



PROGETTO DI REALIZZAZIONE  
NUOVO INSEDIAMENTO  
PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

COMMITTENTE:  
MCGARLET S.R.L.

**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**



*Ottobre 2020*

dott. geol. Alessandro Chiodelli

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2. PRINCIPALI DISPOSIZIONI NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1 Sintesi progettuale</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2 Tipo di costruzione e vita nominale (<math>V_N</math>)</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3 Azioni sismiche e classi d'uso (<math>C_U</math>)</b> .....	<b>6</b>
<b>3.4 Periodo di riferimento per l'azione sismica (<math>V_R</math>)</b> .....	<b>6</b>
<b>4. INQUADRAMENTI TERRITORIALI</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1 Inquadramento geografico</b> .....	<b>8</b>
<b>4.2 Inquadramento geomorfologico</b> .....	<b>8</b>
<b>4.3 Inquadramento geolitologico</b> .....	<b>10</b>
<b>4.4 Inquadramento idrogeologico e idrografico</b> .....	<b>12</b>
<b>5. VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE</b> ..	<b>15</b>
<b>5.1 Compatibilità con lo studio geologico comunale</b> .....	<b>15</b>
<b>5.2 Compatibilità con gli strumenti della pianificazione sovraordinata</b> .....	<b>18</b>
<b>6. INDAGINE GEOGNOSTICA</b> .....	<b>20</b>
<b>6.1 Premessa</b> .....	<b>20</b>
<b>6.2 Prove penetrometriche dinamiche</b> .....	<b>21</b>
<b>7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA</b> .....	<b>33</b>
<b>7.1 Modello geologico di riferimento</b> .....	<b>33</b>
<b>8. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO</b> .....	<b>35</b>
<b>8.1 Generalità</b> .....	<b>35</b>
<b>8.2 Indagine geofisica</b> .....	<b>36</b>
<b>8.3 Analisi di risposta sismica locale</b> .....	<b>51</b>
<b>9. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO</b> .....	<b>60</b>
<b>10. ACCORGIMENTI TECNICO-COSTRUTTIVI</b> .....	<b>66</b>
<b>11. CONCLUSIONI</b> .....	<b>67</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione geologico-geotecnica e sismica è stata commissionata da McGarlet S.r.l. a supporto del progetto di nuovo insediamento produttivo a Torre de' Roveri (Bergamo).

La relazione si prefigge l'obiettivo di valutare la compatibilità dell'intervento di progetto in relazione all'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico, nonché definire il modello geologico e geotecnico del sito.

Si precisa che il Comune di Torre de' Roveri, secondo la D.G.R. lombarda dell'11 luglio 2014 n. X/2129, è classificato nella zona sismica 3.

Inoltre, si specifica che la presente relazione si pone in aderenza alle disposizioni normative di cui alle NTA dello studio geologico comunale, al cap. 4, Parte I, Allegato B della D.G.R. lombarda n. IX/2616 del 30/11/2011 e alle N.T.C. 2018.



Figura 1 – Foto aerea dell'area di interesse con indicata l'area di interesse  
(da Geoportale regionale)

## **2. PRINCIPALI DISPOSIZIONI NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

### ***DECRETO MINISTERIALE 17.01.2018***

Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare Esplicativa 2019

### ***UNI ENV 1997-1(2002): Eurocodice 7***

“Progettazione Geotecnica”

### ***UNI ENV 1998-5(2001): Eurocodice 8***

“Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”

### ***ORDINANZE***

Autorità di Bacino del Fiume Po e Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

### ***NORMATIVA REGIONALE***

- D.G.R. 30.XI.2011 n. IX/2616 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374”;
- Legge Regionale 12 ottobre 2015 n. 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;
- D.G.R. 30.III.2016 n. X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica.
- D.G.R. 19.VI.2017 - n. X/6738 – Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell’autorità di bacino del Fiume Po

### ***STUDIO GEOLOGICO COMUNALE E RELATIVE NTA***

Dott. Geol. Paolo Grimaldi e Dott. Geol. Stefano Mologni, ottobre 2009 e variante 2018



### 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

#### 3.1 Sintesi progettuale

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo insediamento di carattere produttivo nell'area ex Scarpellini. Per le specifiche d'intervento si rimanda alle relazioni e agli elaborati progettuali.

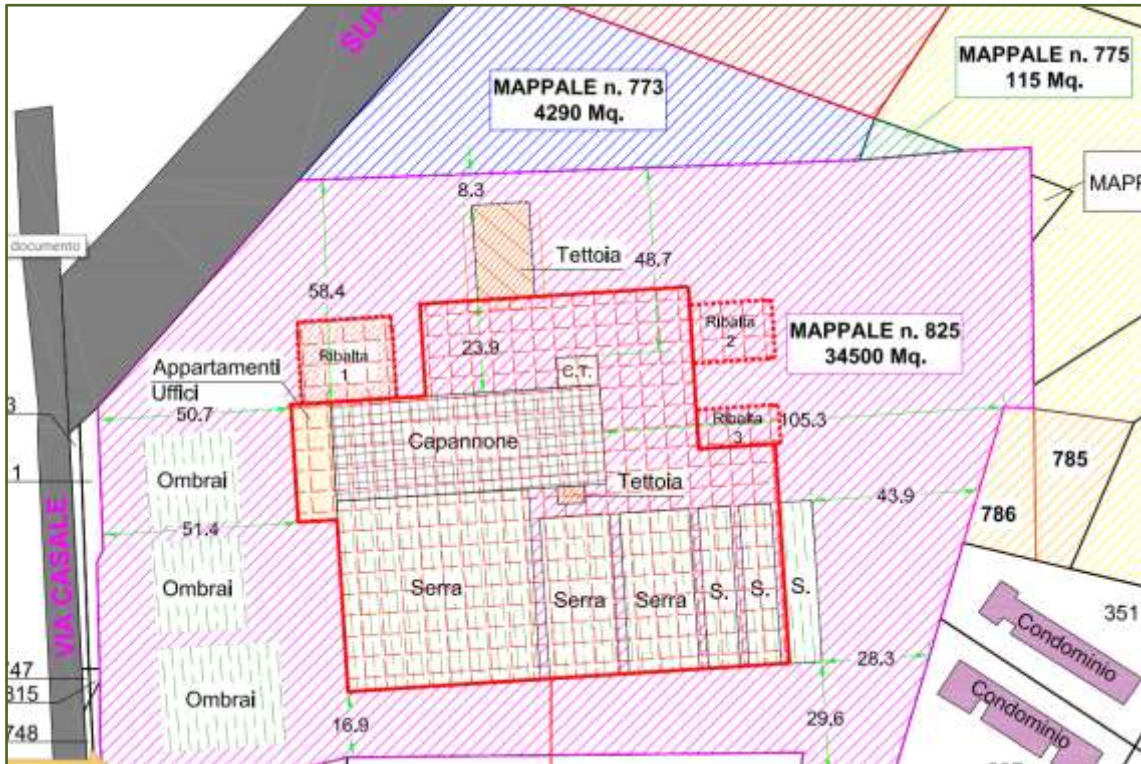


Figura 2 - Planimetria generale (in rosso l'edificio di progetto)

#### 3.2 Tipo di costruzione e vita nominale ( $V_N$ )

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Tab. 2.4.I - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Categoria 2 → Vita Nominale = 50 anni

### 3.3 Azioni sismiche e classi d'uso ( $C_U$ )

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 Classi d'Uso (corrispondenti alle Classi di Importanza delle EC8), così definite:

*Classe I:* costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche o sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in *Classe d'uso III* o in *Classe d'uso IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni d'emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento), gli uffici e i negozi.

*Classe III:* costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in *Classe d'uso IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche rilevanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A e B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

### 3.4 Periodo di riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ )

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento ( $V_R$ ).

Il periodo di riferimento si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \times C_U$$

PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

*RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA*

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come da tabella seguente:

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Check List

- Tipo di costruzione: 2 (livelli di prestazioni ordinari)
- Vita nominale ( $V_N$ ): 50 anni
- Classi d'uso in presenza di azioni sismiche ( $C_U$ ): II (normali affollamenti)
- Coefficiente  $C_U$ : 1,0
- Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,0 = \underline{\underline{50 \text{ anni}}}$

#### 4. INQUADRAMENTI TERRITORIALI

##### 4.1 Inquadramento geografico

L'area in esame è posta nel territorio comunale di Torre de' Roveri, in particolare lungo Via Casale, a confine con Scanzorosciate e in fregio alla superstrada ex SS671; ci si colloca, ad ampia scala, alle falde delle ultime propaggini collinari seriane, in contesto pianeggiante. La quota di riferimento è pari a 265 m s.l.m. circa.

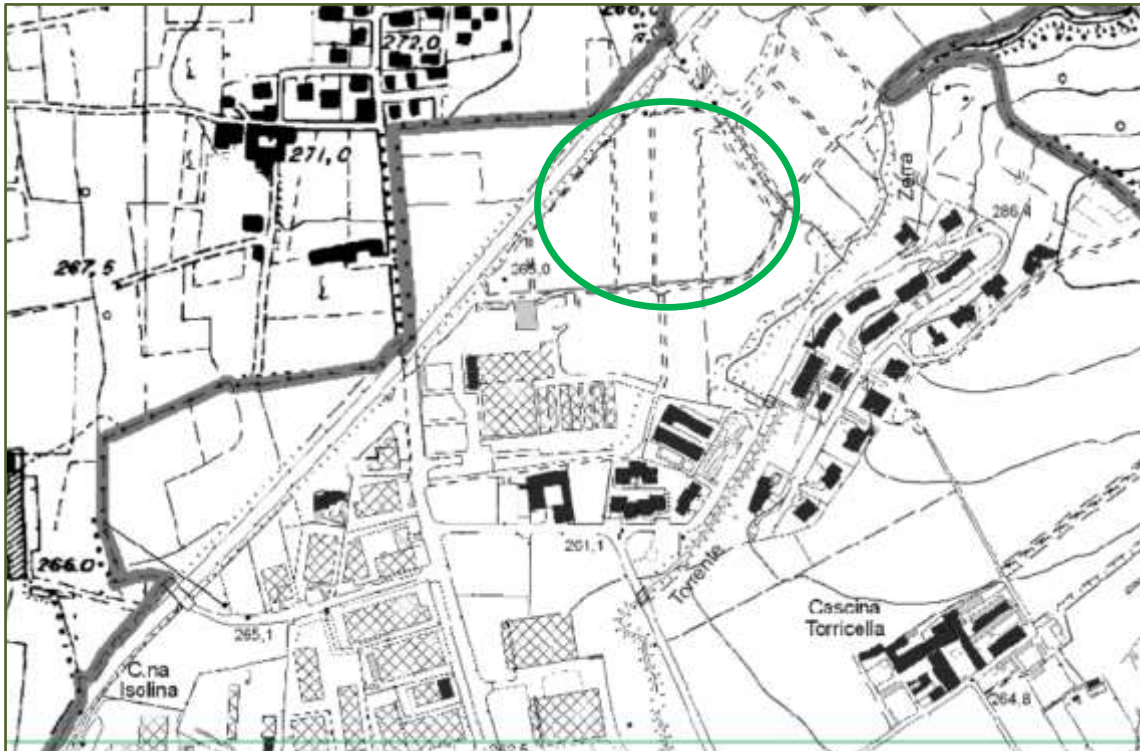


Figura 3 – Stralcio di Carta Tecnica Regionale 1:10.000 con indicata l'area di intervento

##### 4.2 Inquadramento geomorfologico

L'area oggetto di intervento si colloca in zona pianeggiante semi-urbanizzata, ai piedi degli ultimi rilievi collinari seriani, ovvero la bassa dorsale che funge da spartiacque tra la Val Gavarnia e l'alta pianura vera e propria. Il sito si colloca inoltre entro il bacino del Torrente Zerra, in sponda idrografica destra, e a distanza relativamente breve dallo stesso. Il contesto geomorfologico è dominato primariamente da processi morfogenetici legati alla dinamica di versante e delle acque superficiali; marcata è anche l'azione antropica. I primi sono connessi alla modellazione generale del paesaggio, ai colluviamenti, al soil creep e a tutti i fenomeni di dissesto che costellano i versanti. La dinamica delle acque



superficiali è connessa all'azione dei corsi d'acqua, sia in termini di erosione che di sedimentazione, ed a tutte le forme legate al ruscellamento superficiale. Ai suddetti processi si sovrappone la geologia in senso stretto, ovvero la litologia (natura e competenza dei terreni e delle rocce) e la tettonica (lineamenti strutturali).

Ad ogni modo, il sito d'intervento non presenta segnali di dissesto né elementi idrografici direttamente interferenti.

La Carta Geomorfológica dello studio geologico comunale non evidenzia alcun elemento interferente. Il sito si colloca entro "terreni sciolti", ma è esterno alle zone di possibile esondazione e di ristagno d'acqua.

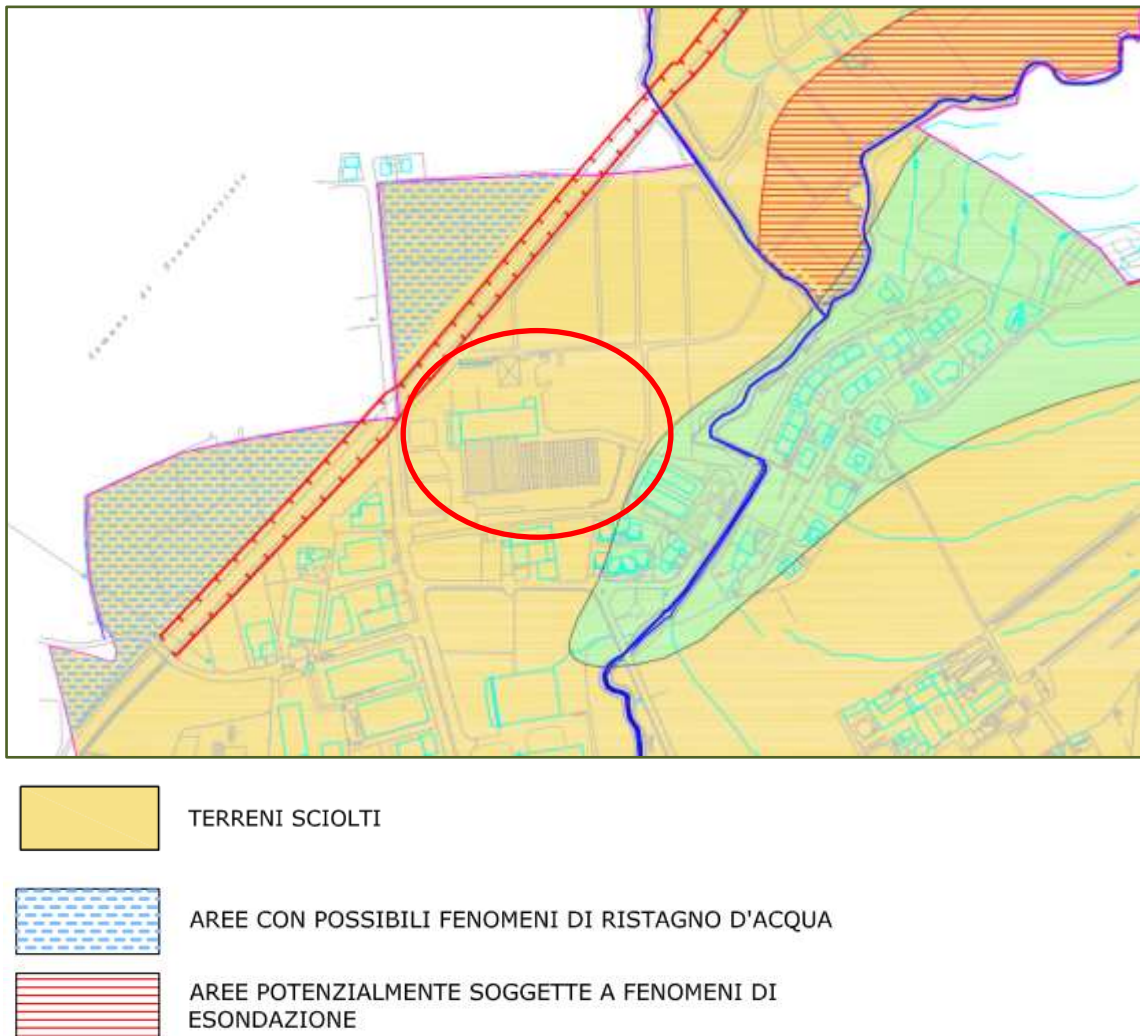


Figura 4 – Stralcio della Carta Geomorfológica dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento

In definitiva, è possibile affermare che non sussistono elementi geomorfologici ostativi in relazione alla realizzazione delle opere di progetto, in considerazione della loro consistenza e tipologia.

#### **4.3 Inquadramento geolitologico**

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di depositi superficiali quaternari.

Nella fattispecie, i terreni oggetto di indagine ricadono entro l'unità nota nella nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG – Foglio 098 “Bergamo”) come Supersistema di Palazzago (PA), di età pliocenica – pleistocenica.

Si tratta di depositi di versante e di debris flow (limi e argille limose con clasti, diamicton), con profili d'alterazione variabili.

Dal punto di vista strutturale, non si segnalano lineamenti tettonici direttamente interferenti con le opere di progetto.

Si riporta di seguito stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG) tratta dal sito ISPRA, con breve descrizione litologica delle unità rilevate.



Figura 5 – Stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG)  
(da sito ISPRA)

Indicata in nero l'area di intervento



La Carta Geologica dello studio geologico comunale, realizzata evidentemente sulla scorta della Carta Geologica della Provincia di Bergamo (2001), oramai superata dal CARG, indica la presenza dell'unità nota come Complesso di Ponte della Selva, di età pleistocenica media e costituita da depositi fluvio-glaciali. Si ritiene più corretta la classificazione operata nel CARG.

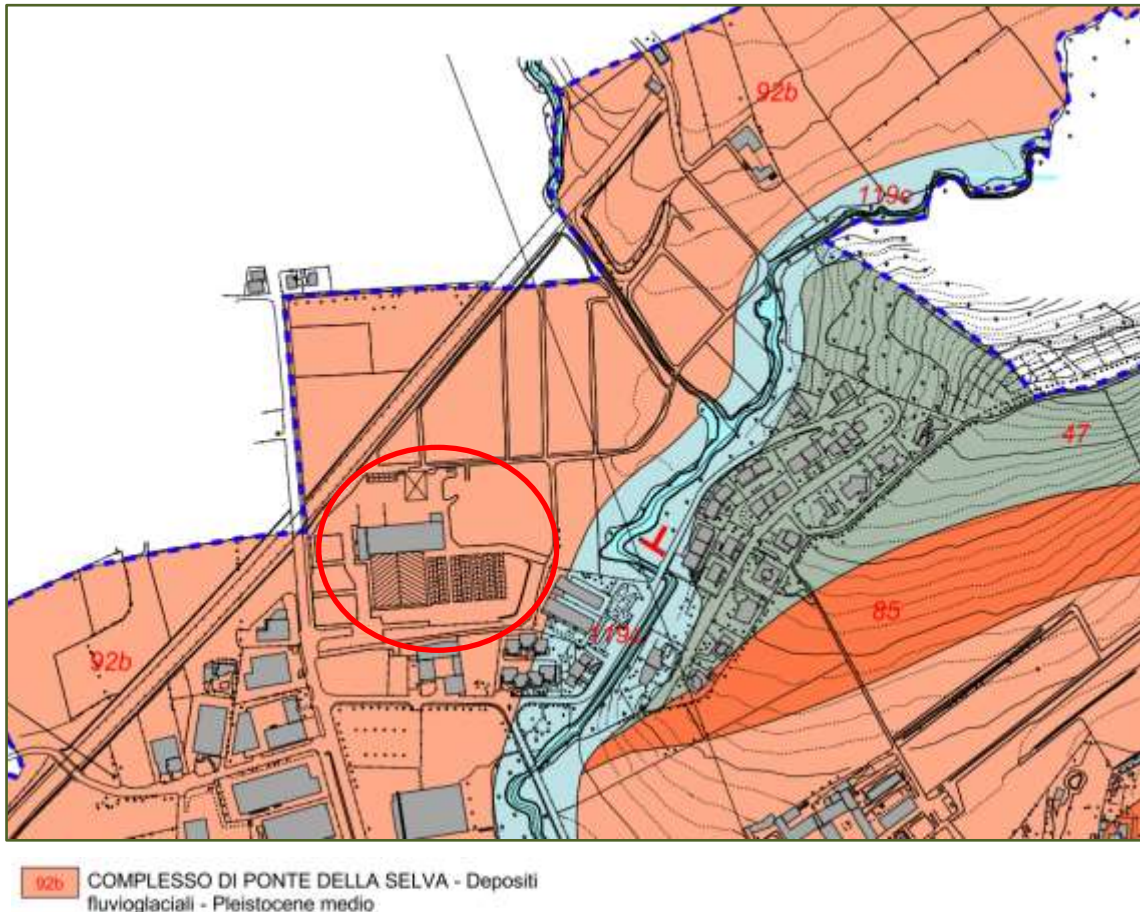


Figura 6 – Stralcio della Carta Geologica dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento

#### 4.4 Inquadramento idrogeologico e idrografico

Dal punto di vista idrografico, l'area di intervento non è interessata dal passaggio di alcun elemento direttamente interferente con le opere di progetto. Il Torrente Zerra scorre poco ad est dell'area di intervento (a circa 80-100 m), tuttavia, secondo le cartografie a disposizione, non pone interferenza dirette in termini di esondazione, né tanto meno di polizia idraulica.

Dal punto di vista idrogeologico, la zona è posta, secondo la Carta Idrologica con Elementi di Idrogeologia dello studio geologico comunale, a cavallo tra terreni con permeabilità buona e terreni con permeabilità bassa. Di fatto, considerando l'esito delle prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area (cfr. Capitolo 6), pare più ragionevole ipotizzare una permeabilità bassa o medio-bassa negli strati superficiali, ed una permeabilità alta o medio-alta negli strati più profondi, caratterizzati da granulometria maggiore.

La soggiacenza della falda si attesterebbe, secondo la cartografia, praticamente a piano campagna; tale dato, tuttavia, è in aperto contrasto con quanto riscontrato con le prove penetrometriche dinamiche. Se è vero che le prove penetrometriche, di per sé, non hanno lo scopo di fornire dati piezometrici e possono solo dare indicazioni indirette (aste bagnate), è però altrettanto vero che su ben n. 12 prove ben distribuite in tutta l'area, soltanto in una (P12) è stata riscontrata presenza di impregnazioni d'acqua a 2 m di profondità al p.c.; una situazione di questo tipo sarebbe veramente insolita per una falda segnalata addirittura a piano campagna. Consultando lo studio geologico del P.G.T. del confinante comune di Scanzorosciate, si ottengono in effetti dati nettamente diversi: la soggiacenza viene qui segnalata addirittura a 10-12 m di profondità dal p.c. Si ritiene quindi poco verosimile il dato del P.G.T. di Torre de' Roveri; alla luce di tutti i dati raccolti, è ragionevole ipotizzare la presenza di falde sospese, poste effettivamente a poca profondità, tra i 2-3 m e i 10 m dal p.c..

Il sito di intervento non interferisce con aree di salvaguardia di captazioni pubbliche idropotabili (D.Lgs. 152/2006 art. 94), secondo i dati disponibili nello studio geologico del P.G.T. vigente.



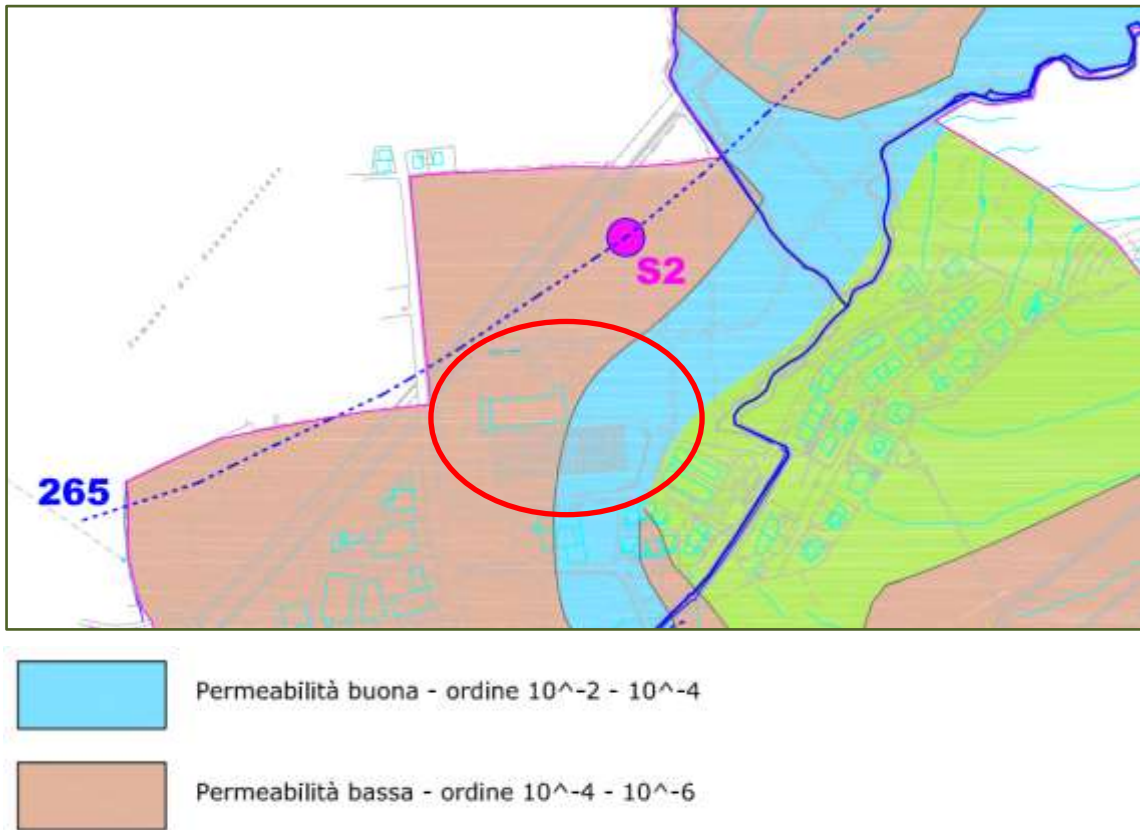


Figura 7 – Stralcio della Carta Idrologica con Elementi di Idrogeologia dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento

Non vi sono, in definitiva, elementi di carattere idrologico e idrogeologico tali da suscitare particolari preoccupazioni in relazione all'entità ed alla natura delle opere.

## 5. VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

### 5.1 Compatibilità con lo studio geologico comunale

Ai fini di verificare la compatibilità geologica dell'opera con il territorio, nonché l'eventuale presenza di vincoli o limitazioni, sono stati consultati gli elaborati dello studio geologico comunale disponibili, ed in particolare:

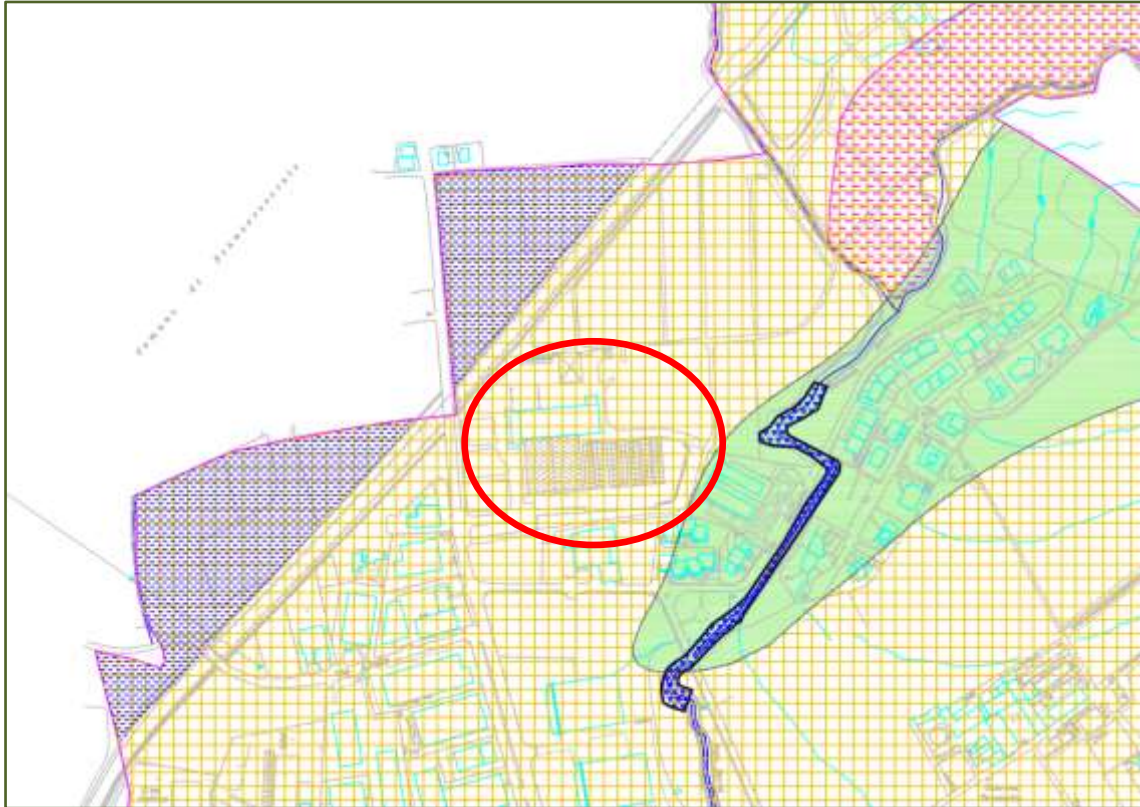
- Carta dei Vincoli (che riporta anche gli elementi della Carta del Dissesto P.A.I.)
- Carta di Sintesi
- Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano
- Norme Geologiche di Piano

Per quanto concerne la Carta dei Vincoli, non si registrano perimetrazioni direttamente interferenti.



Figura 8 – Stralcio della Carta dei Vincoli dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento

La Carta di Sintesi suddivide il territorio comunale in base a diversi ambiti di criticità geologica. L'area è ricompresa all'interno delle *aree con terreni superficiali sciolti a granulometria prevalentemente fine, con scarsa capacità portante e possibile presenza di acqua (falde sospese)*.



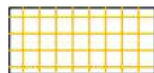
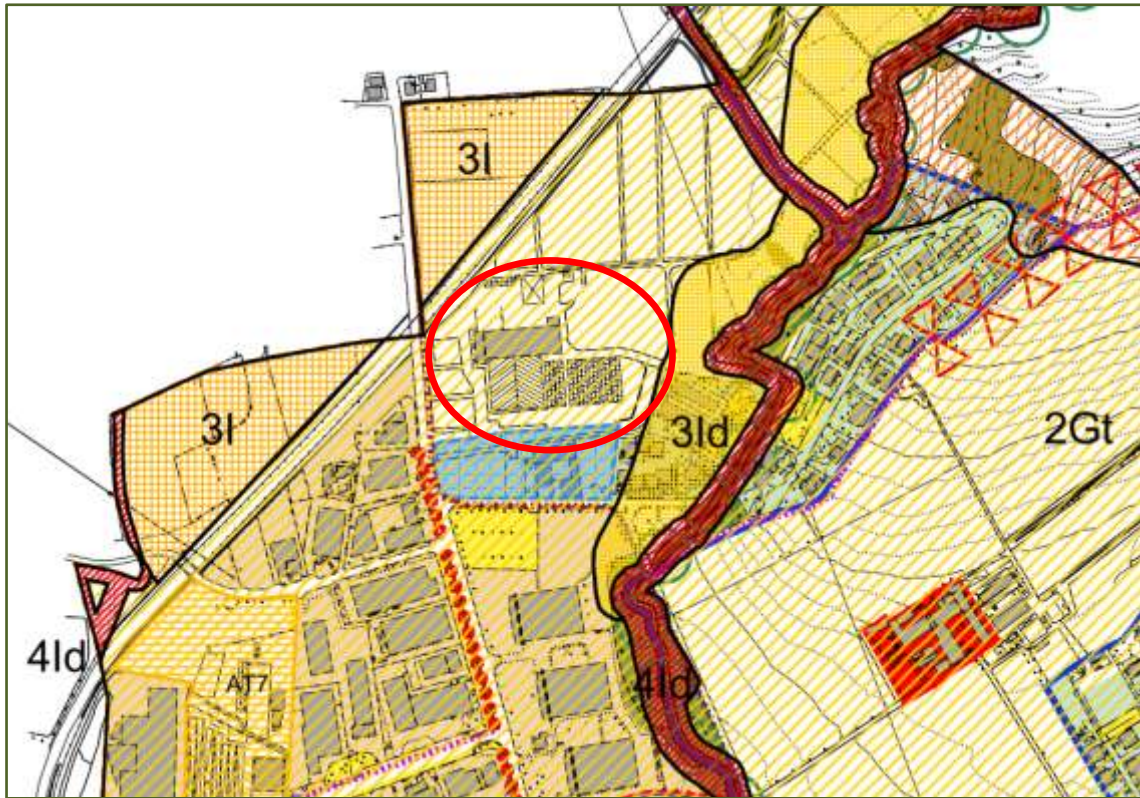
 Aree con terreni superficiali sciolti a granulometria prevalentemente fine, con scarsa capacità portante e possibilità di presenza d'acqua (falde sospese)

Figura 9 – Stralcio della Carta di Sintesi dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento



La Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano discende direttamente dalla Carta di Sintesi. L'area è ricompresa entro la classe 2Gt: "Fattibilità con modeste limitazioni" per problemi geotecnici.



**2Gt** Classe di fattibilità 2 - problemi di geotecnica

Figura 10 – Stralcio della Carta della Fattibilità delle Azioni di Piano dello studio geologico comunale. Indicata in rosso l'area di intervento

Le Norme Geologiche di Piano della classe di fattibilità "2Gt", definite nello studio geologico del P.G.T., dispongono quanto segue.

**Classe di fattibilità 2 Gt – Fattibilità con modeste limitazioni**

Rientrano in tale classe le aree del territorio comunale di Torre de'Roveri di pianura, interessate dalla presenza, negli strati superficiali, di terreni sciolti che localmente possono avere caratteristiche geotecniche scadenti. Le caratteristiche geotecniche possono essere peggiorate dalla presenza di ristagni d'acqua o dalla presenza di falde sospese la cui alimentazione è in stretta connessione con gli eventi meteorici.

In tali zone qualsiasi intervento edilizio in conformità con la normativa urbanistica è in genere ammesso; la realizzazione di nuove costruzioni è subordinata alla presentazione di una relazione geologica che attesti l'assenza di acqua nel sottosuolo o in superficie, nonché in caso di presenza, tutti gli accorgimenti tecnici che verranno messi in opera al fine di evitare venute d'acqua all'interno dei fabbricati in corrispondenza di piani interrati o pianterreni.

Nel caso in cui le costruzioni siano di volumetria rilevante (indicativamente al di sopra di 1500 mc) la relazione geologica dovrà avere anche contenuti geotecnici, con indicazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni derivanti da prove in sito stabilite dai tecnici progettisti di concerto con un geologo abilitato.

Le stesse prescrizioni si applicano per i piani urbanistici attuativi dello strumento urbanistico, anche in variante mediante gli strumenti concessi dalla legge.

Sono fatte salve per le realizzazioni nella classe di fattibilità 2Gt tutte le prescrizioni di carattere geologico-tecnico e sismico provenienti dalla normativa vigente in materia di realizzazioni di costruzioni civili e industriali, pubbliche o private.

La presente relazione è aderente alle disposizioni normative riportate.

## **5.2 Compatibilità con gli strumenti della pianificazione sovraordinata**

Oltre che con gli strumenti pianificatori di livello comunale, è necessario verificare la compatibilità degli interventi con alcuni strumenti della pianificazione sovracomunale di interesse geologico, ed in particolare:

- il Quadro del Dissesto P.A.I. aggiornato;
- le Fasce Fluviali del P.A.I. (non presenti in questo caso);
- la Direttiva Alluvioni (o Piano di Gestione del Rischio Alluvioni);
- lo Studio Idrogeologico, Idraulico ed Ambientale a scala di sottobacino dei torrenti Zerra e Seniga (Ing. Murachelli – Studio Telò May Fly, ottobre 2017).

Dalla disamina eseguita, emerge che il sito d'intervento non interferisce con perimetrazioni del P.A.I. (dissesti e fasce fluviali), né del P.G.R.A.

Anche analizzando lo studio dei torrenti Zerra e Seniga, l'area risulta esterna alle possibili zone di esondazione dello Zerra; tuttavia in questo caso è interessante notare come l'area esondabile calcolata con tempo di ritorno pari a 20 anni sia significativamente diversa rispetto a quanto segnalato dal P.A.I. e dal P.G.R.A. Si riporta di seguito stralcio della cartografia di modellazione idraulica bidimensionale (Lotto 1).



Non vi è comunque interferenza diretta con il sito d'intervento.



### **TIRANTI**

Classi di tiranti (m)

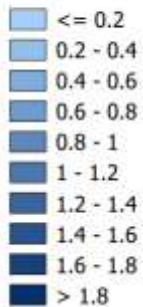


Figura 11 - Stralcio della cartografia di modellazione idraulica bidimensionale dello studio idraulico del Torrente Zerra (Lotto 1), con indicati i tiranti idrici per tempi di ritorno pari a 20 anni. Indicata in rosso l'area di intervento

## 6. INDAGINE GEOGNOSTICA

### 6.1 Premessa

Al fine di procedere con la definizione del modello geologico e geotecnico del sottosuolo interessato dall'intervento, oltre alla documentazione bibliografica disponibile, sono state utilizzate le risultanze dell'indagine geognostica appositamente predisposta. In particolare, sono stati eseguiti:

- n. 12 prove penetrometriche dinamiche eseguite mediante mezzo superpesante DPSH;
- n. 1 sismica multicanale con tecnica MASW;
- n. 2 sismiche passive a stazione singola con tecnica H/V.

La posizione indicativa delle prove penetrometriche è visibile nell'immagine proposta a seguire. Per la posizione delle indagini sismiche si veda il capitolo relativo.

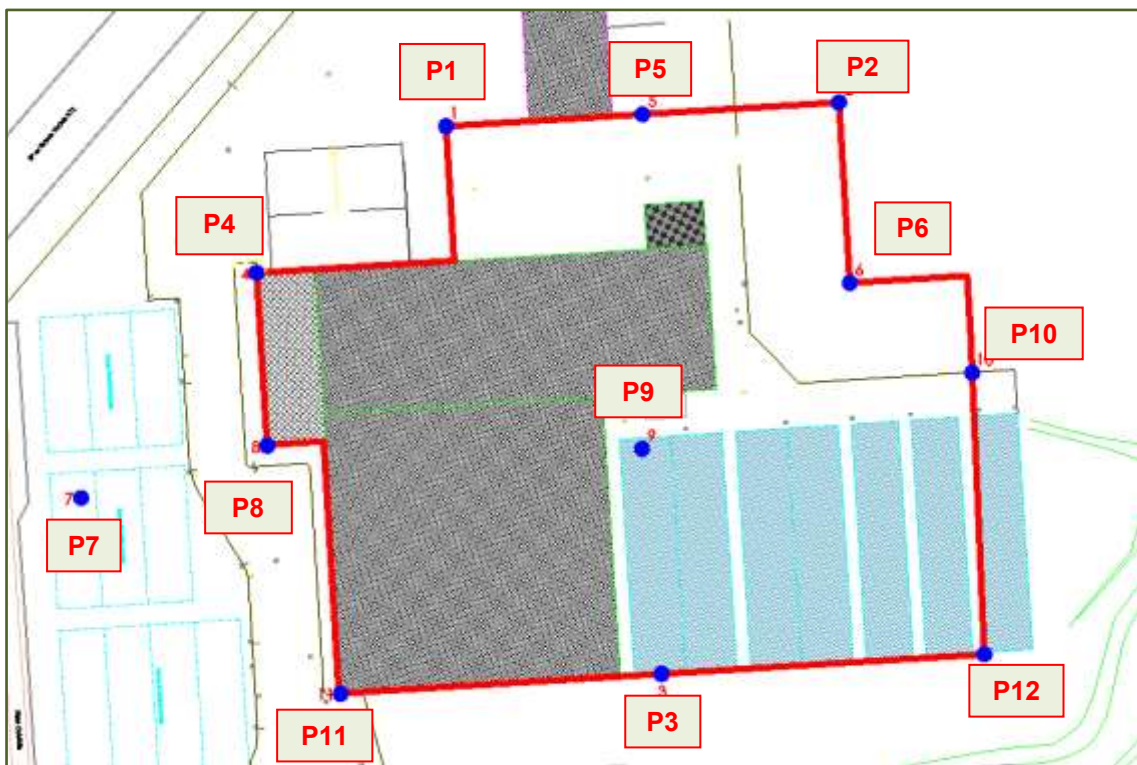


Figura 12 – Ubicazione delle indagini geognostiche in relazione all'opera di progetto  
(P1-P12: prove penetrometriche dinamiche)

Le indagini hanno consentito di:

- ricostruire la stratigrafia dei terreni attraversati;
- attribuire a ciascun livello di terreno riconosciuto i principali parametri geotecnici, calibrati sulla base dello specifico contesto litotecnico e sulla scorta dell'interpretazione stratigrafico - geotecnica dei dati forniti dalle prove in sito (valori medi di  $N_{SPT}$ ).

## 6.2 Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche sono state eseguite secondo gli standard previsti dalle raccomandazioni A.G.I. e secondo la normativa internazionale I.S.S.M.F.E. del 1977, con l'utilizzo di penetrometro superpesante avente le caratteristiche tecniche indicate a seguire:

<b>Peso massa battente</b>	<b>73 kg</b>
Volata	0,75 m
Diametro punta conica	51 mm
Area base punta conica	20,43 cm <sup>2</sup>
Angolo apertura punta conica	60°
Lunghezza delle aste	0,90 m
Peso aste per metro	6,31 kg
Profondità giunzione 1° metro	0,30 m
Avanzamento punta	0,30 m
Numero di colpi punta	N = N(30)
Rivestimento	No
Energia specifica per colpo	8,93 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente di correlazione <math>N_{SPT}</math></b>	<b>1,134</b>

Tabella 1 – Caratteristiche del penetrometro utilizzato

Le prove penetrometriche hanno raggiunto le seguenti profondità:

PROVA PENETROMETRICA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA DAL P.C.
P1	6,90 m
P2	8,40 m
P3	9,90 m
P4	4,80 m
P5	6,00 m
P6	7,20 m
P7	5,10 m
P8	9,90 m
P9	6,00 m
P10	9,90 m
P11	9,90 m
P12	9,90 m (presenza di acqua a -2 m dal p.c.)

Tabella 2 – Profondità raggiunte dalle prove penetrometriche

Durante l'esecuzione delle penetrometrie, è stata riscontrata la presenza di acqua nella sola prova P12, a profondità pari a -2,00 m dal p.c.

Le prove non sono del tutto omogenee tra loro, sebbene vi sia una sostanziale correlabilità.

Al di sotto del materiale di riporto/rimaneggiato (compresa pavimentazione laddove presente), si riscontra un primo livello ad addensamento medio-basso (A), di natura coesiva, che si spinge mediamente sino a profondità comprese tra 2,00 m e 3,00 m dal p.c.

L'orizzonte coesivo (A) si spingono localmente sino a profondità maggiore (circa 4 m) in alcuni settori dell'area d'intervento (fianco S e E), laddove lo spessore del riporto è maggiore (Rif. P3, P6, P10 e P12). Evidenza del riporto sono constatabili confrontando

la quota alla quale è posto il comparto serre, in relazione alla quota del p.c. della limitrofa proprietà posta a S.

Oltre l'orizzonte coesivo (A) si riscontrano livelli di natura certamente granulare, che si spingono sino a profondità variabili.

Infine, al di sotto del livello B, si riscontra un orizzonte resistente (C), di natura granulare grossolana (probabilmente ghiaie compatte e/o conglomerato). Questo orizzonte è stato inequivocabilmente identificato solo nelle prove P1, P2, P4, P5, P6, P7 e P9.

Le prove P1, P4, P7 e P9 hanno in generale raggiunto profondità inferiori rispetto alle altre.



## **ALLEGATO 1**

### **elaborati delle prove penetrometriche**



PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

*RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA*

---



PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P1

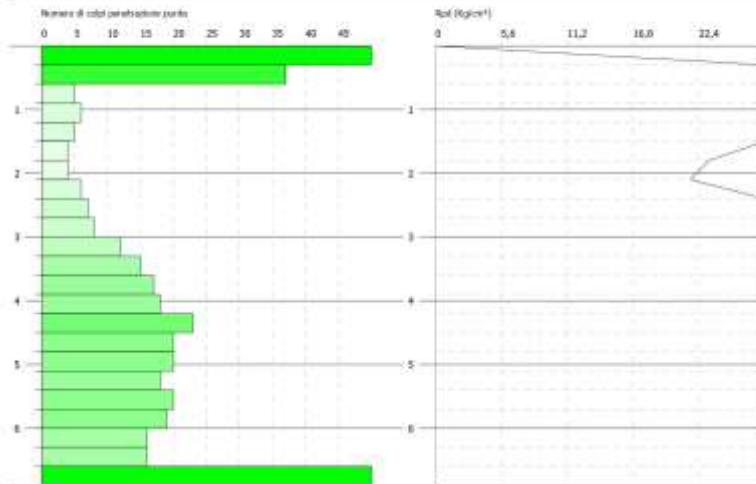
Dott. Geol. Alessandro Chioldelli

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1  
Strumento utilizzato... \* DPSH TG 73-100 PAGANI \*

Caratteristiche:  
Descrizione: Area ex Scazzelli  
Località: Torre de' Roveri (Bergamo)

Data: 03/04/2009

Scala: 1:100



PROVA P2

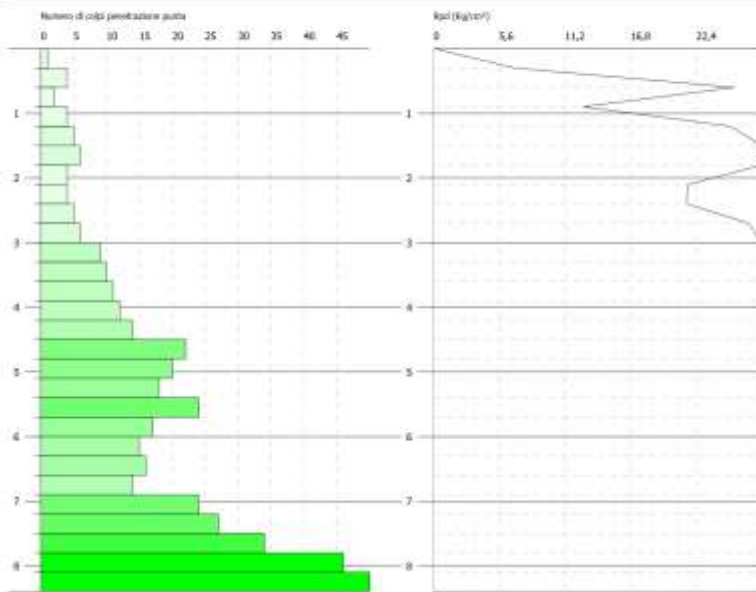
Dott. Geol. Alessandro Chioldelli

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P2  
Strumento utilizzato... \* DPSH TG 73-100 PAGANI \*

Caratteristiche:  
Descrizione: Area ex Scazzelli  
Località: Torre de' Roveri (Bergamo)

Data: 03/04/2009

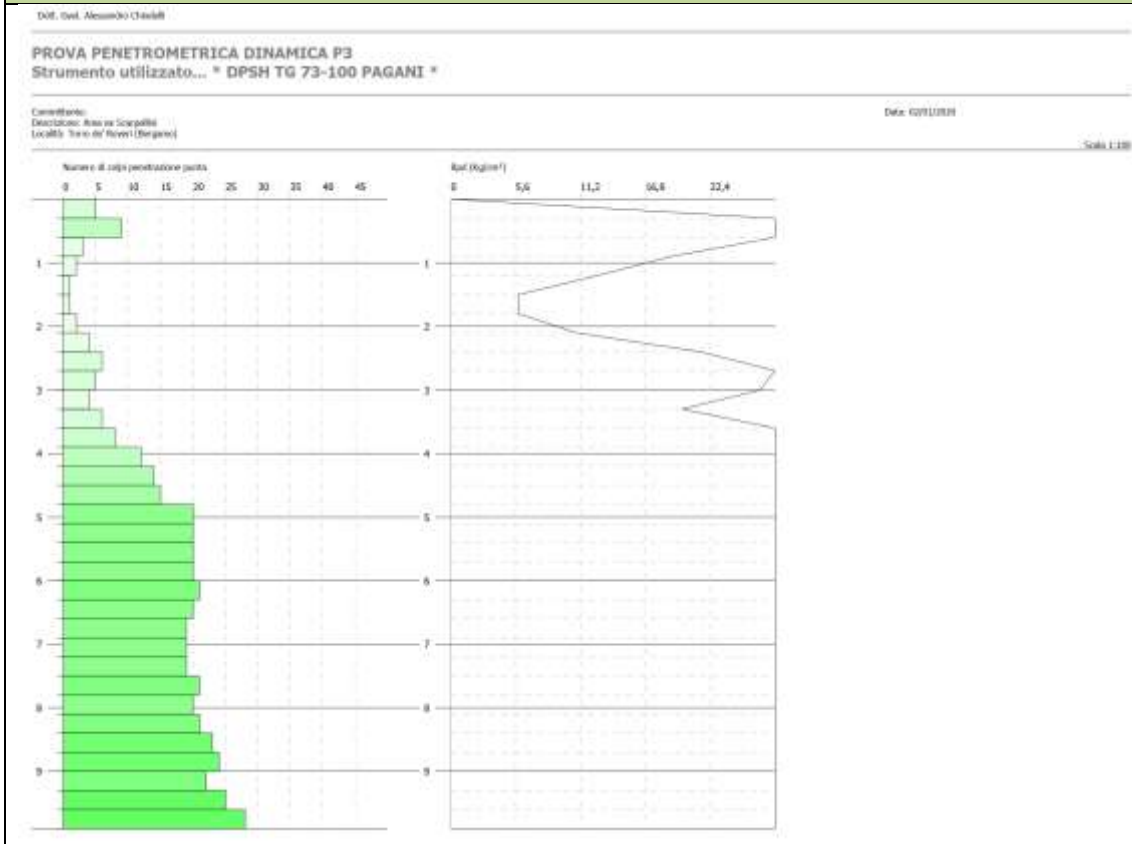
Scala: 1:100



PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P3



PROVA P4

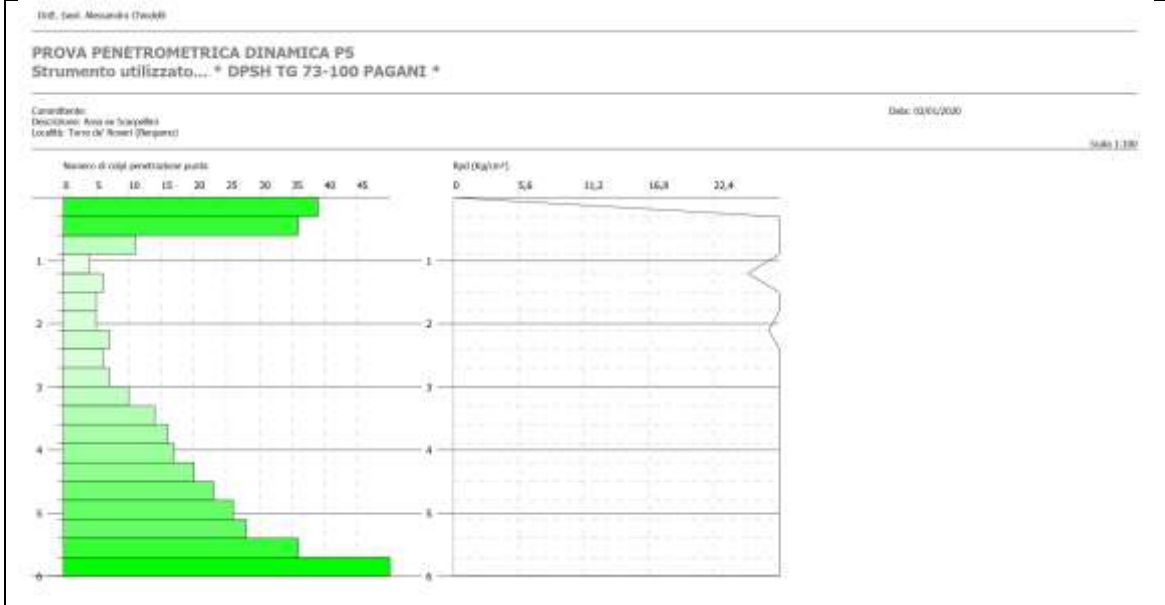




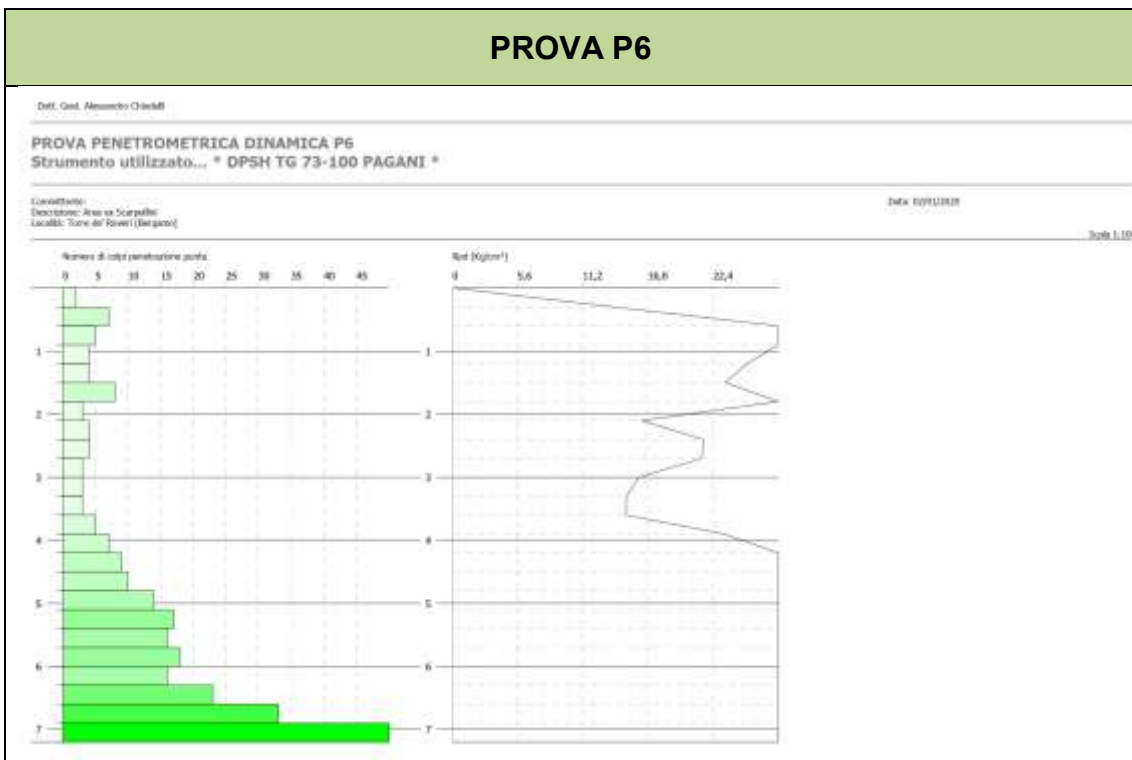
PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P5



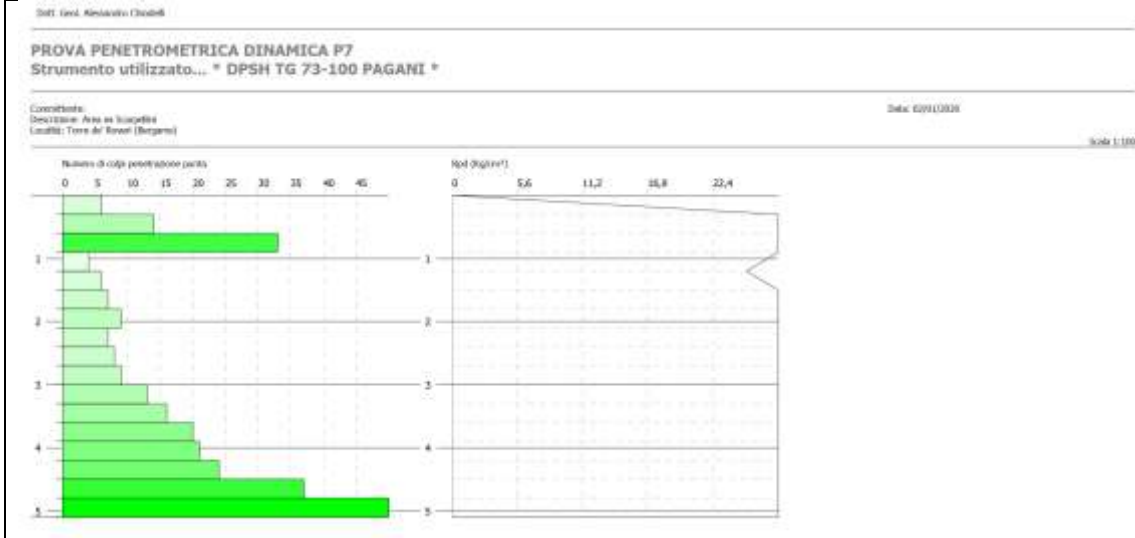
PROVA P6



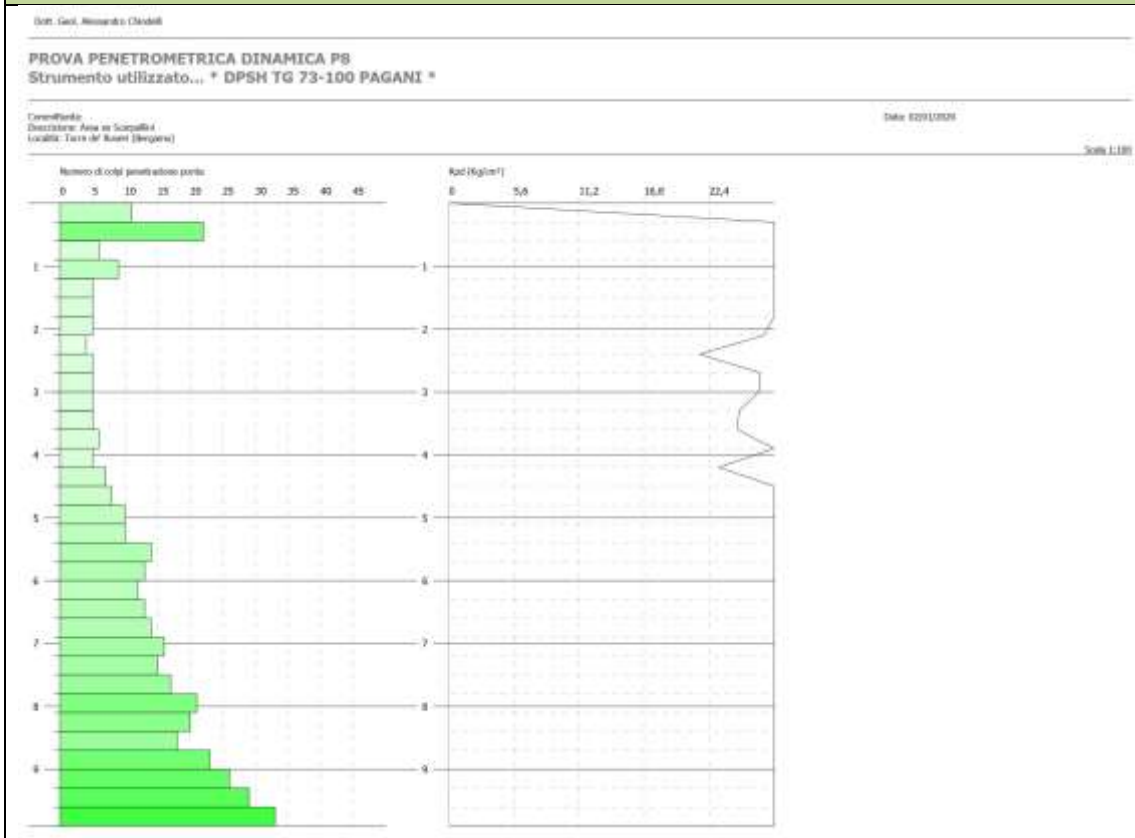
PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P7



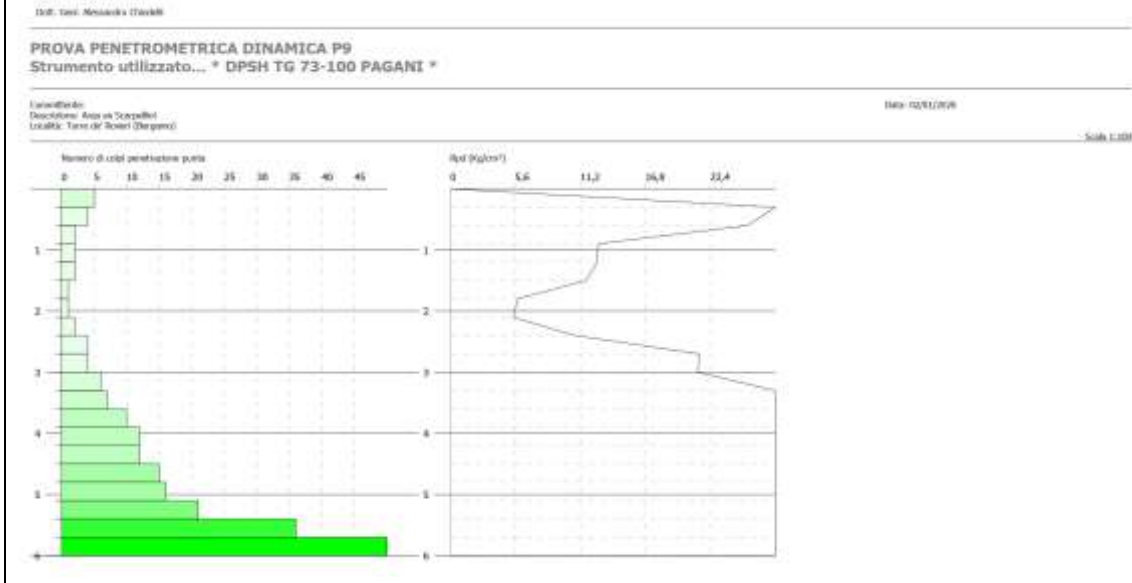
PROVA P8



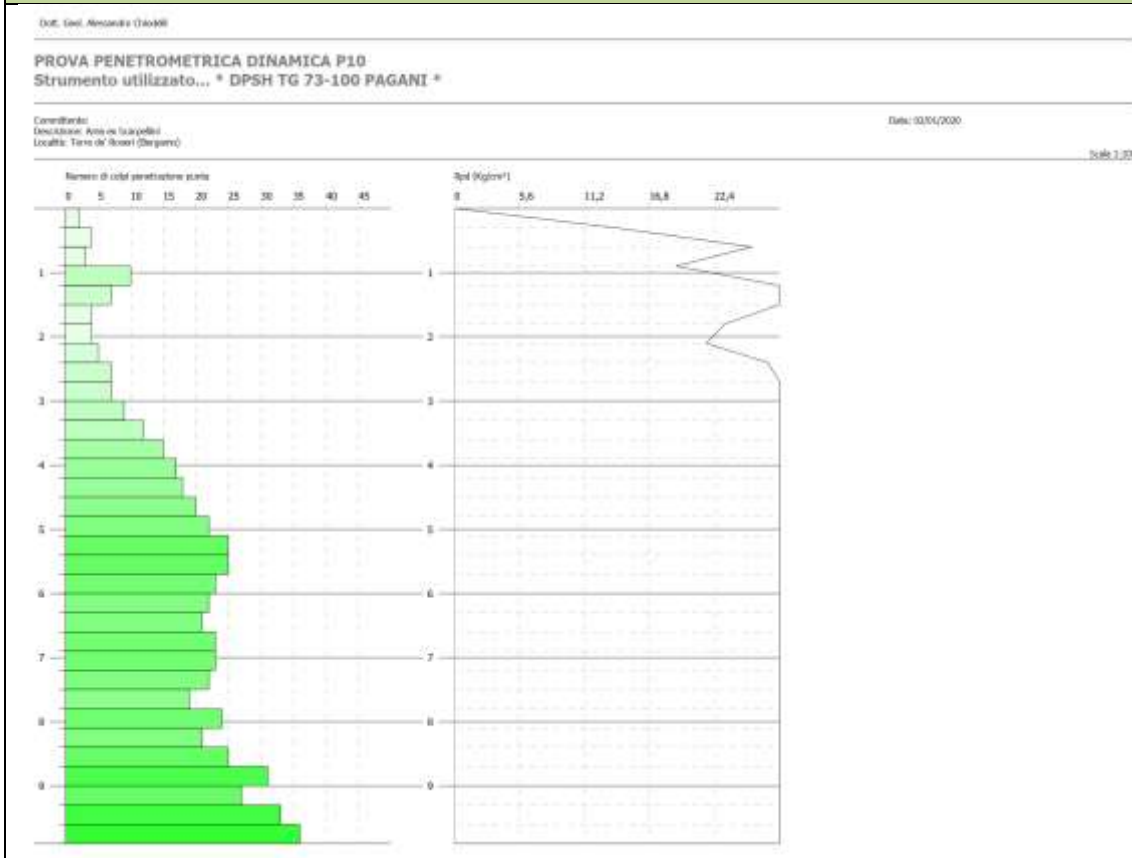
PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P9



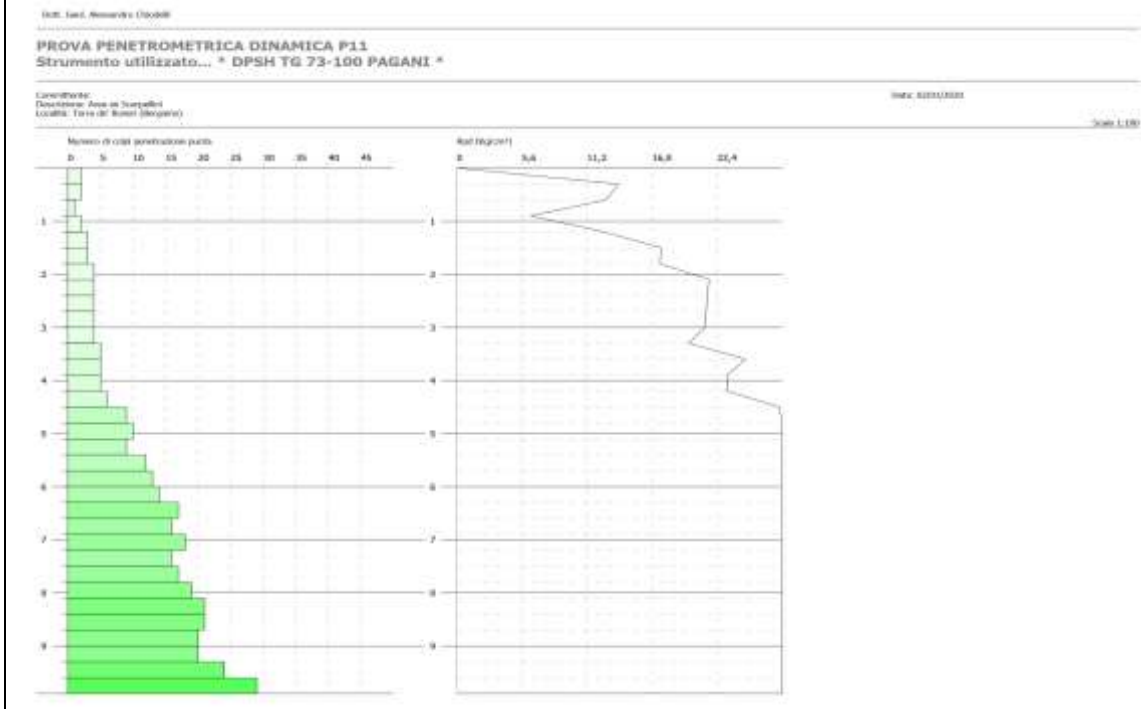
PROVA P10



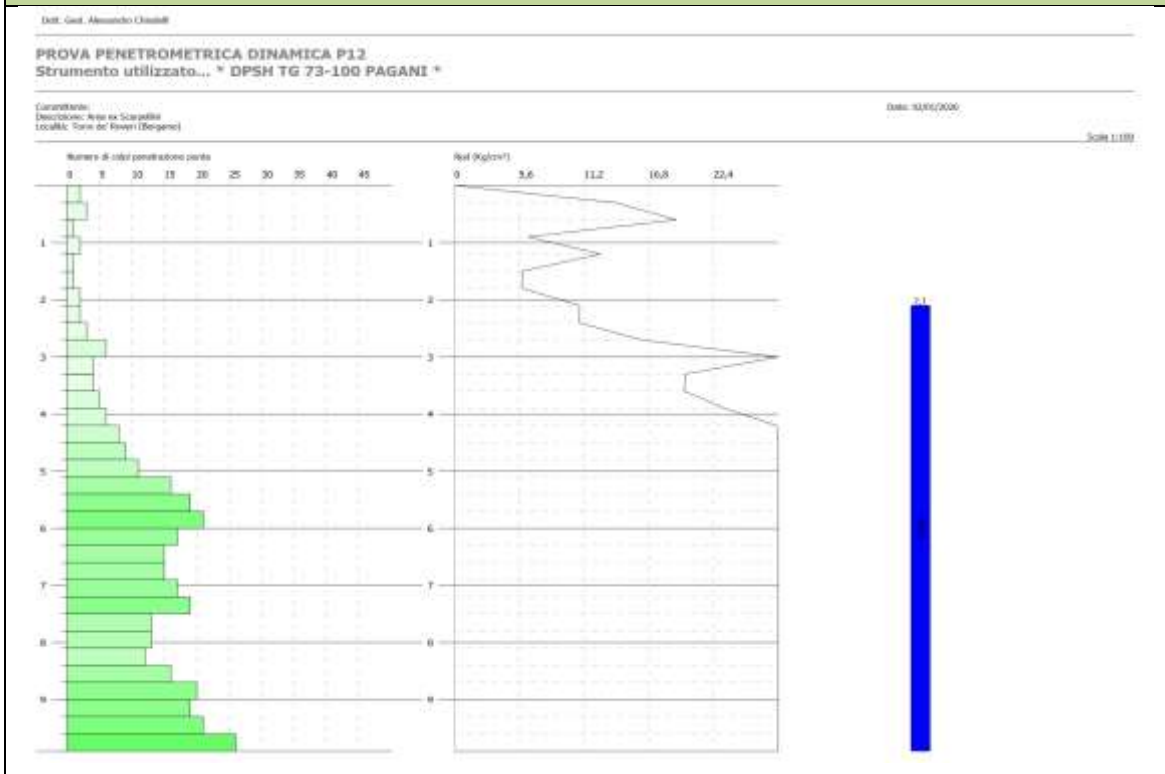
PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

PROVA P11



PROVA P12

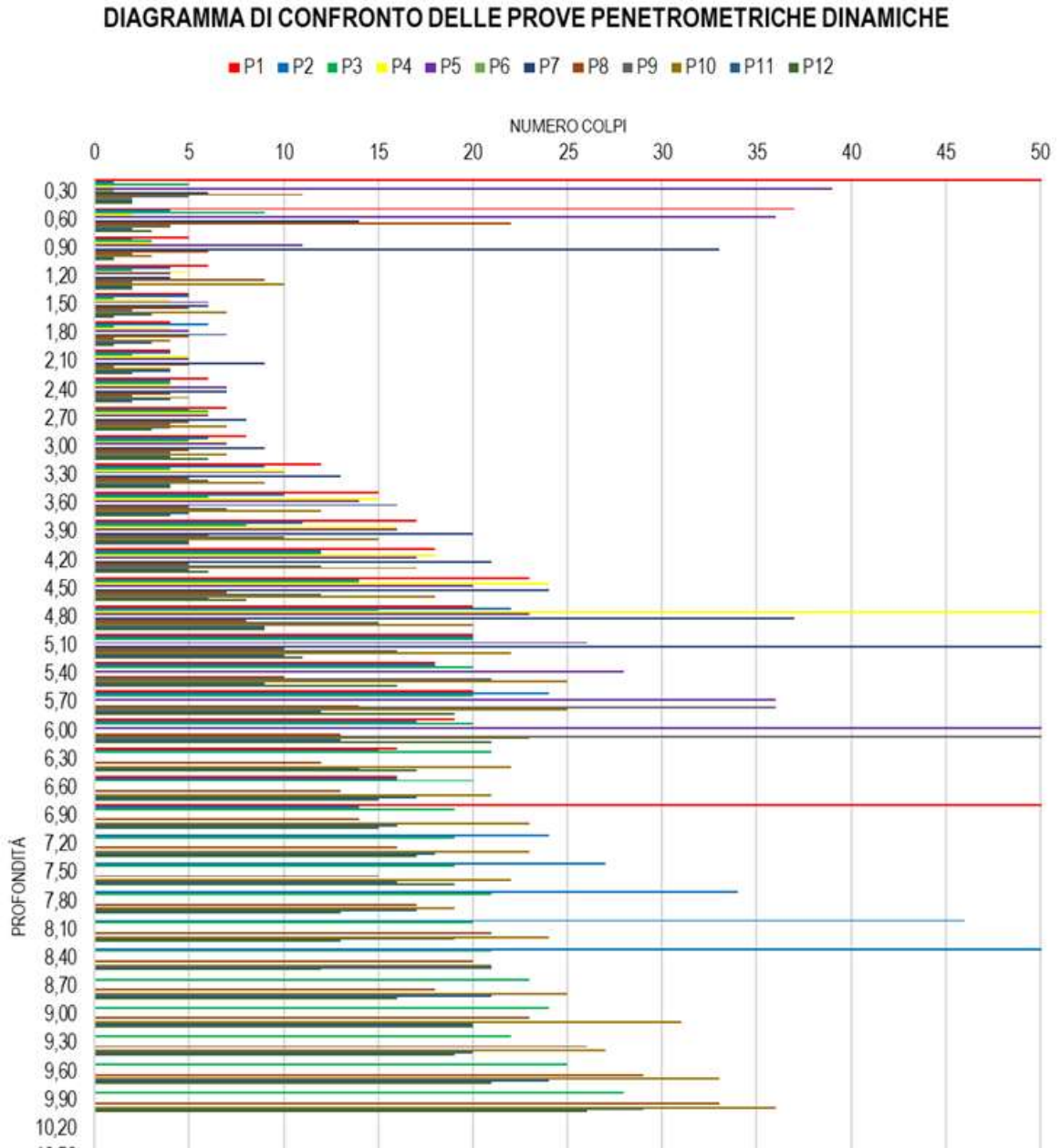




PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

*RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA*

Di seguito si riporta un diagramma di confronto tra le prove eseguite.



## **7. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA**

Sulla scorta delle informazioni desunte dalla consultazione della documentazione tecnica disponibile, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geologica (par. 6.2.1 delle N.T.C. 2018), dell'ambito significativo, in relazione al tipo di opera ed al contesto geologico in cui l'opera stessa si colloca.

### **7.1 Modello geologico di riferimento**

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di progetto è posta in zona pianeggiante. Il contesto geomorfologico è dominato primariamente da processi legati alla dinamica di versante e delle acque superficiali. Non sono segnalati processi destabilizzanti in atto o quiescenti direttamente interferenti, né problematiche riconducibili all'erosione fluviale e torrentizia.

I caratteri litologici salienti sono riconducibili alla presenza del Supersistema di Palazzago.

Dal punto di vista strutturale, non sussistono elementi (faglie, sovrascorrimenti, pieghe) direttamente interferenti con le opere di progetto.

La falda, sotto forma di impregnazioni e falde sospese, è posta a profondità verosimilmente comprese tra -2/3 m e -10 m dal p.c. In particolare, è stata rilevata acqua in una delle prove penetrometriche, a profondità di -2 m dal p.c. circa.

In definitiva, i sopralluoghi e le indagini eseguiti, unitamente alle informazioni desunte dalla documentazione tecnica disponibile, non evidenziano particolari pericolosità geologiche interferenti col sito o col suo significativo attorno, in considerazione dell'entità e della natura delle opere.

PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

*RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA*

I caratteri stratigrafici locali, schematizzati nella tabella proposta a seguire, appaiono ben definibili pur con qualche prevedibile eterogeneità laterale e verticale.

LIVELLO	PROFONDITÀ	LITOLOGIA
Livello A	Da 0 m a 2,00 m / 4,00 m circa	Coltre di alterazione limoso-argillosa e riporto
Livello B	Da 2,00 m / 4,00 m a 4,50 m / 9,00 m circa	Depositi di versante o di debris flow Diamicton
Livello C	Oltre 4,50 m / 9,00 m circa	Orizzonte resistente Diamicton compatto o substrato roccioso

Tabella 3 – Caratteri stratigrafici

## 8. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

### 8.1 Generalità

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha classificato l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico.

In seguito a delibera della Giunta regionale (10 ottobre 2014 – n. X/2129) è entrata in vigore la nuova classificazione sismica del territorio, la quale ha attribuito al comune di Torre de' Roveri la zona sismica 3.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 4 – Accelerazioni orizzontali in funzione della zona sismica

Con la pubblicazione del D.M. 14 gennaio 2008 si definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica (“criterio zona dipendente”), ma definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo  $a_g$  sia di forma dello spettro di risposta (“criterio sito dipendente”).

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.



La suesposta metodologia viene confermata anche nelle N.T.C. 2018, laddove la pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ( $F_0$  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  $TC^*$  – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (reticolo di riferimento) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la risposta sismica locale.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $TC^*$  sono consultabili sul sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>.

## **8.2 Indagine geofisica**

È stata eseguita un'indagine geofisica con l'obiettivo di ricavare, per il sito in esame, il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla  $v_{S30}$  (N.T.C. 2018). A tal fine è stata eseguita una campagna di indagine sismica caratterizzata dalla combinazione delle seguenti tecniche:

- prospezione sismica multicanale a onde si superficie (MASW, ReMi),
- sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V.

Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione delle indagini eseguite.

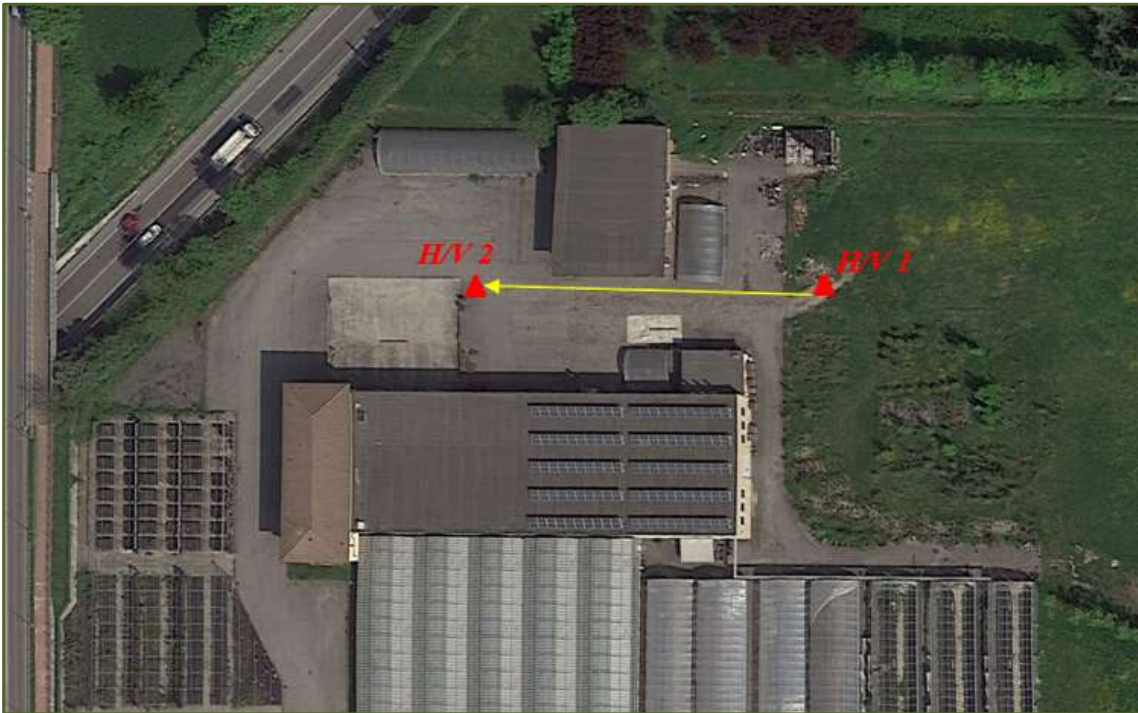


Figura 13 – Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite

### 8.2.1 Tecniche multicanale a onde di superficie

#### Cenni metodologici

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda “ $\lambda$ ”, frequenza “ $f$ ” e velocità di propagazione “ $V$ ” sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda \cdot f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. Questa proprietà, chiamata dispersione, è valida solo per le onde di superficie, Rayleigh e Love in mezzi stratificati.

Le tecniche per ricavare le curve di dispersione da sorgenti attive o passive con due o più ricevitori hanno una varietà di nomi che dipendono da dettagli quali la geometria dei ricevitori, sorgente attiva o passiva etc. I più diffusi tra i metodi attivi sono: SASW (spectral analysis of surface waves; Heisey et al., 1982) e MASW (multichannel analysis of surface waves; Park et al., 1999); mentre tra i metodi passivi sono ESAC (extended spatial auto correlation; Ohori et al., 2002) e ReMi (refraction microtremor; Louie, 2001).

La base di tutte queste tecniche è lo slant - stack o correlazione del segnale registrato da una serie di ricevitori (geofoni), che permette la determinazione della velocità di propagazione di onde a frequenze diverse che attraversano lo stendimento.

#### Acquisizione dati

Per l'esecuzione delle indagini sismiche in oggetto si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo digitale multicanale Soilspy Rosina (Moho s.r.l.) a 24+1 canali;
- n. 24+1 geofoni verticali da 4,5 Hz;
- mazza battente da 8 kg;
- piattello metallico di battuta;
- pc portatile.

Sullo stesso stendimento è possibile realizzare due tipologie di indagini: MASW e ReMi.

Nel caso di una indagine con tecnica MASW, per il posizionamento del piattello di battuta (shot point) è stata preparata una piazzola asportando i primi centimetri di suolo vegetale e infiggendo la piastra metallica di alcuni centimetri nel terreno; in questo modo si è ottenuta una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore.

In seguito sono state acquisite n. 5 energizzazioni, generate battendo la mazza da 8 kg sulla piastra metallica.

Nel caso di una indagine con tecnica ReMi, invece, si esegue una registrazione simultanea in più geofoni del rumore sismico ambientale. La registrazione ha una durata di alcuni minuti.

*Elaborazione ed interpretazione dei risultati*

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., col quale il segnale sismico registrato viene processato attraverso procedure di slant - stack (traslazione e somma) e FFT ottenendo gli spettri di velocità di fase. Questi indicano, per ogni frequenza, la più probabile velocità delle onde di superficie investigate.

Da tali spettri è possibile ricostruire un profilo di  $V_s$ , sapendo che:

- per ogni frequenza è possibile calcolare la lunghezza d'onda corrispondente secondo la relazione  $\lambda = V/f$ ;
- la profondità corrispondente  $z$  è compresa tra  $\lambda/3$  e  $\lambda/2$ .

La  $V_s$ , inoltre, è collegata alle velocità delle onde di Love e di Rayleigh attraverso il coefficiente di Poisson e normalmente risulta maggiore di queste ultime del 10 - 15 %.

Le onde di superficie possiedono diversi modi di propagazione; questo implica che negli spettri di velocità, alla stessa frequenza, sono possibili diversi massimi relativi di energia. Nel caso di sorgente impulsiva ideale (con spettro bianco), geometria dei ricevitori ideale (perfettamente sintonizzata su tutte le frequenze) e suolo ideale (isotropo, lateralmente omogeneo, con graduale aumento della velocità in profondità) il modo fondamentale è quello dominante in termini di energia.

Individuare la curva di dispersione del modo fondamentale o classificare correttamente i modi superiori implica un certo grado di soggettività. Utilizzando gli spettri di velocità di fase si ha il vantaggio di avere un dato più oggettivo e più completo, che conserva le informazioni sulla natura multi-modale delle curve di dispersione.



### **8.2.2 Tecnica H/V**

#### Cenni metodologici

La tecnica H/V, appartenente alla sismica passiva, nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice. Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia. Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$f_r = \frac{V_s}{4H}$$

dove  $V_s$  indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e  $H$  lo spessore dello strato che risuona alla frequenza  $f_r$ . Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

#### Frequenze di vibrazione e doppia risonanza

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della doppia risonanza. Le ampiezze di

oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC08, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.

#### Acquisizione dati

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromometro digitale Tromino 3G prodotto dalla Moho s.r.l., dotato di tre canali velocimetrici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, due livelli di amplificazione (saturazione  $\pm 1.2$  mm/s in banda) e frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024 Hz su tutti i canali.

Le misure vengono eseguite posizionando lo strumento al suolo, avendo cura della sua messa in bolla, e successivamente registrando per alcuni minuti.

#### Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna tromografia le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta.

Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.

- Modellazione. L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.

### 8.2.3 Indagine MASW

*Parametri di acquisizione*

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
18	3	51	1	9	1	512



Figura 14 – Esecuzione dell'indagine MASW

Acquisizione ed elaborazione

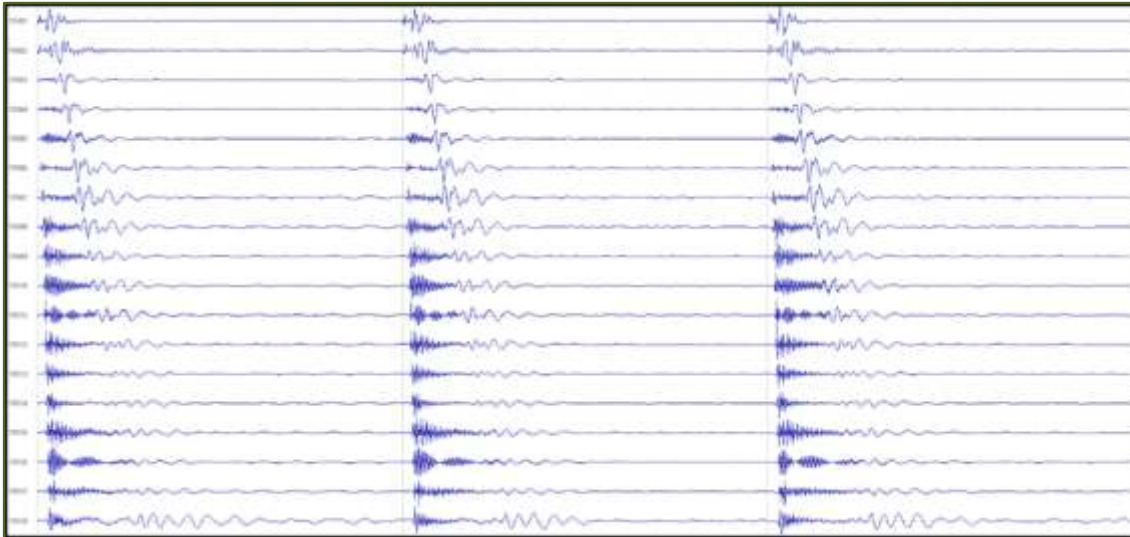


Figura 15 – Sismogramma acquisito

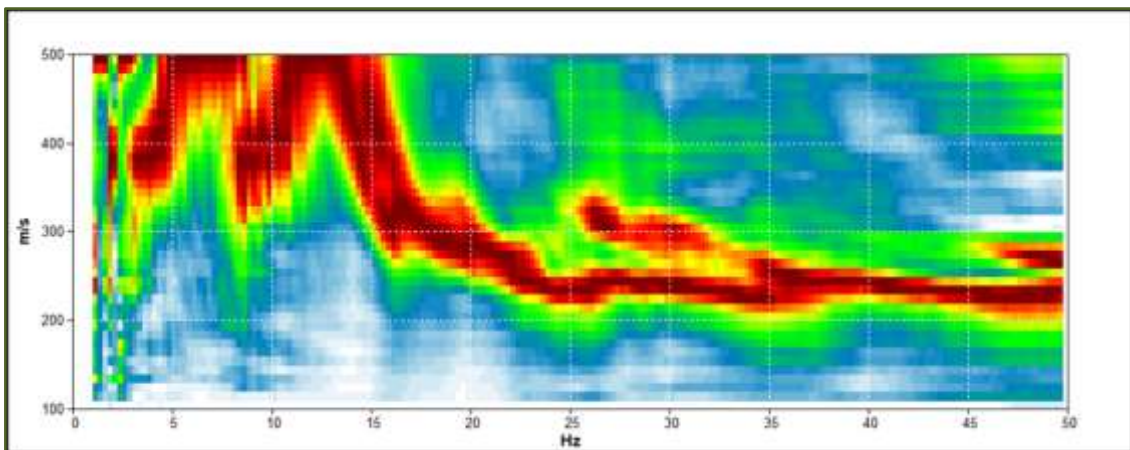


Figura 16 – Spettro delle velocità di fase



#### 8.2.4 Indagine H/V

##### MISURA N. 1

<b>Frequenza di campionamento</b>	128 Hz	<b>Condizioni meteorologiche</b>	Sereno
<b>Data registrazione</b>	09/01/2020	<b>Lunghezza finestre</b>	20 s
<b>Terreno di misura</b>	Suolo	<b>Tipo di lisciamento</b>	Triangular window
<b>Accoppiamento suolo strumento</b>	Piedini lunghi	<b>Lisciamento</b>	10 %
<b>Orientamento dello strumento</b>	Nord	<b>Durata della registrazione</b>	12' 00"
<b>Vincolo stratigrafico</b>	Prove penetrometriche, sismica multicanale		



Figura 17 – Esecuzione dell'indagine HV1



Analisi della traccia

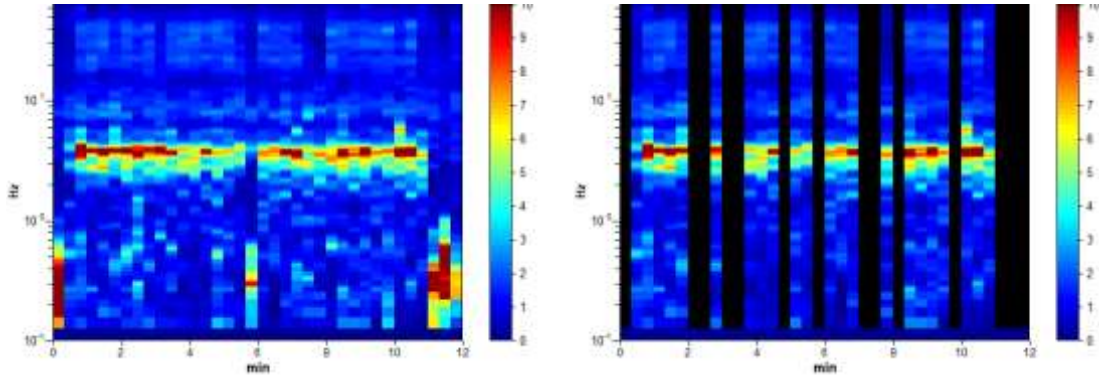


Figura 18 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

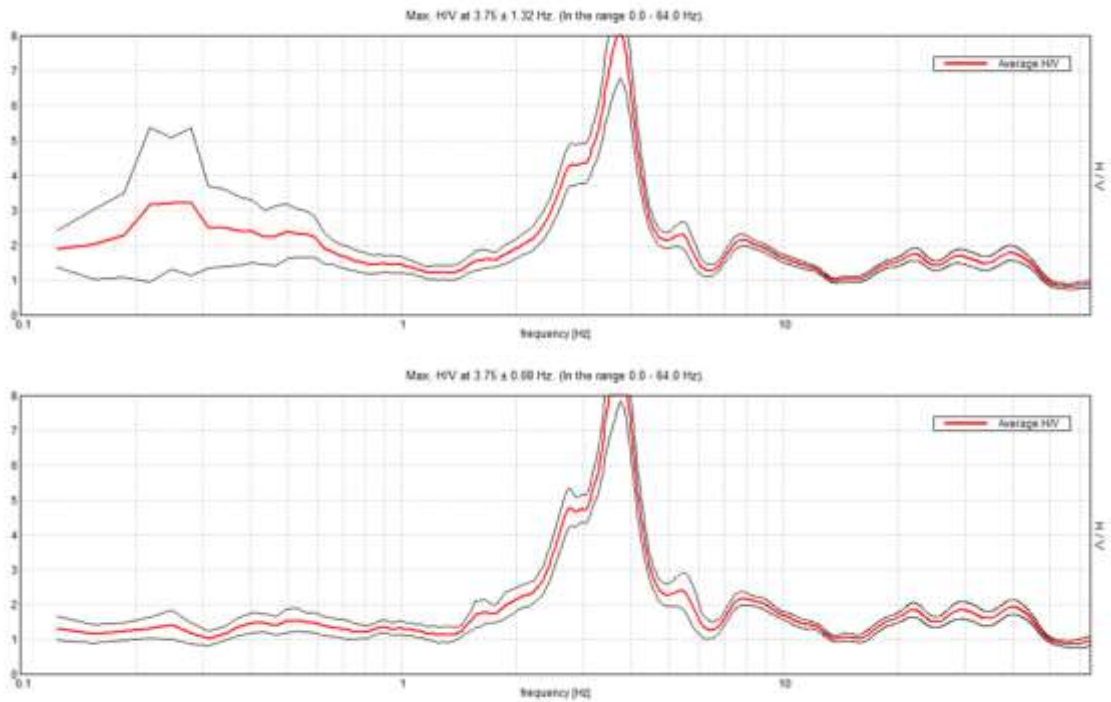


Figura 19 – Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

**MISURA N. 2**

<b>Frequenza di campionamento</b>	128 Hz	<b>Condizioni meteorologiche</b>	Sereno
<b>Data registrazione</b>	09/01/2020	<b>Lunghezza finestre</b>	20 s
<b>Terreno di misura</b>	Asfalto	<b>Tipo di lisciamento</b>	Triangular window
<b>Accoppiamento suolo strumento</b>	Piedini corti	<b>Lisciamento</b>	10 %
<b>Orientamento dello strumento</b>	Nord	<b>Durata della registrazione</b>	12' 00"
<b>Vincolo stratigrafico</b>	Prove penetrometriche, sismica multicanale		



Figura 20 – Esecuzione dell'indagine HV2

Analisi della traccia

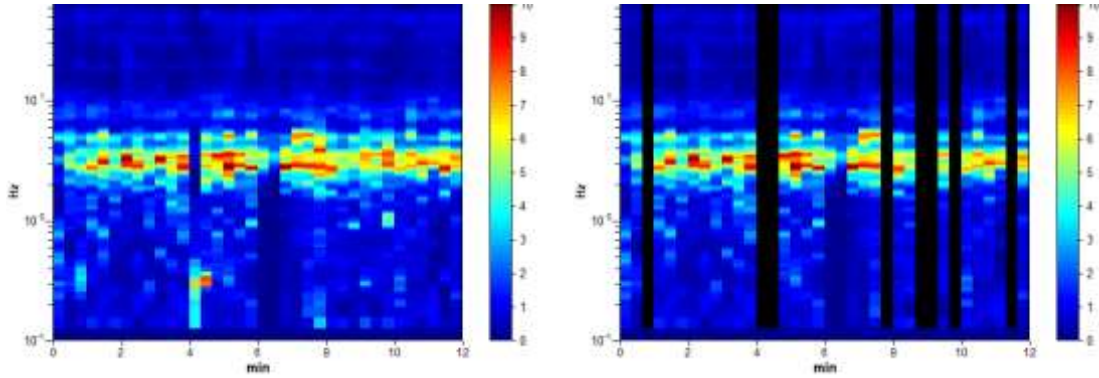


Figura 21 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

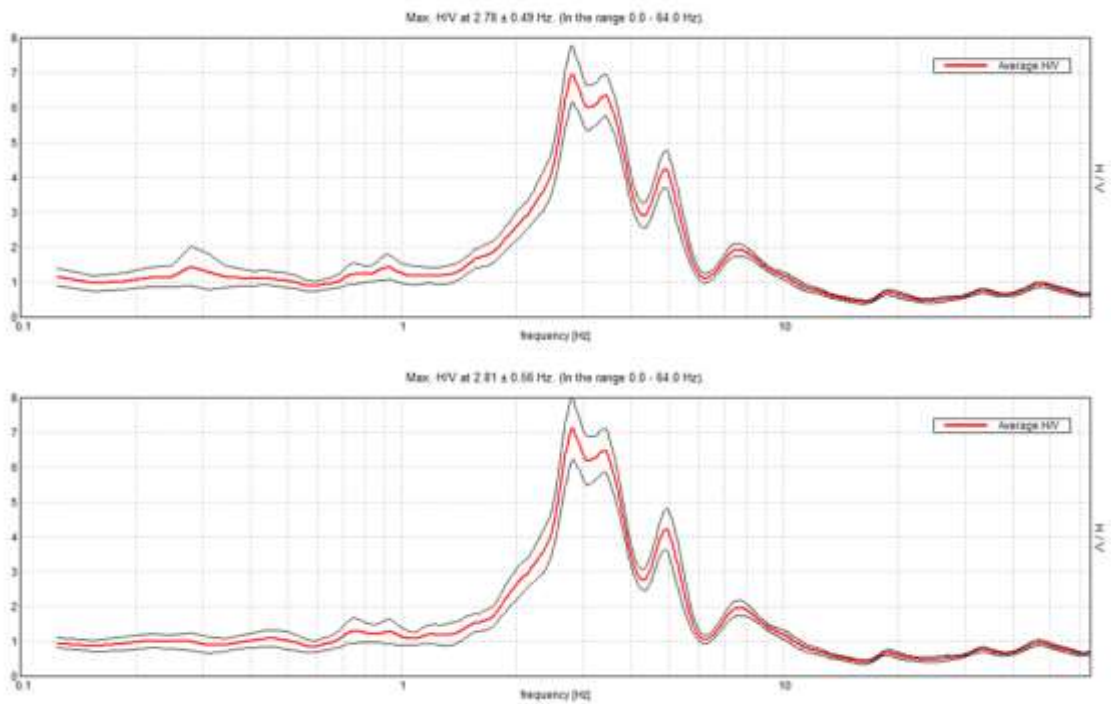


Figura 22 – Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

### **8.2.5 Risultati**

Le due misure H/V risultano discretamente correlabili lateralmente. I vincoli stratigrafici sono costituiti da stratigrafie sito specifiche e quindi di buona affidabilità. Per la modellazione del profilo sismostratigrafico sono state utilizzate l'indagine MASW e la misura H/V n. 2. Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza, pari a: 18,74 Hz, 7,65 Hz, 4,91 Hz, 3,39 Hz, 2,81 Hz e 1,21 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda alla figura seguente.

Sulla base dei valori di  $V_s$  ottenuti è stata determinata una  $V_{seq}$  pari a 358 m/s.

Il profilo sismo stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle indagini eseguite si caratterizza per la presenza di un primo livello piuttosto soffice ( $V_s \approx 193$  m/s) avente uno spessore di circa 2 m, al quale seguono significativi incrementi di velocità fino al bedrock (800 m/s) collocato ad una profondità di 37 m da p.c.

È bene ricordare, infine, che le procedure di misura impiegate per l'indagine geofisica si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di intrinseche limitazioni. L'indagine, infatti, è basata sull'applicazione di conoscenze e di leggi scientifiche ufficialmente riconosciute ma anche su calcoli e valutazioni professionali circa fenomeni suscettibili di interpretazione. Inoltre, qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di  $V_s$  ricavati con queste tecniche, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro. Per questi motivi la presente indagine geofisica non può e non deve sostituire una appropriata campagna di esplorazione diretta.



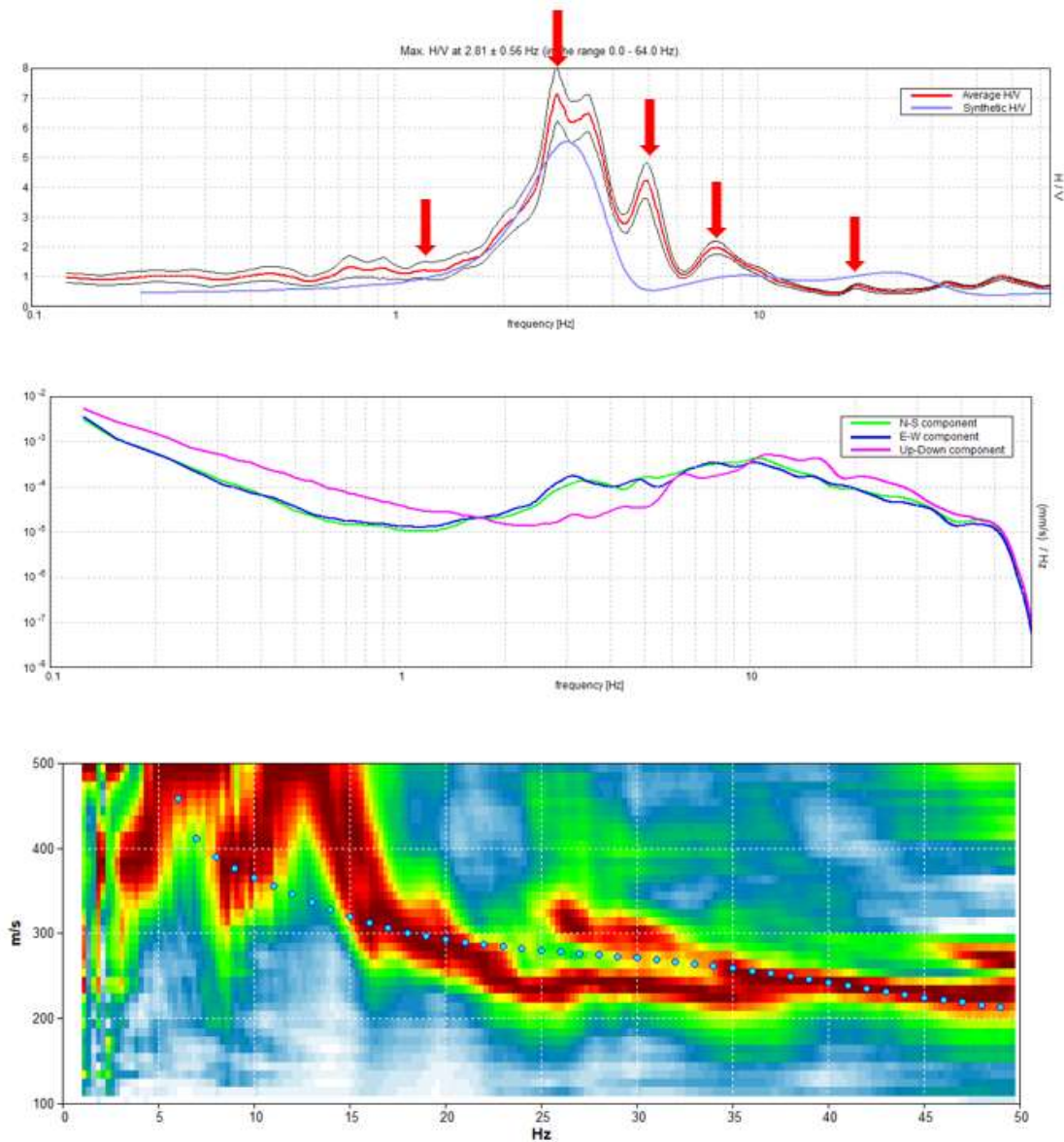


Figura 23 – Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V  
Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti  
nella seconda immagine, spettro di velocità di fase con modellazione (puntini azzurri)  
nella terza; le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica



Di seguito sono riassunti il profilo verticale delle Vs edil modello sismo stratigrafico del sito.

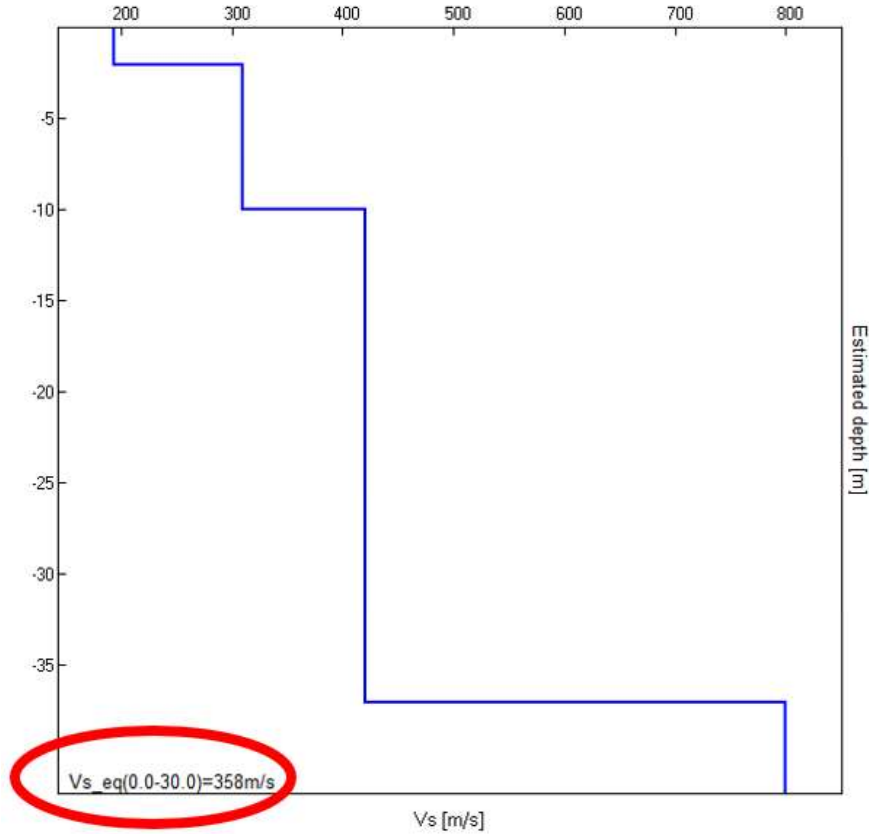


Figura 24 – Andamento della Vs con la profondità

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2,0	2,0	193
10,0	8,0	310
37,0	27,0	420
∞	∞	800

### 8.3 Analisi di risposta sismica locale

#### 8.3.1 Carta della Pericolosità Sismica Locale

Secondo la Carta della Pericolosità Sismica Locale del P.G.T., l'area di intervento è compresa nelle seguenti zone:

- *Z4a – Zona di fondovalle e di pianura con depositi fluvioglaciali granulari e coesivi.* Per tale scenario gli effetti attesi sono amplificazioni litologiche e geometriche.

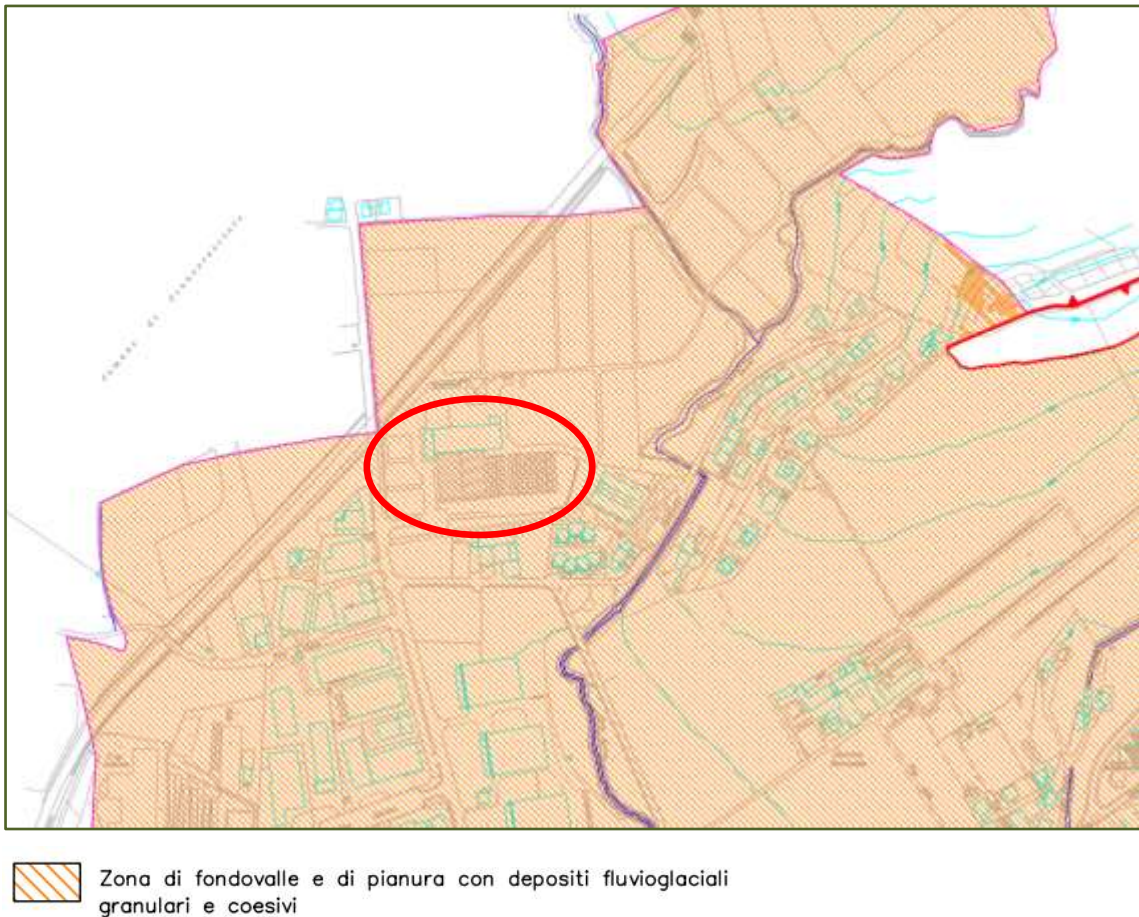


Figura 25 – Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento

### 8.3.2 Amplificazione stratigrafica

Sulla scorta delle indagini geofisiche eseguite, il terreno di fondazione del sito è classificabile entro la categoria C, poiché  $v_{s30} = 358$  m/s.

La valutazione di 2° livello eseguita nell'ambito dello studio geologico comunale indica che i fattori di amplificazione risultano inferiori al valore soglia. Pertanto, la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo derivante dalla campagna geognostica (categoria C).

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

Figura 26 – DGR 2616/2011, sintesi delle procedure

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Figura 27 – Categoria di suolo da utilizzare ai fini progettuali

### 8.3.3 Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella tabella seguente.

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

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Figura 28 – Categoria topografica e relativo valore di  $S_T$

Visto che l'intervento di progetto è posta in un sito debolmente inclinato, viene assegnato un valore di  $S_T$  pari a 1,0.

### 8.3.4 Parametri sismici sito-specifici

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) prevedono l'assegnazione dei valori necessari per la determinazione delle azioni sismiche in ogni sito considerato, in particolare:

- $a_g$  = accelerazione massima orizzontale del sito;
- $F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in acc. orizzontale;
- $T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in acc. orizzontale.



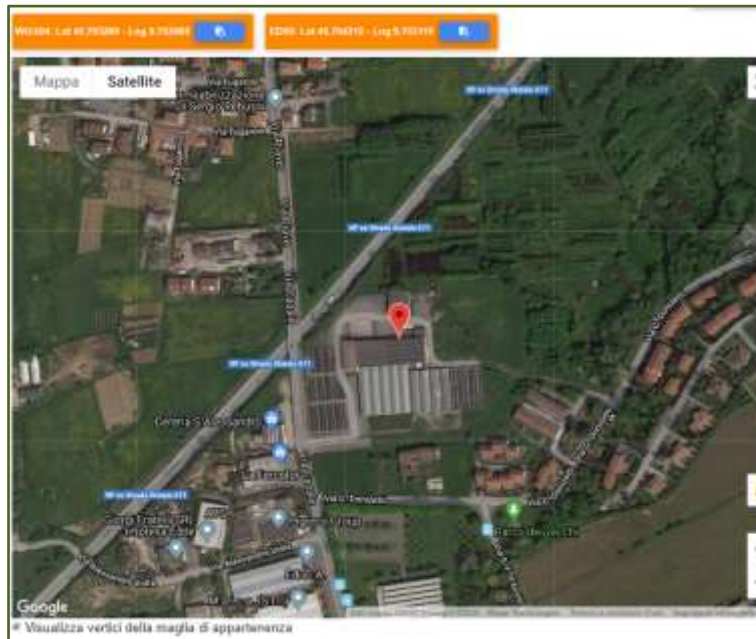





Figura 29 – Localizzazione sismica del sito

**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]	$a_g$ [g]	$F_0$	$Tc^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.032	2.428	0.199
Danno (SLD)	50	0.041	2.454	0.220
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.119	2.420	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.154	2.471	0.276
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Figura 30 – Determinazione dello stato limite  $a_g$ ,  $F_0$  e  $TC^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento (www.geostru.it)



### 8.3.5 Inerzia del terreno ( $k_h$ , $k_v$ ) sito-specifica

Considerato che la categoria di suolo è la C e che il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  è uguale a 1,0, applicando le formule delle N.T.C. 2018, si trova:

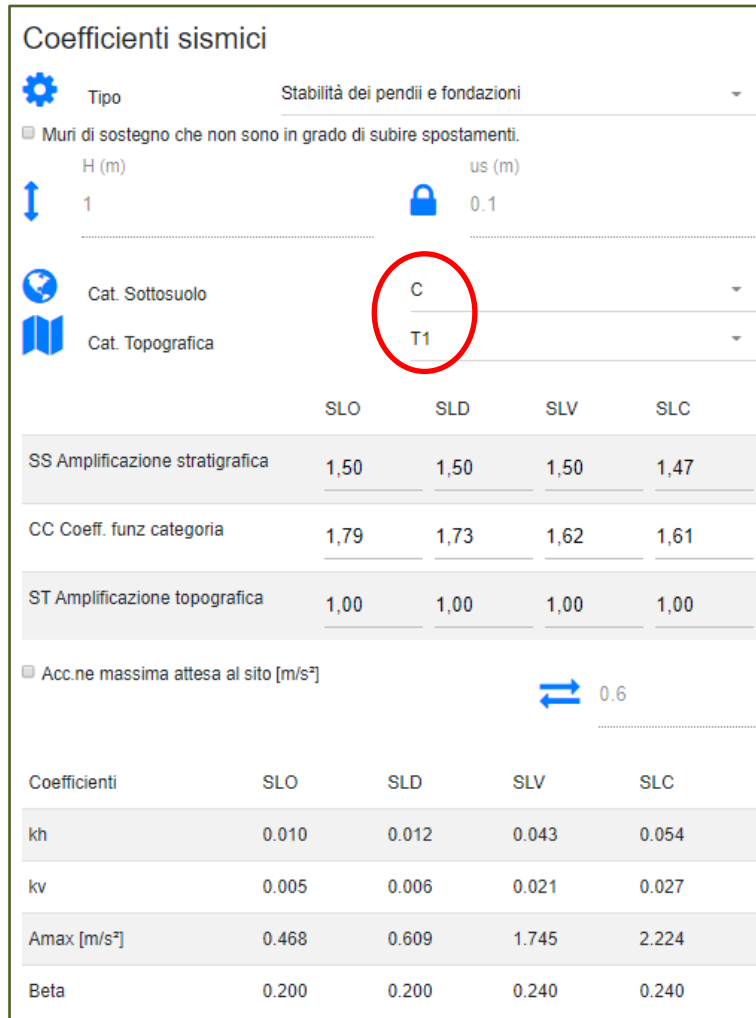


Figura 31 – Coefficienti sismici ([www.geostru.it](http://www.geostru.it)) per stabilità di pendii e fondazioni

### 8.3.6 Spettri di risposta

Attraverso il software “Spettri di risposta 1.0.3” edito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, basato sulle N.T.C. 2008, introducendo le coordinate del sito e i dati fondamentali (categoria stratigrafica di suolo di fondazione, categoria topografica, vita nominale, categoria di opera), sono stati elaborati gli spettri di risposta, di seguito riportati.

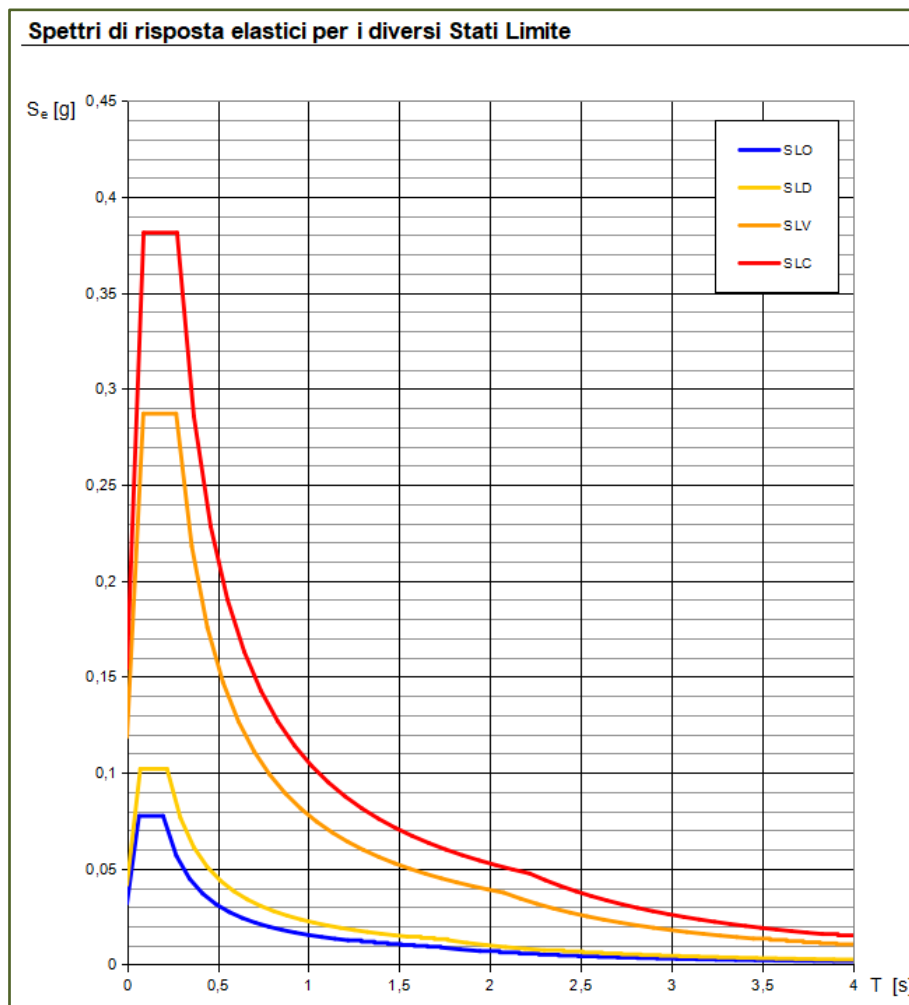


Figura 32 – Spettri di risposta per ciascuno stato limite

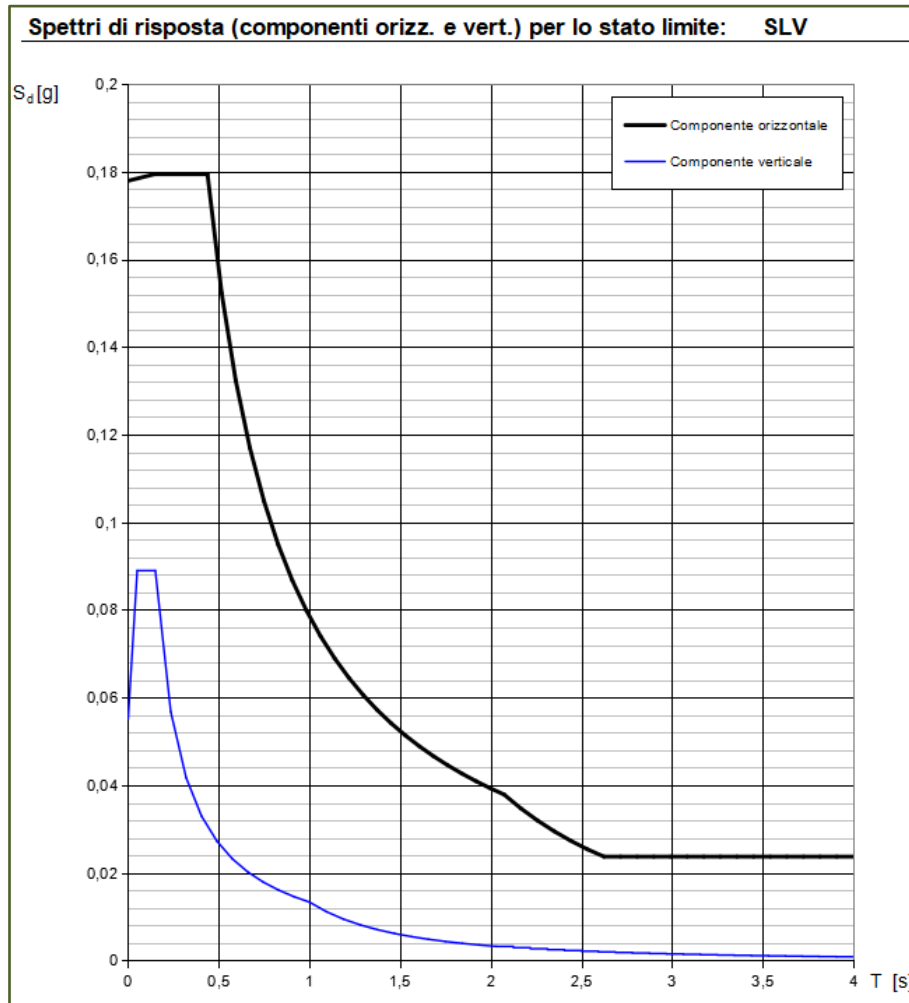


Figura 33 – Spettri di risposta per lo stato limite SLV

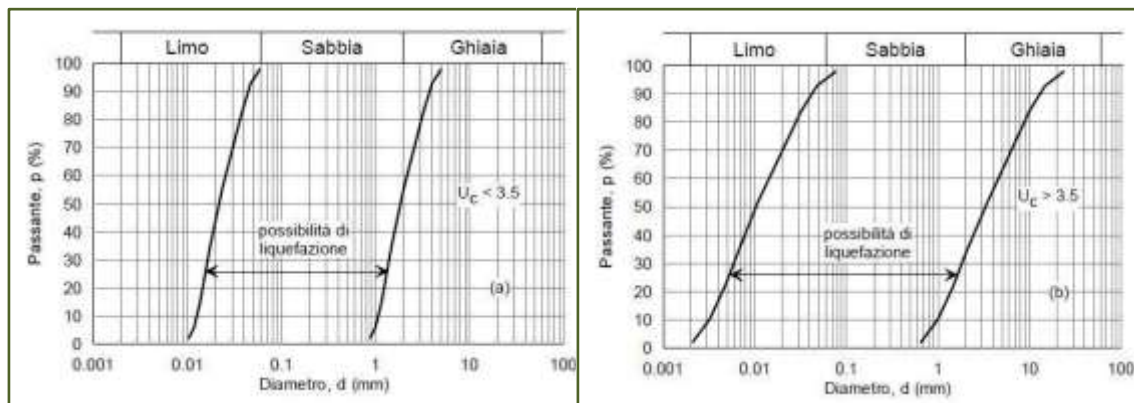
### 8.3.7 Verifica a liquefazione

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{cIN} > 180$  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  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura successiva, con riferimento al valore del coefficiente di uniformità  $U_c$ .



La verifica è stata svolta mediante diversi metodi, che richiedono prima la stima di CSR (Rapporto di tensione ciclica, funzione dei parametri del sisma di riferimento) e successivamente il calcolo di CRR (Rapporto di resistenza ciclica, che esprime la resistenza alla liquefazione). Tali verifiche, correlate ai profili di Vs disponibili, sono state svolte utilizzando i seguenti dati.

- Soggiacenza della falda pari a 10,0 m da p.c.
- Magnitudo di riferimento calcolata con il metodo della disaggregazione e pari a 4,74.

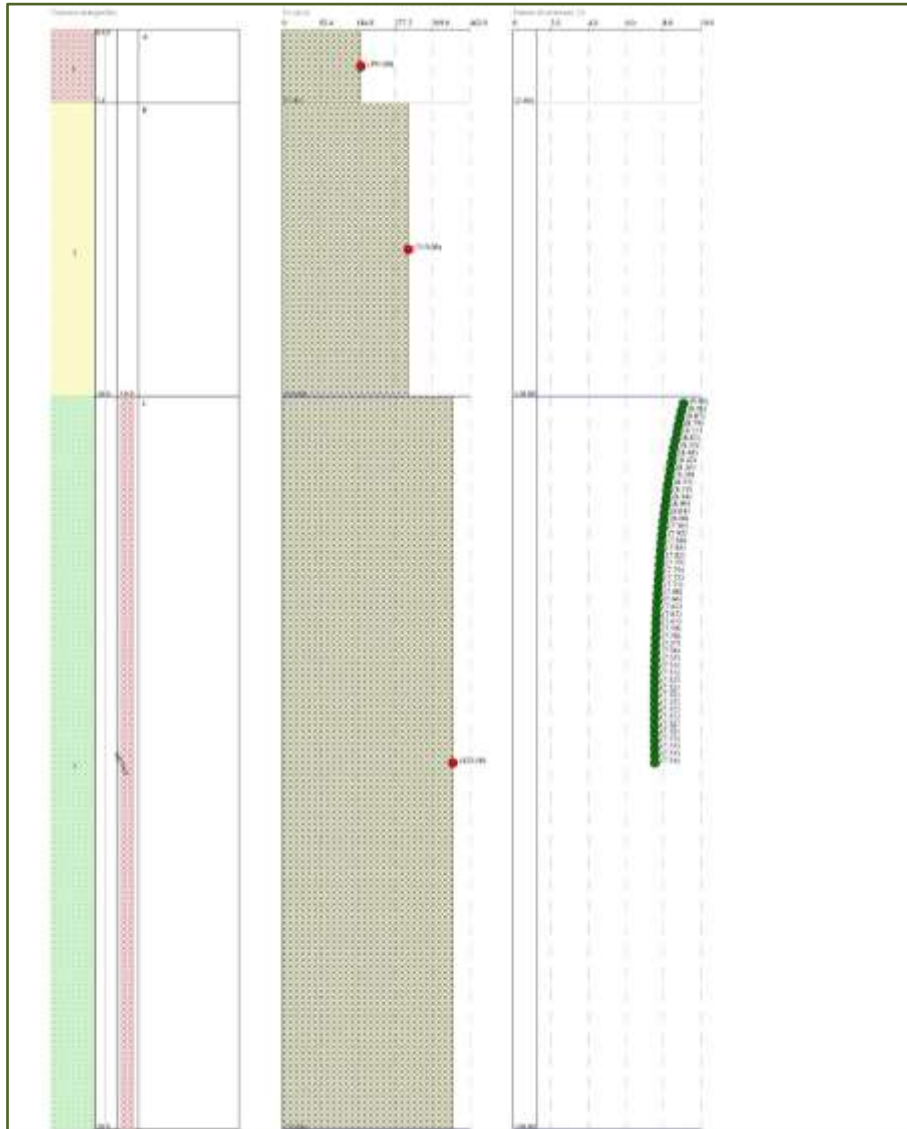


Figura 34 – Risultati di calcolo - metodo di Andrus e Stokoe (1997)  
a partire da profili di Vs

I calcoli hanno fornito valori del fattore di sicurezza FS ( $FS = CRR/CSR$ ) sempre superiori a 1,25, i quali denotano un rischio di liquefazione molto basso.



## 9. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO

A partire dagli esiti ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in sito e sulla base della modellazione geologica e sismo-stratigrafica indicata nei capitoli precedenti, è possibile procedere alla caratterizzazione e modellazione geotecnica (par 6.2.2 delle NTC 2018) del volume di terreno significativo.

Utilizzando il software CVSoil della Geostru, è stato possibile ricavare alcuni dei parametri geotecnici medi e caratteristici dei livelli litotecnici riconosciuti. L'elaborazione è stata eseguita su tutte e due le prove penetrometriche, confrontate tra loro.

### PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
Livello A	17,08 kN/m <sup>3</sup>	18,59 kN/m <sup>3</sup>	-	44,84 kN/m <sup>2</sup>	5262,85 kN/m <sup>2</sup> (edometrico)
Livello B	19,17 kN/m <sup>3</sup>	19,36 kN/m <sup>3</sup>	34,27°	-	30543,98 kN/m <sup>2</sup> (elastico)
Livello C	21,97 kN/m <sup>3</sup>	22-23 kN/m <sup>3</sup>	46,18°	-	48803,57 kN/m <sup>2</sup> (elastico)

Tabella 5 – Valori MEDI dei parametri geotecnici

Dai valori medi è poi possibile pervenire alla definizione dei valori caratteristici, ricavati con metodi geostatistici, calibrati anche in base alle condizioni specifiche del sito, a valori di letteratura ed all'esperienza dello scrivente.

PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI **CARATTERISTICI** SITO-SPECIFICI

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
Livello A	16,88 kN/m <sup>3</sup>	18,47 kN/m <sup>3</sup>	-	41,85 kN/m <sup>2</sup>	4916,32 kN/m <sup>2</sup> (edometrico)
Livello B	19,02 kN/m <sup>3</sup>	19,31 kN/m <sup>3</sup>	33,88°	-	29885,80 kN/m <sup>2</sup> (elastico)
Livello C	21,50 kN/m <sup>3</sup>	21-22 kN/m <sup>3</sup>	43,21°	-	44158,94 kN/m <sup>2</sup> (elastico)

Tabella 6 – Valori CARATTERISTICI dei parametri geotecnici

Nella tabella a seguire si riportano dei range di variabilità dei parametri geotecnici caratteristici (derivati dalle elaborazioni statistiche di cui alla tabella precedente), che tengono conto dell'eterogeneità propria di qualsiasi terreno (condizioni di anisotropia), calibrati anche in base all'esperienza dello scrivente in siti limitrofi.

PRINCIPALI PARAMETRI GEOTECNICI **CARATTERISTICI** SITO-SPECIFICI

*RANGE DI VARIABILITÀ*

LIVELLO STRATIGRAFICO	PESO SPECIFICO NATURALE	PESO SPECIFICO SATURO	ANGOLO D'ATTRITO	COESIONE NON DRENATA	MODULO EDOMETRICO / ELASTICO
Livello A	16-17 kN/m <sup>3</sup>	17-19 kN/m <sup>3</sup>	-	40-50 kN/m <sup>2</sup>	4500-6000 kN/m <sup>2</sup> (edometrico)
Livello B	18,5-19,5 kN/m <sup>3</sup>	19-20 kN/m <sup>3</sup>	32°-34°	-	28000-32000 kN/m <sup>2</sup> (elastico)
Livello C	20,5-21,5 kN/m <sup>3</sup>	21-22 kN/m <sup>3</sup>	35°-40°	-	40000-50000 kN/m <sup>2</sup> (elastico)

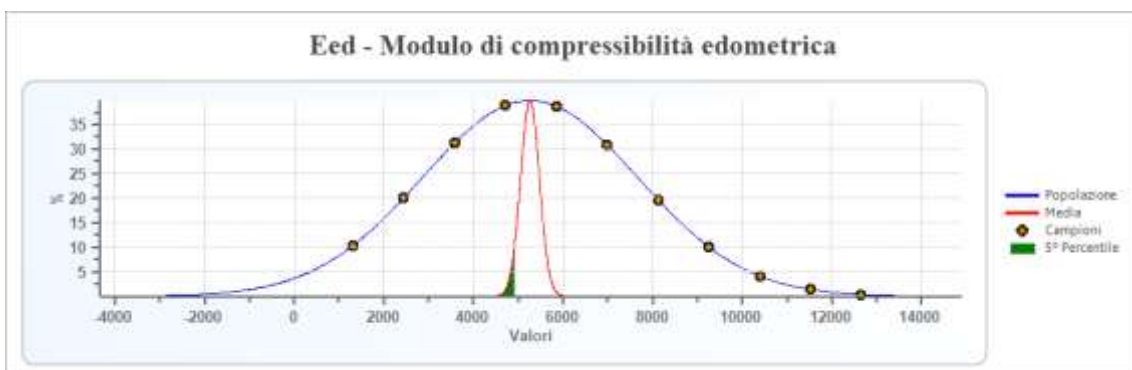
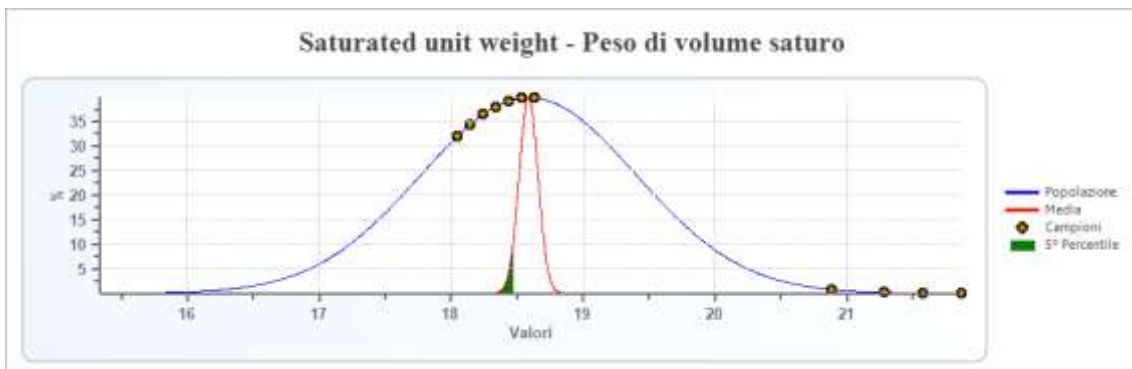
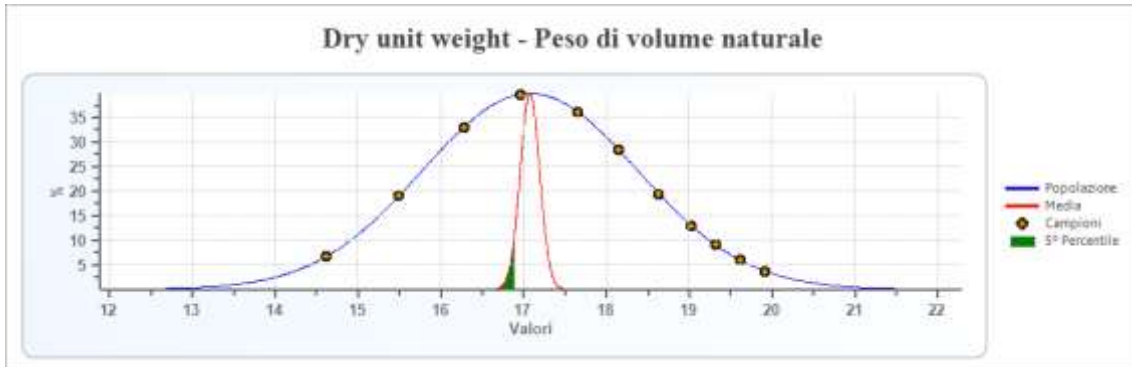
Tabella 7 – Valori CARATTERISTICI dei parametri geotecnici (range di variabilità)

Si rammenta che relativamente alla determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, secondo quanto stabilito dalle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) riguardanti le NTC, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (es. fondazioni superficiali e frane); nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (es. terreno alla base di un palo e verifica a scorrimento di un muro) appare giustificato l'utilizzo dei valori caratteristici prossimi ai valori minimi.

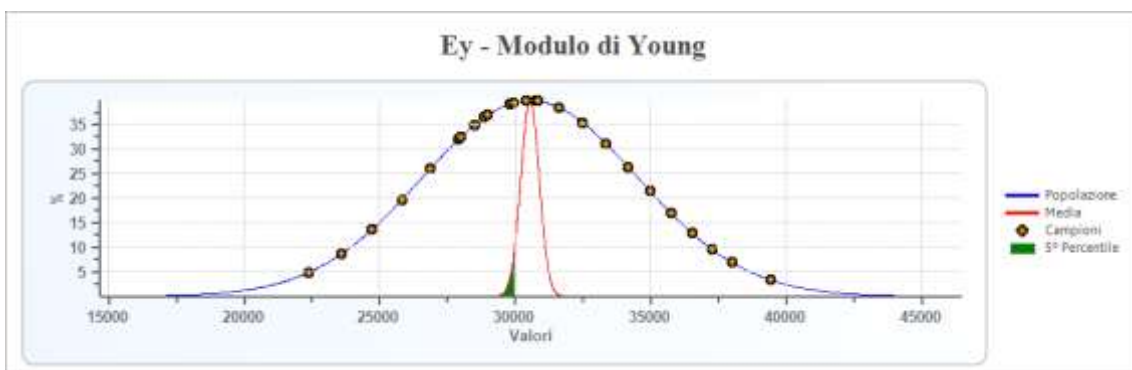
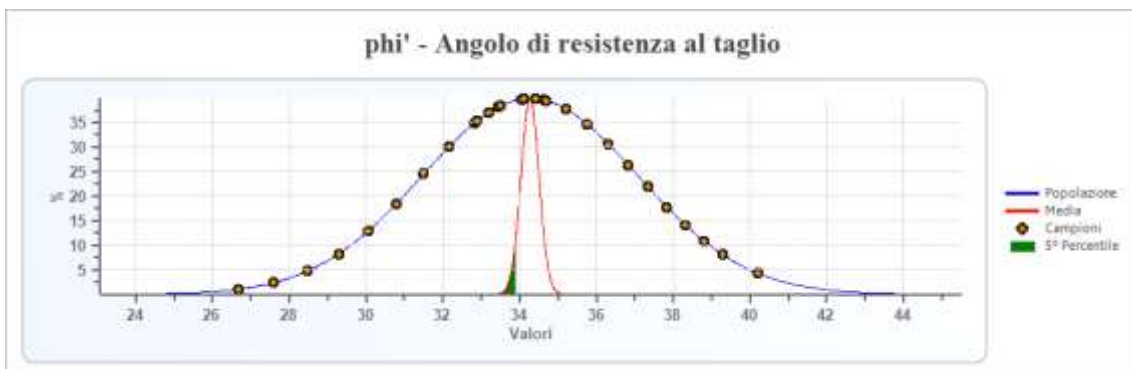
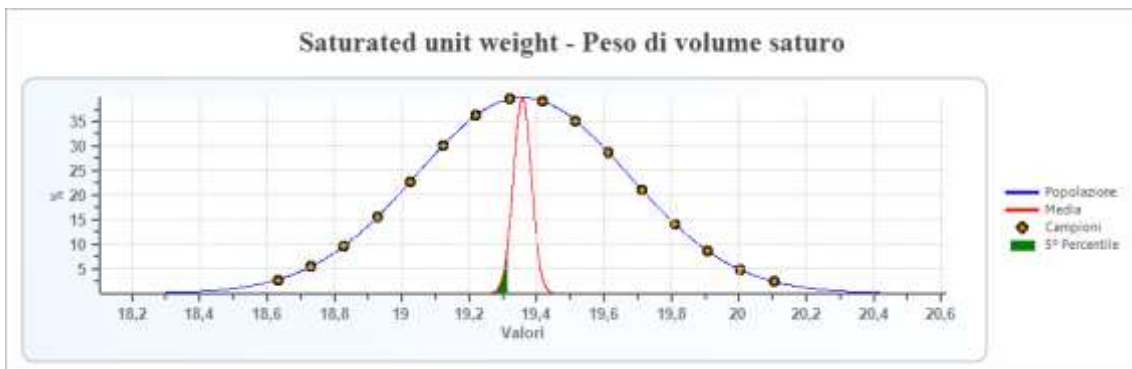
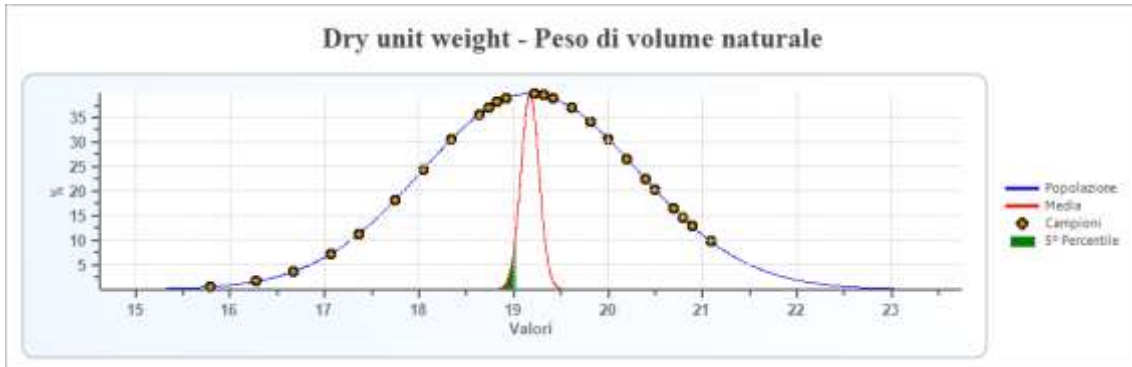
Si precisa altresì che i valori caratteristici dei parametri geotecnici indicati sono da intendersi come una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato (criterio prudenziale); tuttavia, pur potendo ragionevolmente essere estesi all'intero sito di progetto, occorre precisare che significative variazioni litologiche verticali o laterali impreviste dei terreni potrebbero alterarli in modo anche significativo.

Di seguito si allegano i grafici relativi alle elaborazioni statistiche dei livelli A, B, C e D per i soli parametri caratteristici.

LIVELLO A



LIVELLO B

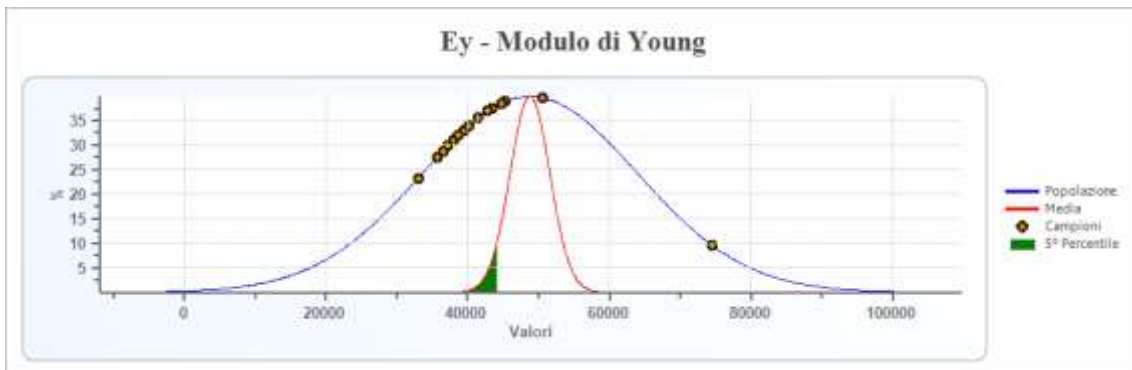
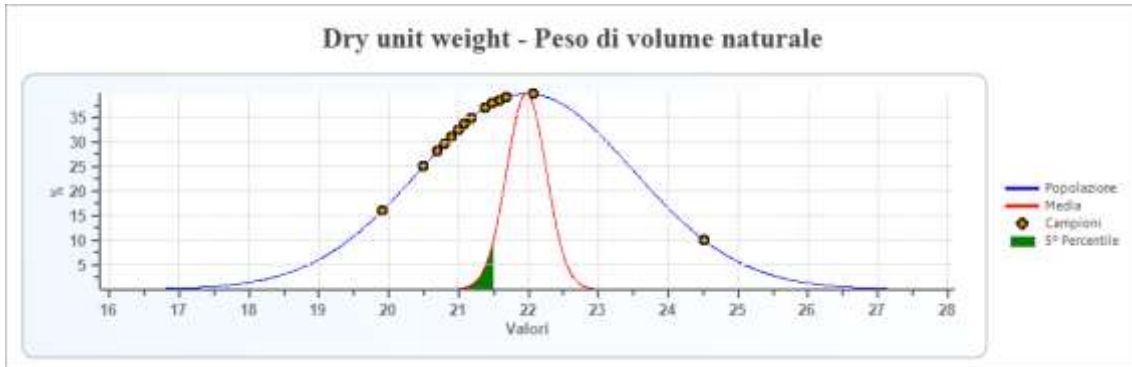




PROGETTO DI REALIZZAZIONE NUOVO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO  
A TORRE DE' ROVERI (BERGAMO)

*RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA*

**LIVELLO C**



## **10. ACCORGIMENTI TECNICO-COSTRUTTIVI**

Gli scavi necessari al raggiungimento del piano d'imposta delle fondazioni dovranno essere eseguiti adottando tutti gli accorgimenti necessari per preservare la sicurezza dei fronti, dei manufatti e delle maestranze. Qualora gli scavi dovessero generare fronti con altezze superiori ai 2 m si suggerisce l'adozione della tecnica dei gradoni con fronti inclinati, o comunque l'impiego di adeguate tecniche necessarie per garantire la sicurezza delle maestranze.

Si suggerisce inoltre di sospendere i lavori in condizioni meteorologiche avverse, di non lasciare esposte le pareti di scavo all'azione degli agenti meteorici (posa di teli impermeabili) e di mantenere carichi accidentali (camion, gru, attrezzature, stoccaggio di materiali) lontano dai cigli.

Relativamente alla profondità di imposta del futuro impianto fondazionale, stante la ricostruzione stratigrafica prospettata e le caratteristiche geotecniche degli orizzonti litotecnici riconosciuti, si consiglia la completa asportazione dei terreni superficiali (orizzonte A), oppure di procedere con operazioni di costipazione dei terreni e/o sostituzione dei depositi fini compressibili.

In ogni caso si raccomanda la posa al fondo dello scavo dello strato di magrone con annegata rete elettrosaldata avente funzione di sottofondazione

In ragione della ricostruzione idrogeologica proposta (Rif. § 4.4 a cui si rimanda), durante le operazioni di scavo dovrà essere verificata la possibile presenza di falde sospese; al proposito si consiglia la predisposizione di opportuni sistemi di raccolta e allentamento delle acque meteoriche, al fine di preservare la funzionalità delle strutture portanti nel tempo.

## **11. CONCLUSIONI**

La presente relazione geologico-geotecnica e sismica è stata commissionata da Mc Garlet s.r.l. a supporto del progetto di nuovo insediamento produttivo a Torre de' Roveri (Bergamo).

Per ogni considerazione di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, vincolistico, geotecnico e sismico, si vedano i rispettivi capitoli.

Durante l'esecuzione degli scavi e la realizzazione delle opere, il Progettista e l'Impresa esecutrice dovranno comunque verificare la corrispondenza tra le caratteristiche dei terreni riscontrate e quelle prospettate nella relazione geologica; in presenza di difformità si dovrà tempestivamente avvisare lo scrivente.

In base ai risultati dei rilievi e degli approfondimenti effettuati si ritiene che, fatte salve le considerazioni e prescrizioni contenute nella presente relazione, non vi siano elementi geologici ostativi alla realizzazione delle opere di progetto.

*Mozzo, Ottobre 2020*

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli