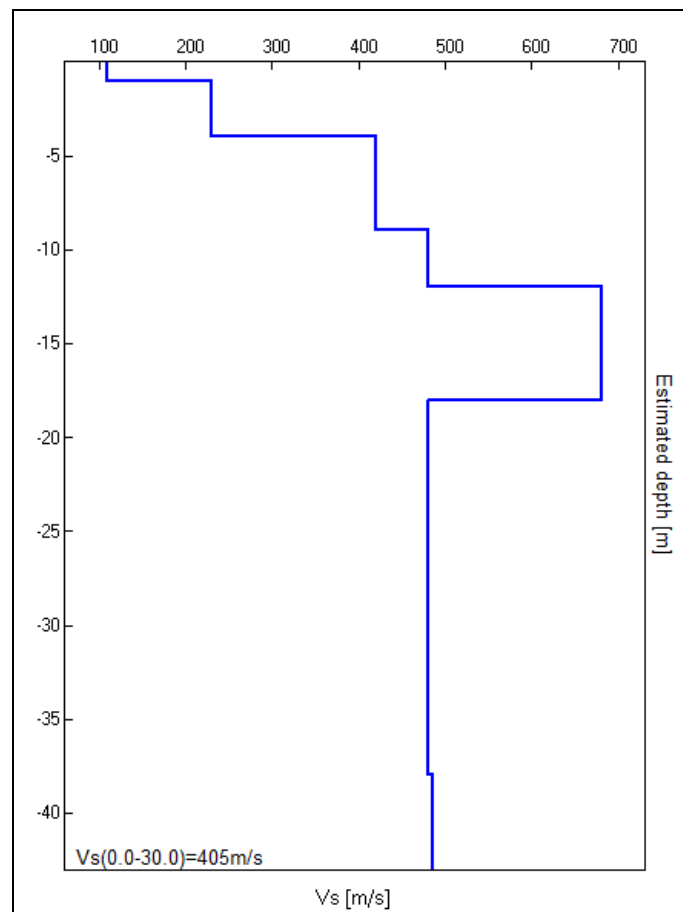
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	110	0.42
4.00	3.00	230	0.42
9.00	5.00	420	0.42
12.00	3.00	480	0.42
18.00	6.00	680	0.42
38.00	20.00	480	0.42
inf.	inf.	485	0.42

$V_s(0.0-30.0) = 405 \text{ m/s}$



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

VITERBO - GEA_24-09-2020, MASW 2

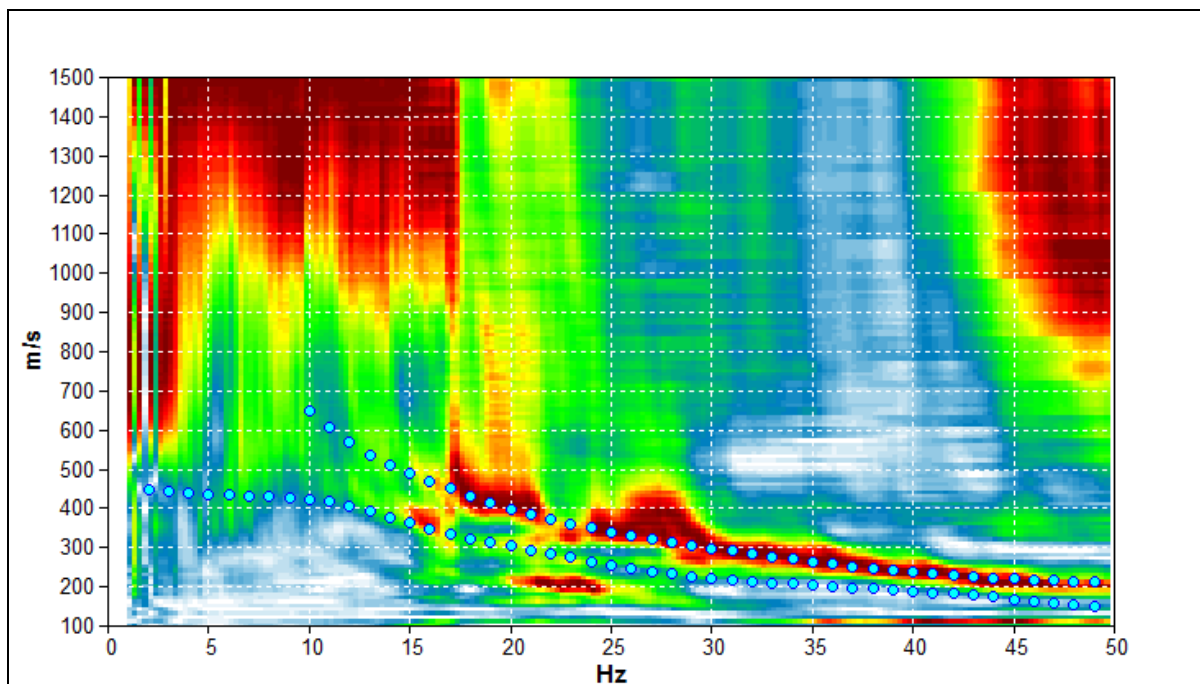
Start recording: 24/09/20 12:03:03 End recording: 24/09/20 12:05:54

Trace length: 0h00'01". Sampling rate: 512 Hz

Channel labels: TR01 +TR01 ; TR02 +TR02 ; TR03 +TR03 ; TR04 +TR04 ; TR05 +TR05 ; TR06 +TR06 ; TR07 +TR07 ; TR08 +TR08 ; TR09 +TR09 ; TR10 +TR10 ; TR11 +TR11 ; TR12 +TR12 ; TR13 +TR13 ; TR14 +TR14 ; TR15 +TR15 ; TR16 +TR16 ; TR17 +TR17

Array geometry (x): 0.0 5.3 10.6 15.9 21.2 26.5 31.8 37.1 42.4 47.7 53.0 58.3 63.6 68.9 74.2 79.5 84.8 m.

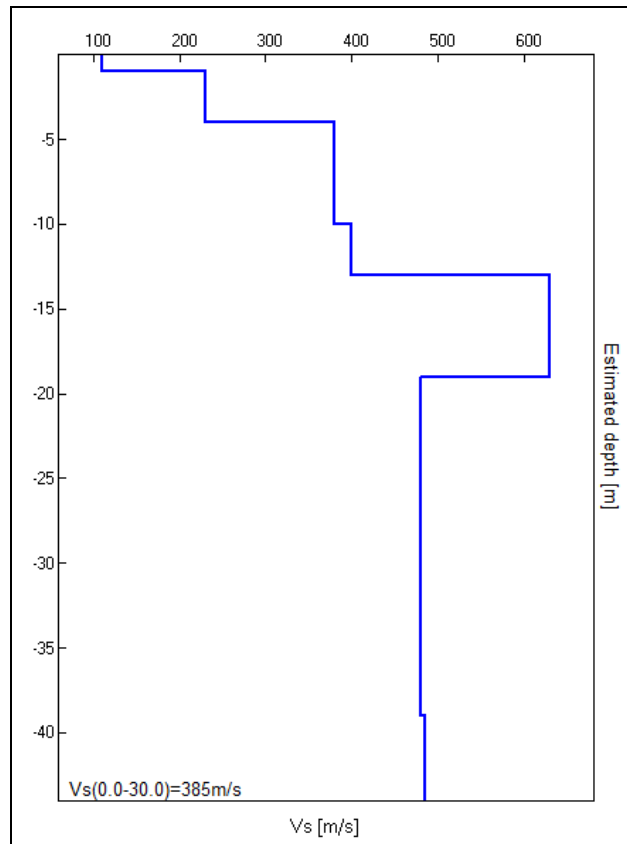
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	110	0.42
4.00	3.00	230	0.42
10.00	6.00	380	0.42
13.00	3.00	400	0.42
19.00	6.00	630	0.42
39.00	20.00	480	0.42
inf.	inf.	485	0.42

$V_s(0.0-30.0)=385\text{m/s}$

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

VITERBO - GEA_24-09-2020, REMI 2

Start recording: 24/09/20 11:46:18 End recording: 24/09/20 11:56:24

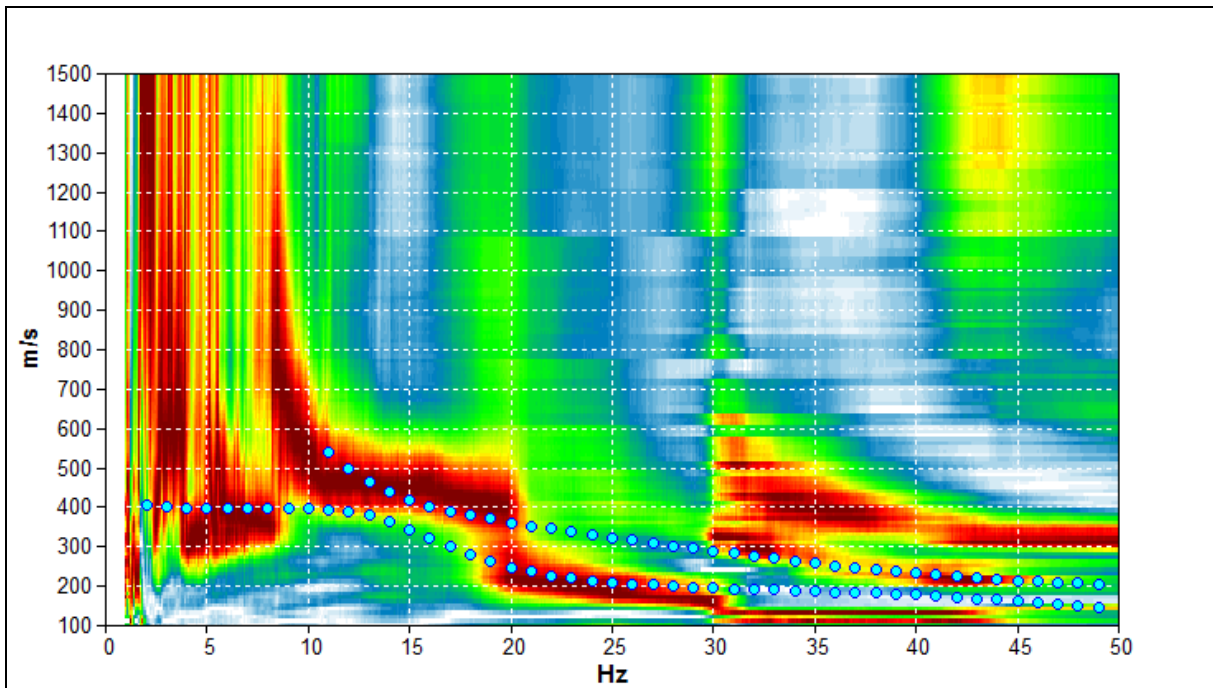
Trace length: 0h10'06". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 512 Hz

Channel labels: TR01 +TR01 ; TR02 +TR02 ; TR03 +TR03 ; TR04 +TR04 ; TR05 +TR05 ; TR06 +TR06 ; TR07 +TR07 ; TR08 +TR08 ; TR09 +TR09 ; TR10 +TR10 ; TR11 +TR11 ; TR12 +TR12 ; TR13 +TR13 ; TR14 +TR14 ; TR15 +TR15 ; TR16 +TR16 ; TR17 +TR17

Array geometry (x): 0.0 5.3 10.6 15.9 21.2 26.5 31.8 37.1 42.4 47.7 53.0 58.3 63.6 68.9 74.2 79.5 84.8 m.

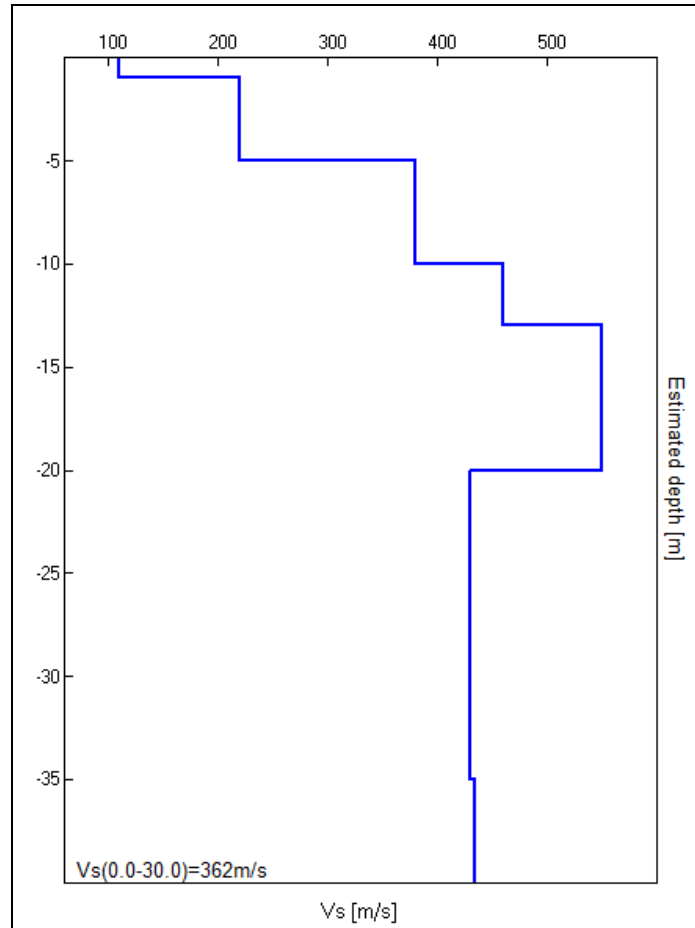
MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	110	0.42
5.00	4.00	220	0.42
10.00	5.00	380	0.42
13.00	3.00	460	0.42
20.00	7.00	550	0.42
35.00	15.00	430	0.42
inf.	inf.	435	0.42

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

$V_s(0.0-30.0)=362\text{m/s}$



Gli spettri di velocità mostrano la predominanza del modo fondamentale definito in maniera nitida fino alle medio-basse frequenze nella metodologia di acquisizione in passivo.

I modelli sismo-stratigrafici ottenuti, essenzialmente omologhi fra loro, mostrano la presenza di un primo spessore di circa un metro di depositi caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde di taglio piuttosto contenuta ($\approx 110-120$ m/s), potenzialmente riferibili a vulcaniti rimaneggiate e alluvioni. Al di sotto di queste la Vs mostra un netto incremento, raggiungendo valori di 220-230 m/s e quindi di circa 400 m/s, che consentono di ipotizzare la presenza di vulcaniti ben addensate. Gli ultimi due sismostrati dei modelli elaborati mettono in luce un ulteriore incremento di Vs, definito chiaramente dall'analisi congiunta ottenuta dall'elaborazione della curva HVSr di seguito trattata, che consente di ipotizzare la presenza di litotipi particolarmente rigidi, compatibili con la presenza delle lave

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

documentate nei sondaggi seguite dalle piroclastiti sottostanti.

Sono state eseguite poi una registrazione di microtremori (MT) a stazione singola con tromometro digitale a 24 bit, della Sara Instruments modello SR-04, costituito da 3 geofoni aventi frequenza propria di 4,5 Hz alloggiati lungo i 3 assi dello spazio. La misura è volta a verificare il piano parallelismo della stratigrafia e la presenza di eventuali picchi di risonanza nei terreni in esame.



Esecuzione della misura di microtremori a stazione singola MT1.

La frequenza di campionamento è di 200 Hz, con un tempo di acquisizione di 20 minuti; la registrazione è stata analizzata scomponendola in finestre temporali della durata di 20 secondi come su indicazioni del Progetto S.E.S.AM.E (SITE EFFECTS ASSESSMENT USING AMBIENT EXCITATIONS) consultabile al sito <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.

L'analisi dei microtremori (MT) è ampiamente diffusa da circa 10 anni ed è anche conosciuta come tecnica di Nakamura; il principio fisico su cui è basata è l'analisi dei rapporti spettrali delle componenti orizzontali contro le componenti verticali del moto (HVSR – horizontal to vertical spectral ratio). La tecnica è nata per valutare l'amplificazione sismica di sito in quanto è in grado di determinare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo che corrispondono ai picchi dei rapporti spettrali suddetti. I picchi di risonanza vengono associati

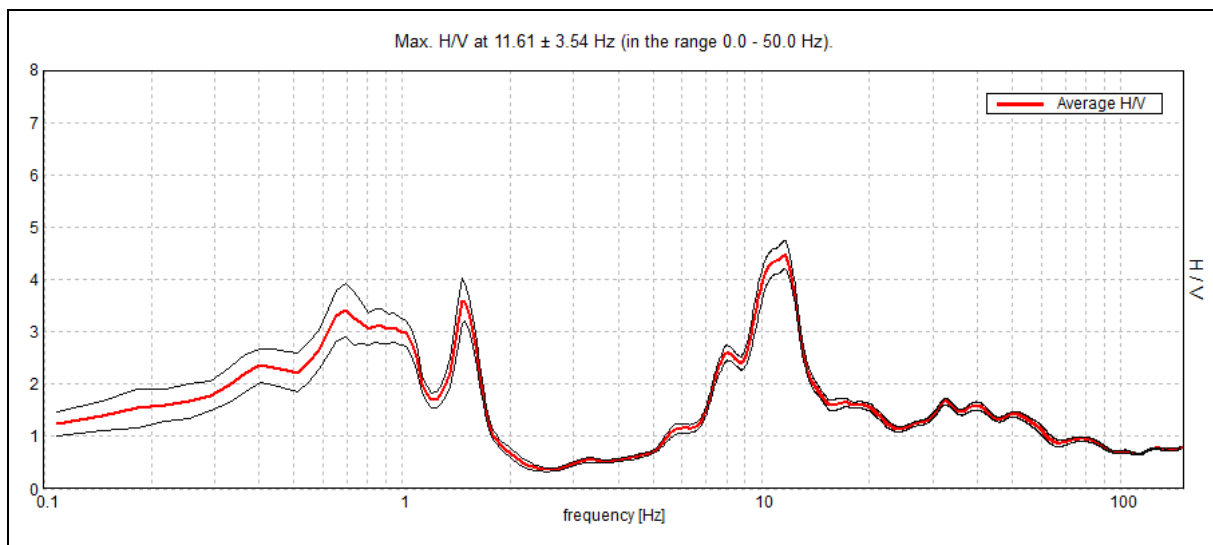
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

a cambiamenti stratigrafici dovuti al passaggio fra terreni aventi una differenza d'impedenza acustica pari almeno al 25%, tanto più superficiali quanto più caratterizzati da una frequenza alta. I picchi possono essere generati anche da cause antropiche e vanno studiati anche dal punto di vista spettrale; è infatti appurato che discontinuità stratigrafiche generano un minimo della componente spettrale verticale alla frequenza di picco corrispondente.

VITERBO - GEA - MT1,

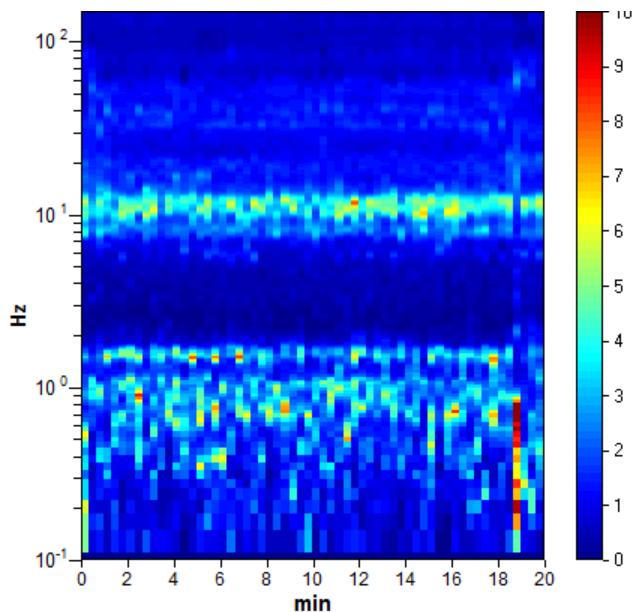
Instrument: EXT- SARA SR04HS
 Data format: 16 byte Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 24/09/20 11:16:37 End recording: 24/09/20 11:36:37
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN GPS data not available
 Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
 Sampling rate: 300 Hz Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

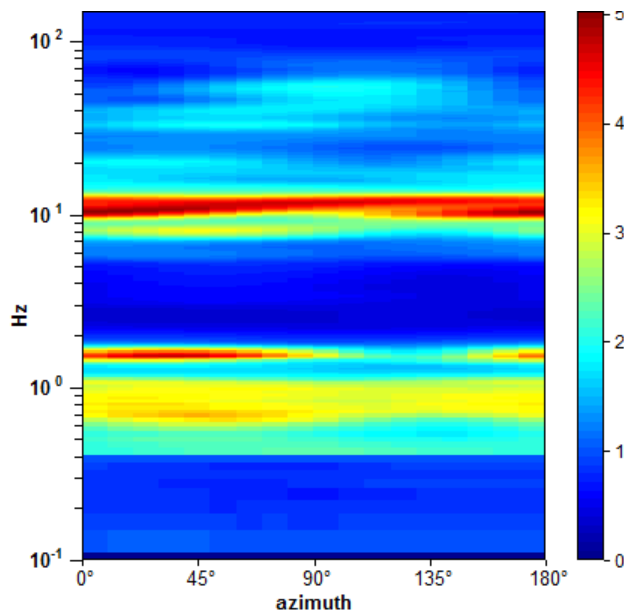


Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

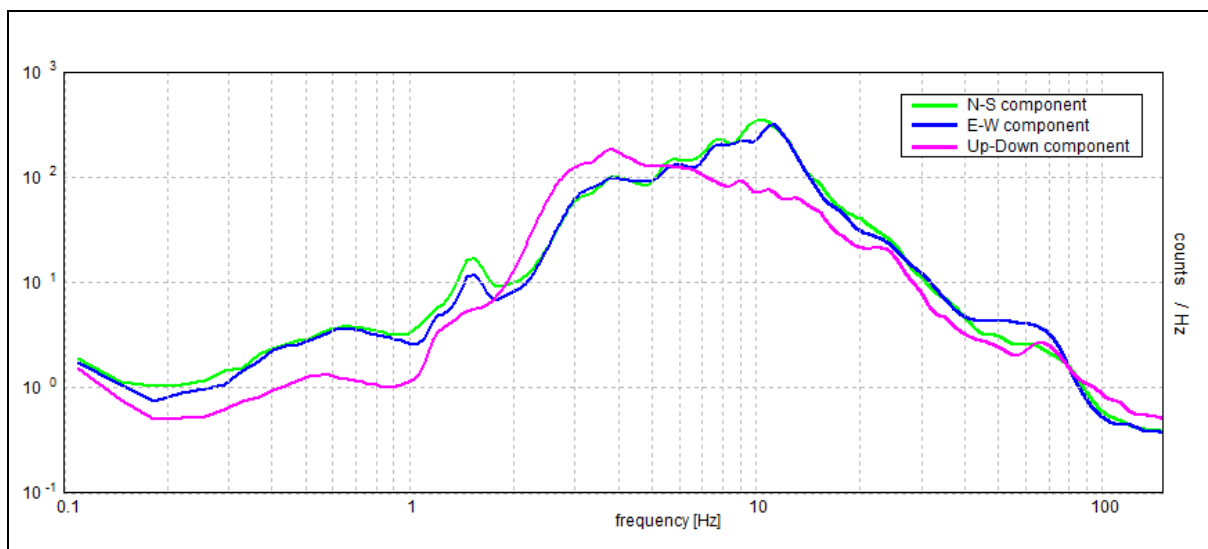
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Il primo grafico mostra l'andamento del rapporto H/V in funzione della frequenza: ad esclusione delle altissime frequenze, sono evidenti 3 picchi di risonanza alle frequenze di 35, 11 e 1,5 Hz. Questi risultano abbastanza stabili e persistenti nel tempo, come visibile nei grafici "directional" e "time history". Il quarto grafico mette in evidenza, infine, la presenza di un minimo relativo della componente spettrale verticale del moto in concomitanza dei

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

massimi del rapporto di H/V suddetti, a verifica della natura stratigrafica dei picchi in esame. Si individua inoltre, anche una inversione del suddetto andamento in corrispondenza dell'intervallo compreso fra 2 e 5 Hz, a testimoniare un decremento nelle velocità di propagazione delle onde S.

In corrispondenza del limite Nord-Occidentale dell'area di studio è stata eseguita la misura di microtremore MT2 che ha dato i seguenti risultati:

VITERBO - GEA_24-09-2020, MT2

Instrument: EXT- SARA SR04HS

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 24/09/20 16:40:10

End recording: 24/09/20 17:00:10

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00".

Analysis performed on the entire trace.

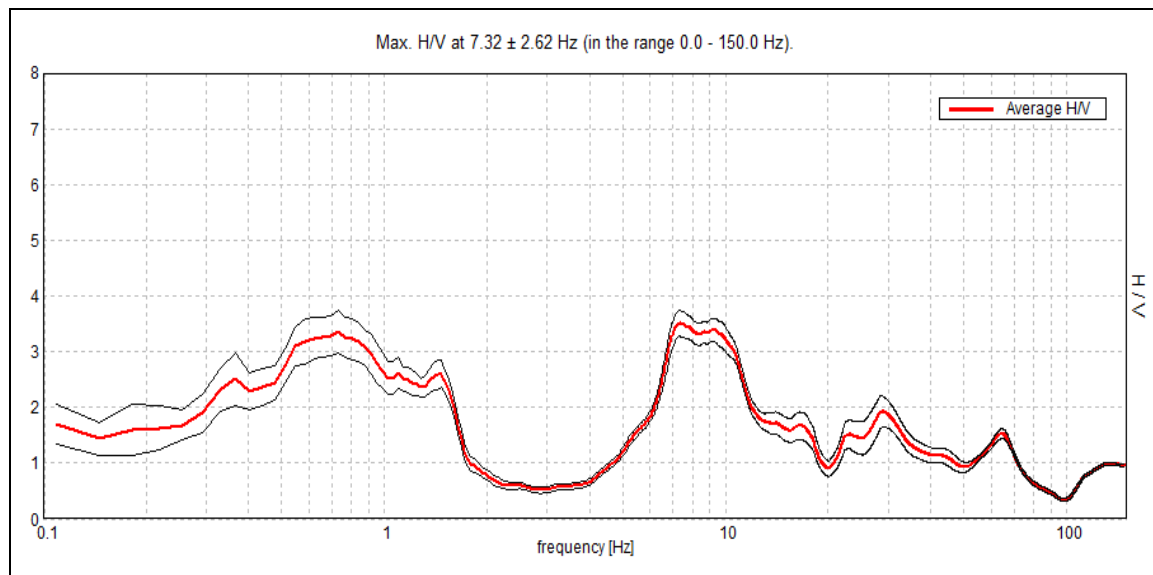
Sampling rate: 300 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type:

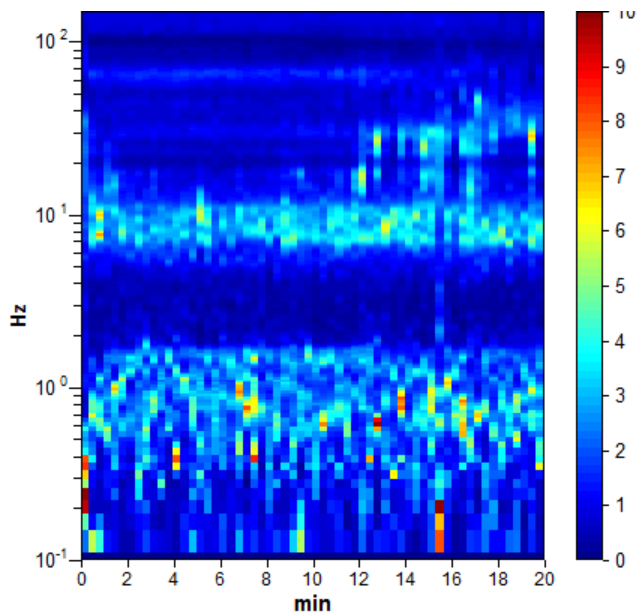
Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

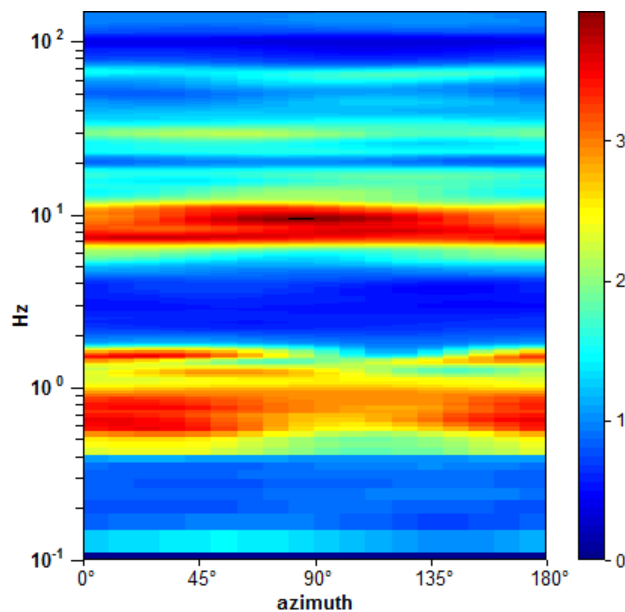


Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

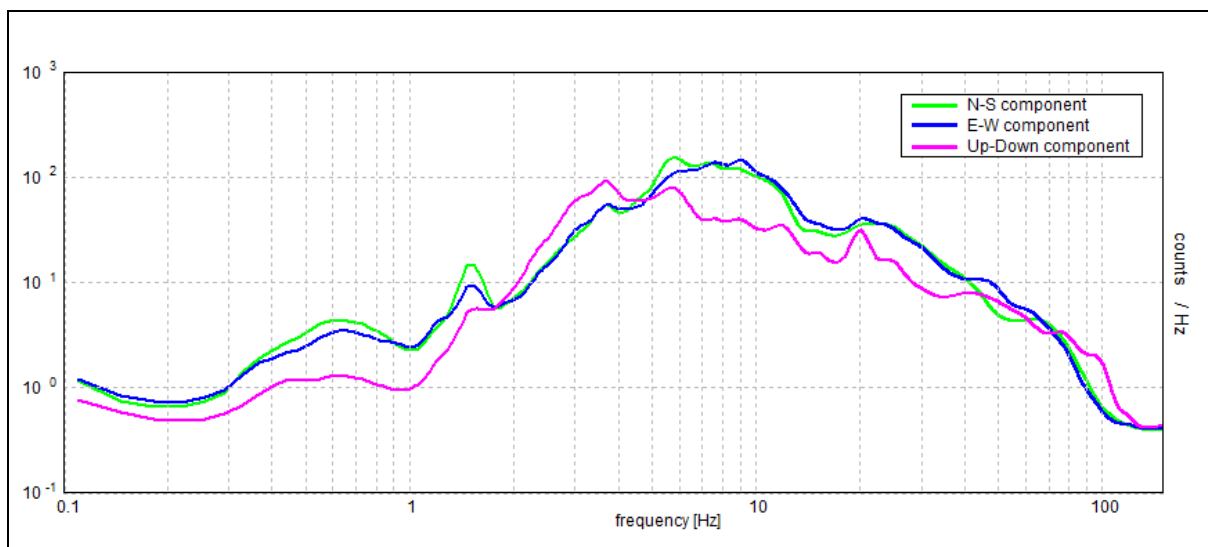
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

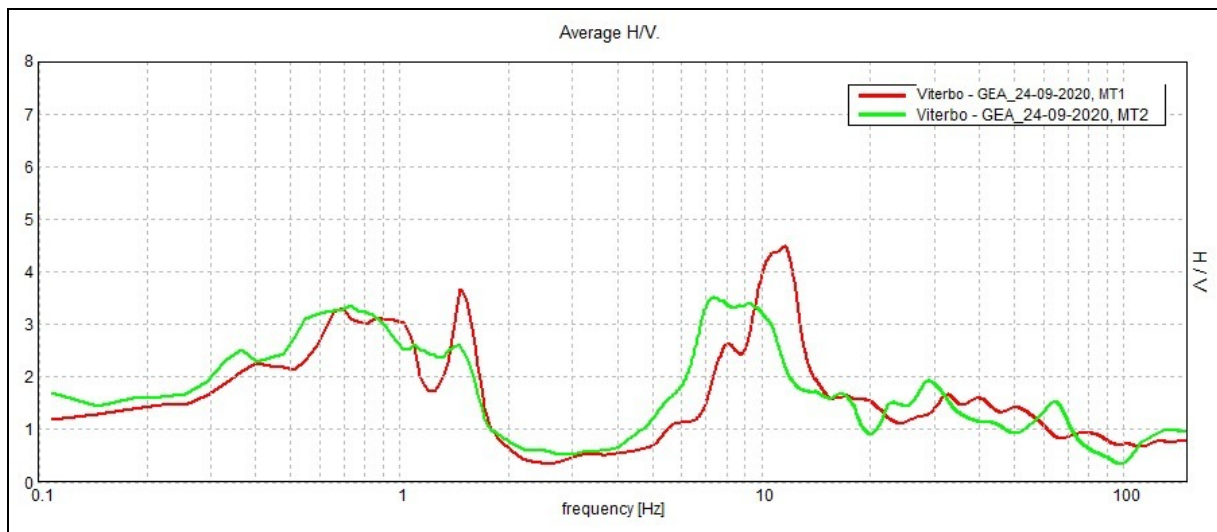


SINGLE COMPONENT SPECTRA



Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince una buona corrispondenza tra le curve H/V ottenute nelle due stazioni (MT1 e MT2), come evidenziato nella figura di seguito riportata.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

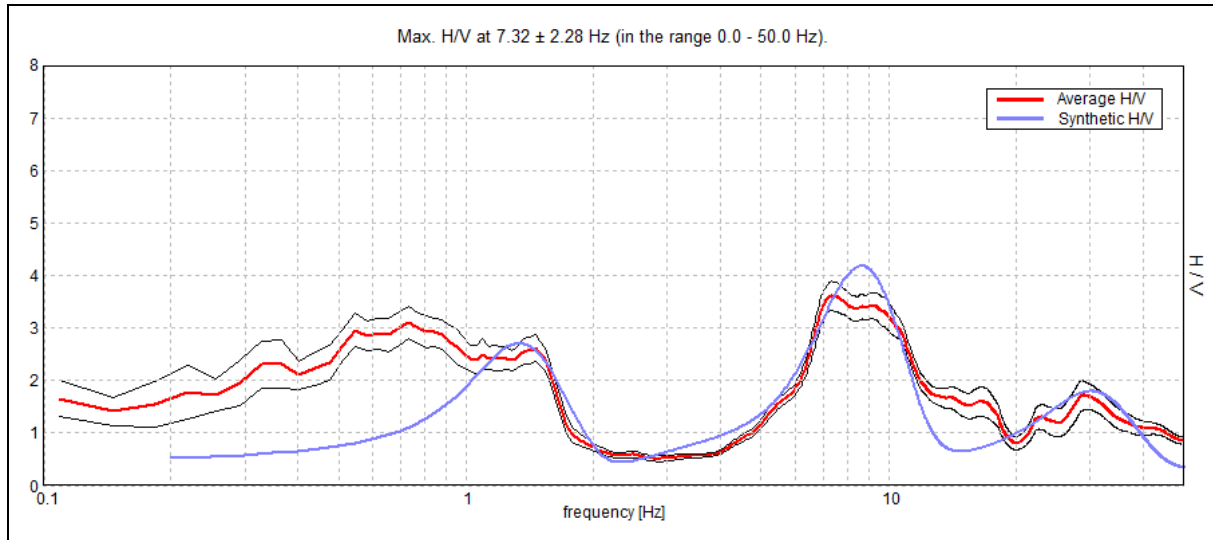


Data la sostanziale omogeneità nei dati registrati, si è proceduto alla modellazione di un singolo modello di sintesi, rappresentativo della condizione media del sito di studio.

Allo scopo di invertire la curva di campagna è stato usato come vincolo il profilo di velocità ottenuto dalle prove in array che ha consentito la realizzazione del modello sismostratigrafico. Nel grafico che segue si evince la buona sovrapposibilità fra la curva sperimentale ottenuta dalla registrazione di campagna (Rosso) e quella sintetica risultante dal modello sismostratigrafico inserito (Blu), confermando la validità delle assunzioni fin qui descritte. Il picco rilevato a circa 30 Hz è relativo al contatto posto alla profondità di circa 1 m, fra le alluvioni rimaneggiate ed i sottostanti litotipi maggiormente addensati al disotto dei quali si rivengono velocità delle onde S nell'ordine dei 350 m/s compatibili con le Piroclastiti compatte a comportamento rigido affioranti nei dintorni dell'area. Al disotto di questo si individua un livello con spessore di circa 6 m, corrispondente al picco massimo (7,3 Hz), caratterizzato da un netto incremento delle Vs compatibile con la presenza delle lave individuate nei sondaggi meccanici. Alla profondità di circa 100 m dal p.c. si individua il contatto con le argille Plioceniche sovraconsolidate, che mostrano Vs di circa 900 m/s, in corrispondenza del picco a circa 1,3 Hz.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	120	0.42
6.00	5.00	230	0.42
9.00	3.00	370	0.42
11.00	2.00	390	0.42
17.00	6.00	520	0.42
82.00	65.00	450	0.42
inf.	inf.	900	0.42

$V_s(0.0-30.0)=358\text{m/s}$

Prova sismica in foro – Down Hole (DH)

Il foro di sondaggio S5 è stato rivestito con tubazione in PVC, posta in asse nel lume della perforazione, previo posizionamento di appositi centratori, ed è stata quindi cementata l'intercapedine con boiacca cementizia, dal fondo fino alla bocca pozzo, in modo da rendere solidale la tubazione di rivestimento con il terreno incassante.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

La prospezione sismica in foro con il metodo "down hole" (DH) consente la determinazione in sito delle velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali (V_p) ed eventualmente trasversali (V_s) lungo una direzione sub-verticale. Nella fattispecie si è operato eseguendo le prove DH con passo di campionamento pari a 200 cm ed energizzazione longitudinale/trasversale ottenuta tramite percussione con mazza da 8 Kg di una piattella metallica per le onde "P" e di una trave in legno sormontata da un carico, per le onde "S".



Primo tratto del tubo cieco in PVC durante la predisposizione del rivestimento.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il medesimo sismografo descritto in precedenza collegato ad un sensore da pozzo a 5 geofoni (4 orizzontali ed 1 verticale), di produzione SARA Instruments mod. SSBH5, caratterizzati da una frequenza propria pari a 10 Hz.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Realizzazione prova Down-Hole

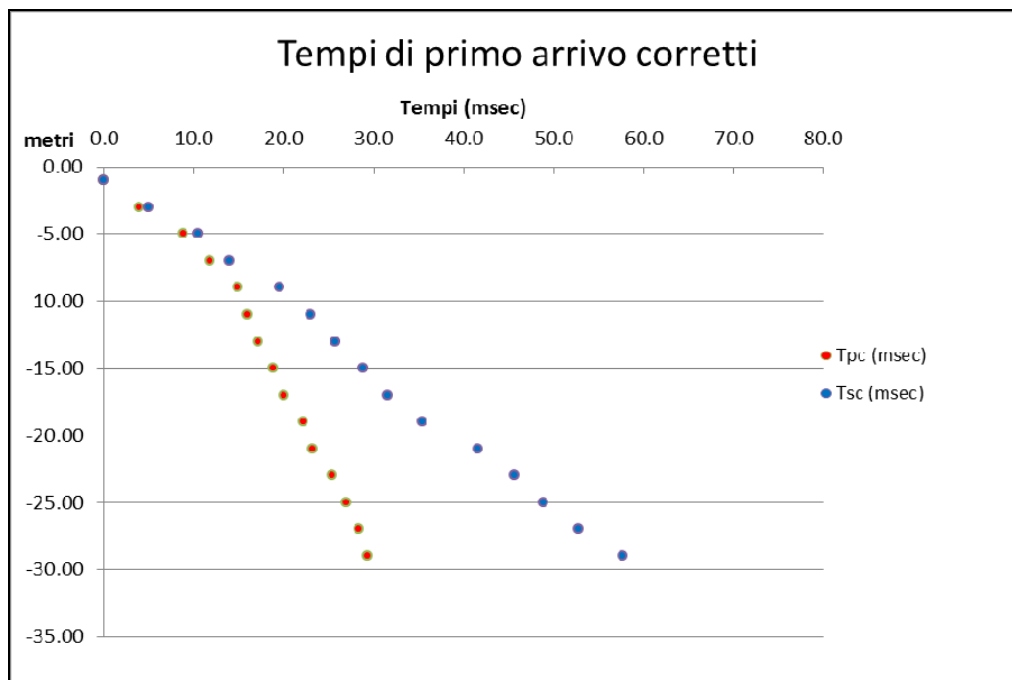
Come rapporto di sintesi si riportano i valori dei tempi di arrivo, misurati e corretti rispetto alla verticale ed i valori delle velocità, calcolati per ogni step di lettura.

La prospezione eseguita ha permesso quindi di determinare spessori, velocità sismiche e moduli dei sismostrati riscontrati in relazione allo step di incremento (2 m) sulla verticale del sondaggio investigato tramite la prospezione DH. Tali indagini hanno definito il parametro V_{s30} calcolato come previsto dalla normativa di cui all'OPCM 3274/03 e ss. mm. ed ii. I risultati ottenuti vengono esplicitati analiticamente negli specifici moduli riportati di seguito. I tempi di lettura del primo arrivo, derivanti dalle operazioni di picking eseguite sui sismogrammi ottenuti, sono stati corretti in relazione della distanza fra il punto di battuta ed il perforo, risultante pari ad 1,65 m. Indicata con z la profondità del ricevitore, con d la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore e con R la distanza superficiale tra sorgente e centro del foro con t il tempo determinato dalle tracce di registrazione, il tempo corretto risulta:

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.

$$t_v = \frac{z}{d} t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} t$$

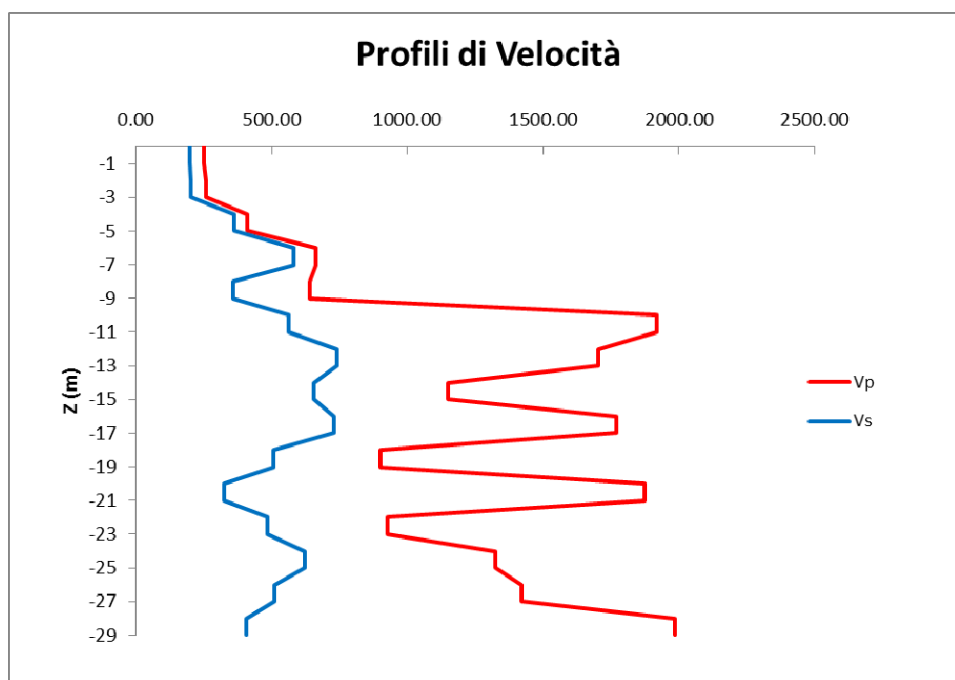
Z (m)	Tpo (msec)	Tso (msec)	Tpc (msec)	Tsc (msec)
1.00	6.80	8.30	0.0	0.01
3.00	7.50	9.50	3.9	4.92
5.00	10.00	11.90	8.8	10.43
7.00	12.40	14.60	11.8	13.86
9.00	15.30	20.00	14.9	19.47
11.00	16.20	23.40	15.9	23.02
13.00	17.30	26.00	17.1	25.71
15.00	19.00	29.00	18.8	28.77
17.00	20.10	31.70	20.0	31.51
19.00	22.30	35.60	22.2	35.43
21.00	23.35	41.70	23.3	41.54
23.00	25.50	45.80	25.4	45.66
25.00	27.00	49.00	26.9	48.87
27.00	28.40	52.90	28.3	52.79
29.00	29.40	57.80	29.3	57.69



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Sulla base di procedure di analisi matematica sono state calcolate le velocità delle onde P ed S per ogni strato investigato, in funzione dello step di indagine (2 metri).

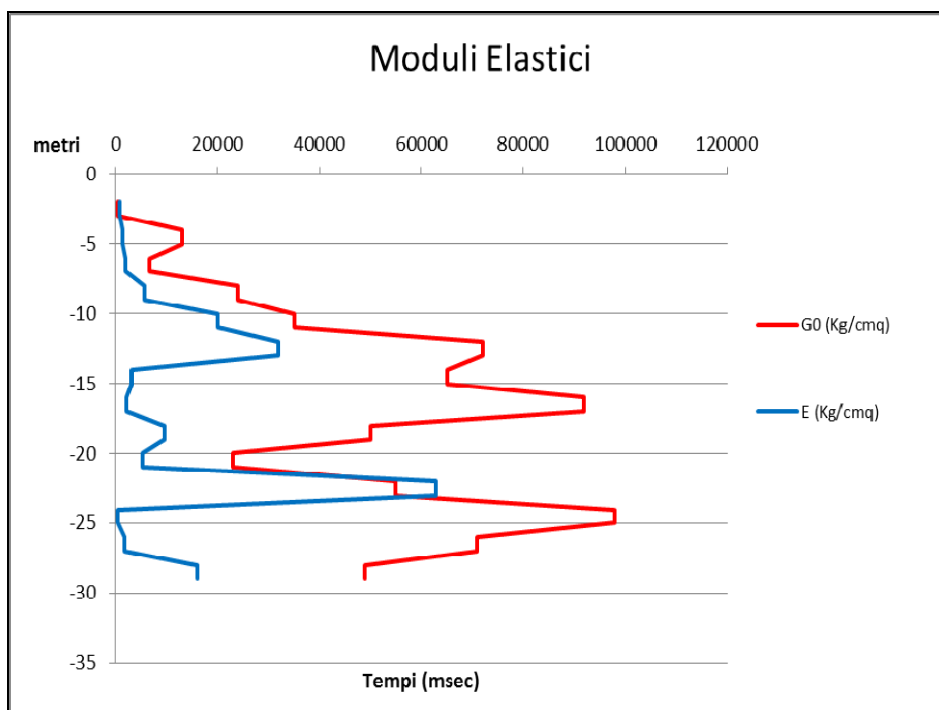
Z (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
1.00	250.50	200.00
3.00	257.27	203.10
5.00	410.27	363.43
7.00	663.74	581.80
9.00	641.75	357.02
11.00	1918.39	563.40
13.00	1703.33	741.85
15.00	1149.30	654.27
17.00	1768.81	729.73
19.00	902.44	509.74
21.00	1874.86	327.32
23.00	926.27	485.95
25.00	1325.26	622.06
27.00	1420.90	511.41
29.00	1986.28	407.56



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Il valore del parametro V_{s30} , calcolato fra 0 e 30 metri di profondità, risulta pari a 478 m/s. In relazione alle velocità ottenute è possibile calcolare il modulo G_0 , il modulo di Young E ed il rapporto di Poisson.

Z (m)	G_0 (Kg/cm ²)	E(kg/cm ²)	ρ
1.00	4.0E+02		
3.00	1.3E+03	1.2E+01	
5.00	6.7E+03	2.0E+01	
7.00	2.4E+04	2.8E+01	
9.00	1.2E+04	3.6E+01	0.28
11.00	3.5E+04	4.4E+01	0.45
13.00	7.2E+04	5.2E+01	0.38
15.00	6.5E+04	6.0E+01	0.40
17.00	9.2E+04	6.8E+01	-0.18
19.00	5.0E+04	7.6E+01	0.50
21.00	2.3E+04	8.4E+01	0.49
23.00	5.5E+04	9.2E+01	6.66
25.00	9.8E+04	1.0E+02	0.50
27.00	7.1E+04	1.1E+02	0.49
29.00	4.9E+04	1.2E+02	0.47



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Sulla base di quanto sopra descritto è possibile attribuire i terreni in esame alla categoria di sottosuolo **B**: "Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine, 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 fra 360 e 800 m/s".

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

NTC 2018 - Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo.

8. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Definizione dell'azione sismica di progetto

Trattandosi di un fabbricato in classe d'uso IV, così come da indicazioni del Progettista e facendo riferimento all'Art.41 del D.P.R. 328 del 2001, al D.M. 17 Gennaio 2018 (N.T.C), alla R.R. Lazio n.26 del 26/10/2020, si rende necessario valutare l'azione sismica mediante specifiche analisi. Per la definizione dell'azione sismica è stata eseguita una modellazione numerica attraverso un'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL).

Assunzione e metodo di analisi

Lo studio di RSL è stato condotto secondo il seguente iter procedurale:

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

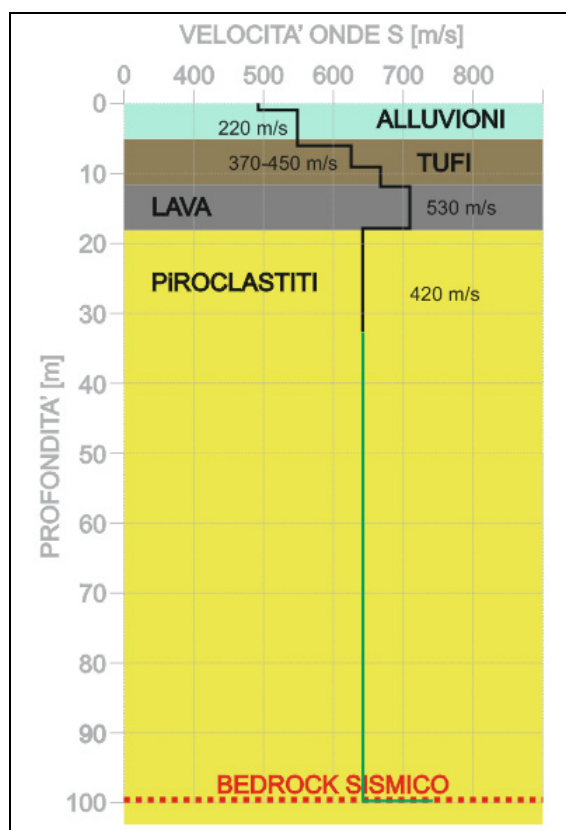
- Definizione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sito
- Individuazione delle curve di decadimento caratterizzanti i terreni interessati dallo studio
- Disaggregazione relativa agli stati limite considerati (SLV e SLD) ed individuazione delle coppie Magnitudo-Distanza per ciascuno stato limite.
- Individuazione dei set di accelerogrammi di input mediante il software REXEL 3.5 spettrocompatibili e non scalati.
- Processamento degli accelerogrammi mediante il software STRATA, stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock sismico in funzione della frequenza e calcolo dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo, nelle condizioni progettuali considerate, ovvero SLV e SLD.

Definizione del modello geotecnico e sismostratigrafico del sito

La stratigrafia dei luoghi, nota fino alla profondità di 30 metri grazie alla realizzazione dei sondaggi meccanici, delle indagini penetrometriche dinamiche DPSH e delle indagini sismiche, è stata implementata mediante la modellazione geologica di sito, basata sull'analisi dei dati a disposizione e sulla cartografia di dettaglio realizzata.

L'individuazione del modello sismostratigrafico è stata dunque operata in considerazione della totalità delle indagini a disposizione mediando, quando ritenuto possibile, i valori della velocità delle onde di taglio in ogni strato.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Modello sismostratigrafico utilizzato per l'analisi di RSL riferito al piano di campagna.

È stata considerata una velocità media per le alluvioni e le piroclastiti alterate/rimaneggiate nell'ordine dei 220 m/s, mentre per il sottostante livello piroclastico al tetto delle lave si è ritenuto opportuno considerare una Vs media pari a 370-450 m/s. per il corpo delle lave, spesso circa 6 m si è utilizzato un valore di Vs di 530 m/s, mentre per il livello piroclastico al letto delle lave si è scelta una Vs media di 420 m/s al tetto che gradualmente aumenta, fino a raggiungere gli 800 m/s alla profondità di circa 100m dal piano campagna al contatto con le argille sovra consolidate del substrato sedimentario. Di seguito si riportano i modelli sismostratigrafici in forma tabellare:

strato	profondità base dello strato [m]	spessore [m]	γ [kN/mc]	Vs [m/s]	litotipo prevalente
1	5	5	15.00	220	Sabbie alluvionali
2	12	7	17.00	370	Sabbie piroclastiche
3	18	6	18.00	530	Lave
4	100	12	18.00	420	Sabbie piroclastiche
5	-	-	18.00	900	Bedrock

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Individuazione delle curve di decadimento caratterizzanti i terreni interessati dallo studio

Per quanto riguarda le curve di decadimento del modulo di taglio G e dello smorzamento D associati ai litotipi presenti nella successione, sono state adottate le curve mentre sono state utilizzate le curve di **Idriss 1990** per le argille limose presenti nei primi 5 metri, per le sabbie di alterazione e piroclastiche sono state impiegate le curve di **Pergalani et al. 1999** per i litotipi vulcanici; le lave sono state modellizzate utilizzando le curve di decadimento delle ghiaie.

Disaggregazione della pericolosità sismica

Al fine di poter analizzare la pericolosità del sito ed effettuarne la disaggregazione si è fatto riferimento alle specifiche progettuali fornite dal Progettista per l'edificio in studio, che presenta le seguenti caratteristiche:

- VITA NOMINALE dell'edificio VN = 50 anni
- CLASSE D'USO IV cui corrisponde un COEFFICIENTE D'USO CU = 2

da cui derivano i seguenti tempi di ritorno:

- TR = 949 anni (stato limite SLV)
- TR = 101 anni (stato limite SLD)

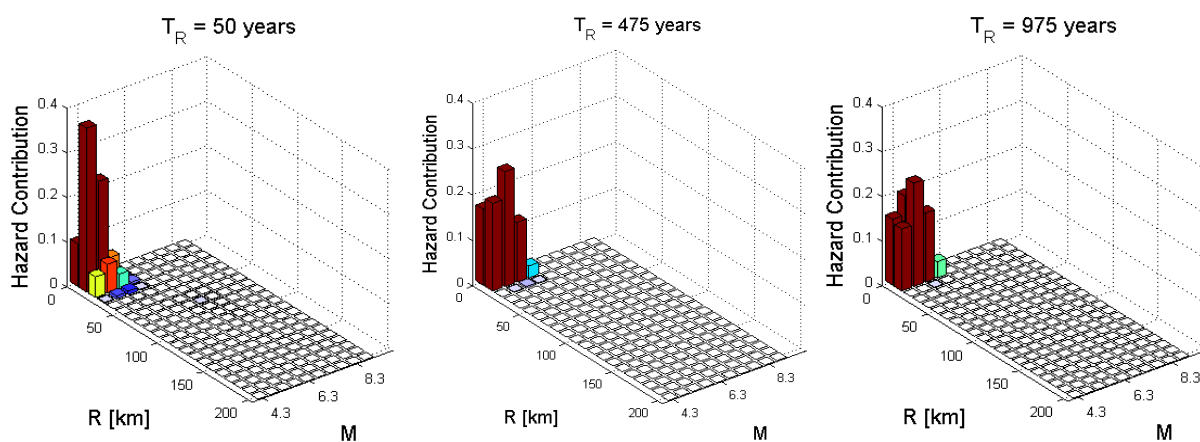
Attraverso questi parametri ed in base all'ubicazione del sito sarà possibile l'individuazione degli spettri target per valutare la spettro-compatibilità dei set di accelerogrammi di input.

Le coordinate geografiche nel S.d.R. ED50 sono le seguenti:

- latitudine = 42.488285° N
- longitudine = 12.111793° E

Per valutare il contributo alla pericolosità sismica del sito per i due tempi di ritorno considerati è stata eseguita l'analisi di disaggregazione, finalizzata alla definizione delle coppie Magnitudo-Distanza. La figura seguente (da Rexel 3.5) rappresenta le distanze in Km delle strutture sismogenetiche dal sito e le magnitudo di sismi generati da dette strutture, che contribuiscono alla pericolosità sismica del sito stesso per alcuni tempi di ritorno pari a 50, 475 e 975 anni, ovvero per dei tempi di ritorno prossimi a quelli considerati.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Disaggregazione sismica per tempi di ritorno pari a 50, 475 e 975 anni.

Globalmente si ha che la pericolosità sismica del sito per un tempo di ritorno di 949 anni (SLV) è governata perlopiù dall'attività di strutture sismogenetiche distanti da 0 a 20 km rispetto al sito e che generano sismi con magnitudo compresa tra 4 e 6.5, mentre per un tempo di ritorno pari a 101 anni (SLD) risulta governata da strutture sismogenetiche poste a distanze comprese tra 0 e 30 km con sismi di magnitudo compresa tra 4 e 6.

Tali coppie di range distanza-magnitudo sono di seguito prese come riferimento per la ricerca degli accelerogrammi di input.

Individuazione degli accelerogrammi di input

Le NTC 2018 consentono l'utilizzo di accelerogrammi simulati (ottenuti appunto da simulazione del meccanismo di sorgente) o naturali, ovvero registrati (da scegliere dai database nazionali o internazionali disponibili in rete), mentre vietano l'impiego di accelerogrammi artificiali. Le NTC 2018 impongono inoltre, per questo tipo di analisi, l'impiego di un numero di accelerogrammi non inferiore a 5.

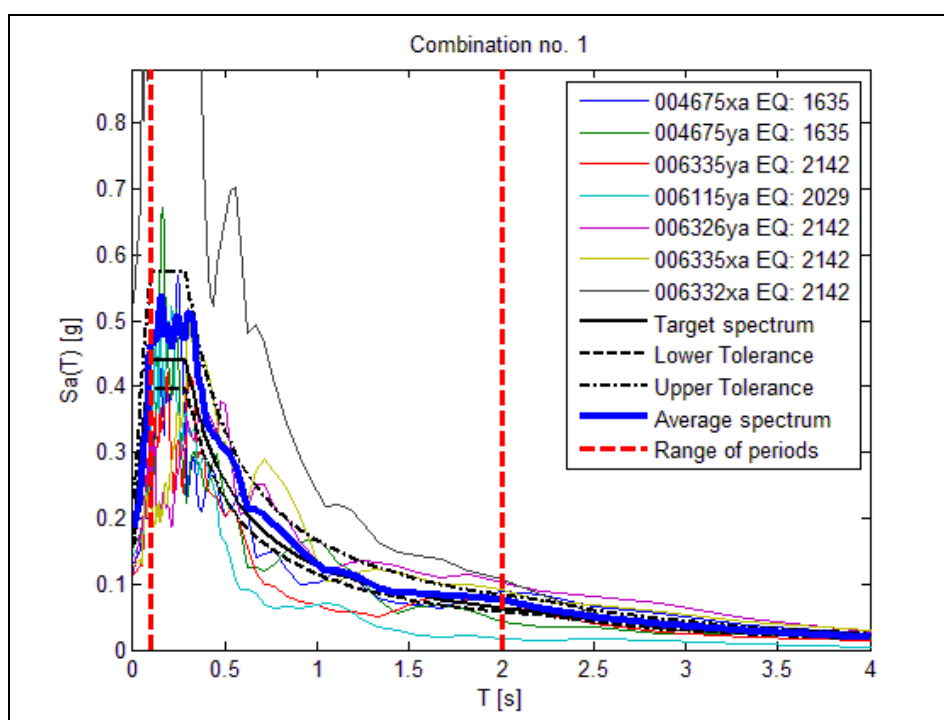
La normativa prevede anche che per il set di accelerogrammi sia verificata la spettrocompatibilità, ovvero la media degli spettri in accelerazione degli accelerogrammi selezionati deve essere "compatibile" con lo spettro di risposta elastico associato al sito per lo stato limite considerato e nelle condizioni progettuali esaminate ("target spectrum").

La ricerca degli accelerogrammi è stata eseguita utilizzando il software REXEL 3.5 (Iervolino, Galasso, Chioccarelli, 2008- 2011).

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

SLV - SET N. 7 ACCELEROGRAMMI

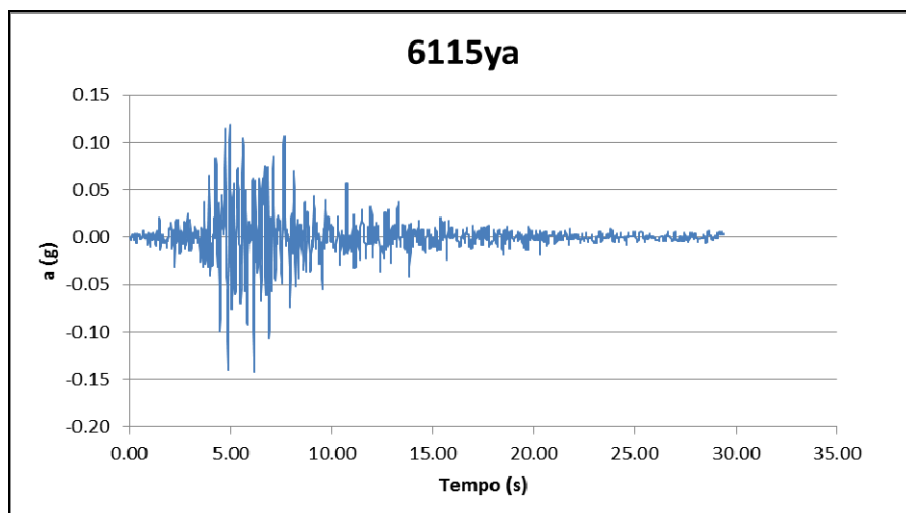
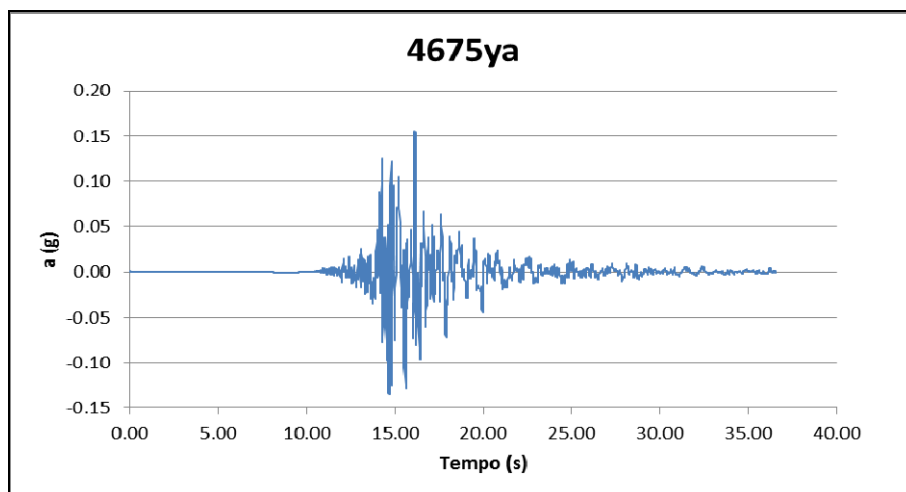
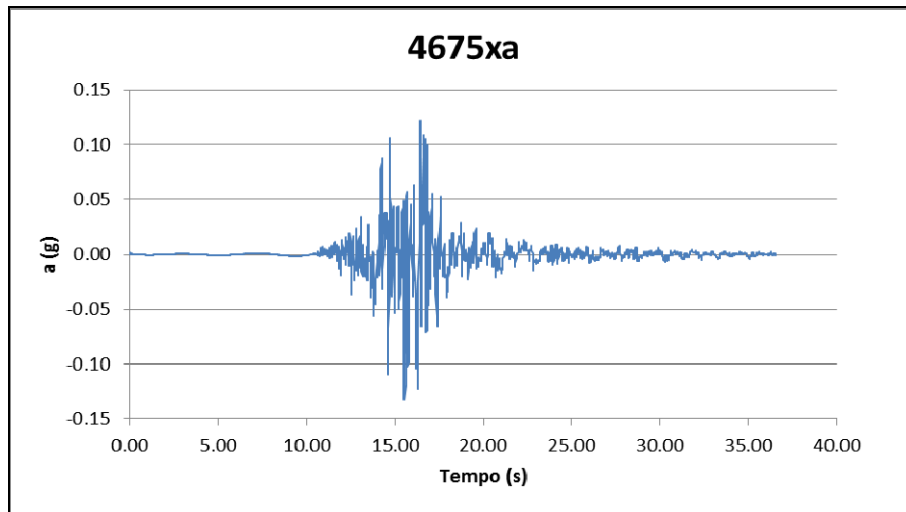
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	24	0.3222	0.243
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6	5.1881	5.5698
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	25	0.5878	0.5876
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	25	0.5878	0.5876



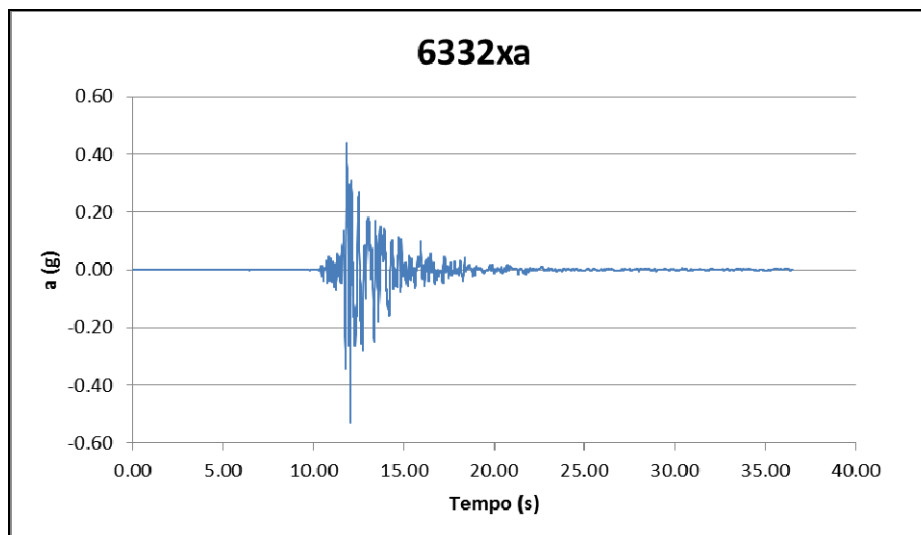
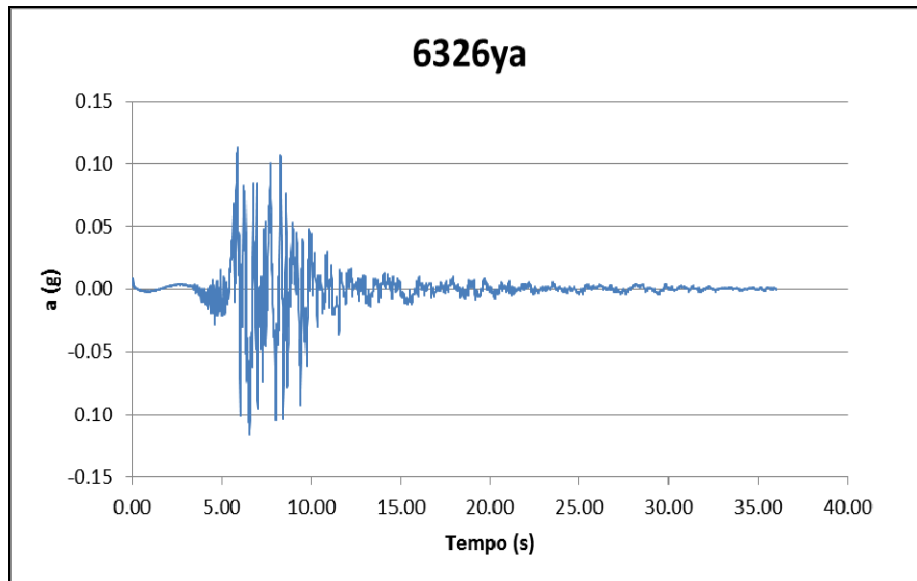
Verifica della spettrocompatibilità del set di accelerogrammi di input utilizzati per lo SLV.

Ai fini dell'analisi saranno processate tutte le 7 registrazioni di cui, di seguito si riportano i diagrammi accelerazione [g] / tempo [sec] non scalati:

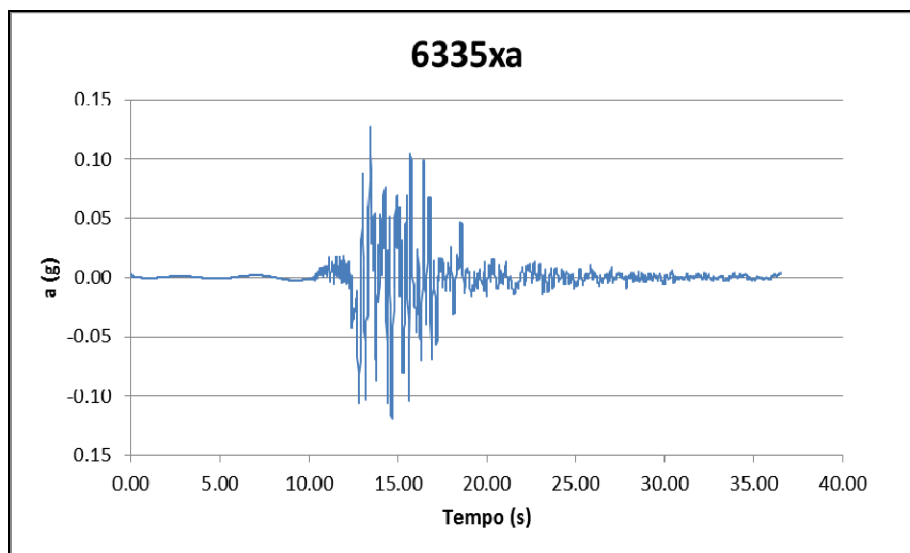
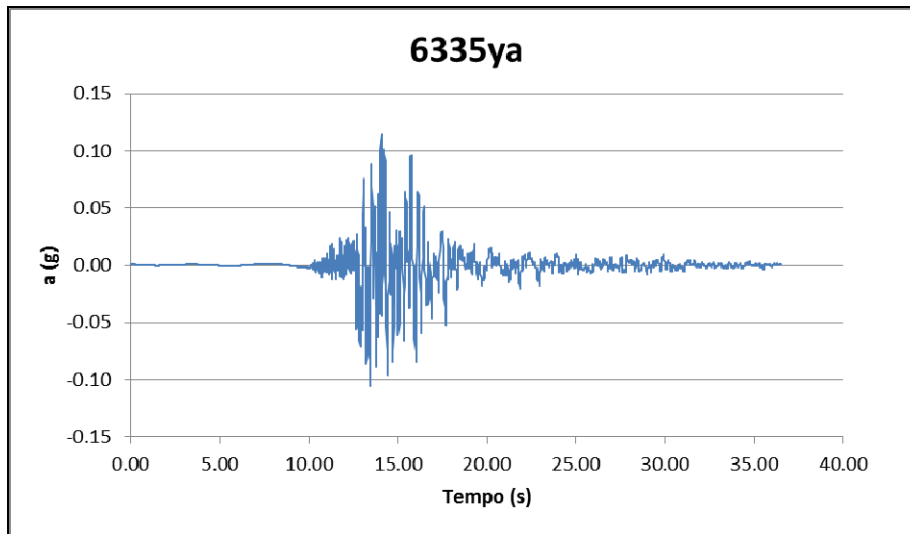
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
Novembre 2020.



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
Novembre 2020.

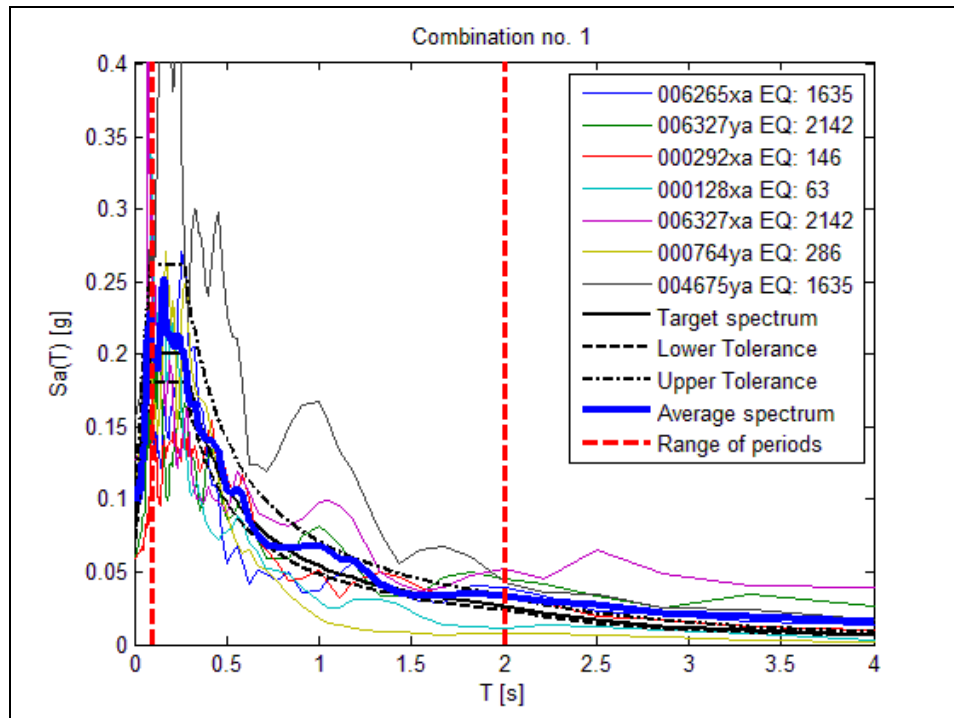


SLD - SET N. 7 ACCELEROGRAMMI

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	1.2481	1.1322
6115	2029	ST1320	Kozani	13/05/1995	6.5	normal	17	2.0388	1.3962
6326	2142	ST2496	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	14	1.7476	1.1423
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	15	1.2481	1.1322

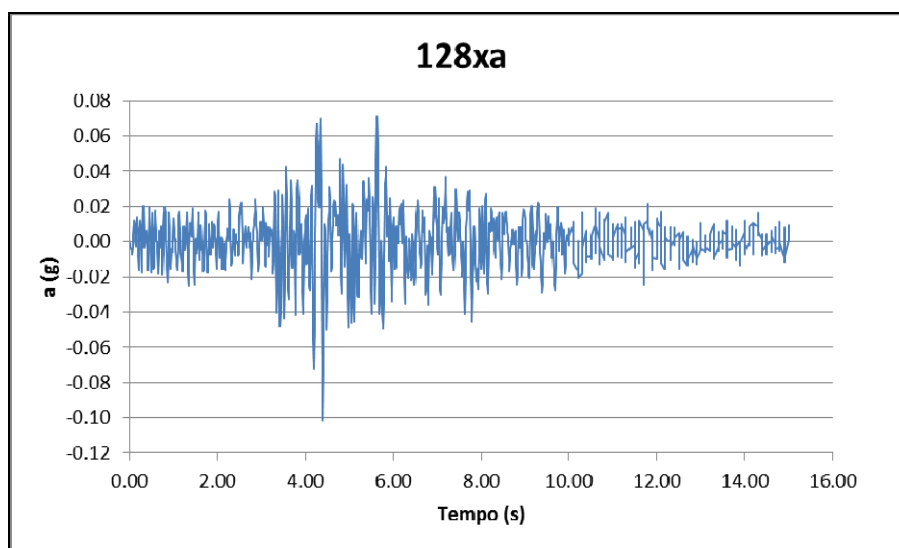
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6	5.1881	5.5698
------	------	--------	-------------------------------	------------	-----	-------------	---	--------	--------

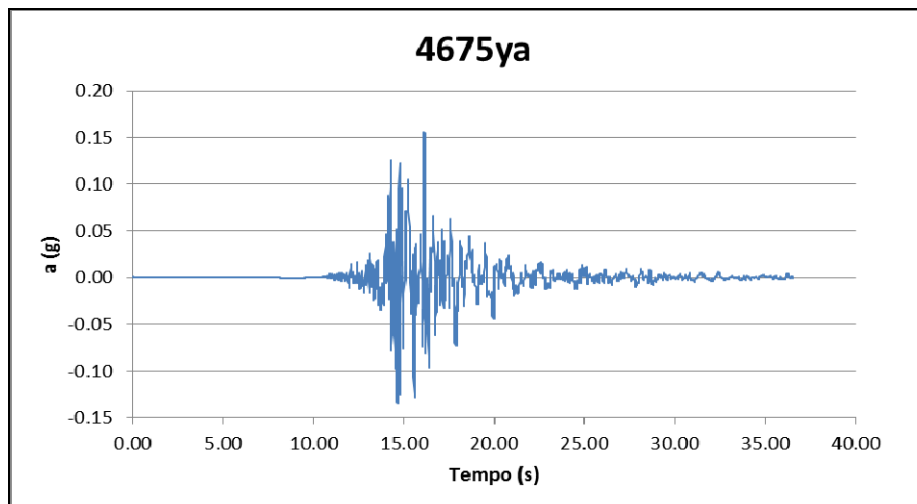
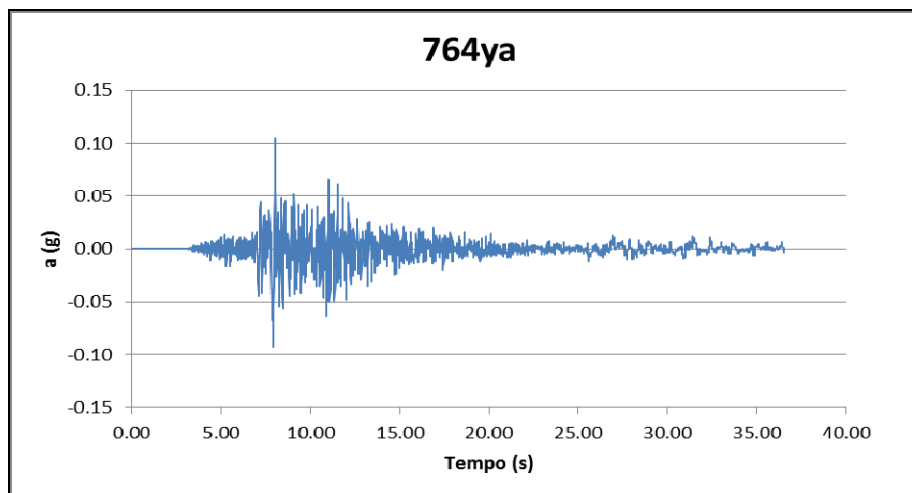
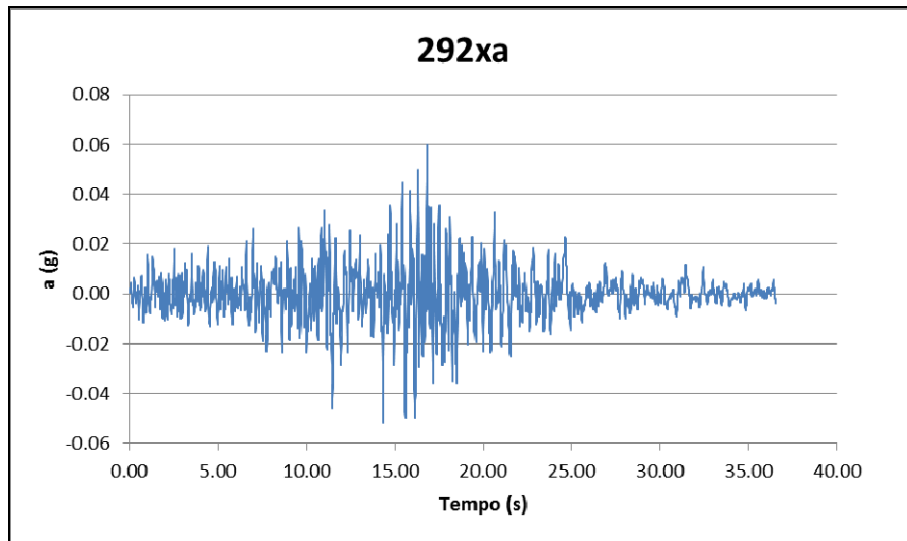


Verifica della spettrocompatibilità del set di accelerogrammi di input utilizzati per lo SLD.

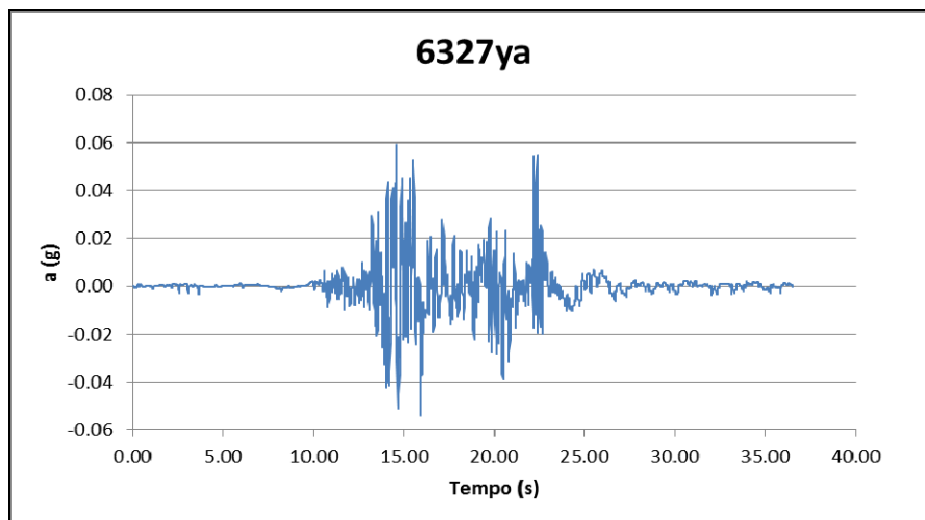
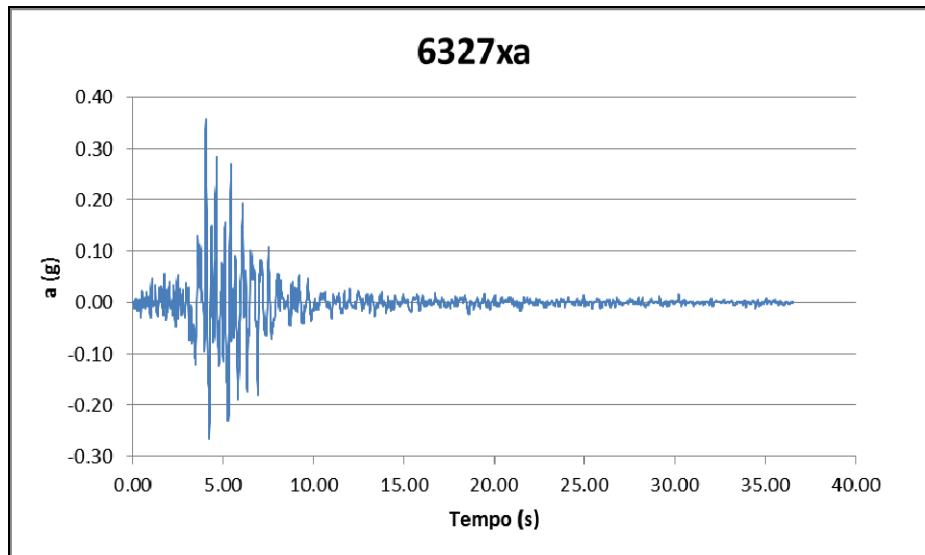
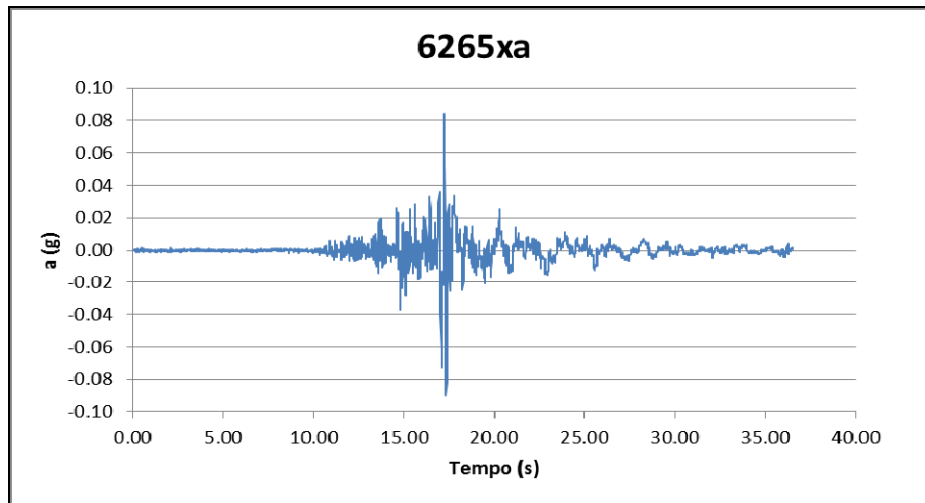
Ai fini dell'analisi saranno processate tutte le 7 registrazioni di cui, di seguito si riportano i diagrammi accelerazione [g] / tempo [sec] non scalati:



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
Novembre 2020.



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Processamento mediante il software STRATA

Per il calcolo degli spettri in accelerazione orizzontale attesi al sito, è stato utilizzato il software STRATA. La scelta di un codice di calcolo che consente un'analisi di un modello 1D appare giustificata in quanto il sito è classificabile con classe topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$) e dal fatto che le indagini effettuate nell'intorno del sito abbiano consentito di verificare una certa uniformità laterale della stratigrafia.

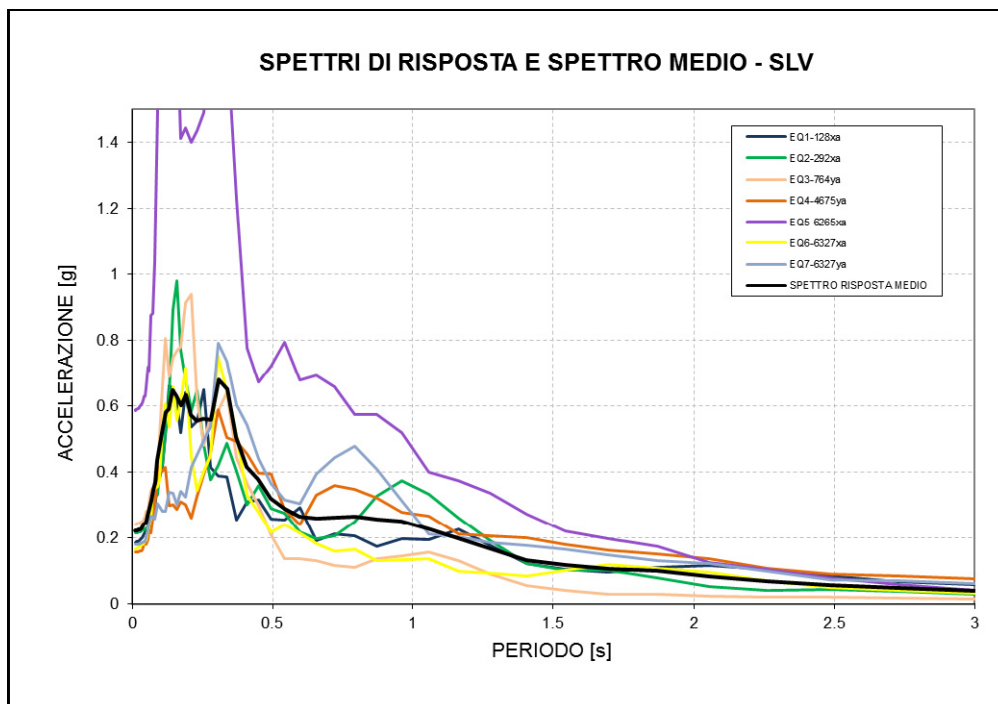
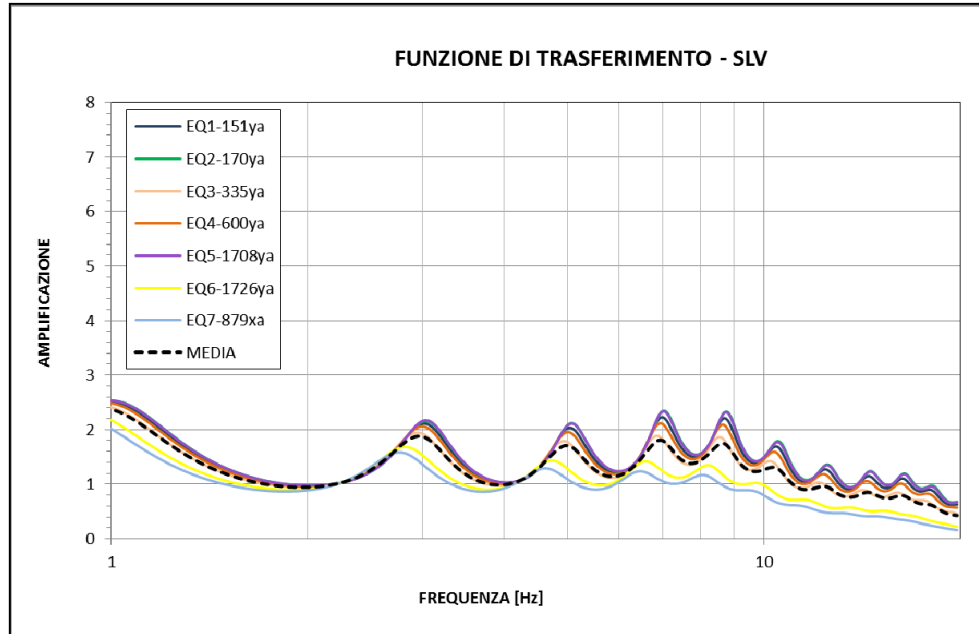
Con l'utilizzo del software STRATA è stata eseguita un'analisi EQUIVALENTE LINEARE (EQL); il processamento dei dati è stato fatto adottando un coefficiente di smorzamento pari al 5%.

I risultati finali dell'elaborazione, per lo stato limite considerato sono i seguenti:

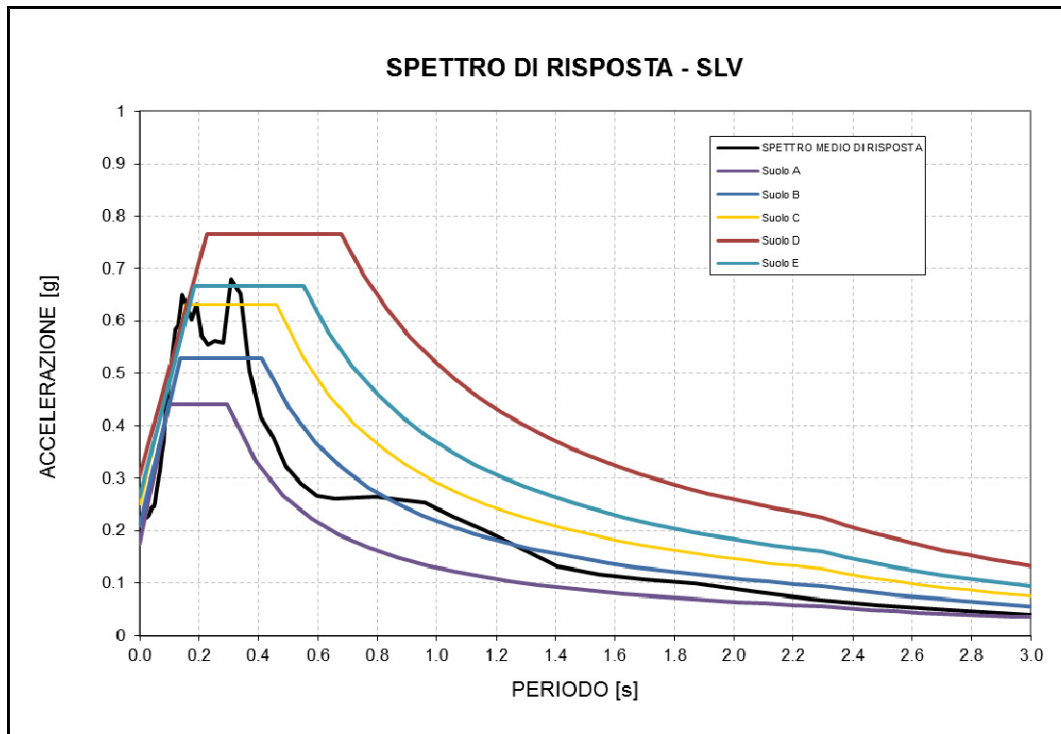
- la funzione di trasferimento per ogni traccia accelerometrica e la media, ovvero la funzione che rappresenta il rapporto di amplificazione tra lo spettro del moto dal bedrock al piano campagna.
- gli spettri di risposta elastici medi in accelerazione dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo della struttura, riferito al piano di campagna calcolato per ogni accelerogramma e lo spettro medio.
- lo spettro di risposta elastico medio confrontato con gli spettri semplificati di normativa per tutte le categorie di suolo.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.

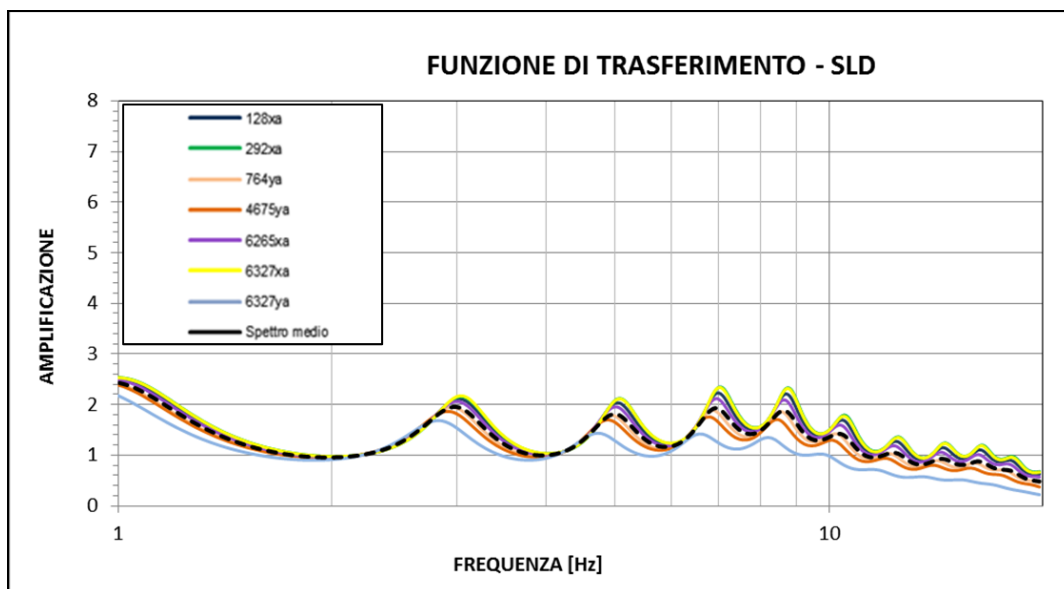
Risultati analisi RSL: SLV



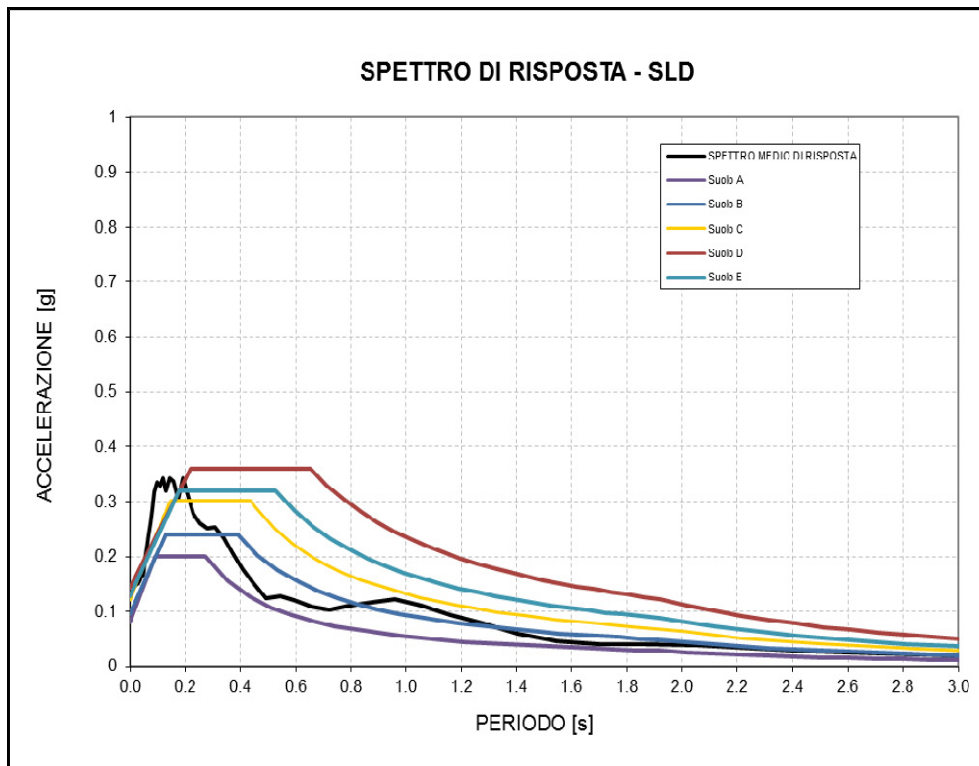
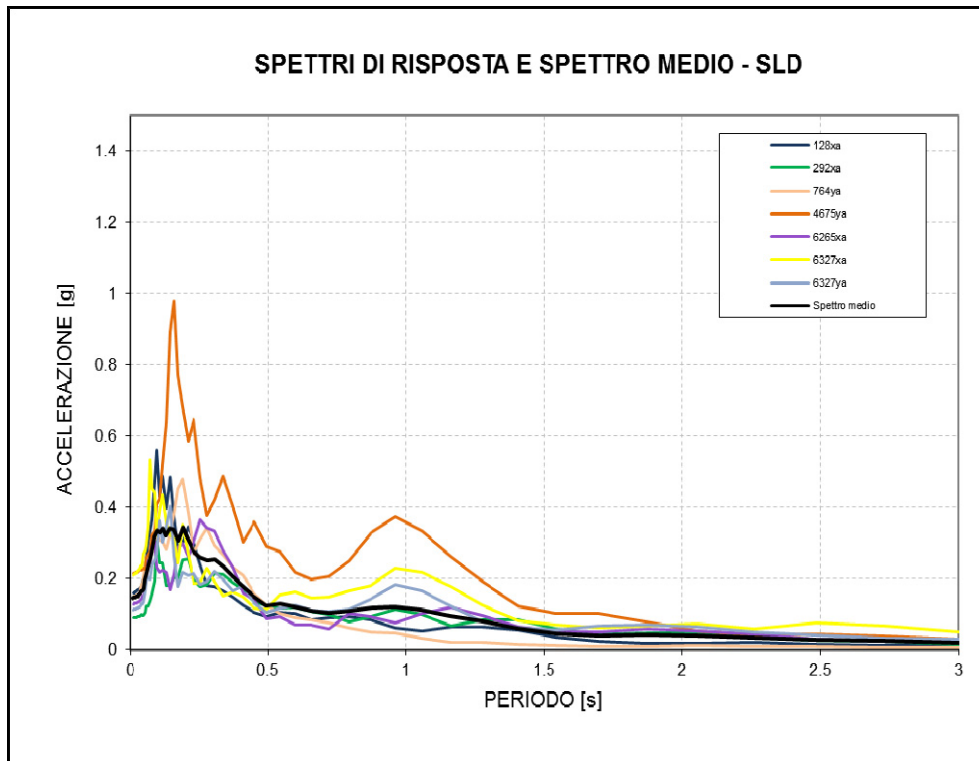
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.



Risultati analisi RSL: SLD



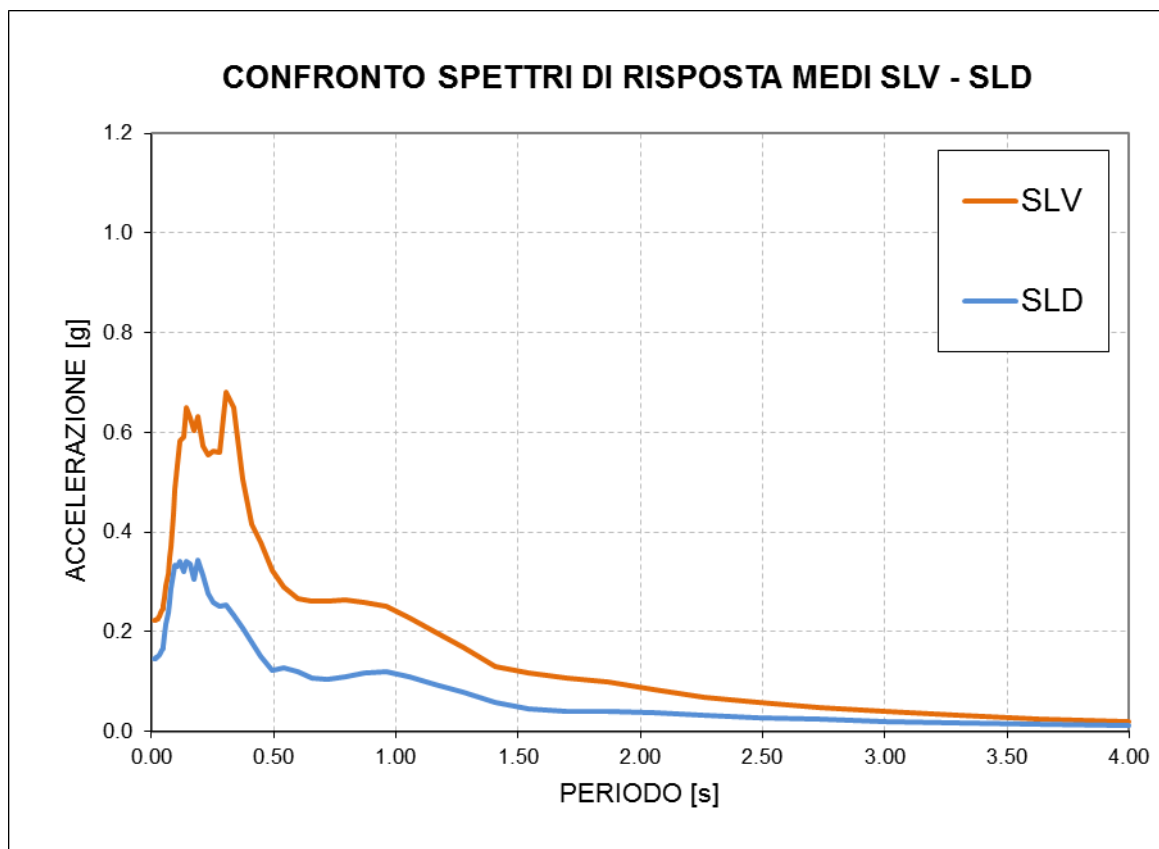
Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.



Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

Sintesi dei risultati

Nel grafico seguente si riporta lo spettro di risposta in accelerazione per lo stato limite SLV (Tr =949 anni) confrontato con lo spettro di risposta in accelerazione per lo stato limite SLD (Tr = 101 anni):



Gli stessi dati sono riportati anche in formato tabellare:

PERIODO	SLV	SLD
	ACCELERAZIONE	ACCELERAZIONE
s	g	g
0.01	0.221845496	0.145309403
0.010997717	0.221997053	0.145461239
0.012094978	0.222195648	0.145644467

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
Novembre 2020.

0.013301714	0.222428871	0.145867122
0.014628849	0.2227208	0.146137905
0.016088394	0.223077663	0.146453087
0.017693561	0.223513054	0.146855783
0.019458877	0.224015501	0.147347534
0.021400322	0.22466508	0.147978344
0.023535469	0.225476371	0.148727713
0.025883643	0.226498628	0.149682119
0.028466098	0.227743303	0.150880647
0.031306209	0.229373019	0.152424914
0.034429682	0.231804075	0.154488913
0.03786479	0.237250987	0.158908339
0.041642625	0.243782371	0.16308706
0.04579738	0.245440877	0.166640751
0.050366662	0.253107218	0.172723435
0.05539183	0.268972335	0.195250279
0.060918367	0.292933986	0.215305721
0.066996296	0.314792288	0.239466424
0.07368063	0.347749491	0.260974449
0.081031872	0.369520018	0.286758835
0.089116559	0.436425527	0.317323455
0.09800787	0.48528827	0.334778482
0.107786281	0.535429438	0.329821408
0.118540302	0.582595656	0.342313783

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali.
 Novembre 2020.

0.130367269	0.591227514	0.320378875
0.143374233	0.648781216	0.342358781
0.157678924	0.629919365	0.336776728
0.173410818	0.602371194	0.30534933
0.19071231	0.632703034	0.343445443
0.209740001	0.572423121	0.312505637
0.230666117	0.555401257	0.277151822
0.253680067	0.561931514	0.260160302
0.278990159	0.558635061	0.252052341
0.306825481	0.680117415	0.25312372
0.33743798	0.651113021	0.233540454
0.371104741	0.506196378	0.207498319
0.408130492	0.416672637	0.178132567
0.448850364	0.378544876	0.149714964
0.493632927	0.322086275	0.123113773
0.542883523	0.289084153	0.12797023
0.597047935	0.265847137	0.119466105
0.656616422	0.260789481	0.107874915
0.722128158	0.261932289	0.103953121
0.794176111	0.264457542	0.110512487
0.87341241	0.258223001	0.117076139
0.960554251	0.252325067	0.121275599
1.05639038	0.227323003	0.110790633
1.161788243	0.199383749	0.09373725

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

1.27770183	0.168039078	0.078789203
1.405180312	0.131451086	0.05933277
1.545377539	0.116962857	0.046457137
1.699562482	0.106961022	0.040291226
1.869130718	0.099455937	0.041170702
2.055617066	0.084060133	0.038218176
2.260709473	0.068455491	0.032506361
2.486264298	0.057655076	0.027236885
2.734323111	0.048841628	0.023631848
3.007131173	0.039737338	0.019182692
3.307157759	0.032853427	0.017021776
3.637118507	0.02604206	0.014000241
4	0.020043434	0.011499079

9. VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Le condizioni di sito, su tutte la presenza della falda posta a modesta profondità, impongono la necessità di verificare il potenziale rischio di liquefazione dei terreni, per il quale si fa riferimento ai capitoli 2.7 e 3.1.3 degli ICMS ed al paragrafo 7.11.3.4.2 del DM Infrastrutture del 07 Gennaio 2018. Secondo tali riferimenti normativi e tecnici è possibile infatti affermare che i terreni in esame non risultano essere potenzialmente liquefacibili se almeno uno dei seguenti punti non risulta confermato:

- Accelerazione massima attesa al p.c. in assenza di manufatti (*free-field*) minori di 0,1g;
I valori massimi di accelerazione attesi al suolo, in campo libero, in riferimento alle coordinate di sito, alla classe d'uso delle strutture (IV), alla loro vita nominale Vn (50), ad una topografia pianeggiante (T1) ed alla categoria sismica di sottosuolo (B),

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

consente di ottenere, per lo stato limite di progettazione (SLV), un'accelerazione a_{max} pari a 0,205 g, nettamente superiore al limite suddetto.

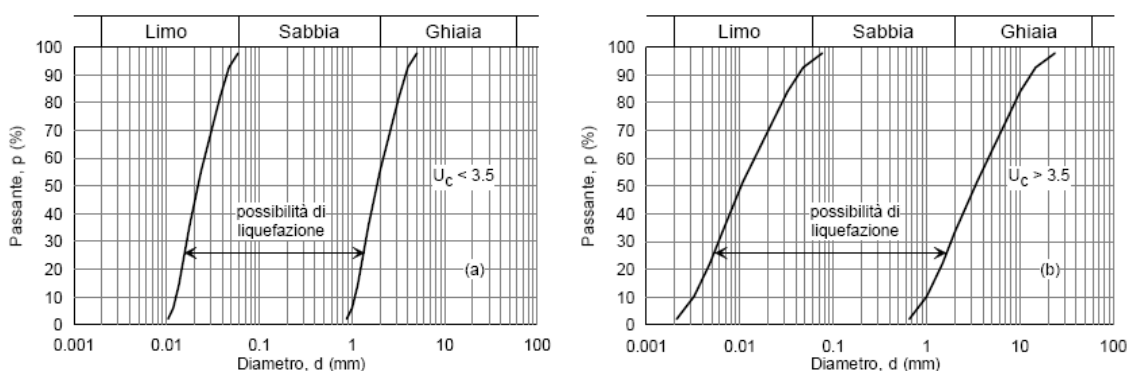
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

Come descritto in precedenza la falda è stata rinvenuta a profondità nell'ordine di 3 metri dal p.c.

- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e dove qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

I valori di $(N_1)_{60}$, calcolati con la formula proposta da Skempton, sulle verticali investigate, risultano inferiori a 30 solo nelle porzioni estremamente superficiali dei depositi investigati.

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura che segue, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



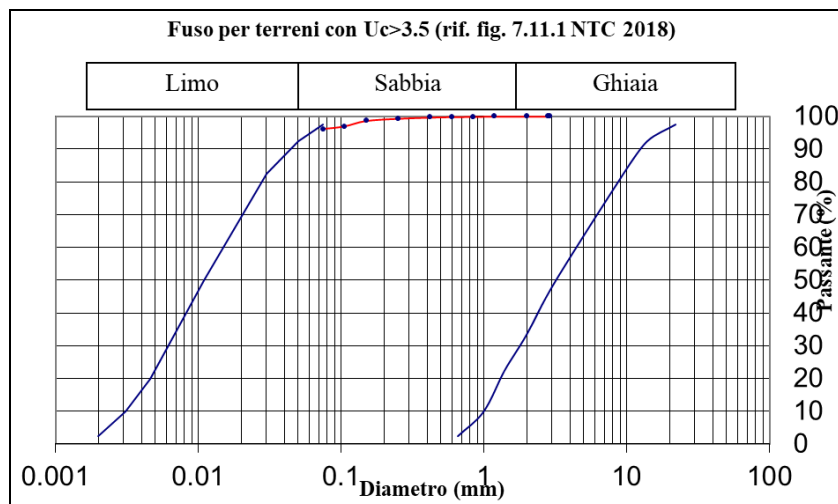
Distribuzione granulometrica con terreni con $U_c < 3,5$ e $U_c > 3,5$

La curva granulometrica ottenuta dalla prova di laboratorio è stata riportata negli abachi soprastanti e confrontati con i fusi granulometrici di normativa di riferimento, considerando

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

quelli per un coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ in quanto nel campione è stata riscontrata questa peculiarità.

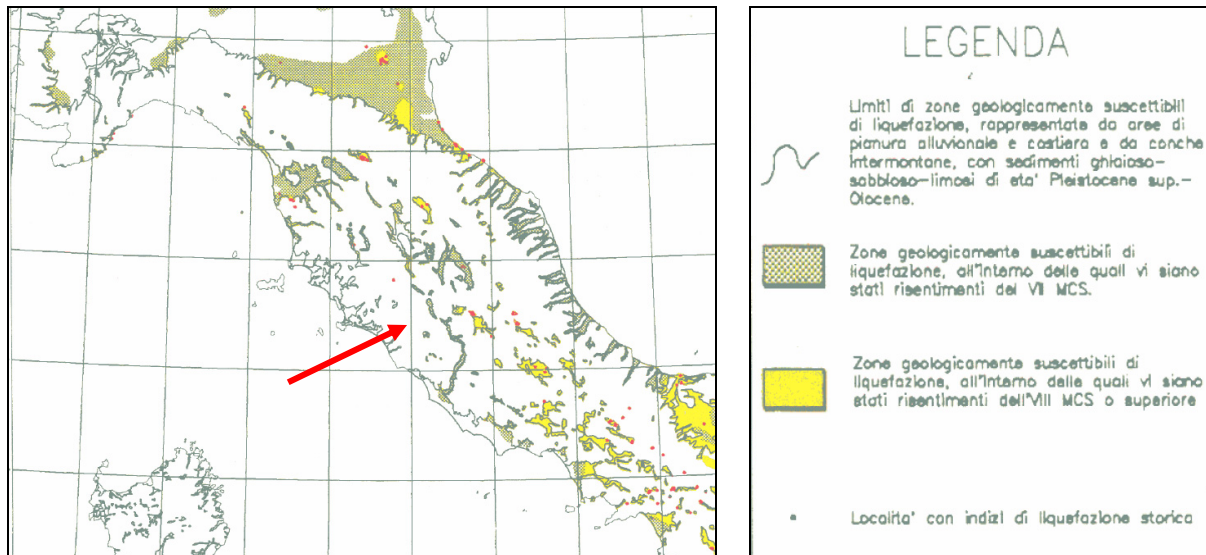
Sondaggio S2 - Campione 1 – Profondità 1,8-2,3 m. da p.c.



Il gráfico mette in luce chiaramente come nel campione prelevato ci sia una componente a granulometria fine che non consente di classificare i depositi come sabbie pulite ma bensì come limi sabbiosi; in relazione a ciò appare improbabile che si possano verificare fenomeni di liquefazione.

Ad ulteriore conferma di quanto suddetto è possibile comunque considerare una verifica di tipo storico nell'area in esame. Le verifiche di questo tipo sono fra i metodi di carattere semi-empirico, come da indicazioni della Circolare 617/2009 del CLSP, insieme all'approccio geologico, di composizione e di stato fisico. Dall'analisi dello studio redatto da Galli e Meloni, pubblicato sulla rivista "Il Quaternario", denominato "Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia", si è potuto verificare come l'area in esame non risulti storicamente ascrivibile fra le zone interessate da fenomeni di liquefazione.

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.



Mappa delle zone geologicamente suscettibili a liquefazione e relativa legenda. Nella freccia l'area in esame

Come noto infatti, la liquefazione tende a ripetersi negli stessi siti dove ci sono notizie storiche che tali fenomeni si siano già verificati, escludendo, in sostanza la possibilità che gli stessi si verificino nella zona in studio.

10. CONCLUSIONI

Il presente studio è volto alla caratterizzazione geologico-tecnica e sismica di un'area interessata da un progetto per la realizzazione di due edifici adiacenti che ospiteranno un impianto industriale.

Lo studio ha messo in luce quanto di seguito riassunto:

- La morfologia dei luoghi vede la presenza di un blando versante, esposto in direzione Nord, che si sviluppa con pendenze piuttosto contenute, nell'ordine medio del 3-4%, in direzione della valle del Fosso Sanguinara e sulla base di ciò la zona può essere ascritta alla categoria topografica di normativa T1;
- L'area appare morfologicamente stabile e non mostra forme di dissesto né in atto, né pregresse, come anche confermato dal database IFFI e da quello del Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Tevere, all'interno del quale l'area ricade;

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

- Le indagini geognostiche hanno messo in luce uno spessore medio di circa 5 metri di depositi alluvionali limosi, da debolmente a moderatamente addensati, al di sotto dei quali sono state rilevate le piroclastiti del Complesso Vulsino, a granulometria sabbiosa e mediamente addensate. La stratigrafia dell'area, è stata definita nel dettaglio anche attraverso l'analisi dei dati di sondaggio, che mostrano al di sotto dei depositi sopra descritti, uno spessore di lave di circa 6 metri, di colore nerastro e notevolmente compatte, seguite ancora da piroclastiti tufacee da mediamente a ben addensate;
- Nell'ambito dello studio globale dell'area è stata eseguita la realizzazione di alcuni piezometri che hanno permesso di individuare la presenza di una falda sospesa nei depositi superficiali, sostenuta dalle lave compatte sottostanti. La direzione di deflusso è stata definita verso ESE e la profondità della tavola d'acqua sull'areale è compresa fra 1,5 e 3,5 metri da p.c. in relazione alle quote topografiche di campagna. Si sottolinea che le misure sono state eseguite in un periodo autunnale durante il quale non sono state rinvenute forti piogge e pertanto i livelli registrati potrebbero essere oggetto di variazione durante l'anno;
- Il sondaggio meccanico S5 spinto fino alla profondità di 30 m è stato attrezzato per la prova Down-Hole che è stata eseguita in data 31/11/2020, e ha permesso di definire l'andamento delle Vp e delle Vs per tutto lo spessore investigato.
- Le analisi di risposta sismica locale realizzate mediante elaborazione agli accelerogrammi, hanno consentito di definire gli spettri elastici in accelerazione calcolati per i due stati limite richiesti dal Progettista (SLV e SLD).
- L'analisi delle condizioni idrogeologiche, stratigrafiche e litotecniche, ha permesso di escludere che, in caso di sisma, si possano verificare fenomeni di liquefazione nei terreni di sedime delle future opere;

Data la morfologia dell'area, preliminarmente alla realizzazione dei fabbricati che interesseranno la zona, dovranno essere eseguite opere di rimodellamento morfologico atte a rendere fruibile l'area in termini di logistica e viabilità. A tal proposito, come da progetto, si

Studio idrogeologico di un'area in loc. Pian di Giorgio, nel Comune di Viterbo (VT), interessato dalla realizzazione di edifici industriali. Novembre 2020.

prevede di livellare le quote di sito intorno alla isoipsa 289 m. s.l.m. e, in relazione alle quote topografiche di sito, si prevede di realizzare riporti di terreno compattato, fino ad incrementi massimi di circa 4,5 metri, nella porzione NW del lotto.

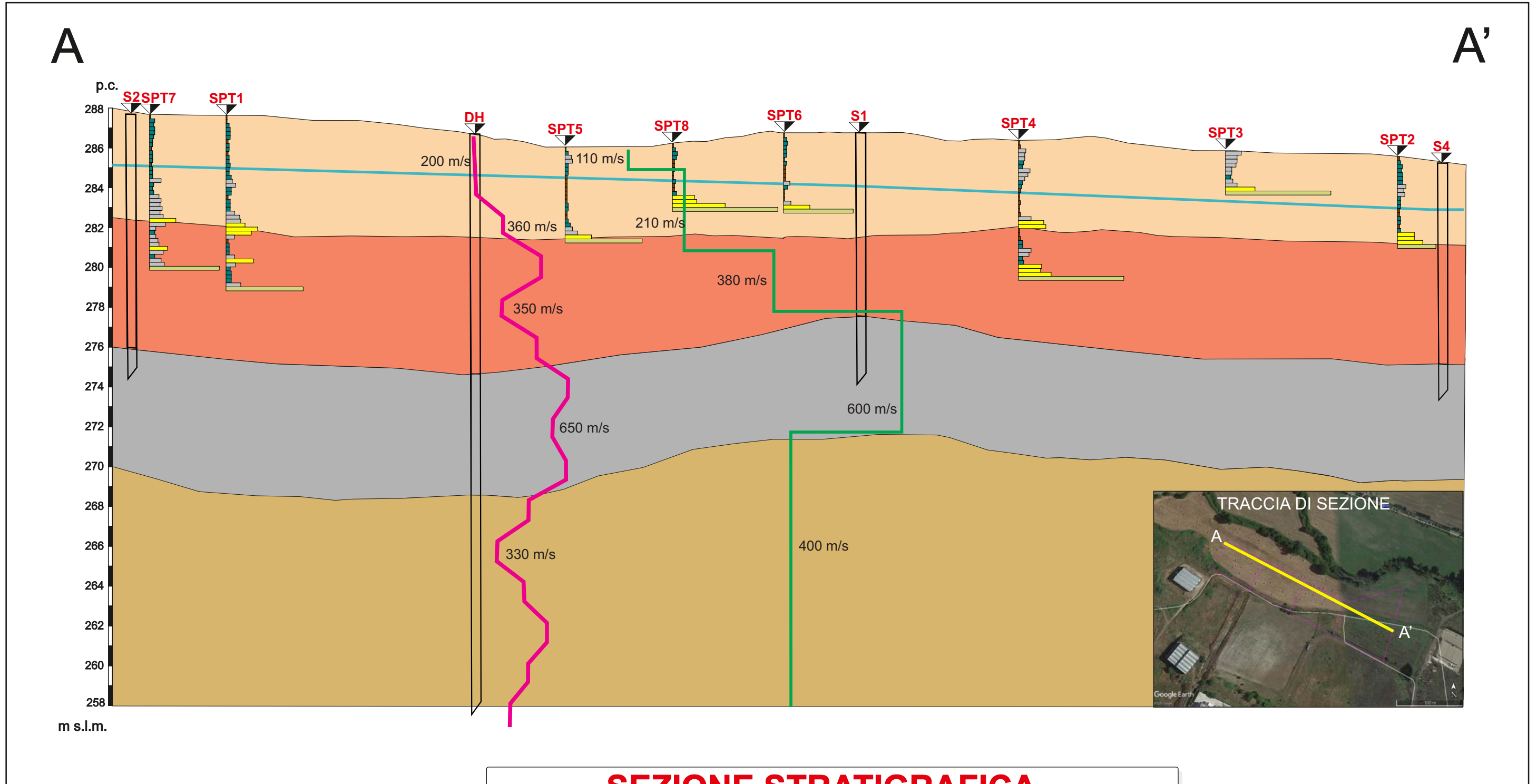
Da progetto si prevede la realizzazione di diversi interventi, volti a ridurre i dislivelli topografici. In merito a questa scelta progettuale si ritiene opportuno sottolineare l'esigenza di predisporre il terreno di riporti in strati, che dovranno essere debitamente rullati e compattati, al fine di garantire l'angolo di scarpa di progetto. La superficie del nuovo versante dovrà essere adeguatamente rinverdata mediante procedure quali l'idrosemina, garantendo un rapido accrescimento del manto erboso che potrà limitare fortemente fenomeni erosivi connessi al ruscellamento superficiale. Sarà inoltre opportunamente realizzato un sistema di raccolta e convogliamento delle acque di ruscellamento verso il Fosso della Sanguinara, al fine di evitare fenomeni di ristagno.

In fede

S.Te.G.A.
Tecnologie per la Geologia e l'Ambiente
Dott. Geol. Matteo Pelorosso

REGIONE LAZIO
COMUNE DI VITERBO

(Provincia di Viterbo)
 Località Pian di Giorgio



SEZIONE STRATIGRAFICA

Legenda

- Coperture alluvionali e tufacee alterate/rimaneggiate
- Piroclastiti con alternanze di livelli più e meno addensati
- Lave
- Tufi da mediamente a ben addensati

- Istogramma prove penetrometriche
- Profilo di Vs
- Profilo di Vs DH
- Quota piezometrica

Scala Verticale 1:200
 Scala orizzontale 1:1000

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 1

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio
 - note : 42°29'16.80"N - 12°06'33.10"E

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	4,40 - 4,60	4	29,0	----	6
0,20 - 0,40	1	10,5	----	1	4,60 - 4,80	4	29,0	----	6
0,40 - 0,60	3	28,9	----	2	4,80 - 5,00	8	58,1	----	6
0,60 - 0,80	4	38,6	----	2	5,00 - 5,20	13	94,3	----	6
0,80 - 1,00	4	38,6	----	2	5,20 - 5,40	14	101,6	----	6
1,00 - 1,20	4	38,6	----	2	5,40 - 5,60	18	123,0	----	7
1,20 - 1,40	2	19,3	----	2	5,60 - 5,80	30	205,0	----	7
1,40 - 1,60	3	26,7	----	3	5,80 - 6,00	24	164,0	----	7
1,60 - 1,80	3	26,7	----	3	6,00 - 6,20	8	54,7	----	7
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	6,20 - 6,40	2	13,7	----	7
2,00 - 2,20	3	26,7	----	3	6,40 - 6,60	3	19,4	----	8
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3	6,60 - 6,80	3	19,4	----	8
2,40 - 2,60	4	33,1	----	4	6,80 - 7,00	3	19,4	----	8
2,60 - 2,80	3	24,8	----	4	7,00 - 7,20	8	51,7	----	8
2,80 - 3,00	3	24,8	----	4	7,20 - 7,40	26	167,9	----	8
3,00 - 3,20	5	41,4	----	4	7,40 - 7,60	9	55,1	----	9
3,20 - 3,40	6	49,7	----	4	7,60 - 7,80	4	24,5	----	9
3,40 - 3,60	9	69,6	----	5	7,80 - 8,00	5	30,6	----	9
3,60 - 3,80	5	38,7	----	5	8,00 - 8,20	5	30,6	----	9
3,80 - 4,00	5	38,7	----	5	8,20 - 8,40	5	30,6	----	9
4,00 - 4,20	2	15,5	----	5	8,40 - 8,60	14	81,4	----	10
4,20 - 4,40	4	30,9	----	5	8,60 - 8,80	100	581,7	----	10

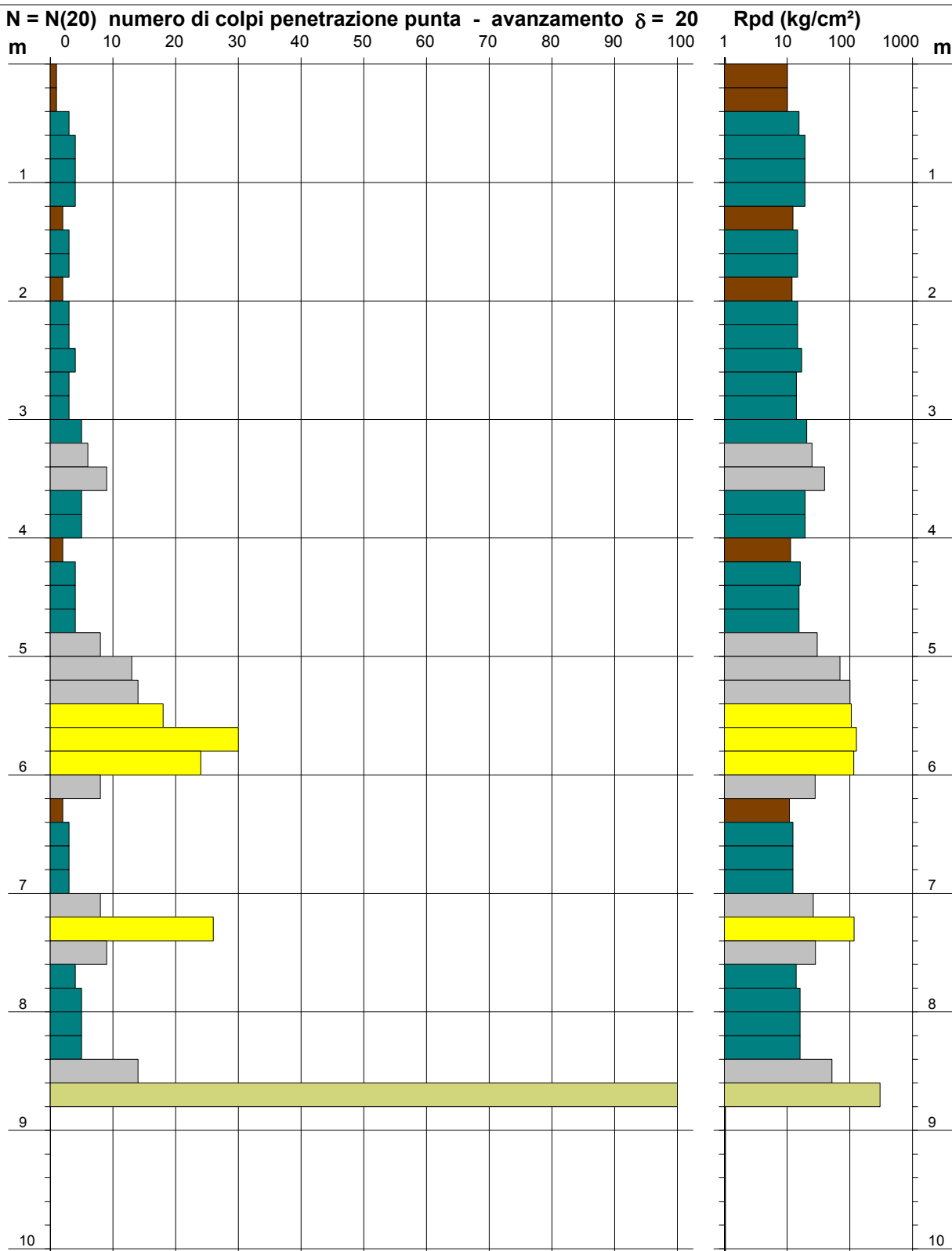
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 1

Scala 1: 50

- indagine : geognostica - data : 01/10/2020
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale - quota inizio :
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 2

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio
 - note : 42°29'12.59"N - 12°06'43.57"E

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	2	21,0	----	1	2,40 - 2,60	3	24,8	----	4
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	2,60 - 2,80	2	16,6	----	4
0,40 - 0,60	5	48,2	----	2	2,80 - 3,00	2	16,6	----	4
0,60 - 0,80	4	38,6	----	2	3,00 - 3,20	3	24,8	----	4
0,80 - 1,00	5	48,2	----	2	3,20 - 3,40	3	24,8	----	4
1,00 - 1,20	5	48,2	----	2	3,40 - 3,60	2	15,5	----	5
1,20 - 1,40	5	48,2	----	2	3,60 - 3,80	3	23,2	----	5
1,40 - 1,60	8	71,3	----	3	3,80 - 4,00	16	123,8	----	5
1,60 - 1,80	6	53,5	----	3	4,00 - 4,20	16	123,8	----	5
1,80 - 2,00	7	62,4	----	3	4,20 - 4,40	24	185,7	----	5
2,00 - 2,20	3	26,7	----	3	4,40 - 4,60	100	725,7	----	6
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

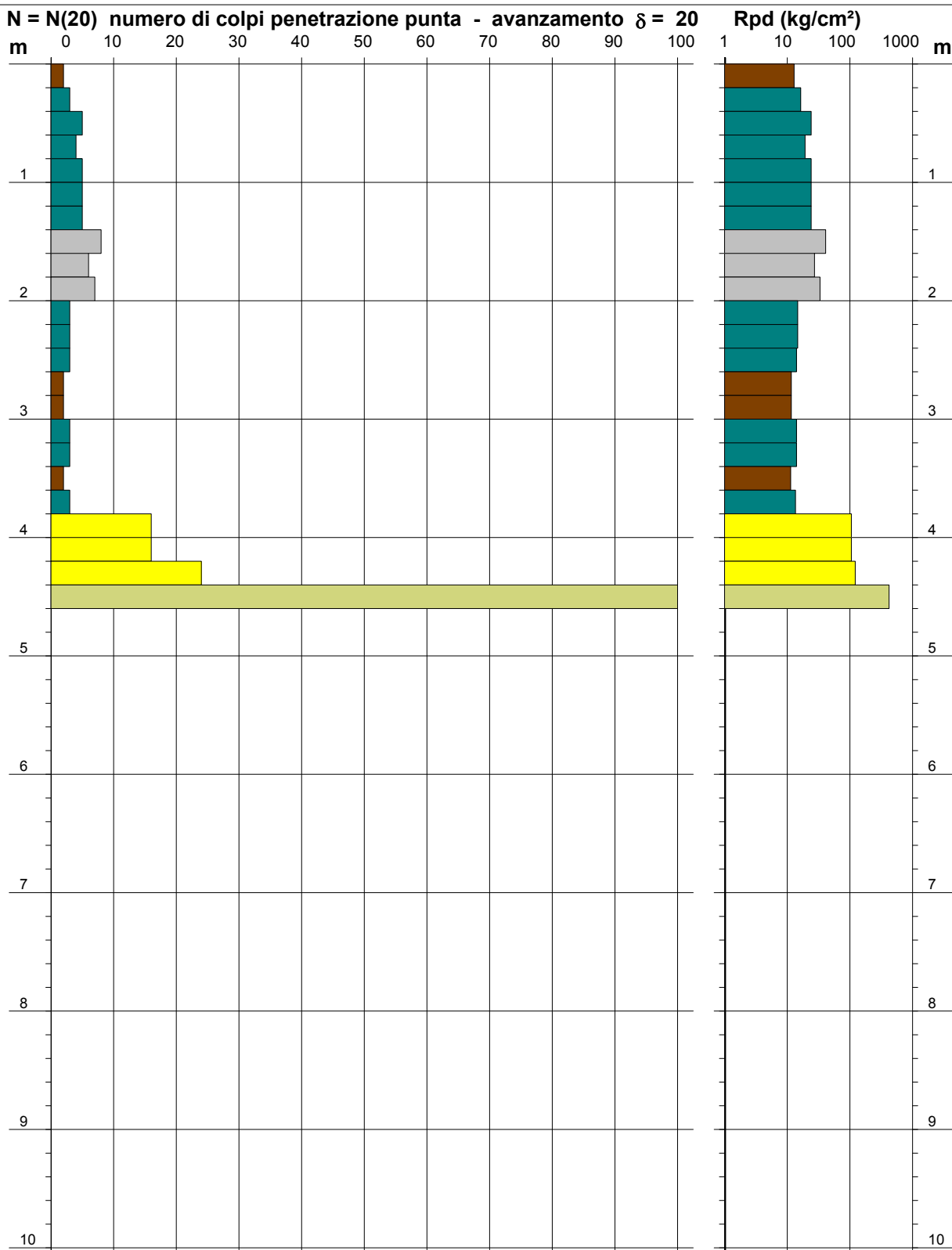
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 2

Scala 1: 50

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 3

- indagine : geognostica - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio - note : 42°29'13.46"N - 12°06'33.10"E	- data : 01/10/2020 - quota inizio : - prof. falda : Falda non rilevata - pagina : 1
--	---

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	15	157,6	----	1	1,20 - 1,40	5	48,2	----	2
0,20 - 0,40	11	115,6	----	1	1,40 - 1,60	7	62,4	----	3
0,40 - 0,60	11	106,1	----	2	1,60 - 1,80	11	98,0	----	3
0,60 - 0,80	10	96,4	----	2	1,80 - 2,00	28	249,5	----	3
0,80 - 1,00	6	57,9	----	2	2,00 - 2,20	100	891,1	----	3
1,00 - 1,20	6	57,9	----	2					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

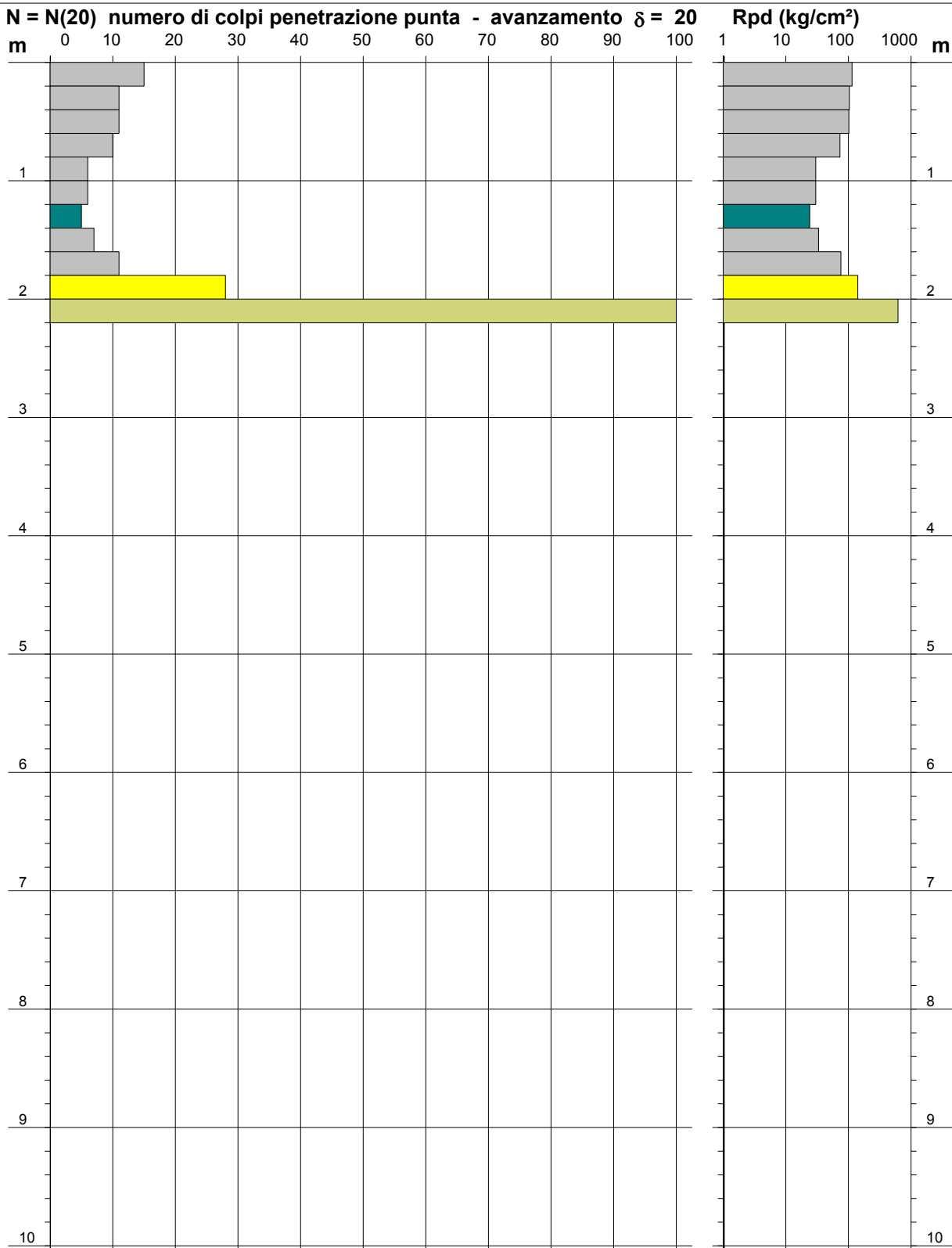
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd**

n° 3

Scala 1: 50

- indagine : geognostica
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio

- data : 01/10/2020
- quota inizio :
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 4

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio
 - note : 42°29'16.80"N - 12°06'33.10"E

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	3,60 - 3,80	2	15,5	----	5
0,20 - 0,40	2	21,0	----	1	3,80 - 4,00	12	92,8	----	5
0,40 - 0,60	7	67,5	----	2	4,00 - 4,20	24	185,7	----	5
0,60 - 0,80	6	57,9	----	2	4,20 - 4,40	26	201,1	----	5
0,80 - 1,00	6	57,9	----	2	4,40 - 4,60	1	7,3	----	6
1,00 - 1,20	5	48,2	----	2	4,60 - 4,80	1	7,3	----	6
1,20 - 1,40	4	38,6	----	2	4,80 - 5,00	2	14,5	----	6
1,40 - 1,60	11	98,0	----	3	5,00 - 5,20	4	29,0	----	6
1,60 - 1,80	9	80,2	----	3	5,20 - 5,40	4	29,0	----	6
1,80 - 2,00	6	53,5	----	3	5,40 - 5,60	12	82,0	----	7
2,00 - 2,20	4	35,6	----	3	5,60 - 5,80	10	68,3	----	7
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3	5,80 - 6,00	4	27,3	----	7
2,40 - 2,60	2	16,6	----	4	6,00 - 6,20	5	34,2	----	7
2,60 - 2,80	1	8,3	----	4	6,20 - 6,40	22	150,4	----	7
2,80 - 3,00	1	8,3	----	4	6,40 - 6,60	21	135,6	----	8
3,00 - 3,20	2	16,6	----	4	6,60 - 6,80	31	200,2	----	8
3,20 - 3,40	1	8,3	----	4	6,80 - 7,00	100	645,8	----	8
3,40 - 3,60	1	7,7	----	5					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

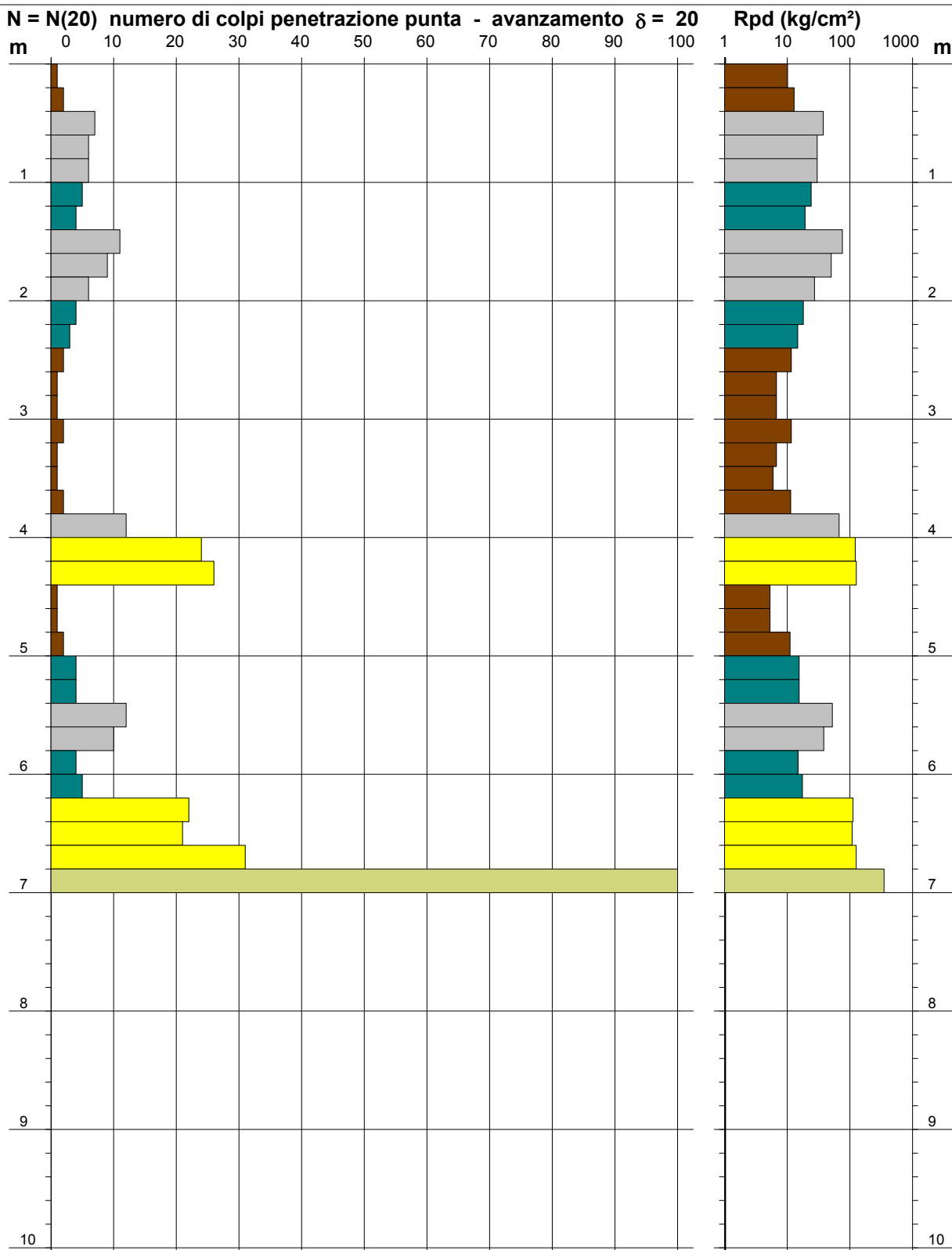
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 4

Scala 1: 50

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 5

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio
 - note : 42°29'16.80"N - 12°06'33.10"E

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	2,40 - 2,60	2	16,6	----	4
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	2,60 - 2,80	2	16,6	----	4
0,40 - 0,60	6	57,9	----	2	2,80 - 3,00	3	24,8	----	4
0,60 - 0,80	7	67,5	----	2	3,00 - 3,20	3	24,8	----	4
0,80 - 1,00	3	28,9	----	2	3,20 - 3,40	2	16,6	----	4
1,00 - 1,20	3	28,9	----	2	3,40 - 3,60	2	15,5	----	5
1,20 - 1,40	3	28,9	----	2	3,60 - 3,80	3	23,2	----	5
1,40 - 1,60	2	17,8	----	3	3,80 - 4,00	5	38,7	----	5
1,60 - 1,80	2	17,8	----	3	4,00 - 4,20	7	54,1	----	5
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	4,20 - 4,40	12	92,8	----	5
2,00 - 2,20	2	17,8	----	3	4,40 - 4,60	25	181,4	----	6
2,20 - 2,40	2	17,8	----	3	4,60 - 4,80	100	725,7	----	6

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

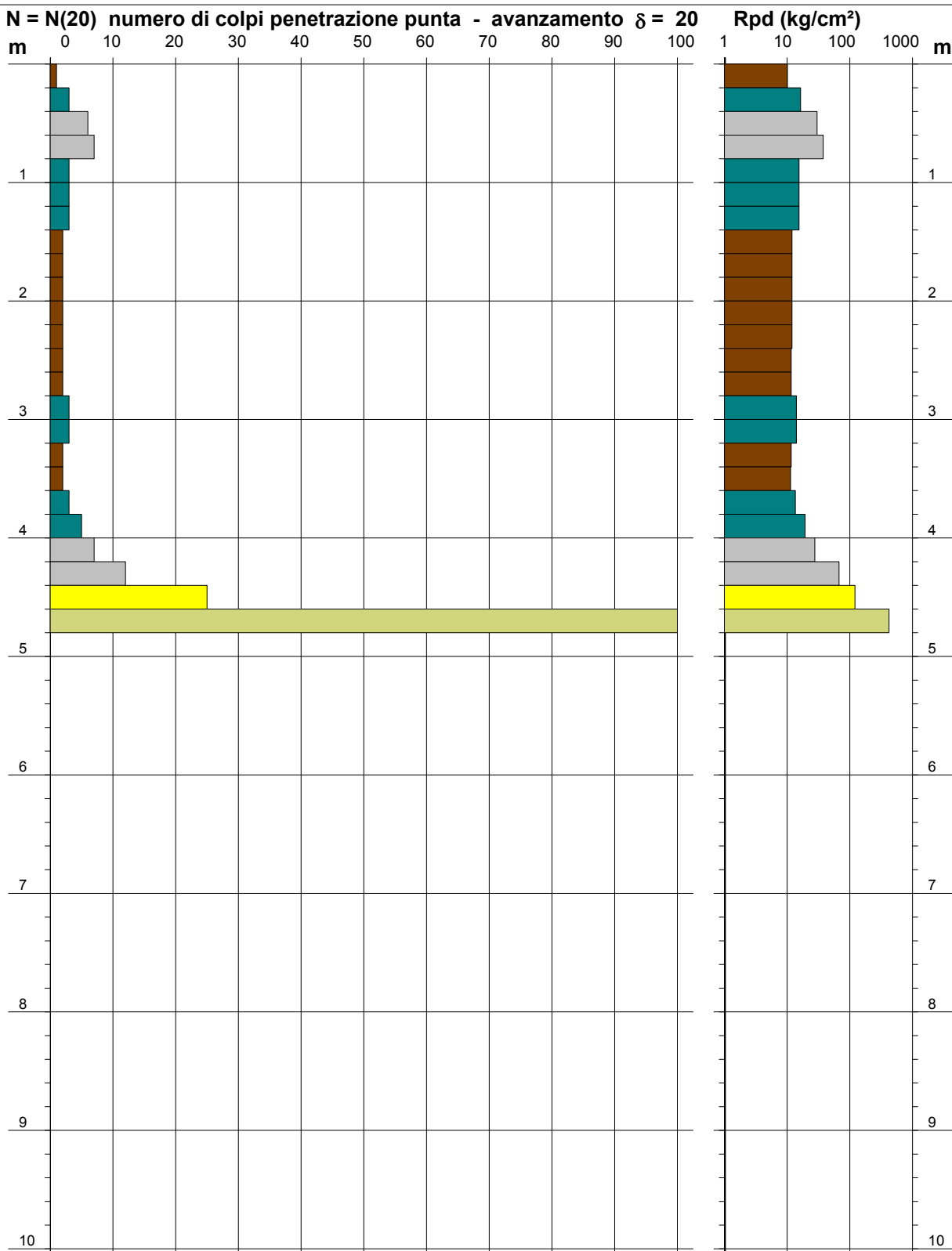
- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 5

Scala 1: 50

- indagine : geognostica - data : 01/10/2020
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale - quota inizio :
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 6

- indagine : geognostica
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio
 - note : 42°29'16.80"N - 12°06'33.10"E

- data : 01/10/2020
 - quota inizio :
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	2,00 - 2,20	2	17,8	----	3
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	2,20 - 2,40	2	17,8	----	3
0,40 - 0,60	4	38,6	----	2	2,40 - 2,60	6	49,7	----	4
0,60 - 0,80	3	28,9	----	2	2,60 - 2,80	4	33,1	----	4
0,80 - 1,00	3	28,9	----	2	2,80 - 3,00	1	8,3	----	4
1,00 - 1,20	3	28,9	----	2	3,00 - 3,20	1	8,3	----	4
1,20 - 1,40	1	9,6	----	2	3,20 - 3,40	1	8,3	----	4
1,40 - 1,60	3	26,7	----	3	3,40 - 3,60	7	54,1	----	5
1,60 - 1,80	2	17,8	----	3	3,60 - 3,80	25	193,4	----	5
1,80 - 2,00	2	17,8	----	3	3,80 - 4,00	100	773,6	----	5

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]

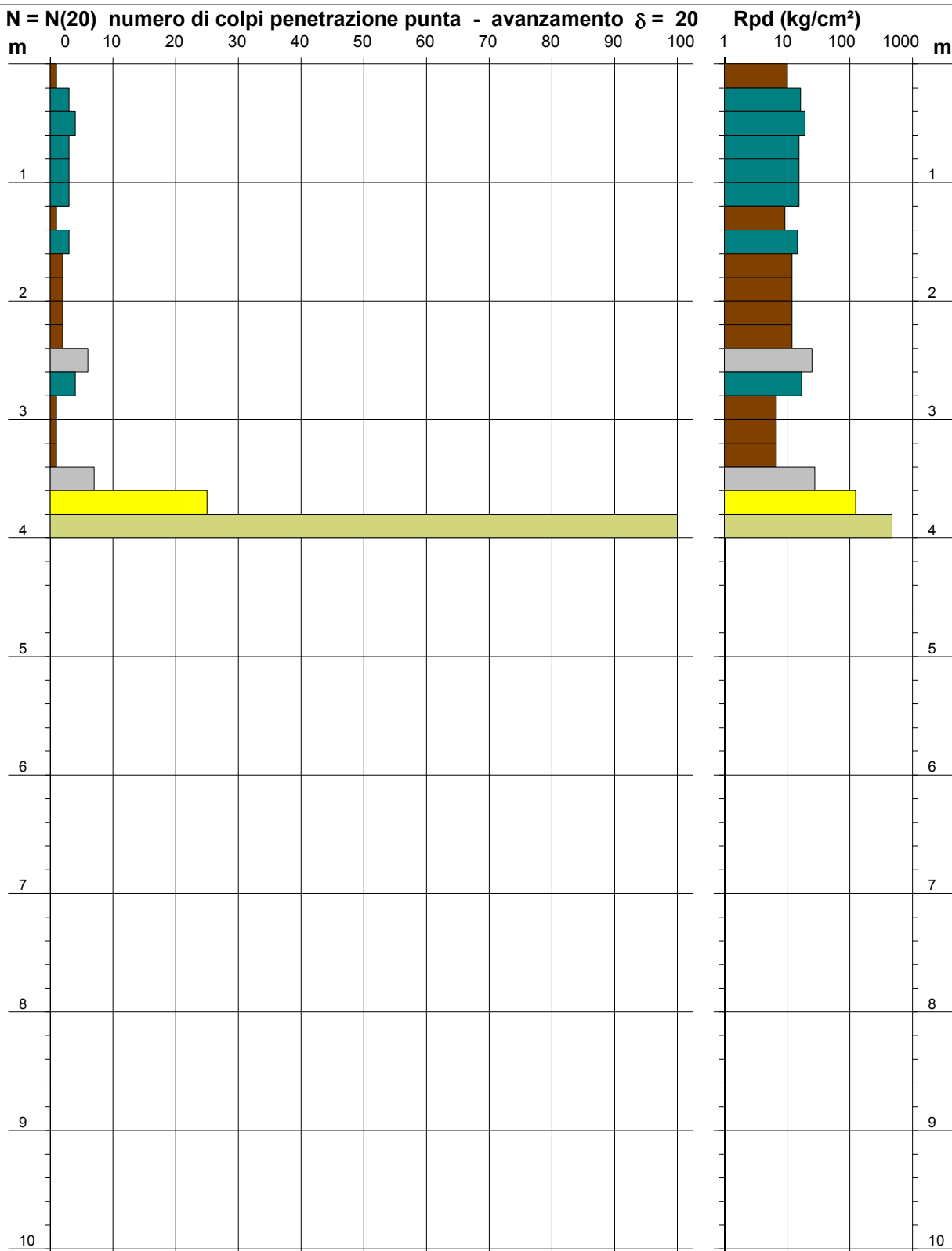
- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 6

Scala 1: 50

- indagine : geognostica - data : 01/10/2020
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale - quota inizio :
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 7

- indagine : geognostica	- data : 01/10/2020
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale	- quota inizio :
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio	- prof. falda : Falda non rilevata
- note : 42°29'16.80"N - 12°06'33.10"E	- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	4,00 - 4,20	9	69,6	----	5
0,20 - 0,40	5	52,5	----	1	4,20 - 4,40	11	85,1	----	5
0,40 - 0,60	4	38,6	----	2	4,40 - 4,60	10	72,6	----	6
0,60 - 0,80	5	48,2	----	2	4,60 - 4,80	12	87,1	----	6
0,80 - 1,00	5	48,2	----	2	4,80 - 5,00	10	72,6	----	6
1,00 - 1,20	4	38,6	----	2	5,00 - 5,20	13	94,3	----	6
1,20 - 1,40	3	28,9	----	2	5,20 - 5,40	25	181,4	----	6
1,40 - 1,60	3	26,7	----	3	5,40 - 5,60	15	102,5	----	7
1,60 - 1,80	2	17,8	----	3	5,60 - 5,80	6	41,0	----	7
1,80 - 2,00	3	26,7	----	3	5,80 - 6,00	5	34,2	----	7
2,00 - 2,20	3	26,7	----	3	6,00 - 6,20	6	41,0	----	7
2,20 - 2,40	3	26,7	----	3	6,20 - 6,40	8	54,7	----	7
2,40 - 2,60	2	16,6	----	4	6,40 - 6,60	9	58,1	----	8
2,60 - 2,80	3	24,8	----	4	6,60 - 6,80	17	109,8	----	8
2,80 - 3,00	3	24,8	----	4	6,80 - 7,00	13	84,0	----	8
3,00 - 3,20	3	24,8	----	4	7,00 - 7,20	5	32,3	----	8
3,20 - 3,40	11	91,1	----	4	7,20 - 7,40	11	71,0	----	8
3,40 - 3,60	4	30,9	----	5	7,40 - 7,60	14	85,7	----	9
3,60 - 3,80	3	23,2	----	5	7,60 - 7,80	100	612,1	----	9
3,80 - 4,00	4	30,9	----	5					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

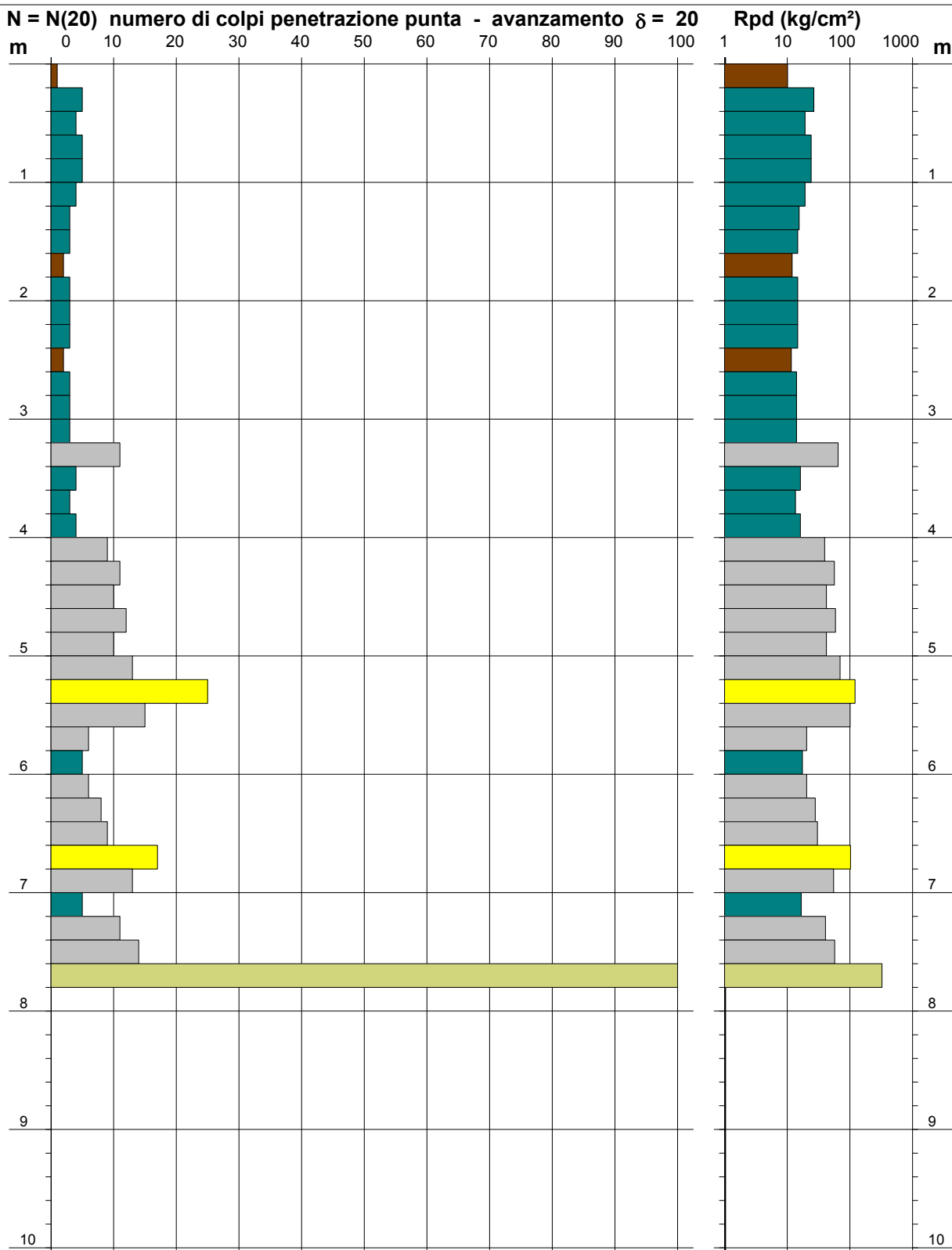
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 7

Scala 1: 50

- indagine : geognostica
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio

- data : 01/10/2020
- quota inizio :
- prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**

- M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(20) [$\delta = 20$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 8

- indagine : geognostica	- data : 01/10/2020
- cantiere : Realizzazione di un impianto industriale	- quota inizio :
- località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio	- prof. falda : Falda non rilevata
- note : 42°29'16.80"N - 12°06'33.10"E	- pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,20	1	10,5	----	1	1,80 - 2,00	3	26,7	----	3
0,20 - 0,40	3	31,5	----	1	2,00 - 2,20	2	17,8	----	3
0,40 - 0,60	5	48,2	----	2	2,20 - 2,40	2	17,8	----	3
0,60 - 0,80	4	38,6	----	2	2,40 - 2,60	4	33,1	----	4
0,80 - 1,00	2	19,3	----	2	2,60 - 2,80	21	173,9	----	4
1,00 - 1,20	2	19,3	----	2	2,80 - 3,00	23	190,5	----	4
1,20 - 1,40	2	19,3	----	2	3,00 - 3,20	50	414,1	----	4
1,40 - 1,60	1	8,9	----	3	3,20 - 3,40	100	828,2	----	4
1,60 - 1,80	1	8,9	----	3					

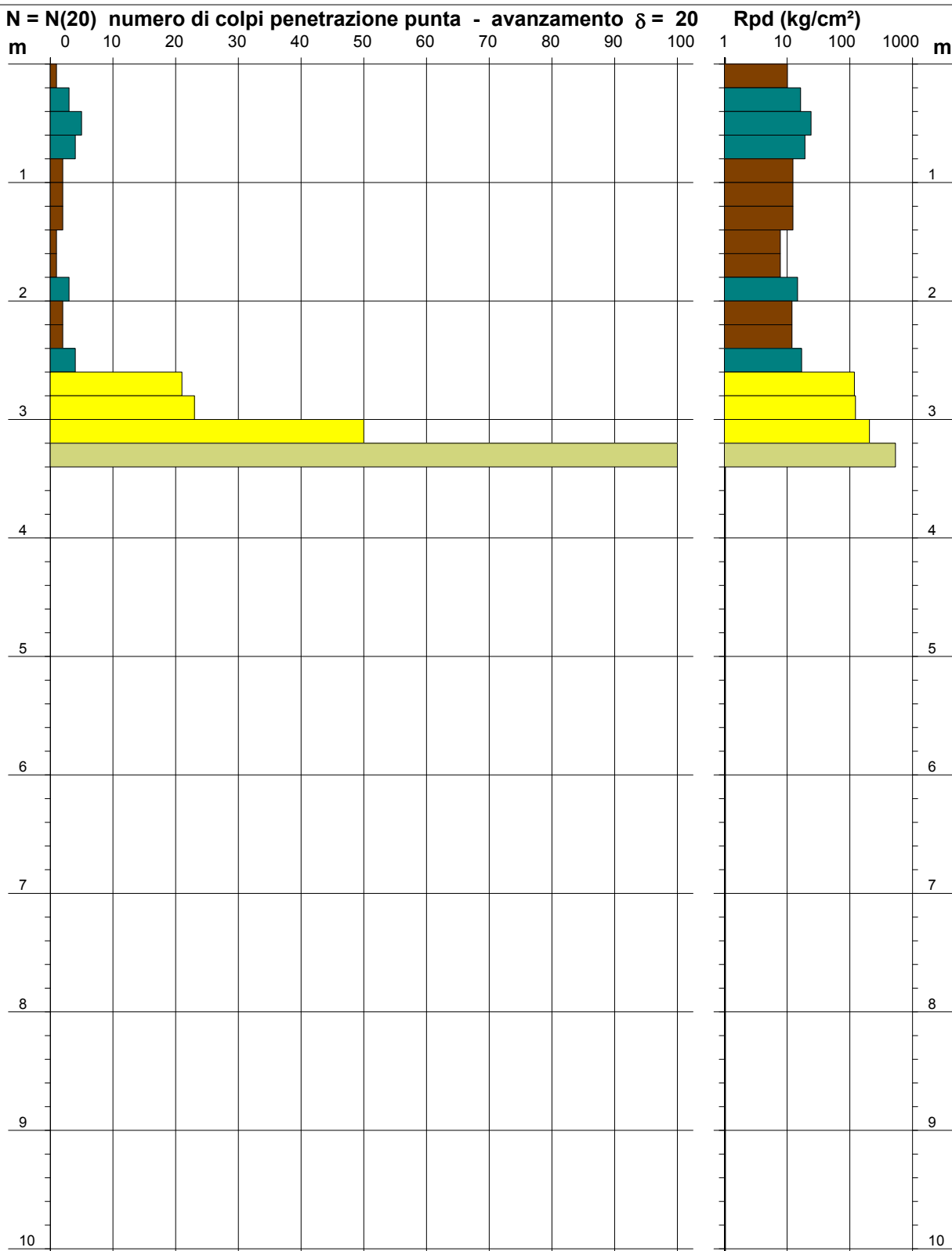
- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**- M (massa battente)= **63,50** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm- Numero Colpi Punta N = N(**20**) [δ = 20 cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 8

Scala 1: 50

- indagine : geognostica - data : 01/10/2020
 - cantiere : Realizzazione di un impianto industriale - quota inizio :
 - località : Comune di Viterbo - Loc. Pian di Giorgio - prof. falda : Falda non rilevata



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 EML.C**
 - M (massa battente)= **63,50 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**
 - Numero Colpi Punta **N = N(20)** [$\delta = 20$ cm] - Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

COMMITTENTE: So.t.ec. S.r.l.

RIFERIMENTO: S.TE.GA

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 1.8-2.3

MODULO RIASSUNTIVO
CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	41.6	%
Peso di volume	16.4	kN/m ³
Peso di volume secco	11.6	kN/m ³
Peso di volume saturo		kN/m ³
Peso specifico		
Indice dei vuoti		
Porosità		%
Grado di saturazione		%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	4.5	%
Limo-Argilla	95.5	%
D 10		mm
D 50		mm
D 60		mm
D 90		mm
Passante set. 10	100.0	%
Passante set. 42	99.7	%
Passante set. 200	96.0	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k cm/sec

COMPRESSIONE

σ	kPa	σ Rim	kPa
C_u	kPa	C_u Rim	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	13.7	kPa	ϕ' 27.6 °
c' Res		kPa	ϕ' Res °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	C_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	C'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	C_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	C_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Limo argilloso di colore da marrone a marrone chiaro. Presenza di minerali vulcanici

**GEORES srl**Via Marittima 406 - 03100 Frosinone
tel. 0775 871376 - fax. 0775 200685
laboratorio@geores.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA TUV AUSTRIACertificazione Ufficiale-Settore A e B- Prove di laboratorio su terre e rocce
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Decreto 150/15-06-2016 - Circolare 7618/STC/2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06726	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/11/20	Inizio analisi: 16/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 800 del 10/11/20		Apertura campione: 16/11/20	Fine analisi: 17/11/20

COMMITTENTE: So.t.ec. S.r.l.		
RIFERIMENTO: S.TE.GA		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 1.8-2.3

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 41.6 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Limo argilloso di colore da marrone a marrone chiaro. Presenza di minerali vulcanici

**GEORES srl**Via Marittima 406 - 03100 Frosinone
tel. 0775 871376 - fax. 0775 200685
laboratorio@geores.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA TUV AUSTRIACertificazione Ufficiale-Settore A e B- Prove di laboratorio su terre e rocce
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Decreto 150/15-06-2016 - Circolare 7618/STC/2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06727	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/11/20	Inizio analisi: 17/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 800 del 10/11/20		Apertura campione: 16/11/20	Fine analisi: 17/11/20

COMMITTENTE: So.t.ec. S.r.l.		
RIFERIMENTO: S.TE.GA		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 1.8-2.3

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 16.4 kN/m³

Limo argilloso di colore da marrone a marrone chiaro. Presenza di minerali vulcanici

**GEORES srl**Via Marittima 406 - 03100 Frosinone
tel. 0775 871376 - fax. 0775 200685
laboratorio@geores.itAZIENDA CON
SISTEMA DI GESTIONE QUALITA'
UNI EN ISO 9001:2015
CERTIFICATO DA TUV AUSTRIACertificazione Ufficiale-Settore A e B- Prove di laboratorio su terre e rocce
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
Decreto 150/15-06-2016 - Circolare 7618/STC/2010

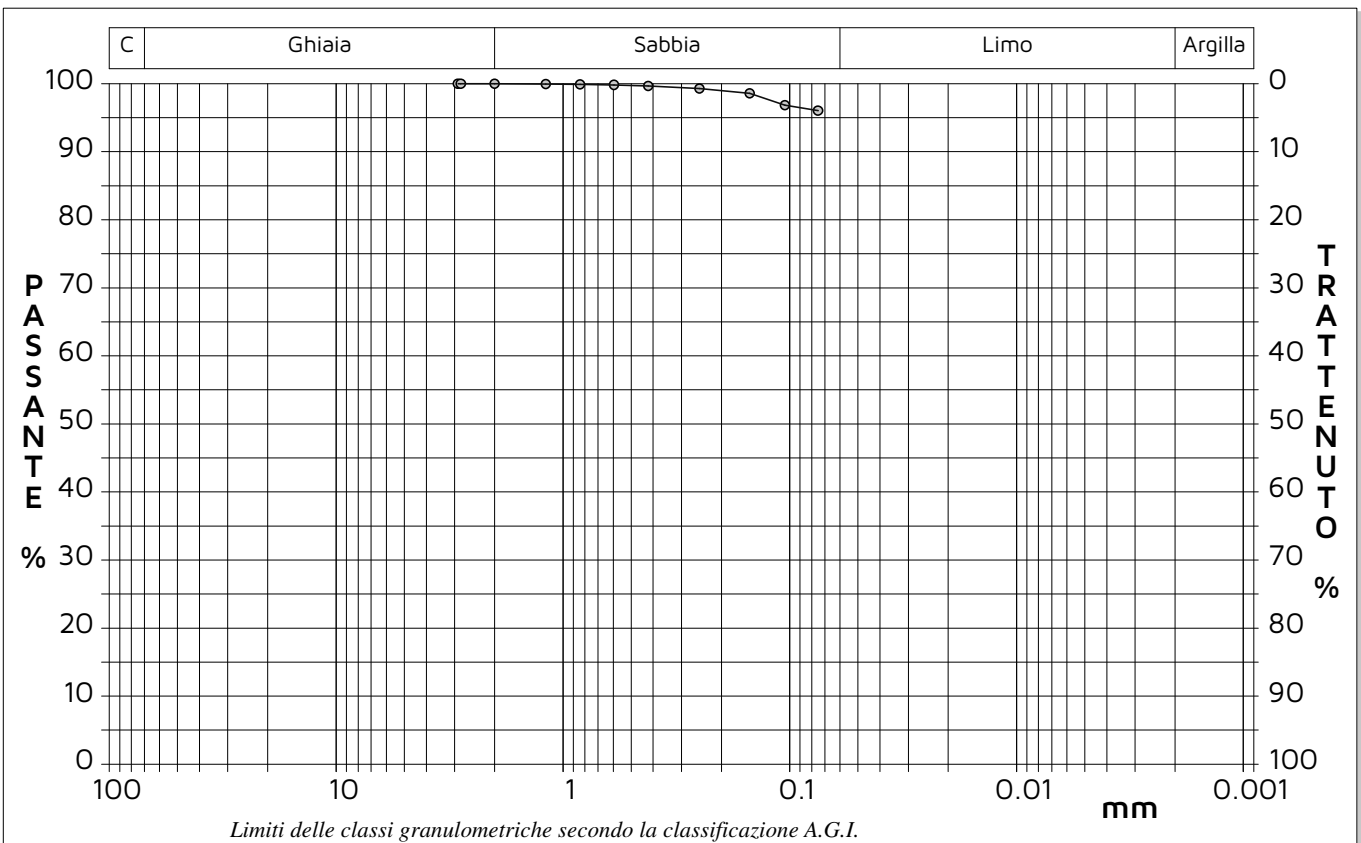
CERTIFICATO DI PROVA N°: 06728	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/11/20	Inizio analisi: 19/11/20
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 800 del 10/11/20		Apertura campione: 16/11/20	Fine analisi: 21/11/20

COMMITTENTE: So.t.ec. S.r.l.		
RIFERIMENTO: S.TE.GA		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 1.8-2.3

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	0.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100.0 %	D10	---	mm
Sabbia	4.5 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99.7 %	D30	---	mm
Limo-Argilla	95.5 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	96.0 %	D50	---	mm
				D60	---	mm
				D90	---	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura		---	



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
2.9000	100.00	0.5950	99.82	0.0750	96.05				
2.8200	99.99	0.4200	99.67						
2.0000	99.98	0.2500	99.29						
1.1900	99.94	0.1500	98.59						
0.8410	99.91	0.1050	96.84						

Limo argilloso di colore da marrone a marrone chiaro. Presenza di minerali vulcanici

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06729 Pagina 1/2

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 800 del 10/11/20

DATA DI EMISSIONE: 24/11/20

Inizio analisi: 17/11/20

Apertura campione: 16/11/20

Fine analisi: 19/11/20

COMMITTENTE: So.t.ec. S.r.l.

RIFERIMENTO: S.TE.GA

SONDAGGIO: S1

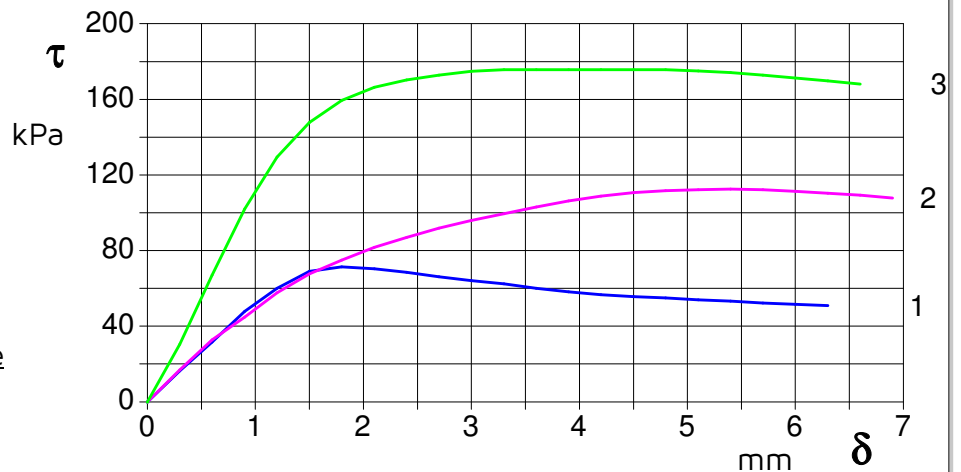
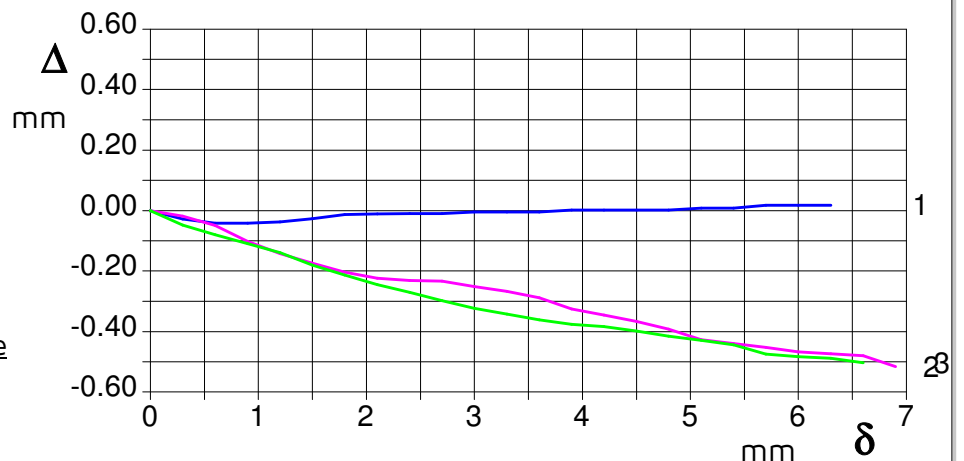
CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 1.8-2.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100.0	200.0	300.0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	45.1 48.2	42.4 39.2	40.9 38.3
Peso di volume (kN/m ³):	16.6	16.4	16.1
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0.008 mm / min		

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale


Limo argilloso di colore da marrone a marrone chiaro. Presenza di minerali vulcanici

ALLEGATO PROVA DI TAGLIO DIRETTO Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 800 del 10/11/20

DATA DI EMISSIONE: 24/11/20

Inizio analisi: 17/11/20

Apertura campione: 16/11/20

Fine analisi: 19/11/20

COMMITTENTE: So.t.ec. S.r.l.

RIFERIMENTO: S.TE.GA

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 1.8-2.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	100	200	300
Tensione a rottura (kPa):	71	112	176
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	1.80	5.40	3.30
Deformazione verticale a rottura (mm):	-0.01	-0.44	-0.34
Umidità iniziale e umidità finale (%):	45.1 48.2	42.4 39.2	40.9 38.3
Peso di volume (kN/m³):	16.6	16.4	16.1

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

 Coesione: **13.7 kPa**
 Angolo di attrito interno: **27.6 °**

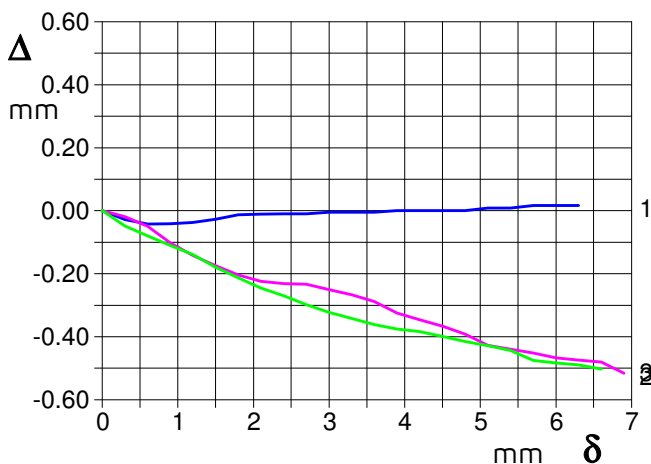
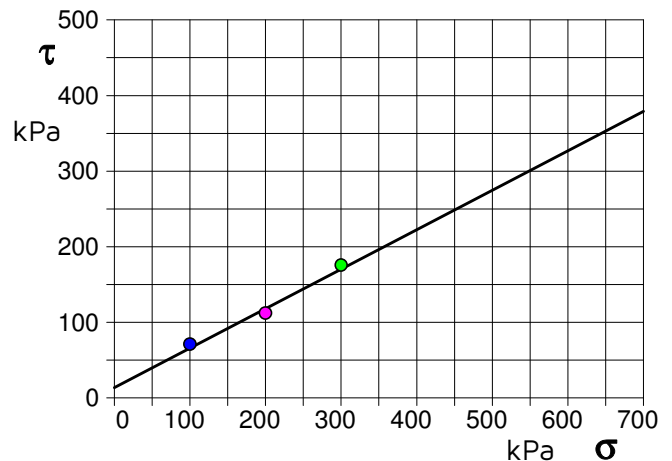
 Tipo di prova: Consolidata - lenta
 Velocità di deformazione: 0.008 mm / min
 Tempo di consolidazione (ore): 24


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

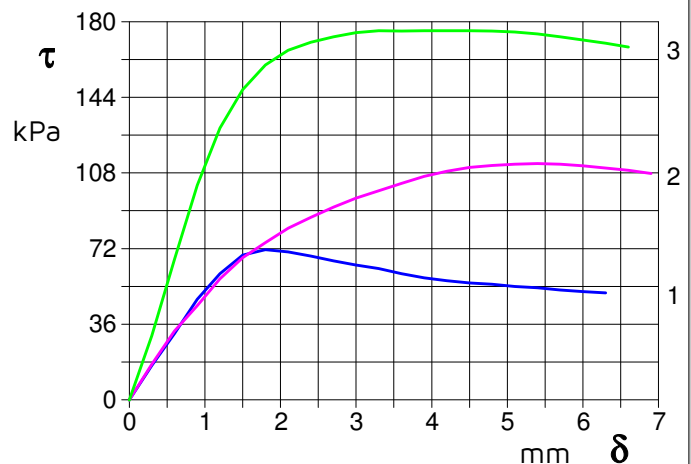


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

Limo argilloso di colore da marrone a marrone chiaro. Presenza di minerali vulcanici

Cantiere: Viterbo- Acqua Rossa - Pian di Giorgio
Committente: GEA Consulting
Metodo perf.: Rotazione a carotaggio continuo
Diametro perforazione: 110 mm

Piezometro n.

1

Quota: **286 metri s.l.m.**

Data ultimazione: **Ottobre 2020**

Profondità	Profondità strato	Stratigrafia	Descrizione Litologica	Campioni	SPT	falda
1	1,00		Terreno agricolo rimaneggiato passante a detriti centimetrici di colore rosso in matrice sabbiosa di origine piroclastica.			
2			Limi, limi sabbiosi giallastri, passanti al letto a sabbie limose al tetto è presente una buona componente argillosa, nei grani piuttosto spigolosi si riconoscono frammenti e minerali di origine vulcanica.		1 - 2 - 2	2.70m
3	3,00					
4			Limi argillosi passanti a sabbie limose color avana con intercalazioni decimetriche di sabbie e ghiaie sciolte. Si riconoscono clasti vulcanici con buon grado di evoluzione.			
5	5,30					
6	6,00		Livello piroclastico di colore rosso vinaccia, buon grado di saldatura.			
	6,30		Sabbie sciolte, granulometria grossolana con clasti arrotondati.			
7			Sabbie limose alternate ad argille e limi organici di colore nero			
	7,60					
8	8,00		Sabbie di origine piroclastica al tetto sciolte e al letto compatte.			
	8,50		Sabbie avana al tetto sciolte con clasti arrotondati.			
9						
10			Lave al tetto aventi aspetto scoriaceo, molto fessurato e vescicolato si riconoscono feno-cristalli bianchi di dimensioni centrimetriche.			
11						
12						
13						
14						
15						



Studio di Tecnologie per la Geologia e l'Ambiente
GEOFISICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGIA
SERVIZI PER L'INGEGNERIA - TOPOGRAFIA - PROGETTAZIONE

Via Monte San Valentino n.2 - 01100 Viterbo (VT)
info@stega.it www.stega.it Tel/Fax (+39) 0761228191
Partita IVA: 01410320566

