



COMUNE DI SCARNAFIGI

PROVINCIA DI CUNEO

PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO COMPARTO D2 DELLA ZONA P.1.8 DEL VIGENTE P.R.G.C.

proponente:

IMECO SRL Via C. Alberto n° 4/I Pinerolo (TO)
P.I.: 08486470019

Tecnico incaricato:

Dott. Geol. Luca Filieri
Iscr. Ordine dei Geologi del Piemonte n. 566



DOCUMENTO N° 2 RELAZIONE GEOLOGICA

Data emissione : ottobre 2021

Data aggiornamento :

STUDIOAPOGEO

Ambiente e Territorio

Via Padre Colombo 1 bis 10024 Moncalieri (TO) - Tel. & Fax 011/6056000 - 348/7792996

info@studioapogeo.it - www.studioapogeo.it

INDICE

1	<i>Premessa</i>	3
2	<i>Inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico</i>	4
3	<i>Vincoli di P.R.G.C.</i>	10
4	<i>Modello geologico del sito in esame</i>	12
5	<i>Caratterizzazione geotecnica</i>	18
6	<i>Zonazione sismica</i>	20
7	<i>Prescrizioni in ordine alla corretta esecuzione dei lavori</i>	22
8	<i>Conclusioni</i>	24

ALLEGATI

- ❖ *Documentazione fotografica*
- ❖ *Tavole di inquadramento*
- ❖ *Stratigrafie Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo (L. 464/84)*
- ❖ *Tabulati e grafici prove penetrometriche dinamiche*
- ❖ *Rapporto tecnico indagine MASW*

1. Premessa

La presente relazione geologica fa riferimento al Piano Esecutivo Convenzionato Comparto D2 della Zona P.1.8 del vigente P.R.G.C. di Scarnafigi, che prevede l'urbanizzazione dell'area per la realizzazione di strutture produttive in ampliamento a quelle già insediate nel limitrofo Comparto D1.

Il documento adempie agli obblighi di legge (N.T.C. 2018) relativamente alla parte geologica e viene realizzato ad integrazione degli elaborati progettuali secondo quanto previsto dai vigenti strumenti urbanistici del Comune di Scarnafigi.

In particolare lo scopo del presente lavoro è quello di determinare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche del sito in cui è inserito l'intervento in progetto.

Il sito in esame è localizzato a SW del concentrico di Scarnafigi, ad una quota di circa 315-316 m s.l.m. ed è identificabile sugli estratti di C.T.R. 1:10.000 e BDTRE sezione n°191110 riportati in allegato.

Le coordinate (rif. WGS84/UTM zone 32N) dell'area oggetto di studio, in posizione circa mediana, sono:

384252 E

4946505 N



Figura 1.1 Immagine satellitare con indicazione dell'area in studio

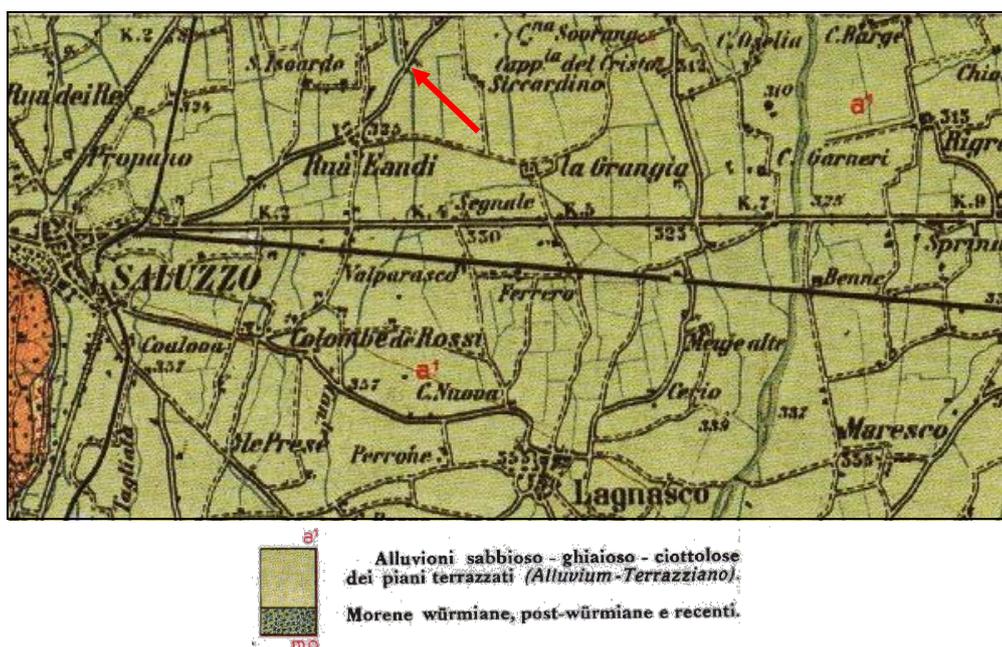
Per i dettagli progettuali e l'inquadramento topografico e catastale si rimanda agli specifici elaborati tecnici.

2. Inquadramento geologico, idrogeologico e geomorfologico

2.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area in studio è situata in corrispondenza di un settore pianeggiante nell'intorno significativo, ed è individuabile sulla C.G.I. 1:100.000 Foglio n°80 "Cuneo", di cui viene riportato un estratto in Fig. 2.1.

Dall'esame della C.G.I. si evince che il sito in studio si colloca all'interno dei depositi delle *alluvioni sabbioso-ghiaioso-ciottolose dei piani terrazzati (a¹)*; si tratta di una monotona sequenza di depositi continentali di origine alluvionale, rappresentati da ghiaie in matrice sabbiosa-limosa cui si intercalano livelli discontinui di limi di colore bruno scuro.



Nel dettaglio, dal punto di vista geologico, il sito in esame ricade all'interno dell'Unità Alluvionale del livello fondamentale della Pianura (Successione Quaternaria), che affiora nella pianura principale cuneese, sia in sinistra sia in destra orografica del T. Stura di Demonte fino alla confluenza con il F. Tanaro. Tale pianura è costituita dai grandi conoidi dei torrenti Stura, Gesso, Pesio, Grana, Maira, Varaita e del F. Tanaro.

Dal punto di vista litologico, l'Unità Alluvionale del livello fondamentale della Pianura è caratterizzata da ghiaie grossolane con ciottoli immerse in una matrice sabbioso-siltosa, con suolo superficiale in genere avente spessore metrico. Nell'areale compreso tra i torrenti Stura e Maira sono presenti potenti orizzonti cementati che assumono spessori limitati nel settore fra Cuneo e Borgo San Dalmazzo. In prossimità del confine con il territorio provinciale di Torino e in particolare tra Cardè e Torre San Giorgio, i depositi ghiaiosi sono ricoperti da un potente orizzonte argilloso-limoso che raggiunge spessori anche dell'ordine della decina di metri.

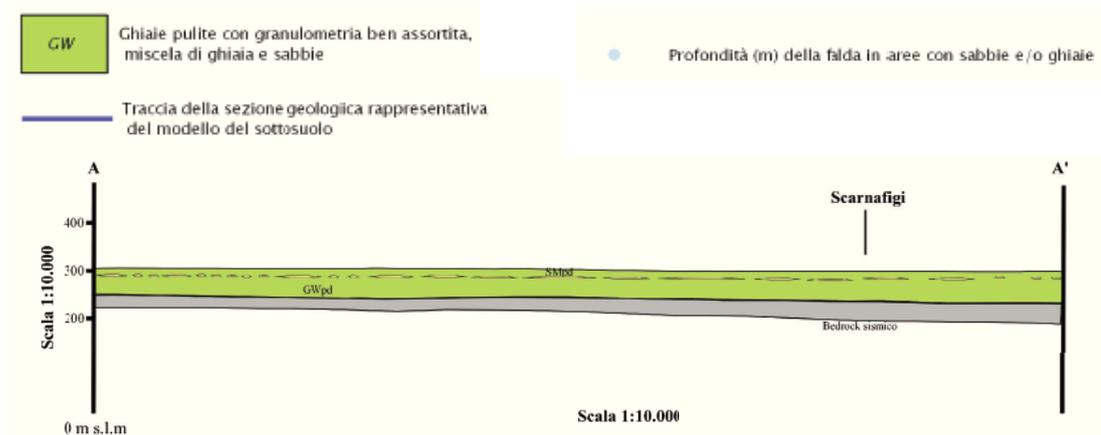


Figura 2.3 Estratto della "Carta geologico-tecnica" e relativo profilo geologico AA' (N-S) del P.R.G.C. con indicazione dell'area in studio (freccia rossa)

2.2 Inquadramento idrogeologico

Al fine di fornire l'inquadramento idrogeologico generale del territorio cuneese ed in particolare dell'area di Scarnafigi, ove ricade il sito oggetto di studio, è stata consultata la seguente pubblicazione: CIVITA M.V., VIGNA B., DE MAIO M., FIORUCCI A., PIZZO S., GANDOLFO M., BANZATO C., MENEGATTI S., OFFI M., MOITRE B. (2011) - *Le acque sotterranee della Pianura e della Collina Cuneese* – Provincia di Cuneo.

Nel seguito vengono riportati alcuni estratti relativi alle cartografie tematiche contenute nella sopraindicata pubblicazione.

Nel suddetto studio, sulla base della ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale dell'area provinciale esaminata, sono state individuate tre principali serie idrogeologiche rispettivamente denominate:

- Serie idrogeologica Oligo-Miocenica;
- Serie idrogeologica Plio-Pleistocenica;
- Serie idrogeologica Quaternaria.

Il sito in studio s'inserisce nella Serie idrogeologica Quaternaria che si estende in tutto il settore della pianura cuneese, nelle principali valli alpine, nei fondovalle del F. Tanaro e dei suoi affluenti. Essa è suddivisa in tre complessi principali:

- Complesso Alluvionale delle Ghiaie antiche;
- Complesso Alluvionale principale;
- Complesso Alluvionale dei fondovalle e dei terrazzi annessi.

L'area di indagine ricade all'interno del Complesso Alluvionale principale (cfr. Fig. 2.4), che corrisponde all'Unità Alluvionale del livello fondamentale della Pianura precedentemente descritta.

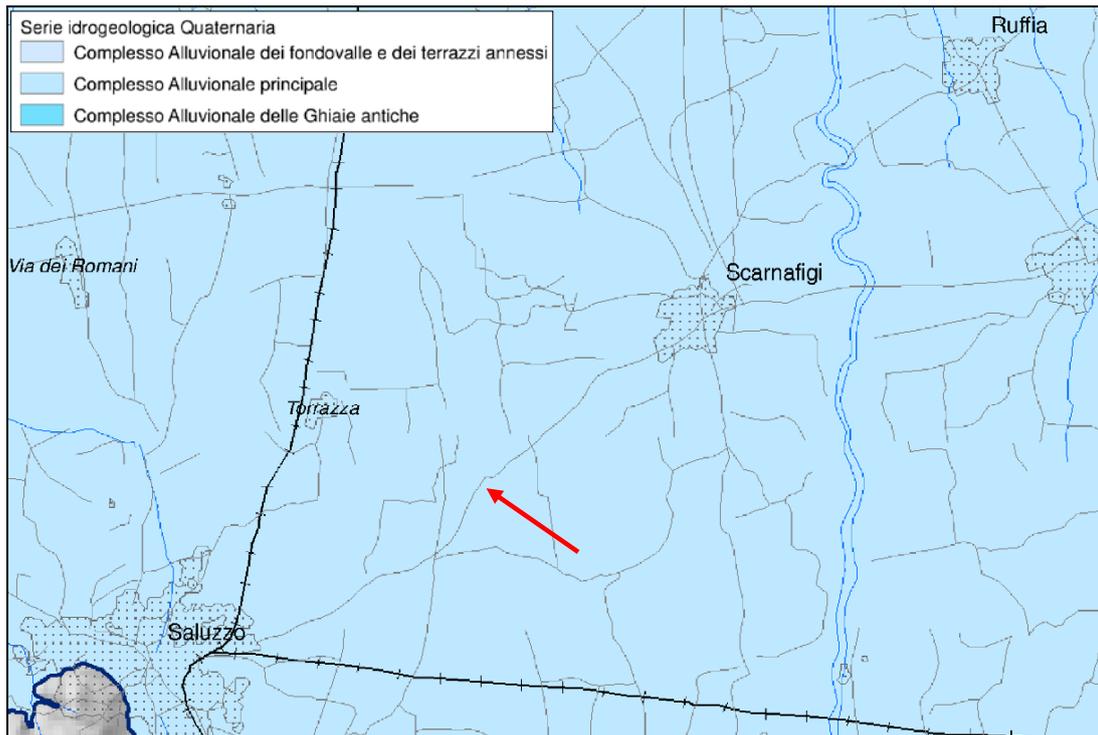


Figura 2.4 Estratto della "Carta Idrogeologica" (Civita M.V., Vigna B., De Maio M., Fiorucci A., Pizzo S., Gandolfo M., Banzato C., Menegatti S., Offi M., Moitre B. (2011) - *Le acque sotterranee della Pianura e della Collina Cuneese* – Provincia di Cuneo) con indicazione dell'area di studio (freccia rossa)

Tale complesso comprende depositi ghiaiosi, anche grossolani, intervallati a livelli sabbiosi, con matrice siltosa abbondante nei sedimenti più antichi e assente in quelli più recenti. Nel settore di pianura compreso tra Cardè e Moretta, i depositi ghiaioso-sabbiosi sono ricoperti da un potente orizzonte argilloso-limoso che raggiunge spessori anche dell'ordine della decina di metri.

I depositi alluvionali presentano in genere una copertura pedologica superficiale di potenza metrica.

Lo spessore del complesso è variabile da 80-90 m nelle zone pedemontane a 4-5 m nei settori di pianura ubicati in prossimità dei rilievi collinari delle Langhe e del Roero.

Il grado di permeabilità dei depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi è generalmente elevato, anche se esistono areali in cui tali sedimenti risultano cementati, come presso Borgo San Dalmazzo e in destra del T. Maira, tra Dronero e Busca, o presentano abbondante matrice siltosa, con conseguente riduzione di permeabilità.

Il *Complesso Alluvionale principale* ospita i più importanti acquiferi liberi della pianura cuneese impostati in aree idrogeologicamente distinte.

Il Torrente Stura di Demonte, che scorre in direzione da SW a NE, suddivide la pianura cuneese in due principali aree idrogeologiche rispettivamente denominate *Area in sinistra Stura* ed *Area in destra Stura*.

Il sito indagato ricade nell'*Area in sinistra Stura* (compresa tra gli abitati di Vignolo, Bra, Barge e Sommariva del Bosco) che ospita un unico ed esteso acquifero libero delimitato a ovest dai rilievi alpini, a SE dall'incisione del T. Stura di Demonte e a NE dai rilievi collinari del Roero.

Lo spessore dell'acquifero è differente nei diversi settori della pianura cuneese posti in sinistra Stura; le potenze maggiori si riscontrano a valle di Dronero, in destra idrografica del T. Maira verso Cuneo.

La base dell'acquifero libero è posta in corrispondenza del contatto di natura erosiva tra i depositi alluvionali quaternari e i depositi della successione Plio-pleistocenica (Villafranchiano); nei settori prossimi ai rilievi alpini la base è posta in corrispondenza del contatto con il substrato roccioso.

Dall'analisi della "Carta del campo di moto dell'acquifero libero" si evince che la falda idrica superficiale è posta nell'areale indagato ad una quota di circa 310-312 m s.l.m. (valori di soggiacenza di circa 5-7 m da p.c. in corrispondenza del sito oggetto di intervento).

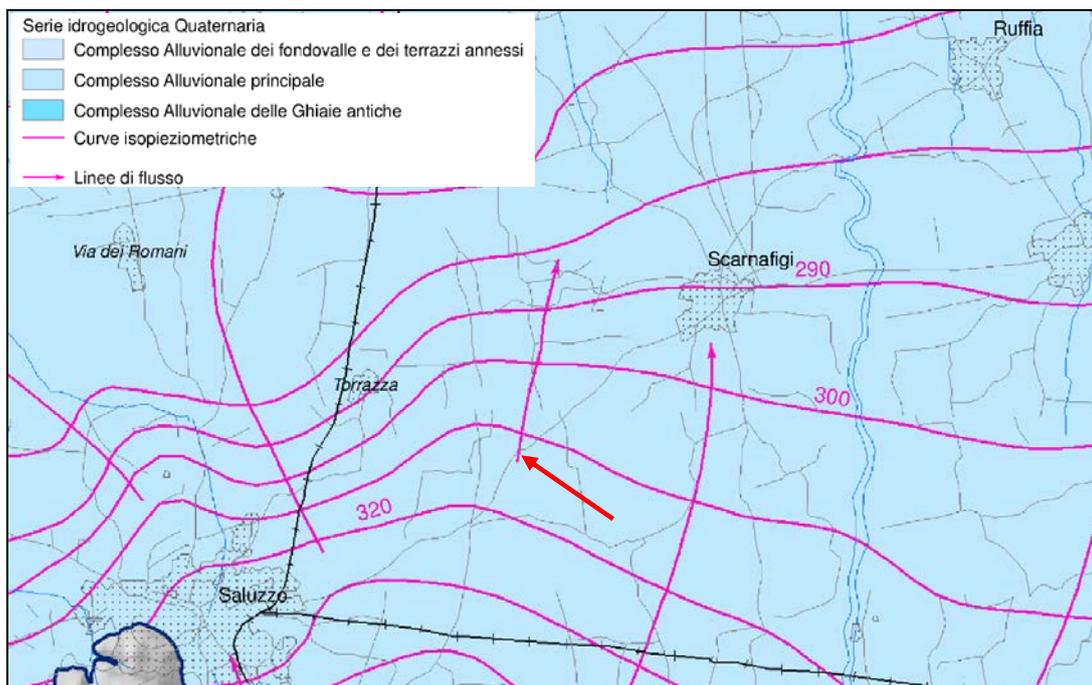


Figura 2.5 Estratto della "Carta del campo di moto dell'acquifero libero" (Civita M.V., Vigna B., De Maio M., Fiorucci A., Pizzo S., Gandolfo M., Banzato C., Menegatti S., Offi M., Moitre B. (2011) - *Le acque sotterranee della Pianura e della Collina Cuneese* - Provincia di Cuneo) con indicazione dell'area di studio (freccia rossa)

Per un maggior approfondimento dell'idrogeologia dell'area è stata presa in considerazione anche la "Carta dei Complessi Idrogeologici della Regione Piemonte - Provincia di Cuneo" ("*Idrogeologia della pianura piemontese*", REGIONE PIEMONTE, 2005), di cui se ne riporta un estratto in Fig. 2.5. Tale elaborato evidenzia come il sito oggetto di indagine ricada all'interno del Complesso dei Depositi Alluvionali Olocenici appartenente alla Serie dei Depositi Continentali (Olocene - Pleistocene inf.), costituito da depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, talora debolmente terrazzati, con lenti sabbioso-argillose, fiancheggianti i principali corsi d'acqua; tali depositi sono permeabili per porosità e ospitano una ricca falda idrica a superficie libera in diretto collegamento con la rete idrografica.

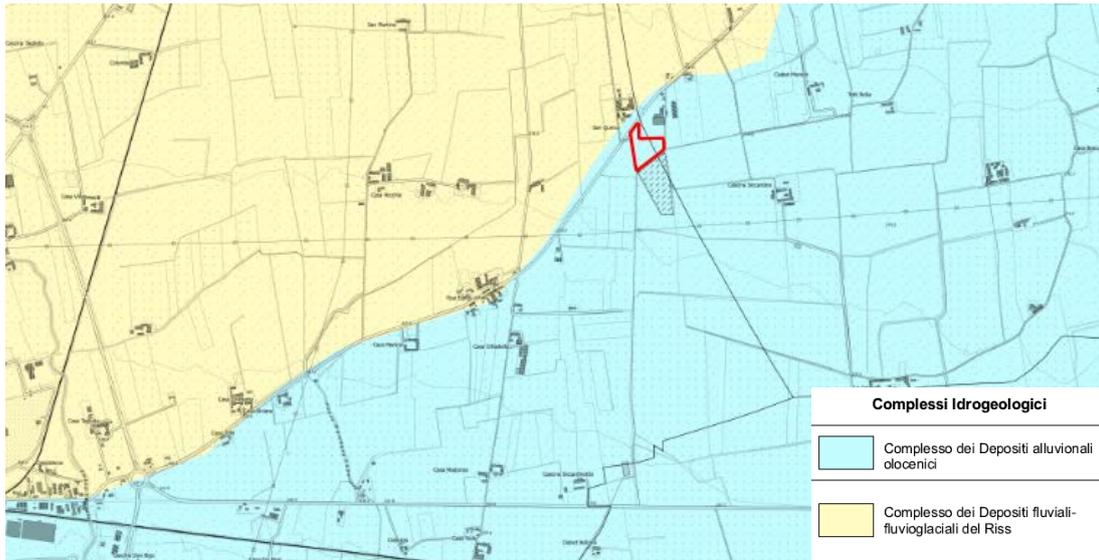


Figura 2.6 Estratto della "Carta dei Complessi Idrogeologici della Regione Piemonte – Provincia di Cuneo" (*"Idrogeologia della pianura piemontese"*, REGIONE PIEMONTE, 2005) su base BDTR con indicazione dell'area di studio

Per quanto concerne l'assetto idrogeologico puntuale del sito in esame, in base alle indicazioni bibliografiche, la falda libera superficiale si colloca ad una profondità di circa 5-7 m dal p.c. e scorre in direzione nord, concordemente con la topografia e il reticolo idrografico superficiale.

Tale dato trova conferma nella "Carta della soggiacenza della falda idrica a superficie libera relativa al territorio di pianura della Regione Piemonte – Provincia di Cuneo" (*"Idrogeologia della pianura piemontese"*, REGIONE PIEMONTE, 2005), in quanto l'area oggetto di studio si colloca all'interno di un settore contraddistinto da valori di soggiacenza compresi tra 5 e 10 m da piano campagna (Fig. 2.7).

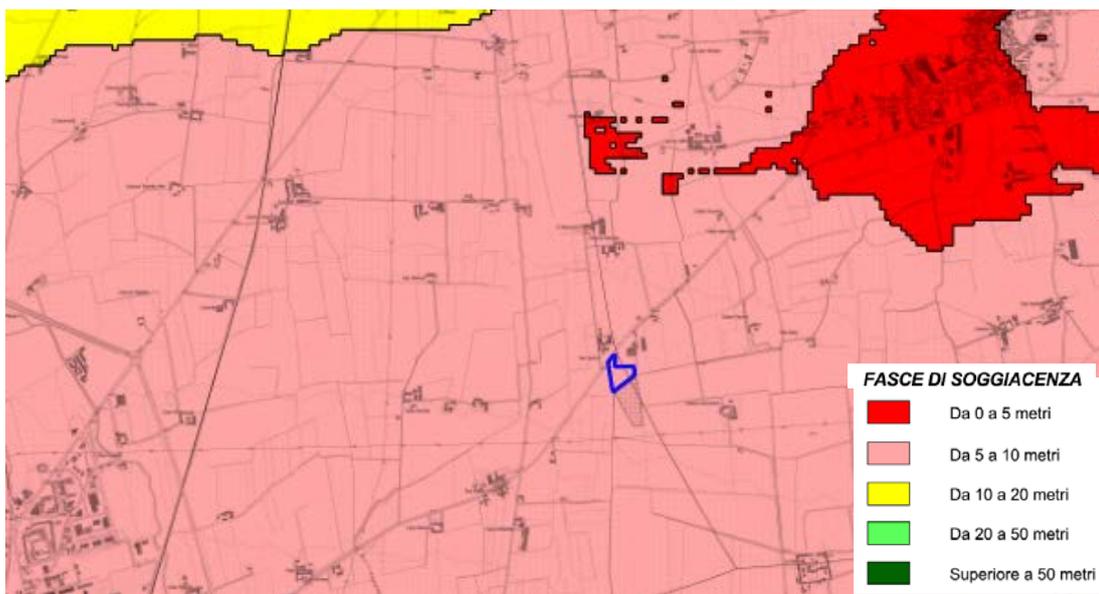


Figura 2.7 Estratto della "Carta della soggiacenza della falda idrica a superficie libera relativa al territorio di pianura della Regione Piemonte – Provincia di Cuneo" (*"Idrogeologia della pianura piemontese"*, REGIONE PIEMONTE, 2005) su base BDTR con indicazione dell'area di studio

3. Vincoli di P.R.G.C.

Dall'esame degli elaborati tecnici del Piano Regolatore Generale Comunale (Variante strutturale al P.R.G.C. approvata con D.C.C. N. 16 del 16/08/2020), ed in particolare in riferimento agli aspetti geologico-geomorfologici in essi contemplati, l'area oggetto della presente relazione ricade in **classe di pericolosità geomorfologica /**, così definita nelle NTA:

CLASSE I Aree del territorio comunale esterne alla Fascia C del PAI P.S.F.F. (fatte salve le variazioni dovute a diverse delimitazioni indicate dall'Autorità di Bacino)

1 - Porzione di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche: gli interventi sia pubblici che privati sono di norma consentiti nel rispetto dei D.M. 11/03/1988 e 14/09/2005 e loro succ. mod. ed int., verificando in particolare le interferenze con la falda idrica di fondazioni e locali interrati e la sicurezza delle scarpate di scavo.

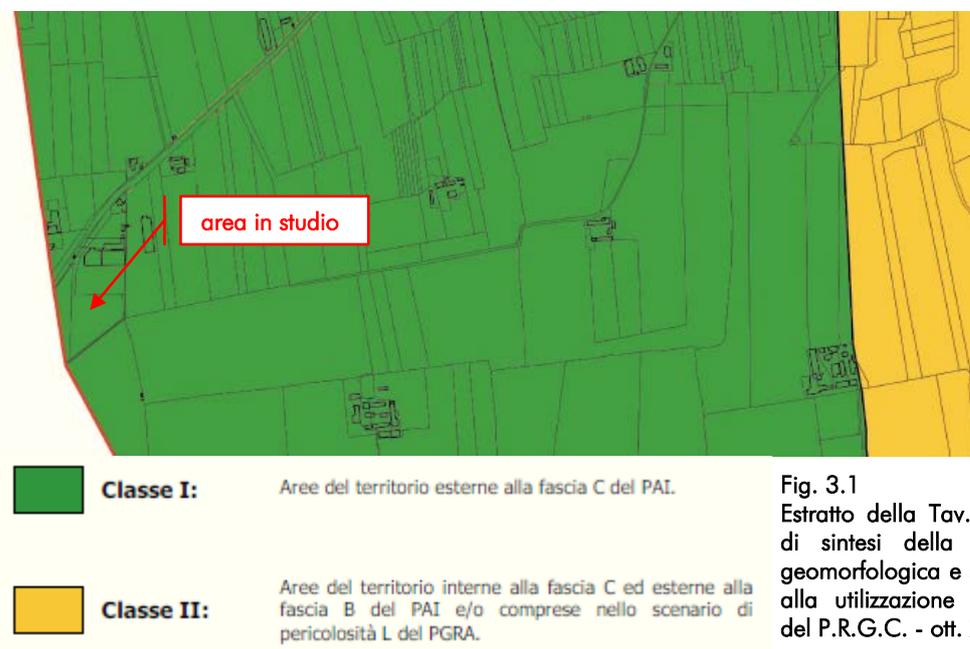


Fig. 3.1
Estratto della Tav. 15 "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità alla utilizzazione urbanistica" del P.R.G.C. - ott. 2019

Il presente elaborato è volto a soddisfare le suddette prescrizioni (non sono previsti piani interrati).

Come si può osservare negli estratti di BDTRE riportati nelle figure seguenti, l'area in studio si colloca all'esterno sia delle Fasce fluviali del P.A.I. (Fig. 3.2) sia delle aree alluvionabili individuate nelle Mappe di pericolosità e di rischio del Piano di Gestione Rischio Alluvione (**PGRA**) aggiornate al 2020 (cfr. Fig.3.3).

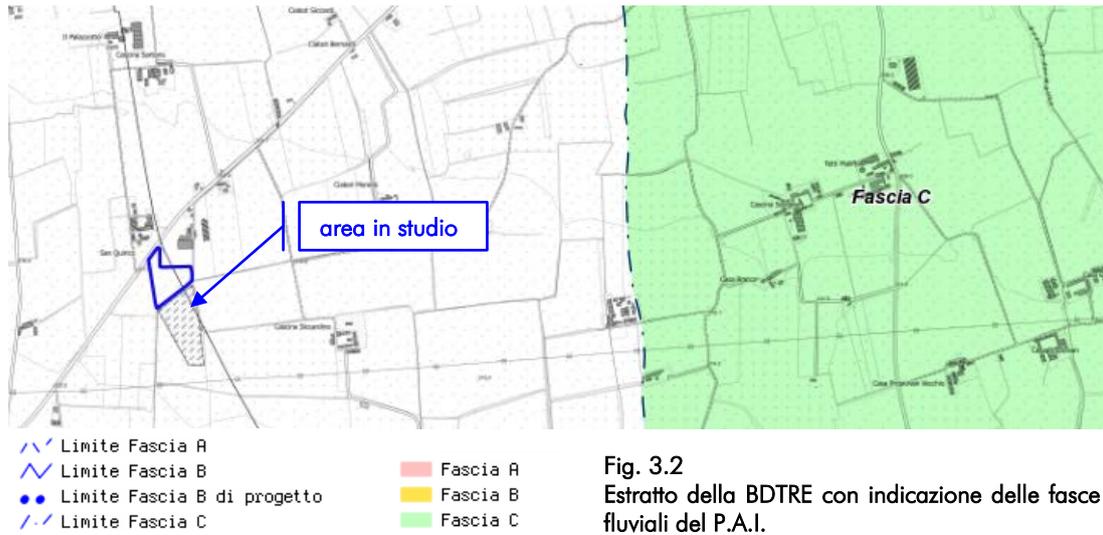


Fig. 3.2
 Estratto della BDRE con indicazione delle fasce fluviali del P.A.I.

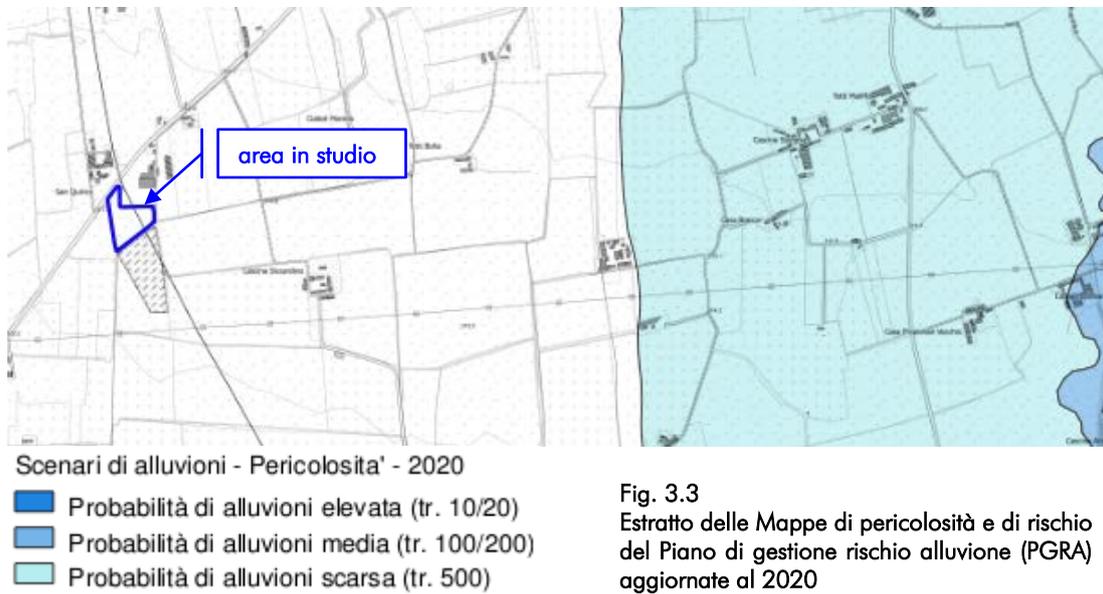


Fig. 3.3
 Estratto delle Mappe di pericolosità e di rischio del Piano di gestione rischio alluvione (PGRA) aggiornate al 2020

4. Modello geologico del sito in esame

In considerazione della tipologia di intervento, per poter procedere alla caratterizzazione del sottosuolo dell'area d'indagine si è ritenuto necessario procedere come segue:

1. esame delle indagini ricavate dalla Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte;
2. esame dell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo (L. 464/84) consultabile dal Portale del Servizio Geologico d'Italia di ISPRA;
3. esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche (DPSH);
4. esecuzione di un'indagine sismica MASW.

1. La Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte non riporta dati stratigrafici nell'immediato intorno dell'area di indagine (Fig. 4.1).

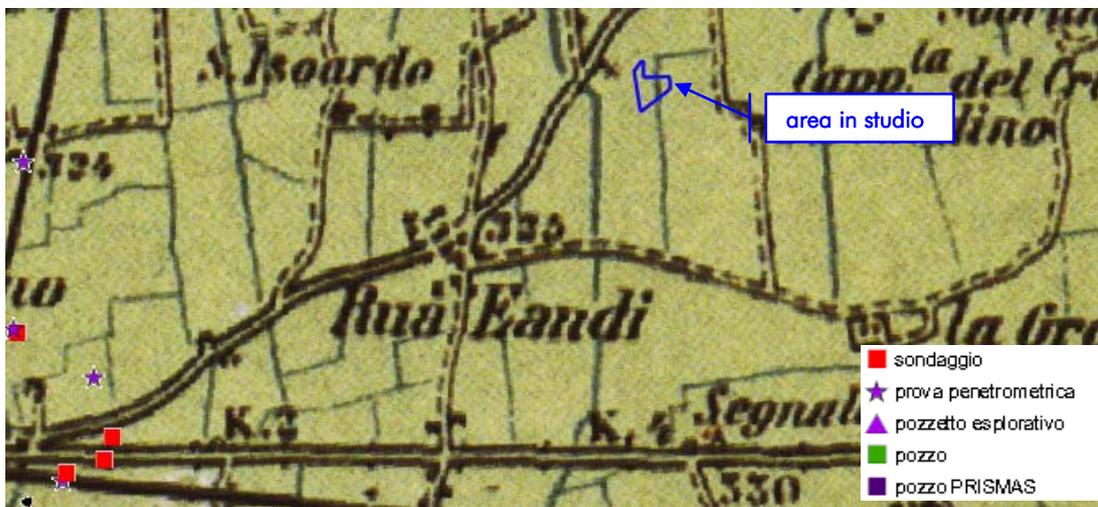
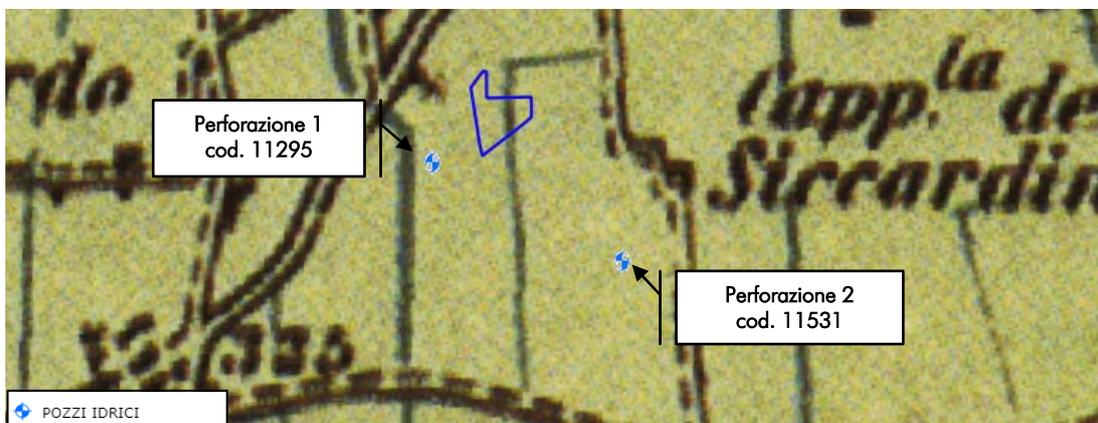


Figura 4.1 Estratto della CGI con ubicazione delle perforazioni realizzate nell'intorno dell'area in studio (Banca Dati Geotecnica di Arpa Piemonte)

2. La consultazione dell'Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo (Legge 464/84) di ISPRA ha permesso di ricavare i dati stratigrafici di due perforazioni realizzate nelle vicinanze del sito in esame e ricadenti nel medesimo contesto geologico che sarà interessato dai lavori in progetto (Fig. 4.2).



PERFORAZIONE 1 COD. 11295

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,50	1,50		TERRENO VEGETALE
2	1,50	12,00	10,50		GHIAIONE ARGILLOSO
3	12,00	16,00	4,00		GHIAIA A MEDIA GRANULOMETRIA
4	16,00	23,00	7,00		GHIAIONE ARGILLOSO
5	23,00	25,00	2,00		CIOTTOLONI
6	25,00	30,00	5,00		ARGILLA VERDE
7	30,00	41,00	11,00		GHIAIA A MEDIA GRANA
8	41,00	57,00	16,00		ARGILLA BIANCA
9	57,00	66,00	9,00		MARNA SABBIOSA
10	66,00	97,00	31,00		ARGILLA BIANCA
11	97,00	102,00	5,00		GHIAIETTO E SABBIA IN ARGILLA
12	102,00	123,35	21,35		ARGILLA VERDE SABBIOSA

PERFORAZIONE 2 COD. 11531

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	5,00	4,00		GHIAIONE ARGILLOSO
3	5,00	7,00	2,00		GHIAIA A MEDIA GRANA
4	7,00	16,00	9,00		ARGILLA CON PIETRE
5	16,00	19,00	3,00		GHIAIA SABBIOSA
6	19,00	26,00	7,00		GHIAIA MOLTO ARGILLOSA
7	26,00	30,00	4,00		ARGILLA GIALLA

Figura 4.2 Estratto della CGI con indicazione delle perforazioni ubicate nelle vicinanze dell'area in studio e relative stratigrafie (Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo di ISPRA - L. 464/84)

L'esame delle stratigrafie conferma il quadro geologico del sito in esame rappresentato da depositi ghiaiosi fino a profondità non più significative per quanto in progetto.

Il livello statico della falda superficiale è stato misurato ad una profondità compresa tra 5/6 m da p.c..

In allegato si riportano le schede descrittive complete delle perforazioni.

3. Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni in esame, in data 8/10/2021 sono state eseguite con un penetrometro dinamico superpesante DPSH TG 63-200 PAGANI n. 3 prove penetrometriche dinamiche all'interno dell'area oggetto di intervento.



Fig. 4.3 Immagine satellitare con ubicazione delle indagini eseguite (da Google Earth)

Nella tabella seguente sono sintetizzati i dati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite.

Prova	Profondità raggiunta (m da p.c.)	Falda (m da p.c.)
P1	4,20	non rilevata
P2	4,20	non rilevata
P3	4,20	non rilevata

Tabella 4.4 Sintesi dati prove penetrometriche dinamiche effettuate

Le caratteristiche tecniche-strumentali del penetrometro DPSH TG 63-200 PAGANI sono riportate di seguito:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90°

La prova penetrometrica dinamica DPSH consiste nell'infingere verticalmente nel terreno una punta conica metallica avente angolo di apertura pari 90°, posta all'estremità di una batteria di aste di lunghezza unitaria pari a 1 m.

L'infissione della punta avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante di 0,75 m un maglio di peso pari a 63,5 kg e contando i colpi necessari per la penetrazione nel terreno di 20 cm (N_{20}).

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche vengono espressi in termini di N_{20} , cioè il numero di colpi necessario all'avanzamento della punta nel terreno per un tratto di 20 cm.

Dai risultati della prova si ricava l'andamento della resistenza alla penetrazione lungo una determinata profondità che fornisce indicazioni sul grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

La prova penetrometrica è interrotta quando il numero di colpi necessario per l'avanzamento della punta del tratto prestabilito è superiore a 50.

Per la parametrizzazione geotecnica, i valori di N_{20} devono essere trasformati e normalizzati in N_{SPT} applicando il coefficiente di correlazione caratteristico dello strumento utilizzato.

Le prove penetrometriche dinamiche sono state interrotte alle profondità sopra indicate (cfr. Tab. 4.4) per raggiunto "rifiuto" ($N_{20} > 50$), verosimilmente legato alla presenza di depositi ghiaioso-sabbiosi molto addensati e/o ciottoli che hanno impedito l'avanzamento ulteriore della punta.

Si evidenzia che durante lo svolgimento delle prove penetrometriche dinamiche non è stata intercettata la falda superficiale.

In base a quanto ricavato dalle prove penetrometriche effettuate, l'assetto litostratigrafico in corrispondenza delle singole verticali indagate può essere sintetizzato come segue.

PROVA P1

Strato/Livello	Profondità (m da p.c.)	N _{SPT}	Litologia
1	0,00 – 0,80	2,92	Terreno vegetale
2	0,80 – 2,20	20,81	Sabbia ghiaiosa
3	2,20 – 2,80	9,88	Sabbia limosa
4	2,80 – 4,20	57,05	Ghiaia sabbiosa

PROVA P2

Strato/Livello	Profondità (m da p.c.)	N _{SPT}	Litologia
1	0,00 – 1,00	4,96	Terreno vegetale
2	1,00 – 2,20	27,72	Sabbia ghiaiosa
3	2,20 – 3,00	12,23	Sabbia limosa
4	3,00 – 4,20	59,35	Ghiaia sabbiosa

PROVA P3

Strato/Livello	Profondità (m da p.c.)	N _{SPT}	Litologia
1	0,00 – 1,40	4,18	Terreno vegetale
2	1,40 – 2,40	31,5	Sabbia ghiaiosa
3	2,40 – 3,00	10,86	Sabbia limosa
4	3,00 – 4,20	59,6	Ghiaia sabbiosa

15

I risultati e i diagrammi relativi alle n. 3 prove penetrometriche dinamiche eseguite sono riportati in allegato.

4. Per definire la classe sismica di sito ai sensi del D.M. 17/01/2018 è stata eseguita un'indagine sismica per onde di superficie (MASW) - Fig. 4.5.



Figura 4.5 Immagine satellitare con ubicazione delle indagine MASW eseguita

L'acquisizione dei dati sismici è stata effettuata con un sismografo multicanale *PASI GEA 24* della *Pasi S.r.l.* a 24 canali dotato di convertitore analogico/digitale integrato con un computer portatile su cui è installato un apposito programma che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

Per l'acquisizione dei dati di campo è stato realizzato uno stendimento geofonico di lunghezza pari a 48 m, posizionando n°24 geofoni (frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%) con un interasse di 2 m.

L'energizzazione è stata ottenuta con massa battente da 8 Kg su piastra in P.V.C.; per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Sono stati individuati 2 punti di energizzazione all'estremità dello stendimento, distanti -2 e +2 m rispettivamente dal primo e dall'ultimo geofono.

Per ogni punto di energizzazione sono state effettuate n.3 battute (impulsi sismici) su cui è stata eseguita la media con il processo di stacking. La durata del campionamento è stata di 2.0 ms.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente). Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 30 m di profondità: in allegato sono riportate le elaborazioni effettuate tramite il software *Easy MASW* di *GeoStru*, con descrizione della metodologia utilizzata.

Classificazione sismica del sottosuolo

Il D.M. 17/01/2018 individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s) e viene calcolata mediante l'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti tra il piano campagna ed il substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel dettaglio per il sito in esame, si è potuta determinare la $V_{s,30}$ sulla base dei risultati dell'indagine MASW effettuata.

Il valore di $V_{s,30}$ calcolato al piano campagna è pari a 435,41 m/s, corrispondente ad una categoria di sottosuolo "B" ai sensi delle NTC 2018.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
⇒ B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tab. 3.2.II NTC 2018

4.1 Sintesi del modello geologico del sito

Le risultanze delle indagini penetrometriche e geofisiche, correlate con i dati ricavati durante il sopralluogo effettuato e le informazioni bibliografiche, hanno consentito di ricostruire il modello geologico del sito in esame.

Da un punto di vista geologico, l'assetto litostratigrafico in corrispondenza dell'area oggetto di studio può essere schematizzato come segue:

	Profondità (m da p.c.)	Litologia
Livello 1	0,00 – 0,80/1,40	Terreno vegetale
Livello 2	0,80/1,40 – 2,20/2,40	Sabbia ghiaiosa
Livello 3	2,20/2,40 – 3,00	Sabbia limosa
Livello 4	3,00 – 4,20*	Ghiaia sabbiosa

* massima profondità raggiunta dalle prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche dinamiche eseguite hanno evidenziato, al di sotto di un orizzonte superficiale costituito da terreno vegetale potente mediamente 0,80-1,40 m, la presenza di terreni sabbioso ghiaiosi (Livello 2), cui segue un livello di sabbia limosa con un spessore massimo di 0,80m (Livello 3) e successivamente sabbia ghiaiosa (Livello 4) fino alle massime profondità investigate.

Le indagini effettuate hanno consentito di verificare l'assenza di falda fino alla profondità di 4,20 m dal p.c., in accordo con le indicazioni bibliografiche.

5. Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni in studio è stata effettuata a partire dai dati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite in corrispondenza dell'area oggetto di intervento.

Le elaborazioni dei dati, riportate in allegato, sono state effettuate mediante il programma di calcolo *Dynamic Probing* della *GeoStru* considerando le correlazioni empiriche di differenti autori; nelle tabelle che seguono sono sintetizzati per le singole verticali indagate i parametri geotecnici relativi agli strati individuati.

PROVA P1

Strato/Livello	Profondità (m da p.c.)	N _{SPT}	Litologia	Parametri geotecnici
1	0,00 – 0,80	2,92	Terreno vegetale	$\gamma = 1,45 \text{ t/m}^3$ $\phi = 21,62^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 23,36 \text{ Kg/cm}^2$
2	0,80 – 2,20	20,81	Sabbia ghiaiosa	$\gamma = 2,01 \text{ t/m}^3$ $\phi = 32,67^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 166,48 \text{ Kg/cm}^2$
3	2,20 – 2,80	9,88	Sabbia limosa	$\gamma = 1,73 \text{ t/m}^3$ $\phi = 27,17^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 79,04 \text{ Kg/cm}^2$
4	2,80 – 4,20	57,05	Ghiaia sabbiosa	$\gamma = 2,27 \text{ t/m}^3$ $\phi = 44,25^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 456,40 \text{ Kg/cm}^2$

18

PROVA P2

Strato/Livello	Profondità (m da p.c.)	N _{SPT}	Litologia	Parametri geotecnici
1	0,00 – 1,00	4,96	Terreno vegetale	$\gamma = 1,54 \text{ t/m}^3$ $\phi = 23,63^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 39,68 \text{ Kg/cm}^2$
2	1,00 – 2,20	27,72	Sabbia ghiaiosa	$\gamma = 2,11 \text{ t/m}^3$ $\phi = 35,39^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 221,76 \text{ Kg/cm}^2$
3	2,20 – 3,00	12,23	Sabbia limosa	$\gamma = 1,80 \text{ t/m}^3$ $\phi = 28,54^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 97,84 \text{ Kg/cm}^2$
4	3,00 – 4,20	59,35	Ghiaia sabbiosa	$\gamma = 2,28 \text{ t/m}^3$ $\phi = 44,84^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 474,80 \text{ Kg/cm}^2$

PROVA P3

Strato/Livello	Profondità (m da p.c.)	N _{SPT}	Litologia	Parametri geotecnici
1	0,00 – 1,40	4,18	Terreno vegetale	$\gamma = 1,50 \text{ t/m}^3$ $\phi = 22,92^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 33,44 \text{ Kg/cm}^2$
2	1,40 – 2,40	31,5	Sabbia ghiaiosa	$\gamma = 2,15 \text{ t/m}^3$ $\phi = 36,74^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 252,00 \text{ Kg/cm}^2$
3	2,40 – 3,00	10,86	Sabbia limosa	$\gamma = 1,76 \text{ t/m}^3$ $\phi = 27,76^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 86,88 \text{ Kg/cm}^2$
4	3,00 – 4,20	59,6	Ghiaia sabbiosa	$\gamma = 2,29 \text{ t/m}^3$ $\phi = 44,9^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 476,80 \text{ Kg/cm}^2$

5.1 Sintesi del modello geotecnico del sito

In base a quanto ricavato dalle indagini svolte e dai dati bibliografici, il modello geotecnico in corrispondenza dell'area oggetto di studio può essere schematizzato come segue.

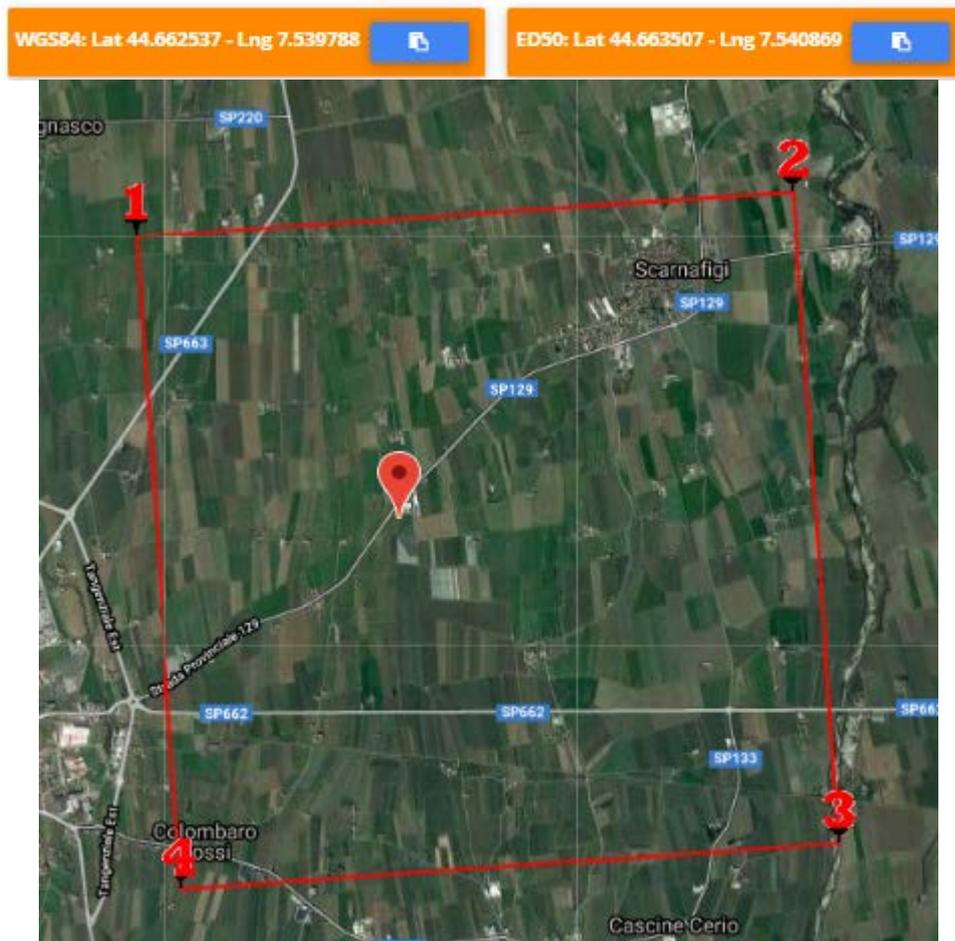
	Profondità (m da p.c.)	Litologia	Parametri geotecnici
Livello 1	0,00 – 0,80/1,40	Terreno vegetale	$\gamma = 1,45 \text{ t/m}^3$ $\phi = 21^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 23 \text{ Kg/cm}^2$
Livello 2	0,80/1,40 – 2,20/2,40	Sabbia ghiaiosa	$\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3$ $\phi = 32^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 150 \text{ Kg/cm}^2$
Livello 3	2,20/2,40 – 2,80/3,00	Sabbia limosa	$\gamma = 1,70 \text{ t/m}^3$ $\phi = 27^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 79 \text{ Kg/cm}^2$
Livello 4	3,00 – 4,20	Ghiaia sabbiosa	$\gamma = 2,00 \text{ t/m}^3$ $\phi = 35^\circ$ $c = 0,00 \text{ kPa}$ $E_v = 400 \text{ Kg/cm}^2$

Si sottolinea che i parametri geotecnici indicati sono stati determinati considerando valori cautelativi per ogni strato a seguito di quanto individuato grazie alle indagini effettuate, alla raccolta di dati di letteratura e alle informazioni pregresse derivanti dall'esperienza progettuale ed esecutiva in terreni simili.

6. Zonazione sismica

Il Comune di Scarnafigi ricade in Zona sismica 3 secondo la classificazione sismica del territorio piemontese prevista dalla D.G.R. n.6-887 del 30/12/2019.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono, in aggiunta alla suddetta classificazione, la determinazione dell'accelerazione orizzontale in modo più dettagliato in funzione delle coordinate geografiche e delle caratteristiche geomorfologiche del sito, a partire dai valori forniti dalla Norma stessa riferiti ad un reticolo di riferimento i cui nodi non distano più di 10 Km. La valutazione dei parametri che definiscono le accelerazioni sismiche relativamente alle aree di intervento secondo la più recente normativa in vigore, ottenuti per interpolazione a partire dai valori di riferimento, è stata pertanto effettuata utilizzando l'applicativo *Geostru PS 2018*; i risultati ottenuti, sulla base dei quali è possibile ricavare lo spettro di risposta per le azioni sismiche per l'opera in esame, sono riportati nelle figure che seguono.



I valori di accelerazione sismica orizzontale (K_h) e verticale (K_v) sono stati determinati considerando:

- ▶ categoria di sottosuolo di tipo "B" (dato ricavato dall'indagine MASW)
- ▶ categoria topografica "T1"
- ▶ classe d'uso II – c_v pari a 1,0
- ▶ $V_N \geq 50$

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.033	2.476	0.199
Danno (SLD)	50	0.042	2.506	0.216
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.105	2.527	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.133	2.536	0.280
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,52	1,49	1,43	1,42
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.008	0.010	0.030	0.038
kv	0.004	0.005	0.015	0.019
Amax [m/s²]	0.391	0.497	1.230	1.565
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Le verifiche hanno consentito di determinare i seguenti parametri, relativi allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

$$K_h = 0,030 \quad K_v = 0,015$$

$$a_{max} = 1,230 \text{ m/s}^2$$

7. Prescrizioni in ordine alla corretta esecuzione dei lavori

L'area oggetto di studio confina su due lati con il comparto D1 dell'area P18 (PEC precedentemente approvato); il presente strumento urbanistico esecutivo riguarda l'urbanizzazione del sito per la realizzazione di nuove strutture produttive in ampliamento a quelle già insediate nel comparto D1 andando così ad esaurire l'area produttiva P1.8



Fig. 7.1 Planimetria dell'area (da "Relazione Tecnica Illustrativa" dell'Arch. D. Costamagna)

Tenendo conto della tipologia di lavori in progetto e dell'entità dei volumi interessati sarà necessario durante i lavori seguire le seguenti prescrizioni/accorgimenti tecnici al fine di limitare al massimo eventuali fenomeni di instabilità locale:

- ▶ gli scavi dovranno essere mantenuti aperti il più breve tempo possibile, eseguiti in periodo secco ed asciutto e protetti rispetto all'azione dilavante delle acque meteoriche; inoltre le pareti di scavo non dovranno presentare una pendenza eccessiva al fine di evitare fenomeni di instabilità che potrebbero complicare le fasi di esecuzione dei lavori;
- ▶ i materiali provenienti dagli scavi dovranno essere provvisoriamente stoccati in area stabile;
- ▶ sarà necessario nelle fasi di lavorazione garantire la stabilità complessiva dell'area e assicurare il mantenimento delle attuali condizioni di equilibrio delle strutture esistenti nell'intorno;
- ▶ da un punto di vista idrogeologico, la falda idrica superficiale, in base alle indagini svolte e alle indicazioni bibliografiche, si colloca a profondità non significative per quanto in progetto (**non** sono previsti interrati); in ogni caso sarà necessario prevedere idonee opere di impermeabilizzazione e drenaggio a protezione delle opere in progetto al fine di impedire potenziali fenomeni di interferenza con acque di infiltrazione e/o ruscellamento superficiale;

- ▶ come indicato nelle *NTC 2018* (6.4.2. *Fondazioni superficiali*) “il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d’acqua”;
- ▶ i lavori dovranno essere eseguiti secondo quanto previsto dal progetto e, comunque, in scrupolosa osservanza di quanto prescritto dalle N.T.C. 2018;
- ▶ in corso d’opera verrà in ogni caso verificata la corrispondenza delle ipotesi fatte con la situazione reale e verranno accertate le condizioni di stabilità dell’intervento nel suo complesso: qualora non si verificassero queste condizioni occorrerà prevedere opportuni accorgimenti supplementari al fine di garantire la stabilità complessiva.

Si ritiene che, se svolta con la dovuta perizia, la movimentazione dei terreni in progetto non dovrebbe presentare particolari rischi di carattere geomorfologico e geologico-tecnico.

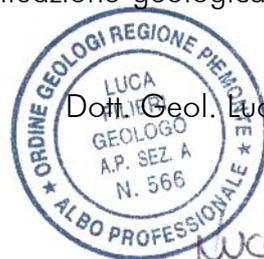
Vista l’entità dei lavori in programma, non si ritiene dunque che la realizzazione delle opere in progetto introduca ulteriori fattori di rischio geologico rispetto a quelli già esistenti ed è pertanto compatibile con l’assetto geologico-tecnico ed idrogeologico della zona.

8. Conclusioni

In base a quanto ricavato dallo studio effettuato si può affermare che:

- ❖ l'area si colloca corrispondenza di un settore pianeggiante e si presenta, dal punto di vista geomorfologico, globalmente stabile;
- ❖ nell'intorno dell'area indagata non si segnalano fenomeni di dissesto gravitativo;
- ❖ da un punto di vista idrogeologico la falda idrica superficiale, in base alle indagini svolte e alle indicazioni bibliografiche, si colloca a circa 5/7 m di profondità dal p.c.);
- ❖ da un punto di vista geologico, l'area oggetto di studio è caratterizzata da un orizzonte superficiale costituito da terreno di copertura vegetale, cui seguono depositi ghiaioso sabbiosi prevalenti fino a profondità non significative per quanto in progetto;
- ❖ il modello geologico-geotecnico in corrispondenza dell'area oggetto di studio, in base a quanto ricavato dalle indagini svolte e dai dati bibliografici, può essere schematizzato come indicato nei paragrafi 4.1 e 5.1 del presente elaborato;
- ❖ i parametri geotecnici sono stati determinati prendendo in considerazione valori cautelativi per ogni strato a seguito di quanto individuato grazie alle indagini effettuate, alla raccolta di dati di letteratura e alle informazioni pregresse derivanti dall'esperienza progettuale ed esecutiva in terreni simili;
- ❖ per definire la classe sismica di sito ai sensi del D.M. 17/01/2018 è stata eseguita un'indagine sismica per onde di superficie (MASW). Il valore di $V_{s,30}$ calcolato è pari a 435,41 m/s, corrispondente ad una categoria di sottosuolo "B" ai sensi delle NTC 2018;
- ❖ l'intervento in progetto non comporterà un danneggiamento del regime delle acque né superficiali né sotterranee (non sono previsti interrati);
- ❖ l'intervento in progetto è tale da non produrre situazioni di rischio geomorfologico;
- ❖ qualora nel corso dell'esecuzione degli scavi si dovessero riscontrare porzioni di terreno geotecnicamente più scadenti, occorrerà procedere a opere di miglioramento dei parametri attraverso opportuni accorgimenti tecnici (iniezioni di miscele cementizie o asportazione e sostituzione con altro materiale idoneo).

Tenuto conto della tipologia di intervento previsto, dell'entità dei volumi interessati e fatta salva la necessaria perizia nella conduzione dei lavori, si ritiene che quanto in progetto sia compatibile con la situazione geologica, idrogeologica e geomorfologica dell'area



Dot. Geol. Luca FILIERI

A handwritten signature in black ink that reads "Luca Filieri".

ALLEGATI

Documentazione fotografica



Foto 1. Esecuzione della prova penetrometrica dinamica P1

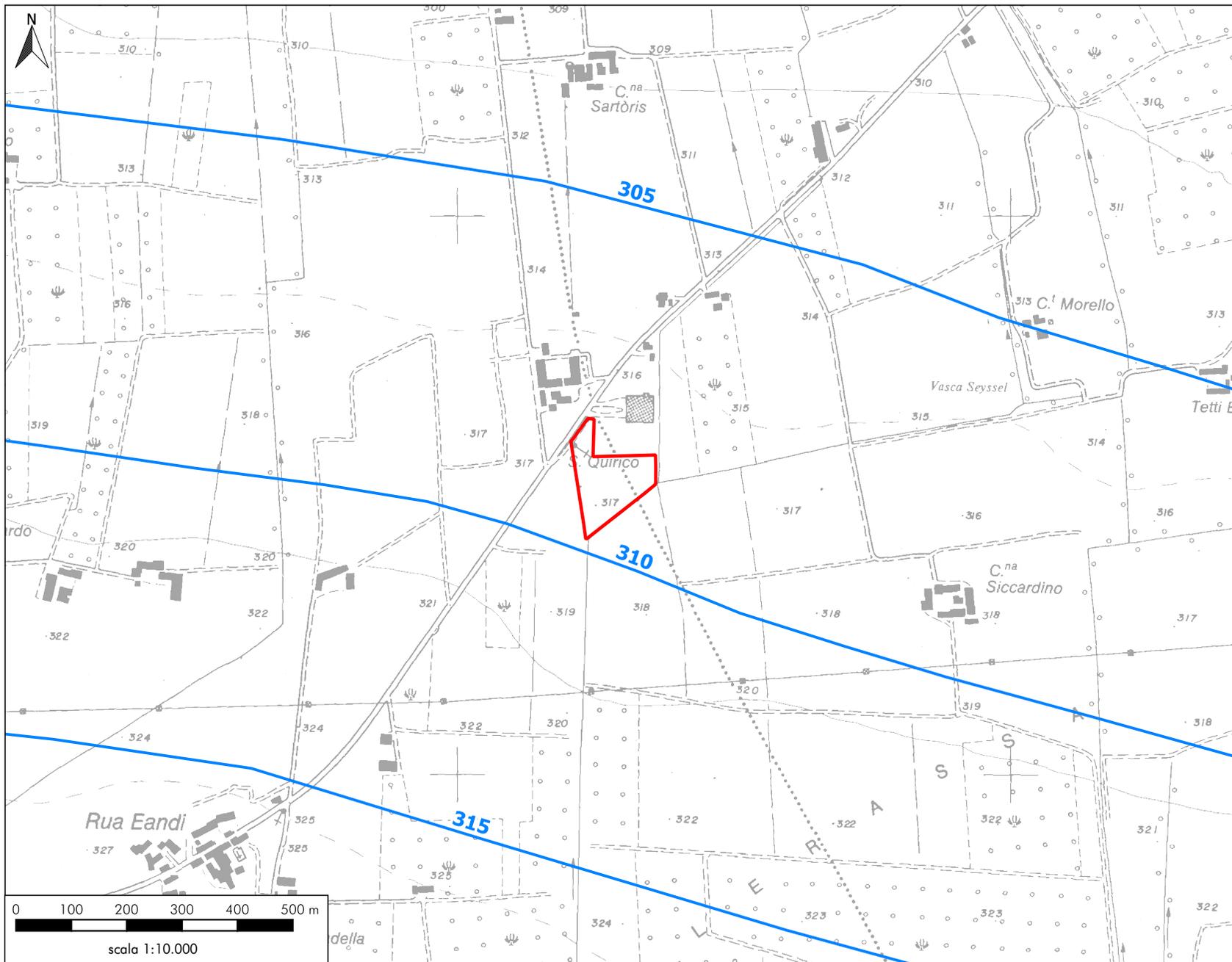


Foto 2. Esecuzione della prova penetrometrica dinamica P2

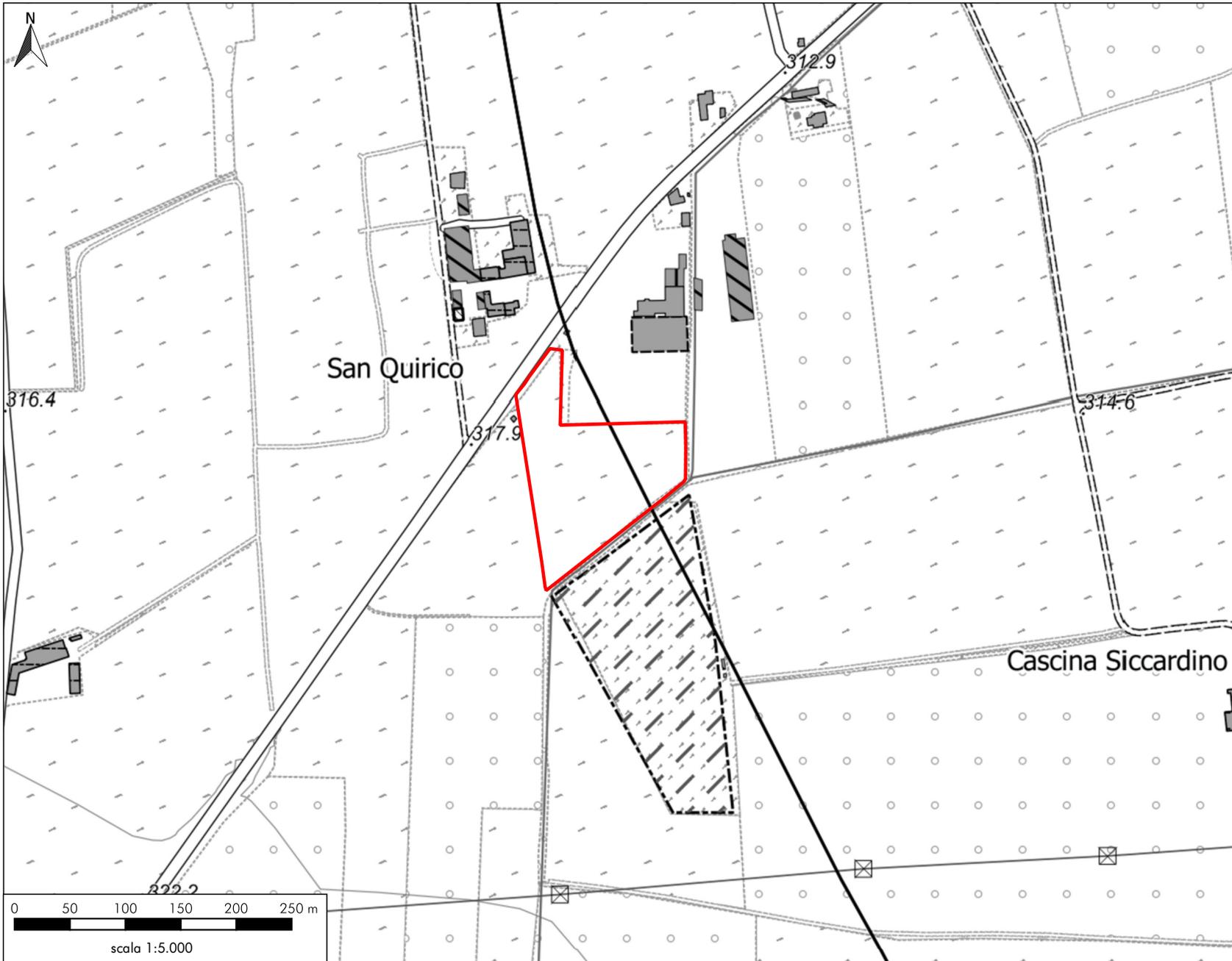


Foto 3. Esecuzione della prova penetrometrica dinamica P3

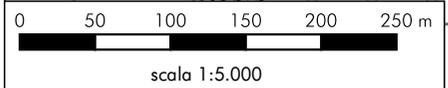
Tavole di inquadramento

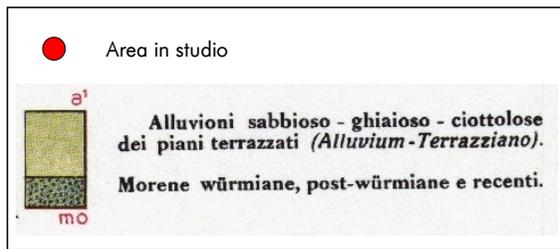
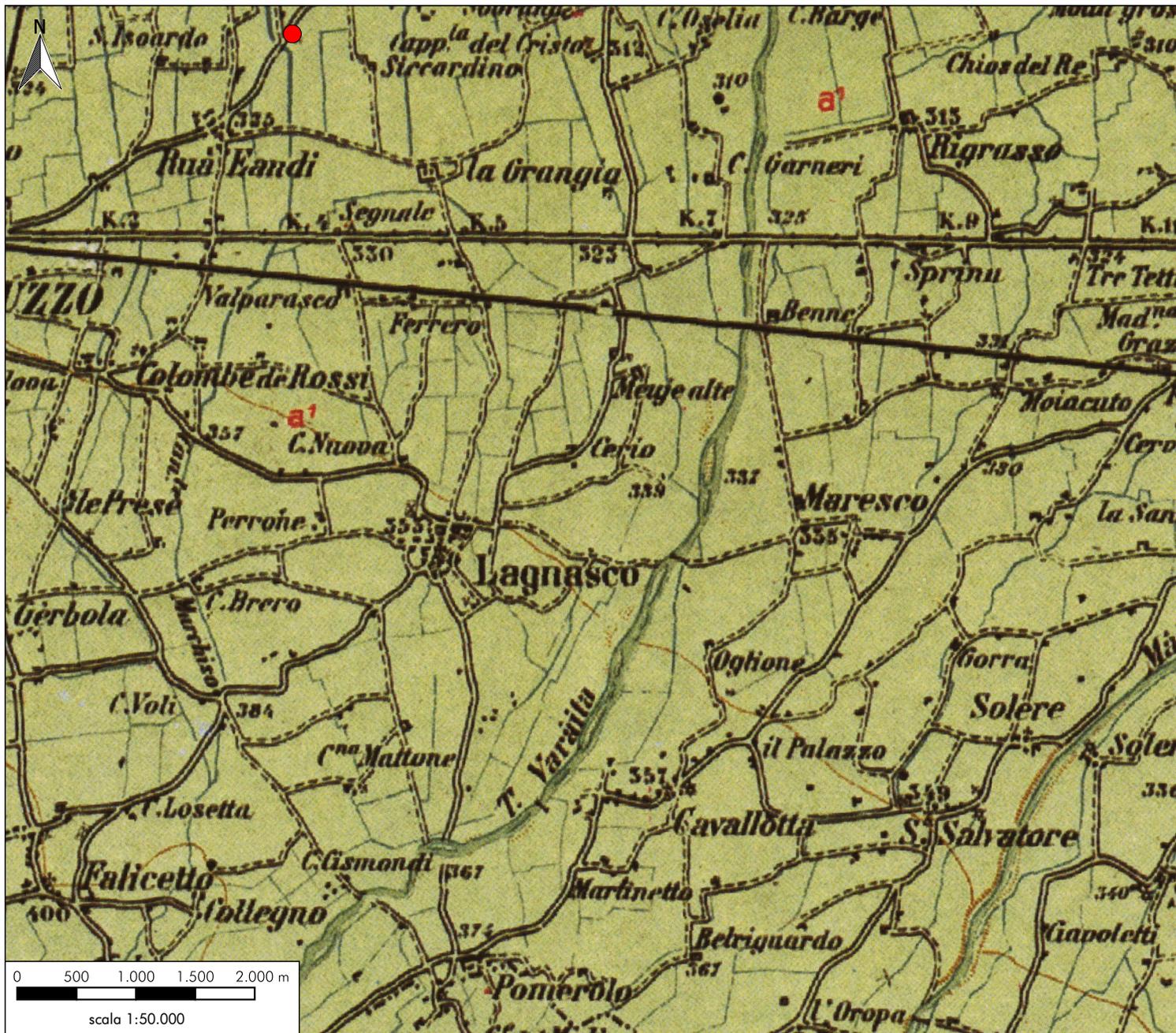


-  Area in studio
- Linee isopiezometriche della falda idrica a superficie libera e relativa quota in m s.l.m. (Università degli Studi di Torino)



□ Area in studio





Stratigrafie Archivio Nazionale delle Indagini nel Sottosuolo
(L. 464/84)

Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali

Codice: 11295
 Regione: PIEMONTE
 Provincia: CUNEO
 Comune: SALUZZO
 Tipologia: PERFORAZIONE
 Opera: POZZO PER ACQUA
 Profondità (m): 123,35
 Quota pe slm (m): 321,50
 Anno realizzazione: 1991
 Numero diametri: 2
 Presenza acqua: SI
 Portata massima (l/s): 70,000
 Portata esercizio (l/s): 70,000
 Numero falde: 4
 Numero filtri: 4
 Numero piezometrie: 1
 Stratigrafia: SI
 Certificazione(*): NO
 Numero strati: 12
 Longitudine WGS84 (dd): 7.537817
 Latitudine WGS84 (dd): 44.661483
 Longitudine WGS84 (dms): 7° 32' 16.14" E
 Latitudine WGS84 (dms): 44° 39' 41.34" N

(* Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine



STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,50	1,50		TERRENO VEGETALE
2	1,50	12,00	10,50		GHIAIONE ARGILLOSO
3	12,00	16,00	4,00		GHIAIA A MEDIA GRANULOMETRIA
4	16,00	23,00	7,00		GHIAIONE ARGILLOSO
5	23,00	25,00	2,00		CIOTTOLONI
6	25,00	30,00	5,00		ARGILLA VERDE
7	30,00	41,00	11,00		GHIAIA A MEDIA GRANA
8	41,00	57,00	16,00		ARGILLA BIANCA
9	57,00	66,00	9,00		MARNA SABBIOSA
10	66,00	97,00	31,00		ARGILLA BIANCA
11	97,00	102,00	5,00		GHIAIETTO E SABBIA IN ARGILLA
12	102,00	123,35	21,35		ARGILLA VERDE SABBIOSA

ISPRA - Copyright 2018

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	26,00	26,00	1000
2	26,00	123,35	97,35	800

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)		Lunghezza (m)
	A profondità (m)	A profondità (m)	
1	16,00	41,00	25,00
2	57,00	66,00	9,00
3	97,00	102,00	5,00
4	112,00	123,00	11,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	16,00	41,00	25,00	450
2	57,00	66,00	9,00	450
3	97,00	102,00	5,00	450
4	112,00	123,00	11,00	450

4	7,00	16,00	9,00	ARGILLA CON PIETRE
5	16,00	19,00	3,00	GHIAIA SABBIOSA
6	19,00	26,00	7,00	GHIAIA MOLTO ARGILLOSA
7	26,00	30,00	4,00	ARGILLA GIALLA

ISPRA - Copyright 2018



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
<p>Codice: 11531 Regione: PIEMONTE Provincia: CUNEO Comune: SCARNAFIGI Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 30,00 Quota pe slm (m): 317,00 Anno realizzazione: 1993 Numero diametri: 2 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 25,000 Portata esercizio (l/s): 25,000 Numero falde: 1 Numero filtri: 0 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 7 Longitudine WGS84 (dd): 7.543944 Latitudine WGS84 (dd): 44.659306 Longitudine WGS84 (dms): 7° 32' 38.21" E Latitudine WGS84 (dms): 44° 39' 33.50" N</p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>	 <p style="text-align: right; font-size: small;">Maxar, Microsoft</p>

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	15,00	15,00	600
2	15,00	30,00	15,00	500

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	15,00	20,00	5,00

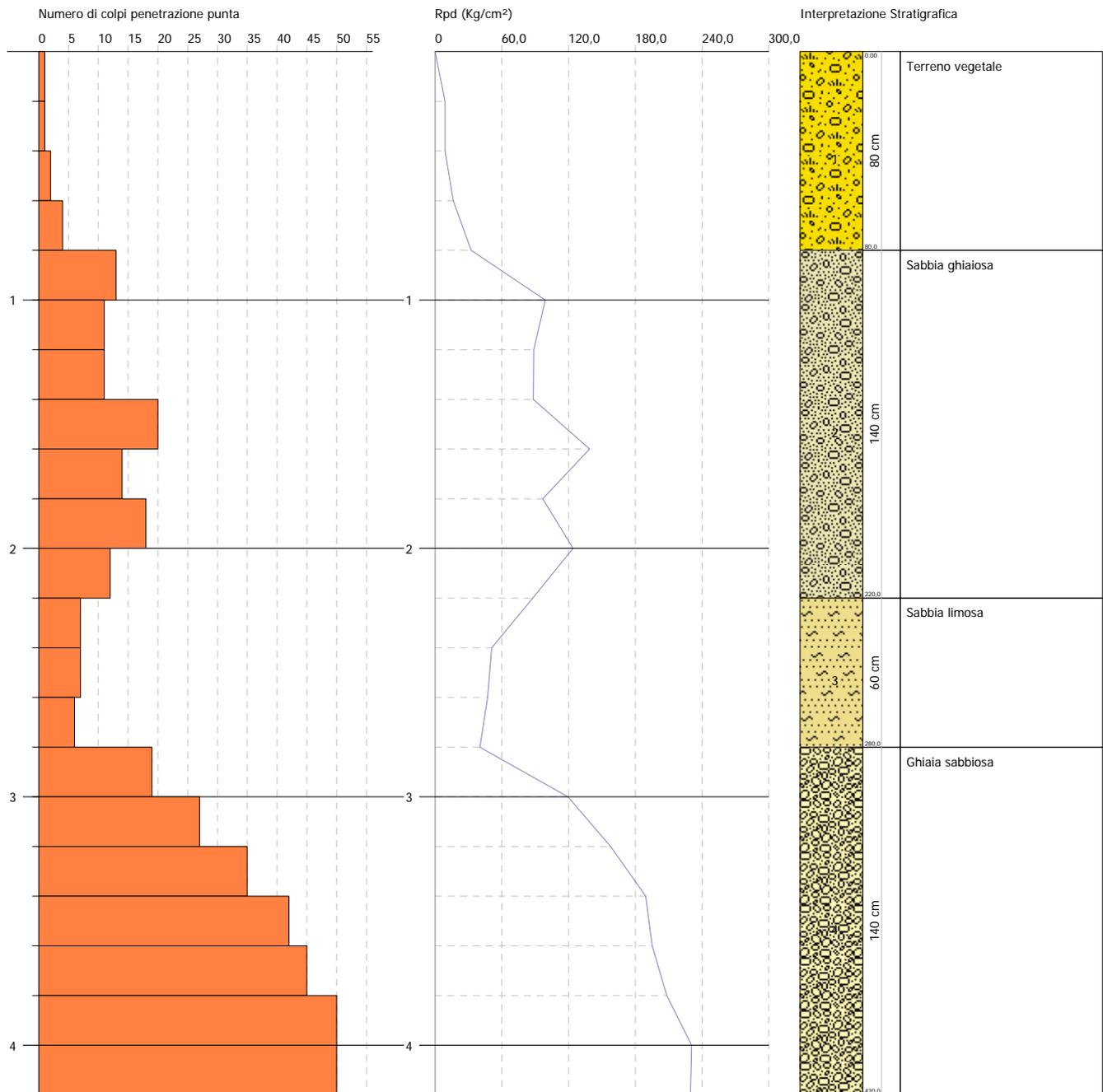
MISURE PIEZOMETRICHE

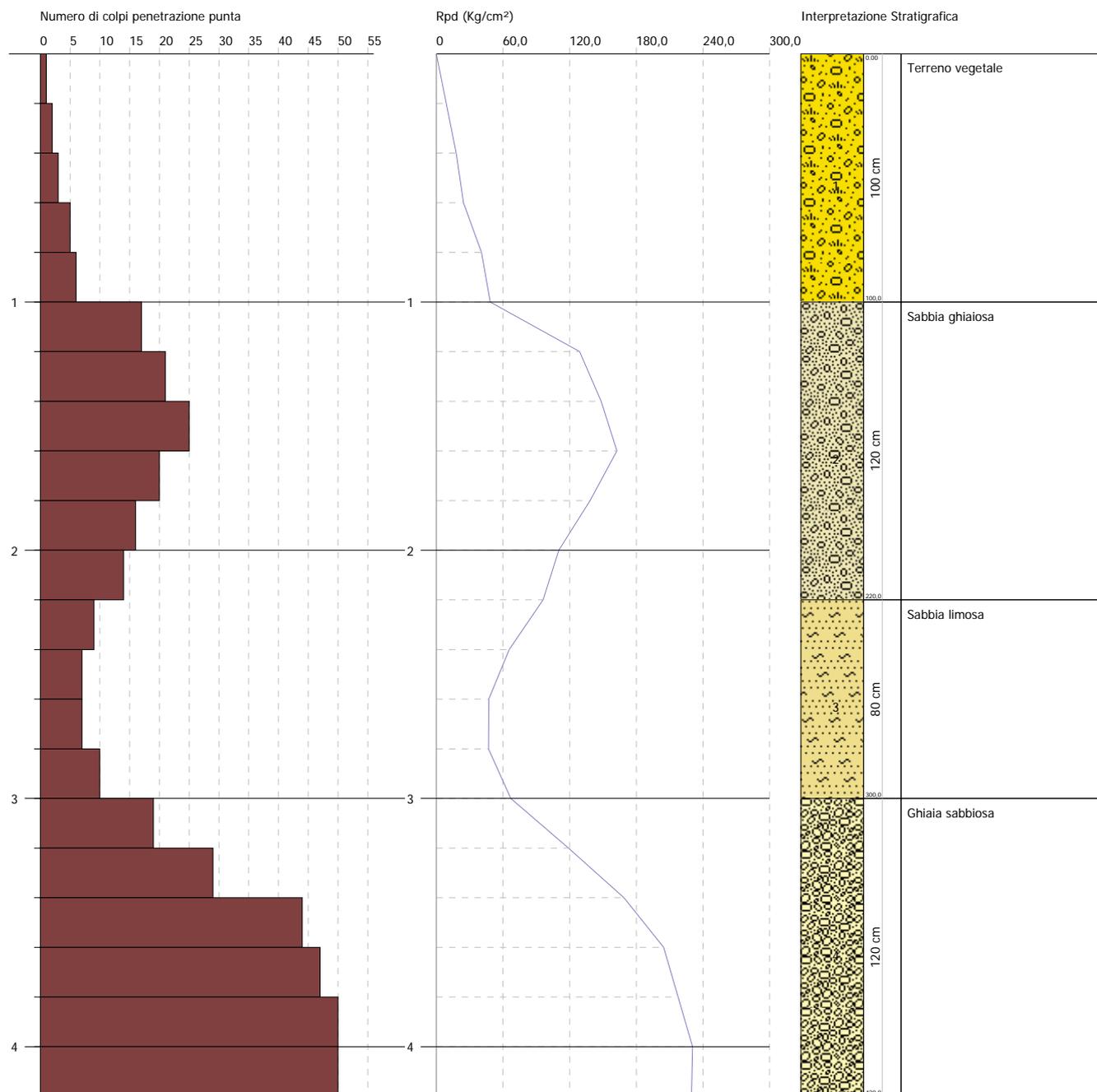
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
ago/1993	5,00	22,00	17,00	25,000

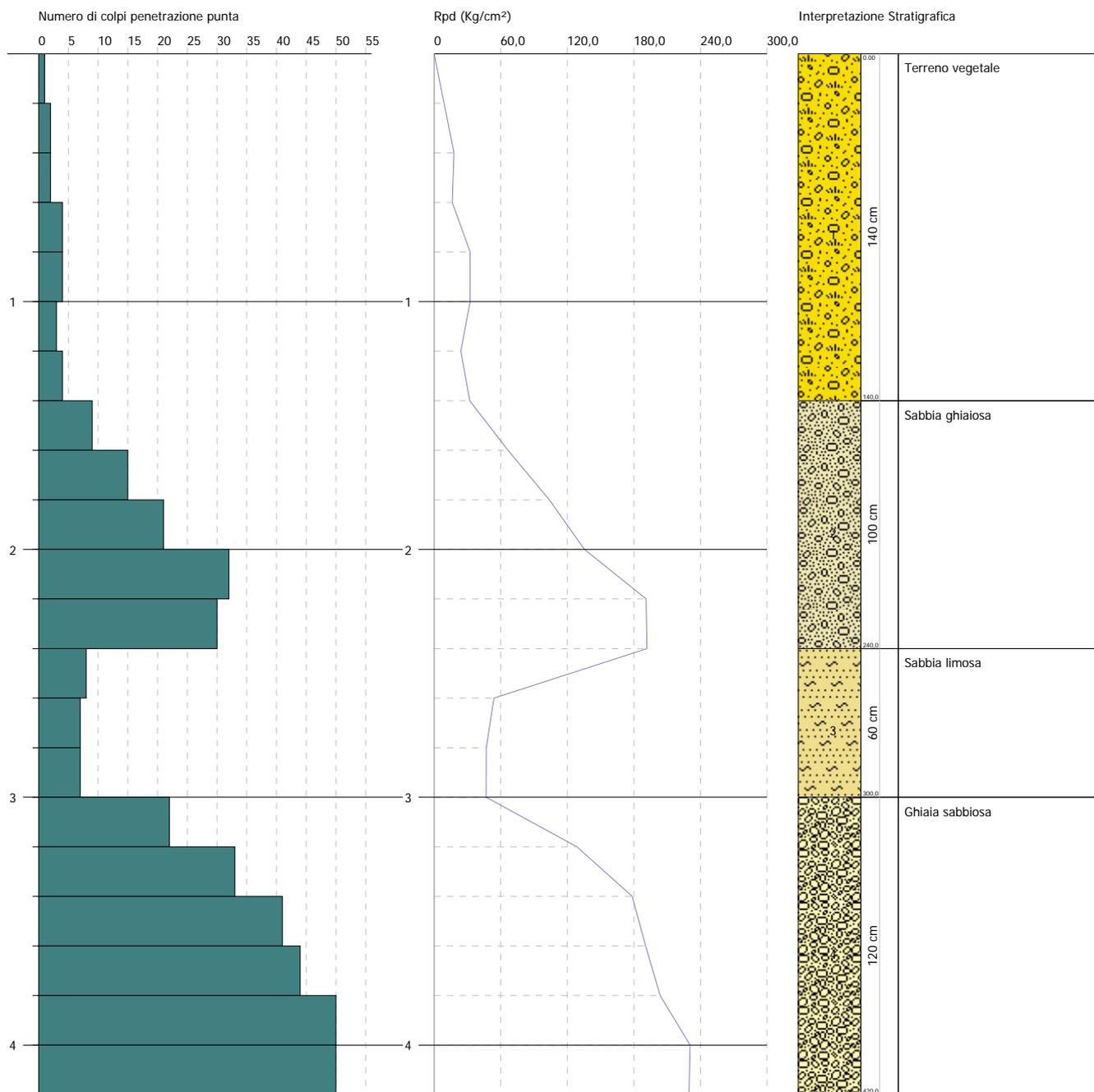
STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,00	1,00		TERRENO VEGETALE
2	1,00	5,00	4,00		GHIAIONE ARGILLOSO
3	5,00	7,00	2,00		GHIAIA A MEDIA GRANA

Tabulati e grafici prove penetrometriche dinamiche







PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 08/10/2021
 Profondità prova 4,20 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	1	0,851	8,94	10,51	0,45	0,53
0,60	2	0,847	16,34	19,29	0,82	0,96
0,80	4	0,843	32,53	38,57	1,63	1,93
1,00	13	0,790	99,01	125,36	4,95	6,27
1,20	11	0,836	88,71	106,08	4,44	5,30
1,40	11	0,833	88,35	106,08	4,42	5,30
1,60	20	0,780	138,93	178,22	6,95	8,91
1,80	14	0,776	96,85	124,75	4,84	6,24
2,00	18	0,773	124,01	160,40	6,20	8,02
2,20	12	0,820	87,70	106,93	4,38	5,35
2,40	7	0,817	50,97	62,38	2,55	3,12
2,60	7	0,814	47,20	57,97	2,36	2,90
2,80	6	0,811	40,32	49,69	2,02	2,48
3,00	19	0,759	119,38	157,35	5,97	7,87
3,20	27	0,706	157,87	223,61	7,89	11,18
3,40	35	0,653	189,39	289,86	9,47	14,49
3,60	42	0,601	195,22	324,89	9,76	16,24
3,80	45	0,598	208,31	348,10	10,42	17,40
4,00	50	0,596	230,53	386,78	11,53	19,34
4,20	50	0,594	229,63	386,78	11,48	19,34

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0,8	2	19,72	Incoerente	1,45	1,87	0,06	1,46	2,92	Terreno vegetale
2,2	14,14	129,69	Incoerente	2,01	2,02	0,26	1,47	20,81	Sabbia ghiaiosa
2,8	6,67	56,68	Incoerente	1,73	1,92	0,45	1,48	9,88	Sabbia limosa
4,2	38,29	302,48	Incoerente	2,27	2,28	0,66	1,49	57,05	Ghiaia sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Meyerhof 1957	41,22
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Meyerhof 1957	97,94
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Meyerhof 1957	61,57
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	21,62
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	32,67
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,17
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	44,25

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Schmertmann (1978) (Sabbie)	23,36
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Schmertmann (1978) (Sabbie)	166,48
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Schmertmann (1978) (Sabbie)	79,04
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Schmertmann (1978) (Sabbie)	456,40

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	33,46
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	70,21
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	47,76
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	144,65

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Classificazione A.G.I.	SCIOLTO
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Classificazione A.G.I.	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Classificazione A.G.I.	POCO ADDENSATO
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Meyerhof et al.	1,45
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Meyerhof et al.	2,01
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Meyerhof et al.	1,73
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Meyerhof et al.	2,27

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,02
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,28

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	(A.G.I.)	0,35
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	(A.G.I.)	0,31
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	(A.G.I.)	0,24

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	240,58
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	798,68

Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	506,65
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1479,05

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \text{SigmaH}/P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Navfac 1971-1982	0,49
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Navfac 1971-1982	4,19
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Navfac 1971-1982	2,08
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Navfac 1971-1982	9,32

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	2,92	0,00-0,80	2,92	Robertson 1983	5,84
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	20,81	0,80-2,20	20,81	Robertson 1983	41,62
Strato (3) Sabbia limosa	9,88	2,20-2,80	9,88	Robertson 1983	19,76
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	57,05	2,80-4,20	57,05	Robertson 1983	114,10

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 08/10/2021
 Profondità prova 4,20 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	3	0,847	24,50	28,93	1,23	1,45
0,80	5	0,843	40,66	48,22	2,03	2,41
1,00	6	0,840	48,59	57,86	2,43	2,89
1,20	17	0,786	128,90	163,94	6,44	8,20
1,40	21	0,733	148,41	202,51	7,42	10,13
1,60	25	0,730	162,52	222,77	8,13	11,14
1,80	20	0,776	138,35	178,22	6,92	8,91
2,00	16	0,773	110,24	142,57	5,51	7,13
2,20	14	0,770	96,07	124,75	4,80	6,24

2,40	9	0,817	65,53	80,20	3,28	4,01
2,60	7	0,814	47,20	57,97	2,36	2,90
2,80	7	0,811	47,04	57,97	2,35	2,90
3,00	10	0,809	66,97	82,82	3,35	4,14
3,20	19	0,756	118,96	157,35	5,95	7,87
3,40	29	0,703	168,94	240,17	8,45	12,01
3,60	44	0,601	204,51	340,36	10,23	17,02
3,80	47	0,598	217,56	363,57	10,88	18,18
4,00	50	0,596	230,53	386,78	11,53	19,34
4,20	50	0,594	229,63	386,78	11,48	19,34

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1	3,4	33,31	Incoerente	1,54	1,89	0,08	1,46	4,96	Terreno vegetale
2,2	18,83	172,46	Incoerente	2,11	2,13	0,28	1,47	27,72	Sabbia ghiaiosa
3	8,25	69,74	Incoerente	1,8	1,93	0,48	1,48	12,23	Sabbia limosa
4,2	39,83	312,5	Incoerente	2,28	2,29	0,69	1,49	59,35	Ghiaia sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Meyerhof 1957	53,06
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Meyerhof 1957	100
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Meyerhof 1957	67,63
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23,63
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	35,39
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	28,54
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	44,84

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Schmertmann (1978) (Sabbie)	39,68

Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Schmertmann (1978) (Sabbie)	221,76
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Schmertmann (1978) (Sabbie)	97,84
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Schmertmann (1978) (Sabbie)	474,80

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	37,65
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	84,40
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	52,59
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	149,37

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Meyerhof et al.	1,54
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Meyerhof et al.	2,11
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Meyerhof et al.	1,80
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Meyerhof et al.	2,28

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0.00-1,00	4,96	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,13
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
Strato (4)	59,35	3,00-4,20	59,35	Terzaghi-Peck	2,29

Ghiaia sabbiosa				1948-1967	
-----------------	--	--	--	-----------	--

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0,00-1,00	4,96	(A.G.I.)	0,34
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	(A.G.I.)	0,3
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	(A.G.I.)	0,23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0,00-1,00	4,96	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	332,54
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	951,60
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	577,20
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1515,20

Coefficiente spinta a Riposo K₀=SigmaH/P₀

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K ₀
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0,00-1,00	4,96	Navfac 1971-1982	0,98
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Navfac 1971-1982	5,29
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Navfac 1971-1982	2,57
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Navfac 1971-1982	9,78

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q _c (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,96	0,00-1,00	4,96	Robertson 1983	9,92
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	27,72	1,00-2,20	27,72	Robertson 1983	55,44
Strato (3) Sabbia limosa	12,23	2,20-3,00	12,23	Robertson 1983	24,46
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,35	3,00-4,20	59,35	Robertson 1983	118,70

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 08/10/2021
 Profondità prova 4,20 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	2	0,847	16,34	19,29	0,82	0,96
0,80	4	0,843	32,53	38,57	1,63	1,93
1,00	4	0,840	32,39	38,57	1,62	1,93
1,20	3	0,836	24,19	28,93	1,21	1,45
1,40	4	0,833	32,13	38,57	1,61	1,93
1,60	9	0,830	66,53	80,20	3,33	4,01
1,80	15	0,776	103,77	133,66	5,19	6,68
2,00	21	0,723	135,33	187,13	6,77	9,36
2,20	32	0,670	191,08	285,15	9,55	14,26
2,40	30	0,717	191,71	267,33	9,59	13,37
2,60	8	0,814	53,95	66,25	2,70	3,31
2,80	7	0,811	47,04	57,97	2,35	2,90
3,00	7	0,809	46,88	57,97	2,34	2,90
3,20	22	0,706	128,63	182,20	6,43	9,11
3,40	33	0,653	178,57	273,30	8,93	13,66
3,60	41	0,601	190,57	317,16	9,53	15,86
3,80	44	0,598	203,68	340,36	10,18	17,02
4,00	50	0,596	230,53	386,78	11,53	19,34
4,20	50	0,594	229,63	386,78	11,48	19,34

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1,4	2,86	27,92	Incoerente	1,5	1,88	0,11	1,46	4,18	Terreno vegetale
2,4	21,4	190,69	Incoerente	2,15	2,16	0,32	1,47	31,5	Sabbia ghiaiosa
3	7,33	60,73	Incoerente	1,76	1,92	0,48	1,48	10,86	Sabbia limosa
4,2	40	314,43	Incoerente	2,29	2,30	0,67	1,49	59,6	Ghiaia sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Meyerhof 1957	47,85
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Meyerhof 1957	100
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Meyerhof 1957	63,77
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	22,92
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	36,74
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,76
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	44,9

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Schmertmann (1978) (Sabbie)	33,44
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Schmertmann (1978) (Sabbie)	252,00
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Schmertmann (1978) (Sabbie)	86,88
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Schmertmann (1978) (Sabbie)	476,80

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	36,05
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	92,17
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	49,77
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	149,88

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Meyerhof et al.	1,50
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Meyerhof et al.	2,15
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Meyerhof et al.	1,76
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Meyerhof et al.	2,29

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,88
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,16
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,30

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	(A.G.I.)	0,35
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	(A.G.I.)	0,29
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	(A.G.I.)	0,23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0,00-1,40	4,18	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	299,54
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1028,91

Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	536,79
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1519,10

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \text{SigmaH}/P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0.00-1,40	4,18	Navfac 1971-1982	0,79
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Navfac 1971-1982	5,81
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Navfac 1971-1982	2,29
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Navfac 1971-1982	9,83

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno vegetale	4,18	0.00-1,40	4,18	Robertson 1983	8,36
Strato (2) Sabbia ghiaiosa	31,5	1,40-2,40	31,5	Robertson 1983	63,00
Strato (3) Sabbia limosa	10,86	2,40-3,00	10,86	Robertson 1983	21,72
Strato (4) Ghiaia sabbiosa	59,6	3,00-4,20	59,6	Robertson 1983	119,20

Rapporto tecnico indagine MASW

INDAGINE GEOFISICA

TRAMITE PROSPERZIONE SISMICA MASW

Data: 08 ottobre 2021



Il Committente:

Studio APOGEO

L'Amministratore Unico:

Dr. Massimo Castellaro - Geologo

Il Progettista:

Indagine sismica per Area PEC

Comune di Scarnafigi (CN) - Strada Saluzzo s.n.c.

Generalità

L'indagine sismica di tipo MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) attivo e passivo sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza). Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici. L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi

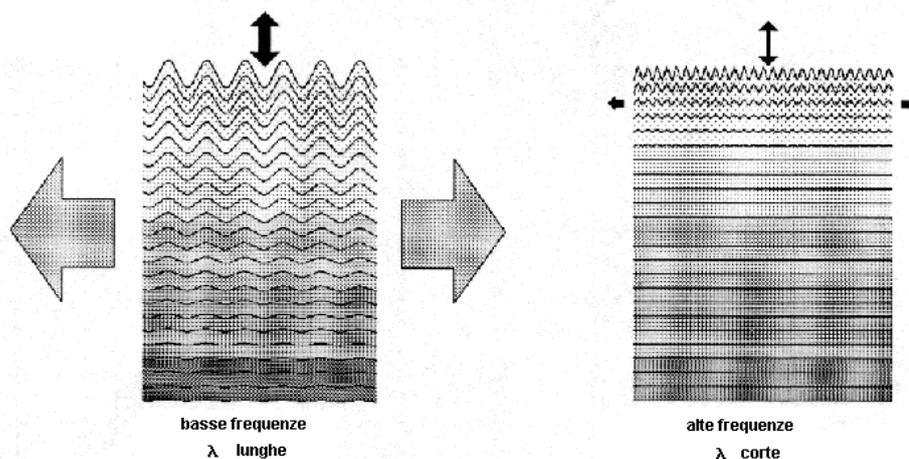
di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. È anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma: in questo caso la MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di

indagine del profilo Vs di inversione.



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali quale la MASW può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

L'acquisizione è stata quindi effettuata con un sismografo multicanale PASI GEA 24 della Pasi S.r.l. a 24 canali dotato di convertitore analogico/digitale integrato con un computer portatile su cui è installato un apposito programma che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle

forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%. L'energizzazione è stata ottenuta con massa battente da 8 Kg su piastra in P.V.C.; per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Per l'acquisizione dei dati di campo è stato realizzato uno stendimento geofonico di lunghezza pari a 48 m, posizionando n°24 geofoni con un interasse di 2 m. Sono individuati 2 punti di energizzazione all'estremità dello stendimento, distanti -2 e +2 m dal primo geofono (ovvero alle progressive relative 0 m e 50 m). Per ogni punto di energizzazione sono state effettuate 3 battute (impulsi sismici) su cui è stata eseguita la media con il processo di stacking. La durata del campionamento è stata di 2.0 ms. Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente). Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile. L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 30 m di profondità: **a seguire è riportata l'elaborazione effettuata tramite il software Easy MASW di Geostru, con descrizione della metodologia utilizzata.**

Cenni sulla teoria della tecnica MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;

- **R-Rayleigh**: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l’analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l’ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l’attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L’analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L’analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E’ possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d’onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l’aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d’onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d’onda. Piccole lunghezze d’onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d’onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

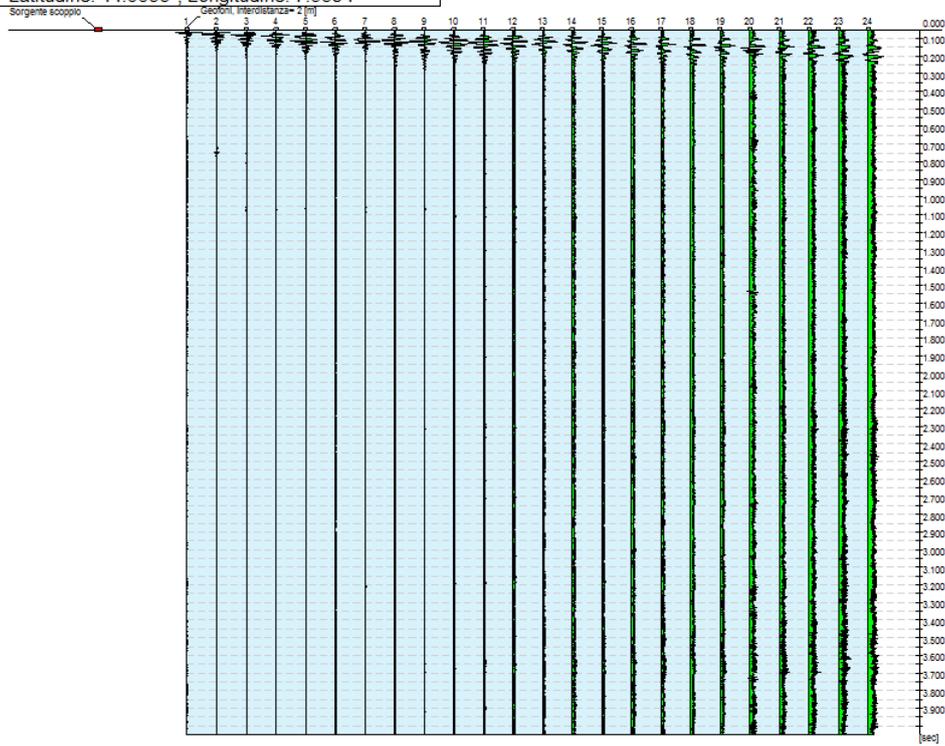
Dati generali

Committente	Studio APOGEO
Cantiere	Area PEC
Località	Strada Saluzzo s.n.c. - Scarnafigi (CN)
Operatore	Dr. Geol. Massimo Castellaro
Responsabile	Dr. Geol. Massimo Castellaro
Zona	3
Data	08/10/2021 11:00
Latitudine	44.6633
Longitudine	7.5394

Tracce

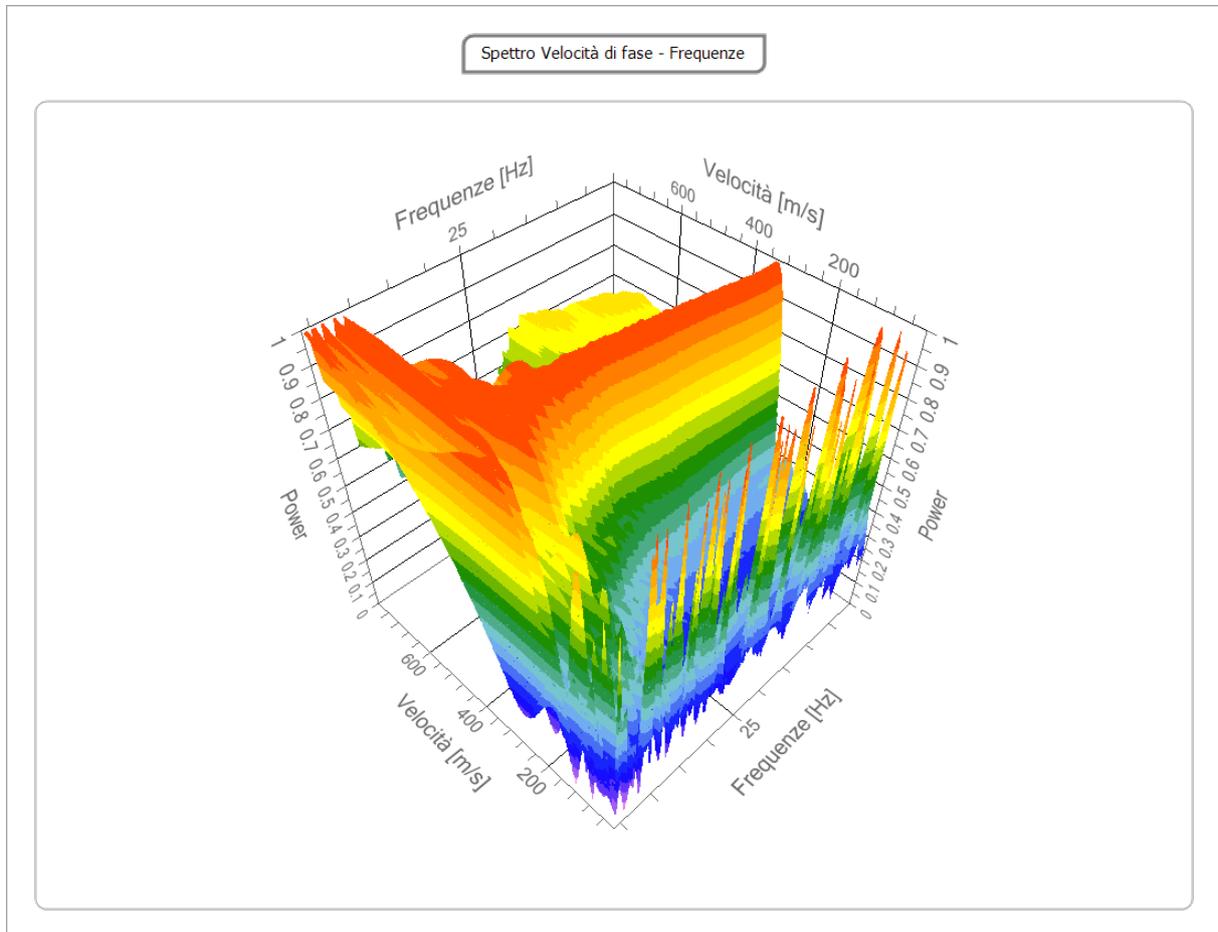
N. tracce	24
Durata acquisizione [ms]	4000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [ms]	0.25

Committente: Studio APOGEO
 Cantiere: Area PEC
 Località: Strada Saluzzo s.n.c. - Scarnafigi (CN)
 Operatore: Dr. Geol. Massimo Castellaro
 Responsabile: Dr. Geol. Massimo Castellaro
 Data: 08/10/2021
 Latitudine: 44.6633°, Longitudine: 7.5394°



Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	4
[Hz]	
Frequenza massima di elaborazione	50
[Hz]	
Velocità minima di elaborazione [m/s]	10
Velocità massima di elaborazione [m/s]	800
Intervallo velocità [m/s]	1

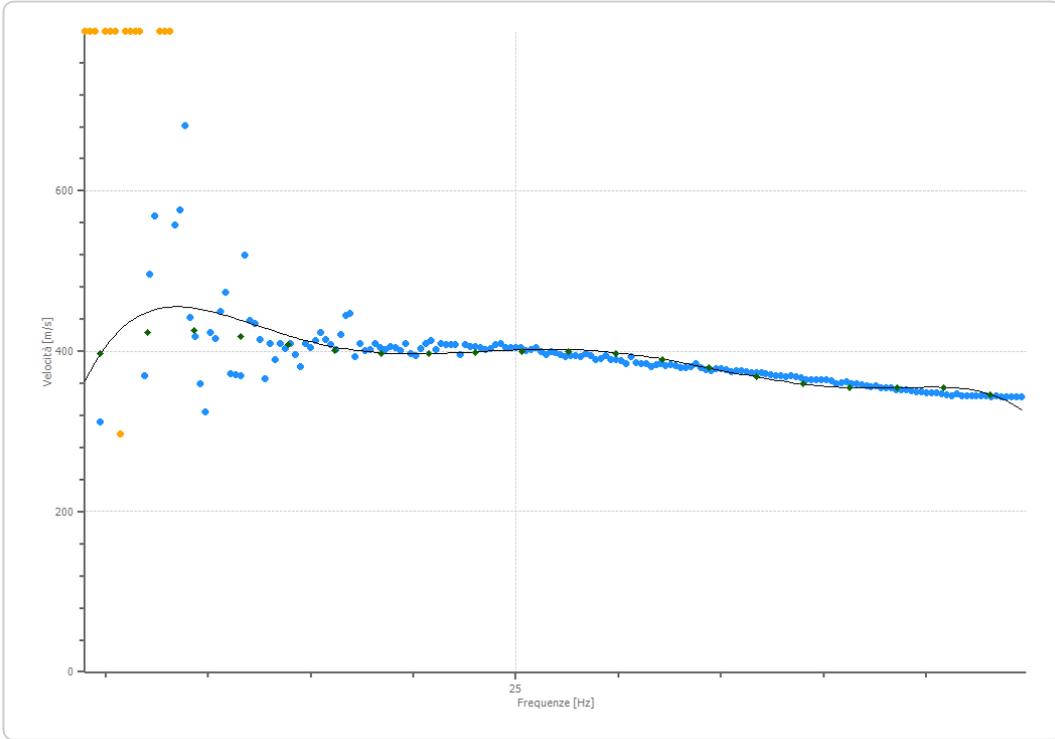


Curva di dispersione

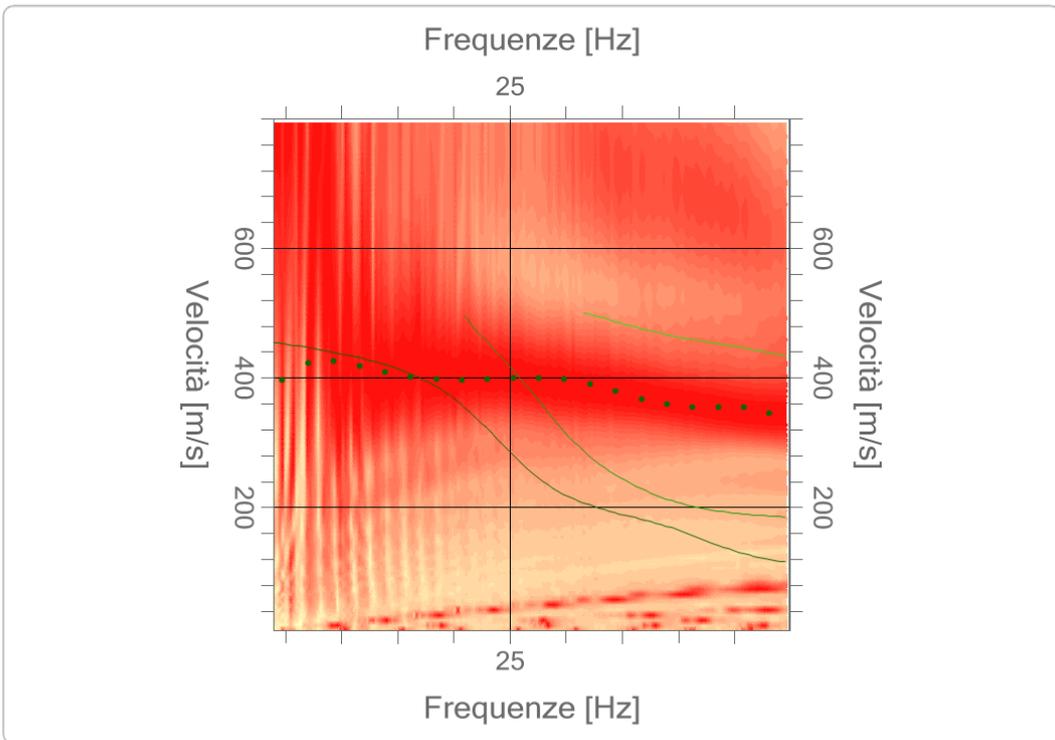
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/s]	Modo
1	4.8	397.0	0
2	7.0	422.9	0
3	9.3	425.3	0
4	11.6	417.7	0
5	13.9	408.3	0

6	16.2	401.1	0
7	18.5	397.4	0
8	20.7	396.7	0
9	23.0	397.9	0
10	25.3	399.3	0
11	27.6	399.3	0
12	29.9	397.4	0
13	32.2	390.0	0
14	34.4	379.1	0
15	36.7	367.8	0
16	39.0	358.9	0
17	41.3	354.4	0
18	43.6	354.4	0
19	45.8	354.6	0
20	48.1	346.1	0

Curva di dispersione



Spettro Velocità di fase - Frequenze



Inversione

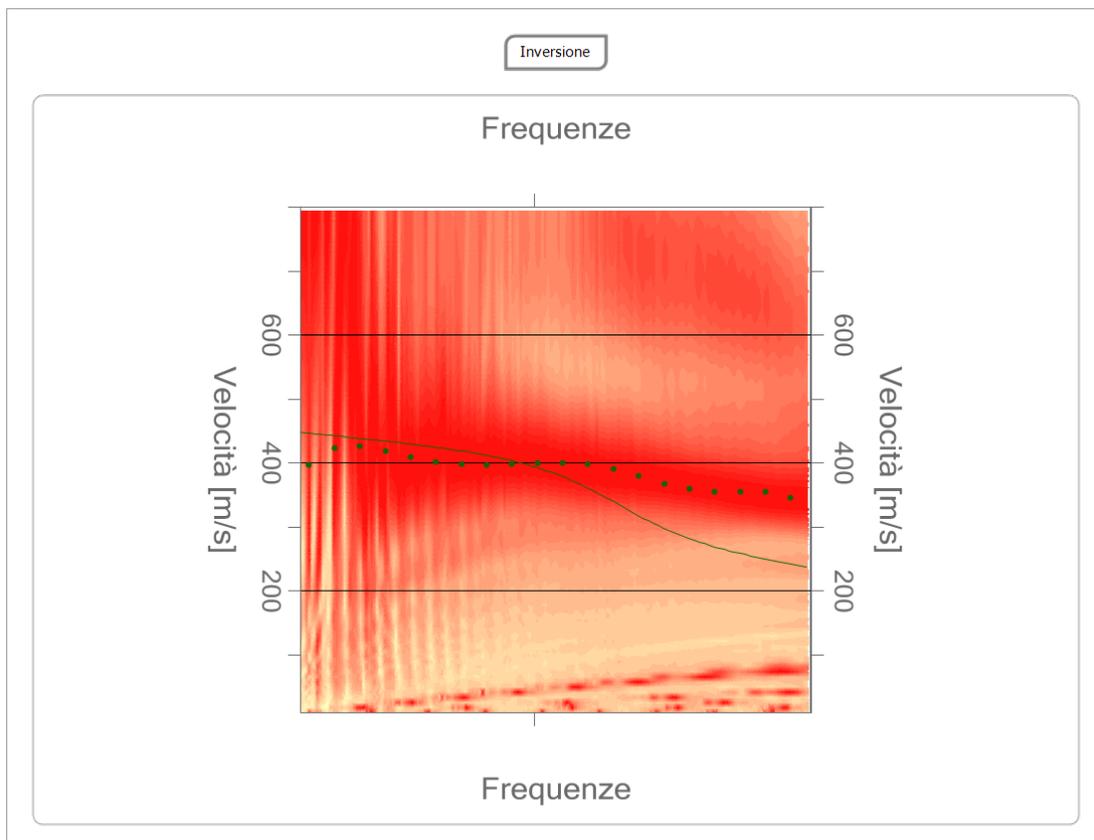
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1600.0	0.3	No	249.4	133.3
2		2.00	1.00	1800.0	0.3	No	748.3	400.0
3		3.00	1.00	1700.0	0.3	No	498.9	266.7
4		oo	oo	2200.0	0.3	Si	915.9	489.6

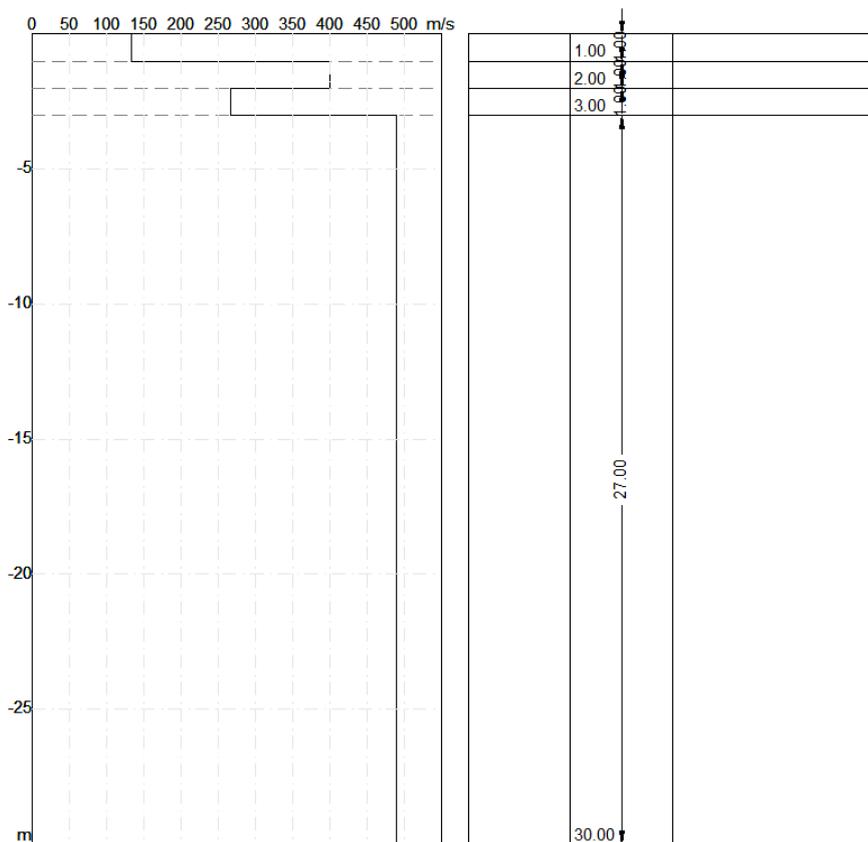
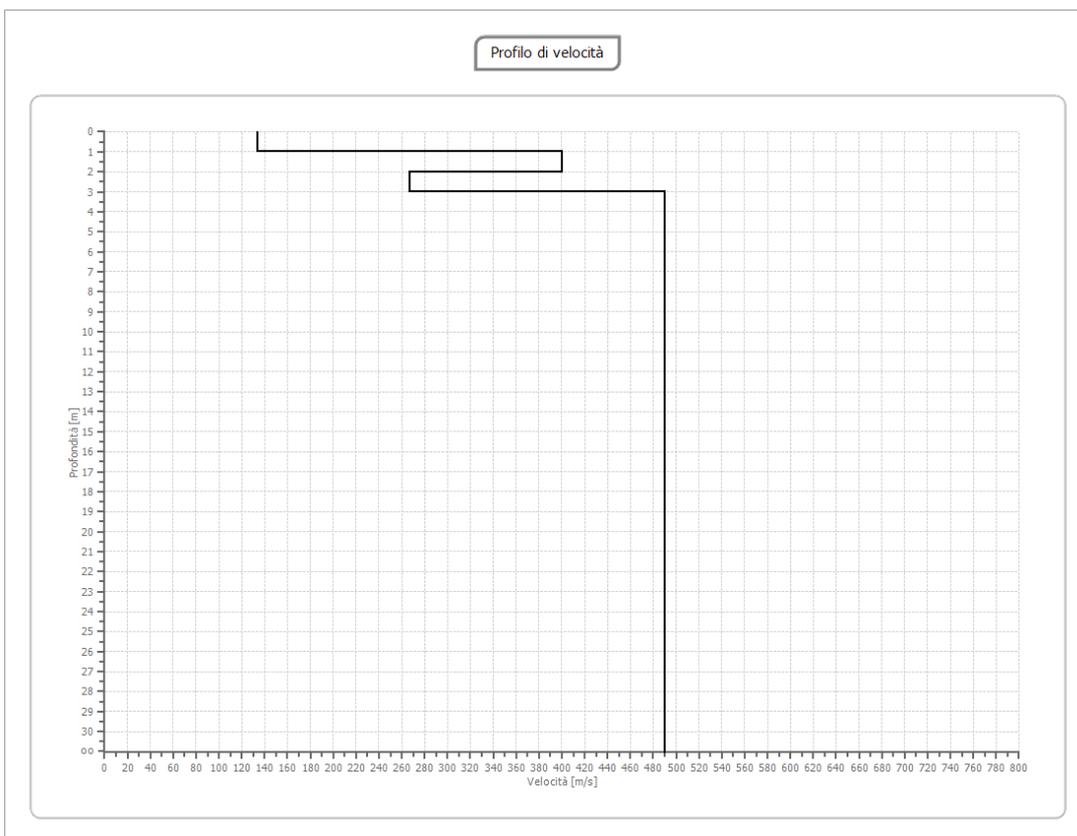
Percentuale di errore

2.070 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.155





RISULTATI

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/s] (H=30.00 m)	435.41
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	133.32	249.42	1600.00	0.30	28.44	99.53	61.62	73.94	5	99
2	2.00	1.00	400.00	748.33	1800.00	0.30	288.00	1008.00	624.00	748.80	20	N/A
3	3.00	1.00	266.67	498.89	1700.00	0.30	120.89	423.11	261.93	314.31	10	3227
4	oo	oo	489.58	915.91	2400.00	0.30	575.25	2013.36	1246.36	1495.64	>50	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young.

Segue documentazione fotografica stendimento MASW

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINE SISMICA MASW

