- Valutazione rischio sismico, idrogeologico ed ambientale
- Indagini geofisiche
- Prove geotecniche in sito e di laboratorio
- Rilievi geomeccanici
- Sondaggi geognostici
- Consolidamenti
- Monitoraggio geotecnico e strutturale
- Verifiche di stabilità pendii e fronti di scavo
- Bonifiche movimenti franosi
- Idrogeologia
- Pozzi per acqua
- Opere sotterranee
- Discariche
- Cave
- Dighe
- Ingegneria naturalistica
- Caratterizzazioni, bonifiche e recuperi ambientali
- Consulenze geologico - ambientali
- Pianificazioni territoriali
- Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) e Valutazione Ambientale Strategica (VAS)

STUDIO GEOLOGICO - AMBIENTALE

Dott. Geol. MARCO TERENZI

OGGETTO: Indagine geologica, geotecnica e sismica a supporto di un progetto di "REALIZZAZIONE DI UNA RESIDENZA ASSISTENZIALE PER ANZIANI (R.S.A.) E COMUNITA' ALLOGGIO SOCIALE ANZIANI (C.A.S.A.)" sito nel Comune di Landriano (PV) – Str. Provinciale n. 2.

RELAZIONE GEOLOGICA-CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Committente	Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Indirizzo	Str. 3, Palazzo B3 – 20090 ASSAGO (MI)
Progettista	Spett.le Studio di Architettura – Arch. Silvia BRACCO
Indirizzo	C.so Piave, 176/b – 12051 ALBA (CN)
Tecnico	Dott. Geol. Marco TERENZI
Indirizzo	Via Fasola, 10 – 12042 BRA (CN)

Normativa di riferimento nazionale	❖ D.M. 17.01.2018 ❖ O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 ❖ R.D. n. 3267 del 30.12.1923	**Dati catastali**	Foglio: 9 Mappale: 276 - 68 (parte) - 69 (parte)
Normativa di riferimento regionale	❖ P.A.I. - Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po ❖ P.G.T. ❖ D.G.R. n. IX/2616 del 30.11.2011	**Comune**	LANDRIANO
		Provincia	PAVIA
		Codice documento: 22.LAND.SANDOMENICO	

12042 BRA (CN) - Via Fasola n. 10
Tel. 331.7715309
E-mail : geoterenzi@gmail.com
PEC: marco.terenzi@pec.geologipiemonte.it

INDICE

1 PREMESSA……... Pag. 3

2 LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERESSE……... Pag. 4

3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E VINCOLI.....…….. Pag. 4

4 CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE…….…… Pag. 7

5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE…… Pag. 10

6 CARATTERI IDROGRAFICI ED IDROLOGICI……..……... Pag. 11

7 RISULTANZE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE……..... Pag. 13

8 RISULTANZE DEI POZZETTI GEOGNOSTICI……. Pag. 26

9 RISULTANZE DELLE PROVE SISMICHE ATTIVE MASW….…..…...…...….... Pag. 28

10 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE ……...….……. Pag. 38

11 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA (II LIVELLO)…… Pag. 42

12 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE……. Pag. 46

13 MODELLO GEOTECNICO……... Pag. 58

14 OPERE DI FONDAZIONE ED OPERE DI SOSTEGNO.……...……. Pag. 60

15 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE……. Pag. 61

16 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI……. Pag. 65

17 ALLEGATI……..... Pag. 66

- Inquadramento topografico (scala 1: 5.000)
- Elaborato fotografico (foto aerea)
- Inquadramento geologico (con elementi geomorfologici ed idrogeologici, scala 1:2.500)
- Ubicazione indagini geotecniche-sismiche (Estratto di cartografia tecnica)
- Documentazione fotografica
- Istogrammi delle prove penetrometriche eseguite in data 05.04.2022
- Caratteristiche del penetrometro pesante dinamico DPH50

1. PREMESSA

La presente indagine geologica, geotecnica e sismica, a supporto di un progetto di "REALIZZAZIONE DI UNA RESIDENZA ASSISTENZIALE PER ANZIANI (R.S.A.) E COMUNITA' ALLOGGIO SOCIALE ANZIANI (C.A.S.A.)" sito nel Comune di Landriano (PV) – Str. Provinciale n. 2, fa seguito ad un sopralluogo e ad un'indagine geologico-tecnica eseguita in sito, su incarico conferito allo scrivente dallo Studio di Architettura - Arch. Silvia BRACCO, nonché dall'IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l., committente dell'intervento.

Le indagini svolte, estese ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi, in ottemperanza alle Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17.01.2018), sono state finalizzate alla definizione delle condizioni geologico-geomorfologiche del sito e delle proprietà geotecniche dei materiali presenti, con l'obiettivo di definirne le potenzialità di fruizione in relazione all'assetto territoriale, traendo le opportune valutazioni sulla compatibilità dell'intervento con la situazione litotecnica, geomorfologica, sismica ed idrogeologica locale. La finalità degli elementi sopra citati è di fornire al Progettista utili indicazioni di portanza dei depositi in sito, nonché di valutare e definire eventuali problematiche geologico-geotecniche ed idrogeologiche, definendo così un programma di eventuali ulteriori indagini sui terreni. In dettaglio secondo la normativa vigente è stato definito un modello geologico-geotecnico del volume di sottosuolo interagente con l'opera da realizzare, determinando le proprietà geotecniche e geomeccaniche dei diversi litotipi con riferimento al volume significativo, al fine di permettere la corretta caratterizzazione del sottosuolo e le cui risultanze sono riportate nel presente elaborato tecnico.

Il terreno interessato dall'intervento, ubicato in un'area mediamente urbanizzata, non risulta essere occupato allo stato attuale da alcun fabbricato.

Il progetto proposto da Immobiliare San Domenico prevede la realizzazione di

- n. 1 R.S.A. strutturata secondo n. 2 piani fuori terra;
- n. 1 C.A.S.A. strutturata secondo n. 2 piani fuori terra.

Preliminarmente all'esecuzione dell'indagine in sito, è stata condotta una ricerca dei dati bibliografici e della cartografia tecnica disponibili riguardanti l'area in oggetto, nonché degli elaborati geologico-tecnici allegati al vigente P.R.G.C. ed al Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del bacino del fiume Po. La presente indagine è eseguita ai sensi della seguente normativa di riferimento:

Normativa Nazionale	Normativa Regionale
O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e s.m.i	P.A.I. - Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po
D.M. 17.01.2018	P.G.T. - Piano di Governo del Territorio
R.D. n. 3267 del 30.12.1923	D.G.R. n. IX/2616 del 30.11.2011

Si rappresenta che la zona in esame non ricade in area sottoposta a vincolo per scopi idrogeologici, ai sensi del R.D. n. 3267 del 30.12.1923.

La metodologia di studio utilizzata nel presente lavoro, di seguito descritta, è stata strutturata secondo una serie di fasi così riassunte:

- ricerca bibliografica e cartografica di tutti gli elaborati geologici l.s. ed ambientali allegati al vigente P.G.T. (Piano di Governo del Territorio) di Landriano, al Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del bacino del fiume Po, nonché della cartografia geologica ufficiale (Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000) e del materiale informativo di supporto (Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia);
- esecuzione di un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio del sito in oggetto e di un suo intorno significativo per una superficie totale di circa 10.000 m^2 circa;

- elaborazione ed analisi di un modello geologico-geotecnico in grado di interpretare i parametri ottenuti dalle indagini effettuate con i dati desunti dalla ricerca bibliografica e cartografica dell'area oggetto di studio.

Nei successivi capitoli saranno esposte alcune note riguardo le caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche, sismiche, idrogeologiche ed idrologiche dell'area interessata dagli interventi.

2. LOCALIZZAZIONE AREA DI INTERESSE

L'area oggetto d'indagine risulta censita con riferimento catastale "Foglio 9 – Mappale 276 - 68 (parte) - 69 (parte)" e ricade nel territorio comunale di Landriano (PV). Essa è compresa nella cartografia ufficiale del Foglio n. 59 "Pavia" dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.) alla scala 1:100.000 ed è caratterizzata dal punto di vista geomorfologico da un ambiente di pianura. La zona è ubicata in corrispondenza della strada Provinciale n. 2, alla quota di circa 85,0 s.l.m., a sudest del concentrico comunale. Il sito di studio si colloca in un settore pianeggiante, caratterizzato da un medio grado di antropizzazione (Figura 2.1).

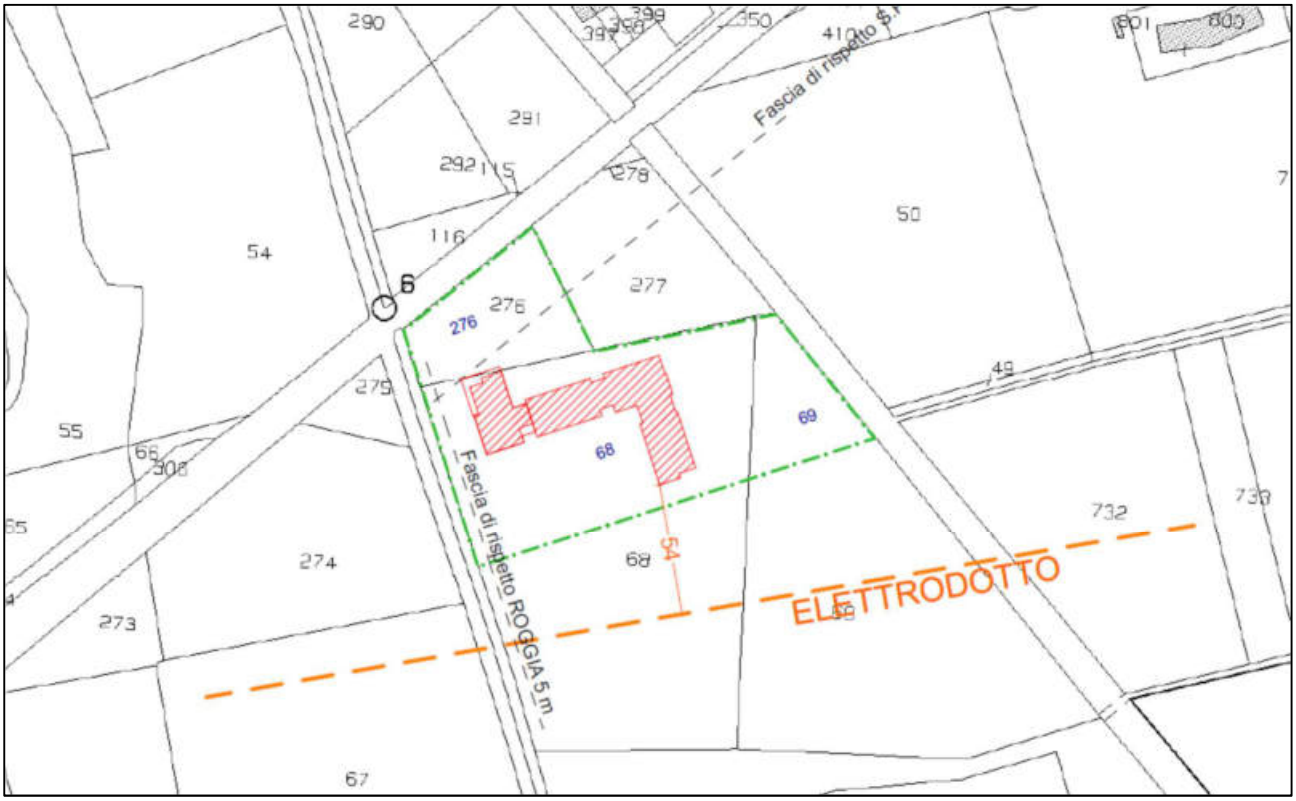


Figura 2.1 – *Estratto catastale con ubicazione dell'opera in progetto.*

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E VINCOLI

In termini di pericolosità geomorfologica ed idraulica, l'analisi è stata effettuata tenendo presente quanto riportato nella cartografia allegata al P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po) ed al vigente P.G.T. (Piano di Governo del Territorio).

Il territorio comunale di Landriano, che ha una superficie di 15,48 kmq, ricade nel tratto di pianura padana posto a NE di Pavia, a cavallo del corso del F. Lambro meridionale.

Dal punto di vista geomorfologico l'area su cui si sviluppa il territorio in esame fa parte dell'ampio ed esteso ripiano alluvionale di età pleistocenica impostato nei depositi riferibili al "Fluviale recente" o “Fluviale Würm”; tale ripiano è noto in letteratura geologica come "Piano Generale Terrazzato" (P.G.T.) della Pianura lombarda. Il ripiano in questione ha una superficie complessivamente regolare ed è dotato di una debole pendenza generale verso SSE; esso presenta, nell'ambito del territorio comunale, quote che variano all'incirca tra i 90 ed gli 82 m s.l.m. La morfologia del P.G.T. è disturbata solo da blande ondulazioni e dalla presenza di locali modeste scarpate artificiali che segnano spesso il confine tra diversi appezzamenti agricoli o costituiscono le ripe di rogge o canali irrigui e di scolo esistenti.

I rilievi svolti in sito non hanno evidenziato la presenza, data la disposizione sub-pianeggiante, di fenomeni di instabilità in atto o potenziali. La verifica dei manufatti presenti nei settori limitrofi dell’area in oggetto non ha mostrato anch’essa alcuna lesione significativa, e la presenza di piccoli dissesti in alcuni fabbricati è, probabilmente, attribuibile ad assestamenti strutturali delle opere stesse.

Alla luce di quanto rilevato, il lotto di terreno interessato dallo studio risulta complessivamente stabile, escludendo, al momento dell’indagine, la presenza di dissesti geomorfologici ed idrogeologici in atto o potenziali di entità rilevante. Solo localmente si potranno presentare modeste e puntuali problematiche geomorfologiche connesse con la variazione della composizione e della potenza del materiale sciolto di copertura, del suo stato di consistenza e delle locali condizioni di equilibrio dell’area. Potranno quindi verificarsi fenomeni di piccoli assestamenti legati alla circolazione idrica superficiale e sub-superficiale, anche in settori della zona in esame apparentemente assestati, in tempi più o meno lunghi.

Secondo la Tav. 6 “Carta dei vincoli e delle limitazioni d’uso del territorio” del P.G.T. il settore di studio è ubicato in “aree di consolidamento delle attività agricole e dei caratteri connotati” (Figura 3.1).

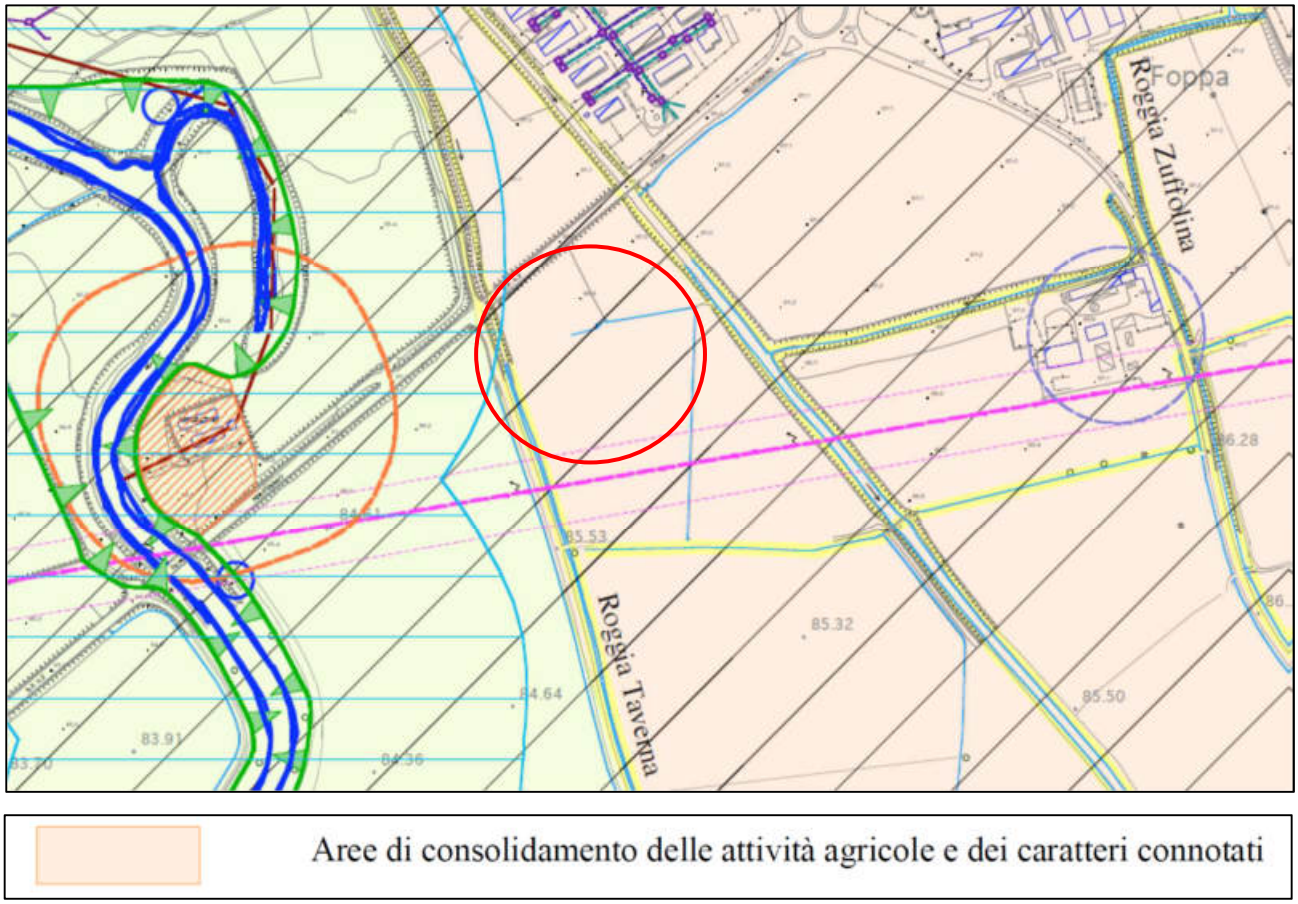


Figura 3.1 – *Tav. 6 “Carta dei vincoli e delle limitazioni d’uso del territorio”*(*da P.G.T. – mod.*).

Il sito in esame, come riportato nella Tav. 7 “Carta di Sintesi” del vigente P.G.T., risulta essere ubicato in un settore del territorio comunale inserito in “area a vulnerabilità idrogeologica elevata, in quanto impostata in depositi alluvionali con predominanza della componente sabbiosa e sede di una falda idrica con livello piezometrico prossimo al piano campagna. Soggiacenza in genere variabile da 1,5 a 3,5 m” (Figura 3.2).

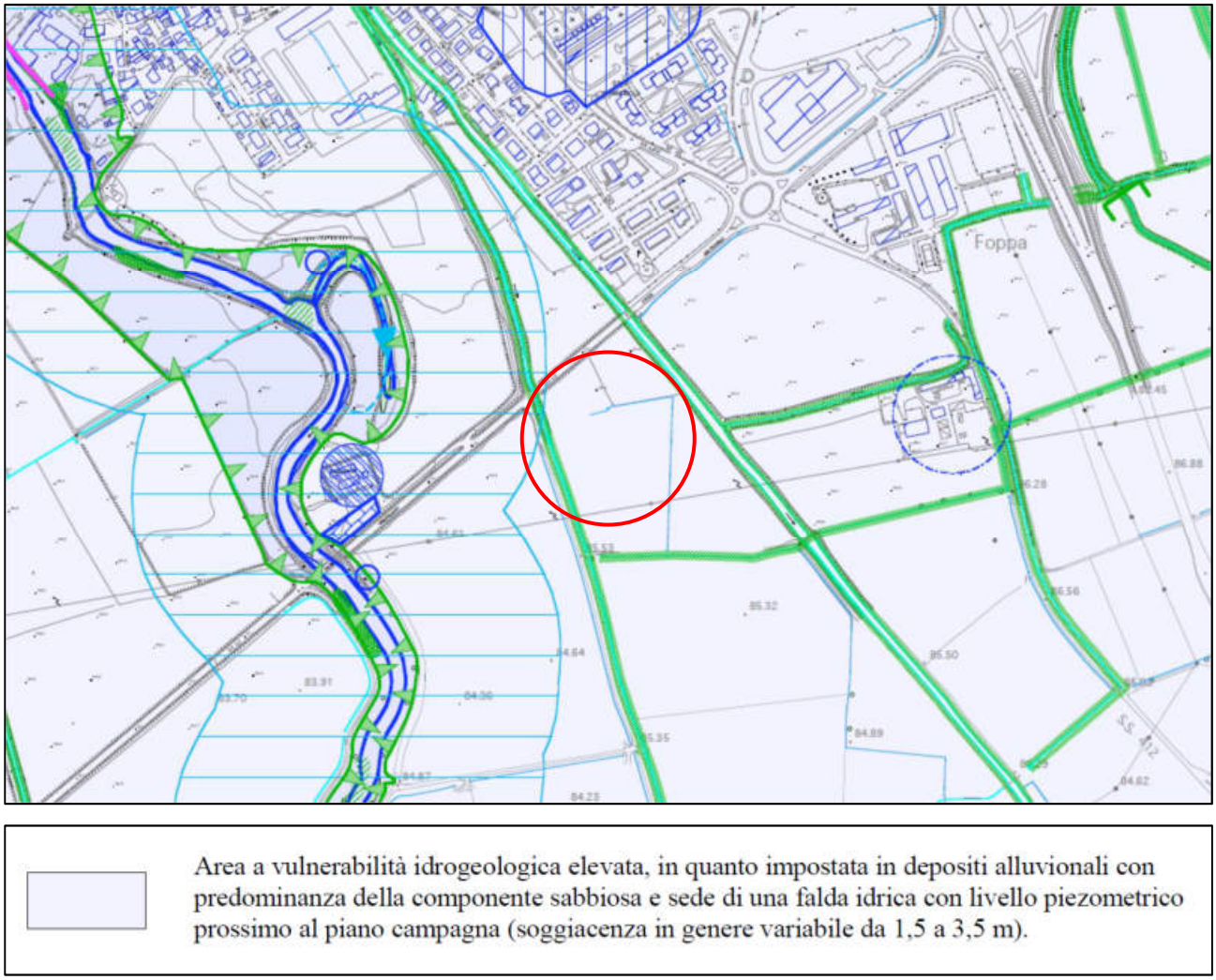


Figura 3.2 – *Tav. 7 “Carta di Sintesi”(da P.G.T. – mod.).*

Secondo la Tav. 8 “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” del P.G.T. l’area oggetto di studio risulta compresa nella Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni. In questa classe ricadono le aree in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, ed in particolare all'edificabilità, per l'entità e la natura delle problematiche individuate, sia a scala locale che territoriale. Si tratta di aree contraddistinte da un più che soddisfacente grado di stabilità, ma caratterizzate da un assetto litostratigrafico segnato da marcate disomogeneità tessiturali latero-verticali, con la locale presenza di orizzonti argillosi, argillo-sabbiosi-limosi e torbosi con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti. A tale assetto litostratigrafico si associa in genere una ridotta soggiacenza della prima falda, il cui livello piezometrico può risultare stagionalmente prossimo al piano campagna. Pertanto l'utilizzo a fini urbanistici sarà subordinato alla realizzazione di indagini di dettaglio, anche in ottemperanza alle N.T.C., che dovranno essere finalizzate all'acquisizione di una maggiore conoscenza dell'area di diretto interesse e del suo intorno.

Le indagini dovranno in particolare valutare nel dettaglio l'assetto litostratigrafico, geotecnico e idrogeologico (profondità della falda acquifera) del sottosuolo mediante l'esecuzione di adeguate

indagini geognostiche in sito (quali trincee esplorative, prove penetrometriche, sondaggi a carotaggio continuo, ecc.) eventualmente integrate da prove geotecniche di laboratorio.

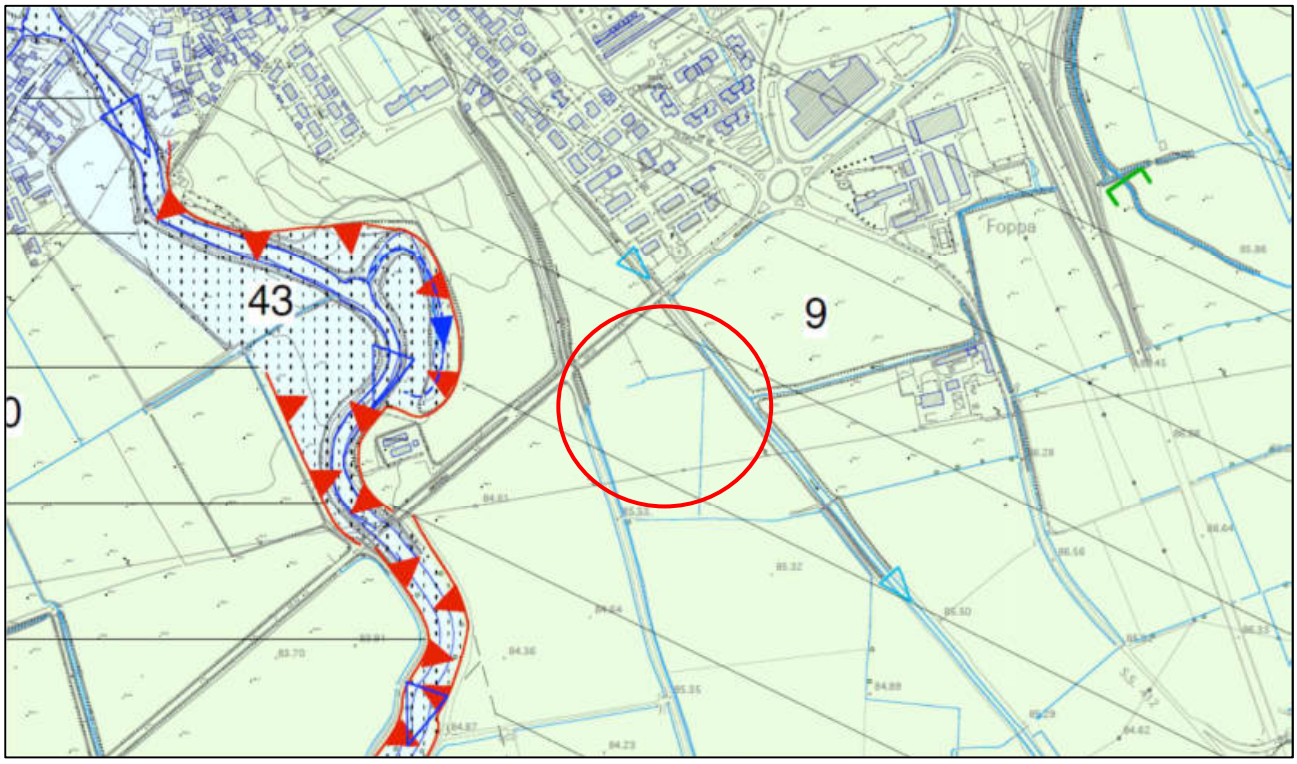
Più in generale, le analisi geologiche dovranno essere, in particolare, finalizzate alla definizione della profondità del piano di posa delle fondazioni e delle caratteristiche geotecniche del substrato per consentire il corretto dimensionamento delle strutture fondazionali. In linea generale, si sconsiglia la realizzazione di cantine e, in misura minore di seminterrati. La loro esecuzione non deve intendersi peraltro preclusa ma dovrà essere attentamente valutata caso per caso, adottando opportuni accorgimenti costruttivi al fine di evitare connessioni e/o interferenze con la falda superficiale. Inoltre, in considerazione della generale vulnerabilità idrogeologica delle aree, le indagini e studi di dettaglio dovranno portare alla definizione degli accorgimenti di salvaguardia nei confronti delle acque sotterranee (Figura 3.3).

Figura 3.3 – *Tav. 8 "Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano"(da P.G.T. – mod.).*

4. CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE

Dal punto di vista litologico, sulla base di quanto riportato nel Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1.100.000 e nella Tav. 1 "Carta di inquadramento geologico-geomorfologico" del P.G.T. alla scala 1:5.000 (Figura 4.1-2), in corrispondenza dell'area in esame affiorano depositi pleistocenici costituiti dal ripiano del "Fluviale recente" o "Piano Generale Terrazzato della Pianura", impostato in sabbie prevalenti con lenti di limo, sopraelevato in media da 2 a 5 m rispetto al ripiano delle "Alluvioni recenti".

Figura 4.1 – *Estratto del Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia alla scala1.100.000* (*da ISPRA-mod.*).



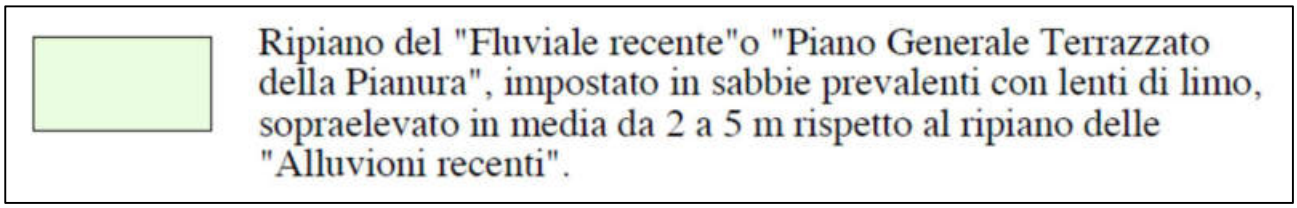


Figura 4.2 – *Tav. 1 "Carta di inquadramento geologico-geomorfologico"*(*da P.G.T. – mod.*).

In particolare, come desunto dalle risultanze della n. 6 prove penetrometriche dinamiche (DPH50) eseguita in sito, spinte fino alla profondità massima di 9,9 m da p.c., l'assetto litostratigrafico locale risulta essere il seguente:

P1)
- da 0,0 a 4,8 m sono presenti terreni asseribili a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati;
- da 4,8 a 7,5 m sono presenti depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati;
- a partire da 7,5 m di profondità i depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi risultano essere addensati con la profondità.

Profondità (m da p.c.)	Legenda litostratigrafica
0,0 – 4,8	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati.
4,8 – 7,5	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati.
> 7,5	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi addensati.

P2)
- da 0,0 a 4,5 m sono presenti terreni asseribili a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati;
- da 4,5 a 7,2 m sono presenti depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati;
- a partire da 7,2 m di profondità i depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi risultano essere addensati con la profondità.

Profondità (m da p.c.)	Legenda litostratigrafica
0,0 – 4,5	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati.
4,5 – 7,2	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati.
> 7,2	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi addensati.

P3)
- da 0,0 a 5,7 m sono presenti terreni asseribili a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati;
- da 5,7 a 7,8 m sono presenti depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati;
- a partire da 7,8 m di profondità i depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi risultano essere addensati con la profondità.

Profondità (m da p.c.)	Legenda litostratigrafica
0,0 – 5,7	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati.
5,7 – 7,8	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati.
> 7,8	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi addensati.

P4)
- da 0,0 a 4,8 m sono presenti terreni asseribili a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati;

- da 4,8 a 7,8 m sono presenti depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati;
- a partire da 7,8 m di profondità i depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi risultano essere addensati con la profondità.

Profondità (m da p.c.)	Legenda litostratigrafica
0,0 – 4,8	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati.
4,8 – 7,8	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati.
> 7,8	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi addensati.

P5)
- da 0,0 a 4,2 m sono presenti terreni asseribili a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati;
- da 4,2 a 8,4 m sono presenti depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati;
- a partire da 8,4 m di profondità i depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi risultano essere addensati con la profondità.

Profondità (m da p.c.)	Legenda litostratigrafica
0,0 – 4,2	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati.
4,2 – 8,4	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati.
>8,4	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi addensati.

P6)
- da 0,0 a 3,6 m sono presenti terreni asseribili a depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati;
- da 3,6 a 7,8 m sono presenti depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati;
- a partire da 7,8 m di profondità i depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi risultano essere addensati con la profondità.

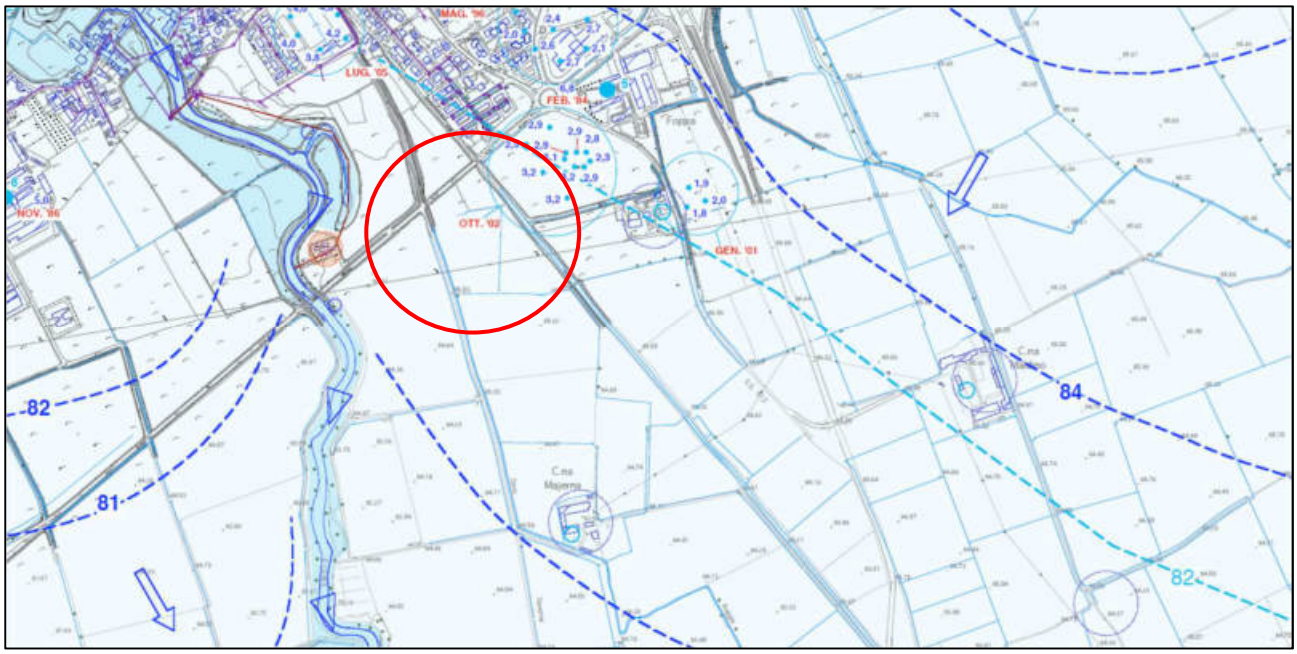
Profondità (m da p.c.)	Legenda litostratigrafica
0,0 – 3,6	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati.
3,6 – 7,8	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi moderatamente addensati.
> 7,8	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi addensati.

All'interno del litotipo naturale il grado di compattazione e di addensamento, superficialmente poco marcato, risulta essere crescente con la profondità.

5. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Dal punto di vista idrogeologico, l'indagine eseguita non ha evidenziato, nell'area e nella zona circostante, la presenza di emergenze idriche (sorgenti) mentre si segnalano punti di captazione delle acque sotterranee (pozzi). L'area in oggetto rivela caratteri di permeabilità medio-bassa nei livelli superiori del sottosuolo, passanti a medio-alta in quelli inferiori, in funzione della porosità dei terreni, nonché alla presenza di livelli ed intercalazioni a diverso grado di addensamento e con diversa composizione granulometrica.

Secondo la Tav. 2 "Carta d'inquadramento idrogeologico" del P.G.T. il settore oggetto di studio risulta compreso in "aree a vulnerabilità idrogeologica elevata, in quanto impostate in depositi alluvionali con predominanza della componente sabbiosa e sede di una falda idrica con livello piezometrico prossimo al piano campagna. Soggiacenza in genere variabile da 1,5 a 3,5 m" (Figura 5.1).



Area a vulnerabilità idrogeologica elevata, in quanto impostata in depositi alluvionali con predominanza della componente sabbiosa e sede di una falda idrica con livello piezometrico prossimo al piano campagna (soggiacenza in genere variabile da 1.5 a 3.5 m).

Figura 5.1 – *Tav. 2 "Carta d'inquadramento idrogeologico"*(*da P.G.T. – mod.*).

In particolare l'area, ubicata alla quota di circa 85,0 m s.l.m., risulta caratterizzata da una soggiacenza inferiore a 3,0 m dal piano campagna. Tale valore risulta variabile in funzione della granulometria sito specifica, con innalzamenti di tale quota a circa 2,0 m dal piano campagna attuale in concomitanza di eventi meteorologici prolungati.

Durante l'esecuzione delle prove di profondità e dei pozzetti esplorativi (05.04.2022) è stata riscontrata la presenza della falda freatica alla profondità di 3,0 m dal piano campagna.

Pertanto si richiede nel dimensionamento delle fondazioni e delle strutture la previsione di specifiche tecnologie di impermeabilizzazione. Si prescrive inoltre di realizzare un sistema di drenaggi interrati e perimetrali ad eventuali opere sotterranee in grado di veicolare le acque d'infiltrazione lontano dalle strutture fondazionali.

6. CARATTERI IDROGRAFICI ED IDROLOGICI

Il territorio indagato che è interamente impostato in corrispondenza del P.G.T., se si esclude l'assolcamento vallivo del Lambro M. con fondo ribassato di pochi metri rispetto all'adiacente pianura, e non ha subito modificazioni, se non antropiche, in periodo recente è caratterizzato unicamente, con l'eccezione del Lambro M., dalla presenza di un fitto sistema di canali artificiali (rogge, cavi, ecc.), di vecchia o più recente impostazione, utilizzati per soddisfare le locali necessità irrigue agricole.

Nelle rogge principali il flusso delle acque è continuo, mentre nei canali secondari il deflusso è discontinuo e regolato dai fabbisogni idrici delle colture. Esiste ovviamente una stretta correlazione tra l'esercizio delle pratiche irrigue e il regime idrologico delle acque sotterranee a causa della ricarica verticale diretta dell'acquifero ad opera delle acque irrigue. Risultano ricompresi nell'Elenco delle Acque Pubbliche della Provincia di Pavia:

- il Fiume Lambro Meridionale (n. iscr. El. AA. PP. di Pavia 170);
- la Roggia Ticinello (n. iscr. El. AA. PP. di Pavia 171);
- il Colatore Lisone (n. iscr. El. AA. PP. di Pavia 174).

Esistono quindi una serie di rogge e cavi attualmente non più utilizzati a fini irrigui e/o che esercitano esclusivamente funzione di scolo:

- Roggia Cotica o (Cuttica);
- Cavo Cerca;
- Cavo Venini;
- Roggia Francesca;
- Cavo Valerio;
- Cavo Porra;
- Fontanile di Roggia Porra.

Sul territorio di Landriano sono poi presenti varie rogge e cavi alimentati da derivazioni di acque pubbliche concessionate o in attesa di rinnovo di concessione, gestiti da consorzi irrigui minori o da coutenze di privati. Nel dettaglio tra vari canali in questione si evidenzia:

- Consorzio Irriguo Roggia Grande Bolognini, che deriva le acque dal Fiume Lambro M. costituito dalla Roggia Bolognina e dalle sue derivazioni, ovvero dalla Roggia Taverna e la sua derivazione Cavo della Pila, dalla Roggia Spinea, dalla Roggia Condotto, dalla Roggia Nuova e dalla Roggia Giacometta;
- Consorzio irriguo Cavo Taverna, che deriva le acque dal Naviglio Martesana, rappresentato dal Cavetto del Pasquè, dalla Roggia della Gorgona e dal suo scaricatore Roggia Zuffolina, dal Cavetto della Foppa, dal Cavetto del Malnido e dal Cavetto delle Marianne.

Secondo la Tav. 3 "Carta d'inquadramento idrografico" l'area è posta in prossimità della Roggia Taverna e della Roggia Bolognina (Figura 6.1).

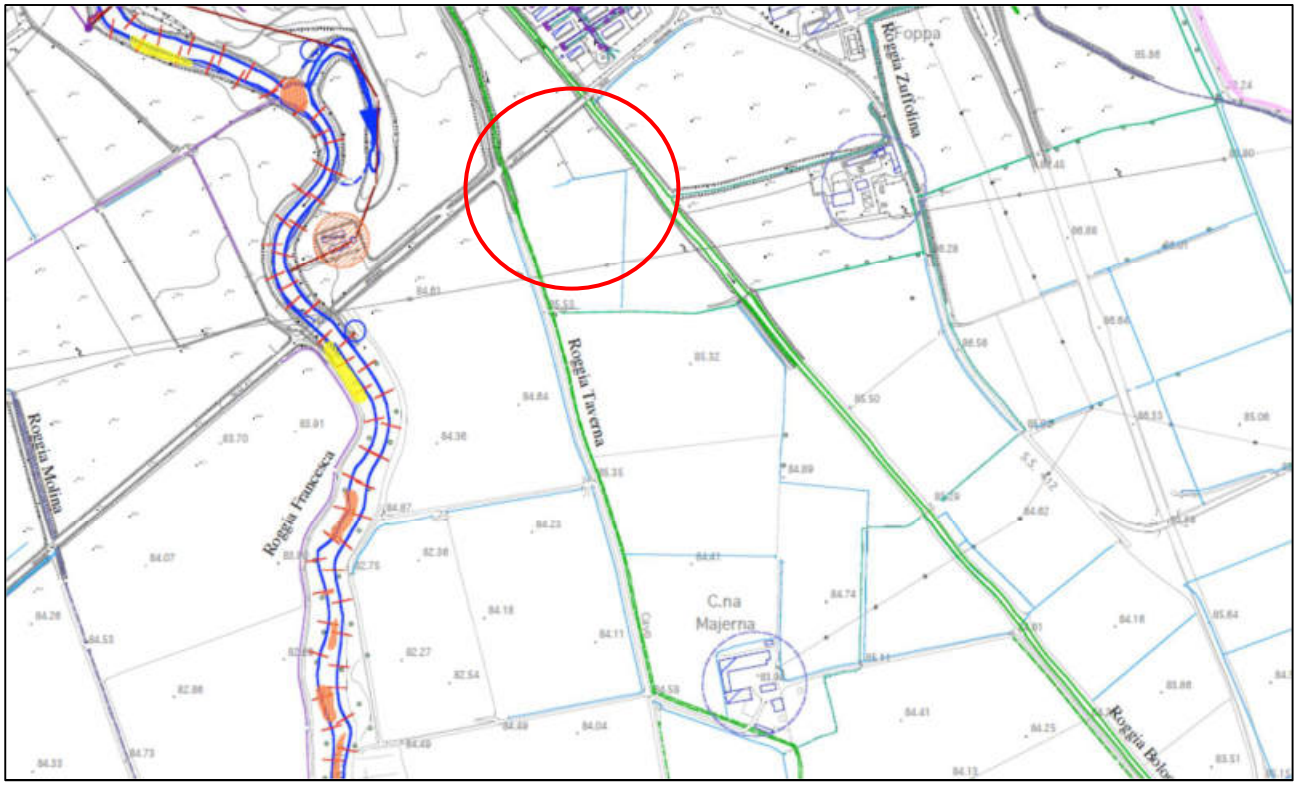


Figura 6.1 – *Tav. 3 "Carta d'inquadramento idrografico"(da P.G.T. – mod.).*

Le indagini svolte, le informazioni storiche acquisite, nonché l'analisi della cartografia di pericolosità e di rischio del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), non hanno evidenziato il verificarsi di fenomeni di esondazione per piene catastrofiche dei corsi d'acqua principali.

L'area in esame non rientra all'interno delle fasce fluviali evidenziate nella cartografia tematica allegata al PAI.

In merito a tali aspetti, si prescrive inoltre che le acque meteoriche intercettate dalle superfici impermeabilizzate annesse agli interventi in progetto, nonché quelle provenienti dalle aree limitrofe, vengano opportunamente captate, convogliate e smaltite nella locale rete di drenaggio, previa adeguata verifica dell'idoneità del ricettore.

7. RISULTANZE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

I caratteri geotecnici indicativi dei litotipi superficiali presenti nell'area d'indagine sono stati ottenuti mediante l'elaborazione delle risultanze di n. 6 prove penetrometriche dinamiche, eseguite nell'area d'intervento con penetrometro DPH pesante (peso massa battente 50 kg), le cui caratteristiche tecniche sono di seguito descritte. Tali prove sono state spinte fino a rifiuto ad una profondità massima di 9,9 m circa. Di seguito si riportano alcune considerazioni generali.

L'elaborazione dei dati ottenuti in seguito alle suddette prove ha portato alla visualizzazione, sia sottoforma di diagramma che di tabella, del numero dei colpi (N) di penetrazione della punta (avanzamento) e della resistenza dinamica alla punta stessa (Rpd), entrambi in rapporto alla profondità. L'Rpd risulta correlata al numero dei colpi secondo la Formula Olandese, qui di seguito enunciata:

$$Rpd = M^2H/ [A\ e\ (M+P)] = M^2HN/ [A\delta\ (M+P)]$$

dove:

Rpd = resistenza dinamica alla punta [area A]
M = peso della massa battente = 50 kg
e = infissione per colpo = δ/N;
P = peso totale delle aste del sistema battuta (dipende dal numero di aste utilizzate durante la l'esecuzione prova)
δ = avanzamento punta = 30 cm
H = Altezza di caduta libera = 0,5 m
N = N° di colpi punta relativo ad un avanzamento di 30 cm
A = Area base punta conica = 15 cm^2

E' stata poi eseguita una elaborazione statistica delle prove penetrometriche dinamiche effettuate (valori medi, minimi, massimi, scarto quadratico medio, etc.), che ha permesso una correlazione dei valori di N penetrometrico con i corrispondenti valori di Nspt. Questi ultimi risultano essere più facilmente interpretabili, essendo disponibile una notevole e specifica bibliografia relativa ad essi. Poiché non esiste una standardizzazione delle procedure di esecuzione di tali prove, i valori sono stati convertiti in valori equivalenti di SPT, attraverso un coefficiente di correlazione fornito dai produttori della strumentazione penetrometrica utilizzata. Tale coefficiente, definito βt (Coefficiente Teorico di Energia), viene calcolato nel seguente modo:

$$\beta t = Q/Qspt = 0,71$$

Un'ulteriore e più approfondita elaborazione ha permesso la stesura delle tavole d'interpretazione geotecnica delle prove effettuate indicante, dopo una preliminare differenziazione

a seconda della natura granulare o coesiva del terreno in esame, i valori dei principali parametri, definiti per ogni differente strato, dedotti da note correlazioni con quelli del numero dei colpi (N) di penetrazione della punta (avanzamento). Si riportano, di seguito, i parametri geotecnici, da attribuire ai vari terreni, desunti indirettamente dall'elaborazione delle prove eseguite dallo scrivente nell'area indagata e confermati da valori tabellari, nonché dall'analisi del materiale bibliografico disponibile. Si rappresenta che i valori di seguito riportati sono stati ricavati mediando i valori ottenuti dall'elaborazione delle prove di profondità all'interno degli stessi livelli, ed escludendo quei valori che si discostavano eccessivamente dalla media di ogni singolo strato.

PROVA P1

Strumento utilizzato DPH
Prova eseguita in data 05/04/2022
Profondità prova 9,30 m
Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,30	7	0,853	22,77	26,70	1,14	1,33
0,60	8	0,847	25,84	30,51	1,29	1,53
0,90	16	0,792	45,30	57,23	2,26	2,86
1,20	13	0,786	36,56	46,50	1,83	2,32
1,50	11	0,831	32,70	39,35	1,64	1,97
1,80	13	0,776	33,98	43,78	1,70	2,19
2,10	8	0,822	22,13	26,94	1,11	1,35
2,40	8	0,817	22,01	26,94	1,10	1,35
2,70	11	0,813	28,44	34,99	1,42	1,75
3,00	8	0,809	20,58	25,45	1,03	1,27
3,30	8	0,805	20,48	25,45	1,02	1,27
3,60	8	0,801	19,31	24,12	0,97	1,21
3,90	15	0,747	33,79	45,22	1,69	2,26
4,20	10	0,794	23,93	30,14	1,20	1,51
4,50	9	0,790	20,37	25,78	1,02	1,29
4,80	9	0,787	20,29	25,78	1,01	1,29
5,10	19	0,734	39,95	54,42	2,00	2,72
5,40	16	0,731	31,91	43,65	1,60	2,18
5,70	20	0,728	39,74	54,57	1,99	2,73
6,00	12	0,775	25,39	32,74	1,27	1,64
6,30	16	0,723	30,13	41,68	1,51	2,08
6,60	8	0,770	16,05	20,84	0,80	1,04
6,90	16	0,718	29,92	41,68	1,50	2,08
7,20	10	0,766	19,08	24,92	0,95	1,25
7,50	18	0,713	32,00	44,86	1,60	2,24
7,80	25	0,661	41,20	62,30	2,06	3,11
8,10	31	0,609	45,11	74,04	2,26	3,70
8,40	32	0,607	46,41	76,43	2,32	3,82
8,70	37	0,605	53,50	88,37	2,67	4,42
9,00	38	0,603	52,59	87,14	2,63	4,36
9,30	50	0,552	63,26	114,66	3,16	5,73

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P1

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Gibbs & Holtz 1957	26,55

[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Gibbs & Holtz 1957	28,67
[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Gibbs & Holtz 1957	42,12

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Shioi-Fukuni (1982)	25,39
[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Shioi-Fukuni (1982)	27,64
[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Shioi-Fukuni (1982)	31,92

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	56,43
[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	86,28
[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	127,57

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Farrent (1963)	51,05
[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Farrent (1963)	75,61
[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Farrent (1963)	135,43

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Classificazione A.G.I. (1977)	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Meyerhof ed altri	1,63
[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Meyerhof ed altri	1,75
[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Meyerhof ed altri	1,98

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato 1	7,19	4,80	7,19	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[2] - Strato 2	10,65	7,50	10,65	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92

[3] - Strato 3	23,15	9,00	19,075	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,10

PROVA P2

Strumento utilizzato DPH
Prova eseguita in data 05/04/2022
Profondità prova 8,70 m
Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,30	5	0,853	16,26	19,07	0,81	0,95
0,60	6	0,847	19,38	22,88	0,97	1,14
0,90	9	0,842	27,09	32,19	1,35	1,61
1,20	14	0,786	39,37	50,08	1,97	2,50
1,50	16	0,781	44,71	57,23	2,24	2,86
1,80	14	0,776	36,60	47,14	1,83	2,36
2,10	11	0,822	30,43	37,04	1,52	1,85
2,40	8	0,817	22,01	26,94	1,10	1,35
2,70	8	0,813	20,69	25,45	1,03	1,27
3,00	5	0,809	12,86	15,91	0,64	0,80
3,30	10	0,805	25,60	31,81	1,28	1,59
3,60	9	0,801	21,73	27,13	1,09	1,36
3,90	11	0,797	26,43	33,16	1,32	1,66
4,20	9	0,794	21,53	27,13	1,08	1,36
4,50	12	0,790	27,16	34,37	1,36	1,72
4,80	19	0,737	40,11	54,42	2,01	2,72
5,10	14	0,734	29,43	40,10	1,47	2,00
5,40	15	0,731	29,92	40,93	1,50	2,05
5,70	12	0,778	25,48	32,74	1,27	1,64
6,00	11	0,775	23,27	30,01	1,16	1,50
6,30	18	0,723	33,89	46,89	1,69	2,34
6,60	16	0,720	30,02	41,68	1,50	2,08
6,90	10	0,768	20,00	26,05	1,00	1,30
7,20	16	0,716	28,53	39,87	1,43	1,99
7,50	26	0,663	42,98	64,79	2,15	3,24
7,80	37	0,611	56,36	92,20	2,82	4,61
8,10	35	0,609	50,93	83,60	2,55	4,18
8,40	35	0,607	50,76	83,60	2,54	4,18
8,70	50	0,555	66,32	119,42	3,32	5,97

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P2

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Gibbs & Holtz 1957	26,36
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Gibbs & Holtz 1957	28,49
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Gibbs & Holtz 1957	43,27

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Shioi-Fukuni (1982)	25,22
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Shioi-Fukuni (1982)	27,45
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Shioi-Fukuni (1982)	32,02

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	55,67
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	84,77
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	128,69

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Farrent (1963)	49,42
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Farrent (1963)	73,41
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Farrent (1963)	137,07

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Classificazione A.G.I. (1977)	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Meyerhof ed altri	1,62
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Meyerhof ed altri	1,74
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Meyerhof ed altri	1,98

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato 1	6,96	4,50	6,96	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[2] - Strato 2	10,34	7,20	10,34	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
[3] - Strato 3	23,61	8,40	19,305	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,10

PROVA P3

Strumento utilizzato DPH
Prova eseguita in data 05/04/2022
Profondità prova 9,30 m
Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,30	3	0,853	9,76	11,44	0,49	0,57
0,60	6	0,847	19,38	22,88	0,97	1,14
0,90	9	0,842	27,09	32,19	1,35	1,61
1,20	9	0,836	26,92	32,19	1,35	1,61
1,50	10	0,831	29,73	35,77	1,49	1,79
1,80	13	0,776	33,98	43,78	1,70	2,19
2,10	10	0,822	27,67	33,67	1,38	1,68
2,40	8	0,817	22,01	26,94	1,10	1,35
2,70	10	0,813	25,86	31,81	1,29	1,59
3,00	9	0,809	23,15	28,63	1,16	1,43
3,30	8	0,805	20,48	25,45	1,02	1,27
3,60	6	0,801	14,48	18,09	0,72	0,90
3,90	14	0,747	31,53	42,20	1,58	2,11
4,20	14	0,744	31,39	42,20	1,57	2,11
4,50	11	0,790	24,90	31,51	1,25	1,58
4,80	11	0,787	24,80	31,51	1,24	1,58
5,10	13	0,734	27,33	37,24	1,37	1,86
5,40	9	0,781	19,18	24,56	0,96	1,23
5,70	11	0,778	23,36	30,01	1,17	1,50
6,00	19	0,725	37,61	51,84	1,88	2,59
6,30	23	0,673	40,31	59,91	2,02	3,00
6,60	14	0,720	26,27	36,47	1,31	1,82
6,90	10	0,768	20,00	26,05	1,00	1,30
7,20	4	0,766	7,63	9,97	0,38	0,50
7,50	5	0,763	9,51	12,46	0,48	0,62
7,80	12	0,761	22,77	29,90	1,14	1,50
8,10	21	0,659	33,07	50,16	1,65	2,51
8,40	35	0,607	50,76	83,60	2,54	4,18
8,70	35	0,605	50,60	83,60	2,53	4,18
9,00	36	0,603	49,82	82,56	2,49	4,13
9,30	50	0,552	63,26	114,66	3,16	5,73

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P3

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Gibbs & Holtz 1957	24,59
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Gibbs & Holtz 1957	24,47
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Gibbs & Holtz 1957	41,85

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Shioi-Fukuni (1982)	25,15
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Shioi-Fukuni (1982)	26,51
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Shioi-Fukuni (1982)	31,78

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	55,37
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	77,37
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	126,07

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Farrent (1963)	48,78
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Farrent (1963)	62,69
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Farrent (1963)	133,27

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Classificazione A.G.I. (1977)	POCO ADDENSATO
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Classificazione A.G.I. (1977)	MODERATAMENTE
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Classificazione A.G.I. (1977)	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Meyerhof ed altri	1,62
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Meyerhof ed altri	1,69
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Meyerhof ed altri	1,97

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato 1	6,87	5,70	6,87	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
[2] - Strato 2	8,83	7,80	8,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
[3] - Strato 3	22,54	9,00	18,77	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

PROVA P4

Strumento utilizzato DPH
Prova eseguita in data 05/04/2022
Profondità prova 9,30 m
Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,30	6	0,853	19,51	22,88	0,98	1,14
0,60	7	0,847	22,61	26,70	1,13	1,33
0,90	9	0,842	27,09	32,19	1,35	1,61
1,20	13	0,786	36,56	46,50	1,83	2,32
1,50	8	0,831	23,78	28,61	1,19	1,43
1,80	9	0,826	25,04	30,31	1,25	1,52
2,10	12	0,822	33,20	40,41	1,66	2,02
2,40	9	0,817	24,76	30,31	1,24	1,52
2,70	6	0,813	15,51	19,09	0,78	0,95
3,00	9	0,809	23,15	28,63	1,16	1,43
3,30	15	0,755	36,01	47,72	1,80	2,39
3,60	19	0,751	43,01	57,27	2,15	2,86
3,90	14	0,747	31,53	42,20	1,58	2,11
4,20	15	0,744	33,63	45,22	1,68	2,26
4,50	15	0,740	31,81	42,96	1,59	2,15
4,80	16	0,737	33,78	45,83	1,69	2,29
5,10	20	0,734	42,05	57,29	2,10	2,86
5,40	25	0,681	46,45	68,21	2,32	3,41
5,70	14	0,728	27,82	38,20	1,39	1,91
6,00	7	0,775	14,81	19,10	0,74	0,95
6,30	12	0,773	24,16	31,26	1,21	1,56
6,60	12	0,770	24,08	31,26	1,20	1,56
6,90	18	0,718	33,66	46,89	1,68	2,34
7,20	20	0,716	35,67	49,84	1,78	2,49
7,50	11	0,763	20,93	27,41	1,05	1,37
7,80	13	0,711	23,04	32,40	1,15	1,62
8,10	23	0,659	36,21	54,93	1,81	2,75
8,40	22	0,657	34,54	52,55	1,73	2,63
8,70	28	0,655	43,83	66,88	2,19	3,34
9,00	35	0,603	48,44	80,26	2,42	4,01
9,30	50	0,552	63,26	114,66	3,16	5,73

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P4

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Gibbs & Holtz 1957	28,7
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Gibbs & Holtz 1957	28,61
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Gibbs & Holtz 1957	38,01

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Shioi-Fukuni (1982)	26,01
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Shioi-Fukuni (1982)	27,72
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Shioi-Fukuni (1982)	31,01

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	59,36
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	86,97
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	117,82

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Farrent (1963)	57,37
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Farrent (1963)	76,61
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Farrent (1963)	121,30

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Classificazione A.G.I. (1977)	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Meyerhof ed altri	1,66
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Meyerhof ed altri	1,76
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Meyerhof ed altri	1,93

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato 1	8,08	4,80	8,08	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
[2] - Strato 2	10,79	7,80	10,79	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
[3] - Strato 3	19,17	9,00	17,085	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,96

PROVA P5

Strumento utilizzato DPH
Prova eseguita in data 05/04/2022
Profondità prova 9,90 m
Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,30	2	0,853	6,50	7,63	0,33	0,38
0,60	6	0,847	19,38	22,88	0,97	1,14
0,90	9	0,842	27,09	32,19	1,35	1,61
1,20	7	0,836	20,94	25,04	1,05	1,25
1,50	12	0,831	35,68	42,92	1,78	2,15
1,80	11	0,826	30,61	37,04	1,53	1,85
2,10	13	0,772	33,78	43,78	1,69	2,19
2,40	10	0,817	27,52	33,67	1,38	1,68
2,70	4	0,813	10,34	12,72	0,52	0,64
3,00	2	0,809	5,15	6,36	0,26	0,32
3,30	6	0,805	15,36	19,09	0,77	0,95
3,60	7	0,801	16,90	21,10	0,84	1,06
3,90	9	0,797	21,63	27,13	1,08	1,36
4,20	9	0,794	21,53	27,13	1,08	1,36
4,50	14	0,740	29,69	40,10	1,48	2,00
4,80	9	0,787	20,29	25,78	1,01	1,29
5,10	13	0,734	27,33	37,24	1,37	1,86
5,40	14	0,731	27,92	38,20	1,40	1,91
5,70	14	0,728	27,82	38,20	1,39	1,91
6,00	9	0,775	19,04	24,56	0,95	1,23
6,30	9	0,773	18,12	23,44	0,91	1,17
6,60	18	0,720	33,78	46,89	1,69	2,34
6,90	18	0,718	33,66	46,89	1,68	2,34
7,20	5	0,766	9,54	12,46	0,48	0,62
7,50	4	0,763	7,61	9,97	0,38	0,50
7,80	6	0,761	11,38	14,95	0,57	0,75
8,10	11	0,759	19,95	26,27	1,00	1,31
8,40	16	0,707	27,03	38,22	1,35	1,91
8,70	22	0,655	34,44	52,55	1,72	2,63
9,00	30	0,653	44,96	68,80	2,25	3,44
9,30	33	0,602	45,53	75,68	2,28	3,78
9,60	37	0,600	50,91	84,85	2,55	4,24
9,90	50	0,548	60,45	110,26	3,02	5,51

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P5

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Gibbs & Holtz 1957	22,28
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Gibbs & Holtz 1957	23,58
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Gibbs & Holtz 1957	40,41

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Shioi-Fukuni (1982)	24,02
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Shioi-Fukuni (1982)	26,04
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Shioi-Fukuni (1982)	31,58

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	50,59
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	73,89
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	123,89

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Farrent (1963)	38,48
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Farrent (1963)	57,65
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Farrent (1963)	130,11

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Classificazione A.G.I. (1977)	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Classificazione A.G.I. (1977)	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Meyerhof ed altri	1,56
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Meyerhof ed altri	1,66
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Meyerhof ed altri	1,96

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato 1	5,42	4,20	5,42	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
[2] - Strato 2	8,12	8,40	8,12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,91
[3] - Strato 3	21,65	9,60	18,325	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

PROVA P6

Strumento utilizzato DPH
Prova eseguita in data 05/04/2022
Profondità prova 9,00 m
Falda rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,30	6	0,853	19,51	22,88	0,98	1,14
0,60	6	0,847	19,38	22,88	0,97	1,14
0,90	6	0,842	18,06	21,46	0,90	1,07
1,20	5	0,836	14,96	17,88	0,75	0,89
1,50	7	0,831	20,81	25,04	1,04	1,25
1,80	11	0,826	30,61	37,04	1,53	1,85
2,10	14	0,772	36,38	47,14	1,82	2,36
2,40	8	0,817	22,01	26,94	1,10	1,35
2,70	7	0,813	18,10	22,27	0,90	1,11
3,00	4	0,809	10,29	12,72	0,51	0,64
3,30	4	0,805	10,24	12,72	0,51	0,64
3,60	5	0,801	12,07	15,07	0,60	0,75
3,90	23	0,697	48,34	69,33	2,42	3,47
4,20	23	0,694	48,09	69,33	2,40	3,47
4,50	20	0,740	42,41	57,29	2,12	2,86
4,80	20	0,737	42,23	57,29	2,11	2,86
5,10	20	0,734	42,05	57,29	2,10	2,86
5,40	14	0,731	27,92	38,20	1,40	1,91
5,70	17	0,728	33,78	46,38	1,69	2,32
6,00	14	0,725	27,71	38,20	1,39	1,91
6,30	13	0,723	24,48	33,86	1,22	1,69
6,60	21	0,670	36,67	54,70	1,83	2,74
6,90	12	0,768	24,00	31,26	1,20	1,56
7,20	3	0,766	5,72	7,48	0,29	0,37
7,50	4	0,763	7,61	9,97	0,38	0,50
7,80	4	0,761	7,59	9,97	0,38	0,50
8,10	26	0,659	40,94	62,10	2,05	3,10
8,40	31	0,607	44,96	74,04	2,25	3,70
8,70	40	0,555	53,06	95,54	2,65	4,78
9,00	50	0,553	63,46	114,66	3,17	5,73

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P6

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Gibbs & Holtz 1957	21,34
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Gibbs & Holtz 1957	29,37
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Gibbs & Holtz 1957	42,68

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Shioi-Fukuni (1982)	23,58
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Shioi-Fukuni (1982)	27,58
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Shioi-Fukuni (1982)	31,87

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	48,90
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	85,79
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	127,08

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Farrent (1963)	34,86
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Farrent (1963)	74,90
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Farrent (1963)	134,72

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Classificazione A.G.I. (1977)	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Meyerhof ed altri	1,53
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Meyerhof ed altri	1,75
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Meyerhof ed altri	1,97

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[1] - Strato 1	4,91	3,60	4,91	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
[2] - Strato 2	10,55	7,80	10,55	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
[3] - Strato 3	22,95	8,70	18,975	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

8. RISULTANZE DEI POZZETTI GEOGNOSTICI

Al fine di individuare con dettaglio le litologie caratterizzanti il sottosuolo in corrispondenza dell'area oggetto d'intervento e di stimare, in accordo con quanto ottenuto dalle prove penetrometriche svolte, le caratteristiche geotecniche dei terreni medesimi, sono stati realizzati n. 3 pozzetti esplorativi. Tali indagini sono state spinte fino ad una profondità massima di circa 3,5 m dal piano campagna. Sulla base di quanto riscontrato in sede di realizzazione dei pozzetti esplorativi, è stato pertanto possibile definire gli orizzonti litologici presenti nel sottosuolo e più nel dettaglio:

- Unità geotecnica 1: Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi= Spessori variabili sull'intera superficie analizzata, comunque dell'ordine di alcuni metri (3,4-3,5 m). Tali terreni sono caratterizzati da una granulometria prevalentemente sabbiosa di colore ocra con livelli sabbioso-limosi bruno-grigiastri.

Pozzetto geognostico T1
Lo scavo geognostico, eseguito con escavatore meccanico in data 05/04/2022 (coordinate WGS 84: lat N 45°18'18.7" - long E 9°16'00.5"), è stato realizzato fino a 3,4 m di profondità. Si evidenzia la presenza di un deposito a granulometria prevalentemente sabbiosa di colore ocra con livelli sabbioso-limosi fino ad una profondità di circa 3,4 m dal piano campagna (Figura 8.1). Si evidenzia la presenza della falda ad una profondità di 3,0 m dal piano campagna.

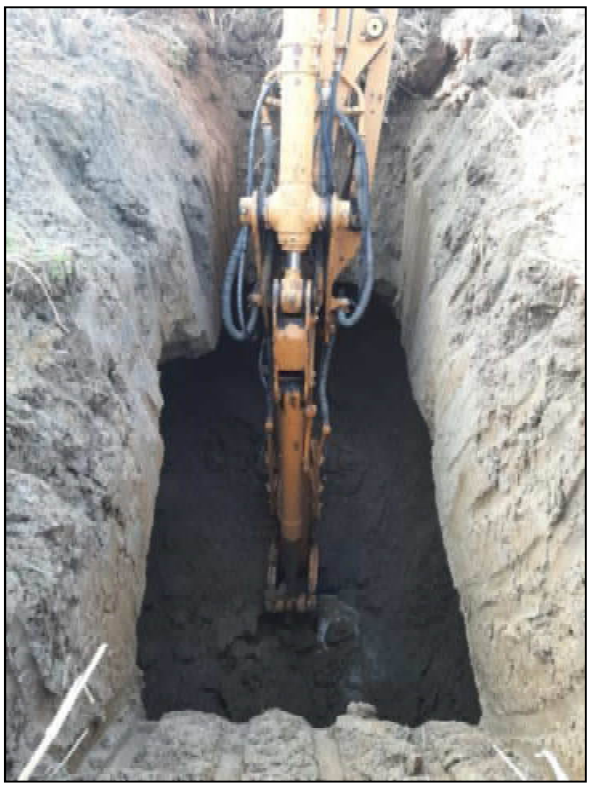


Figura 8.1 – *Dettaglio del pozzetto geognostico T1: 3,4 m di depositi sabbiosi e sabbioso-limosi.*

Pozzetto geognostico T2
Lo scavo geognostico, eseguito con escavatore meccanico in data 05/04/2022 (coordinate WGS 84: lat N 45°18'19.7" - long E 9°15'59.2"), è stato realizzato fino a 3,4 m di profondità. Si evidenzia la presenza di un deposito a granulometria prevalentemente sabbiosa di colore ocra con livelli sabbioso-limosi fino ad una profondità di circa 3,4 m dal piano campagna (Figura 8.2). Si evidenzia la presenza della falda ad una profondità di 3,0 m dal piano campagna.

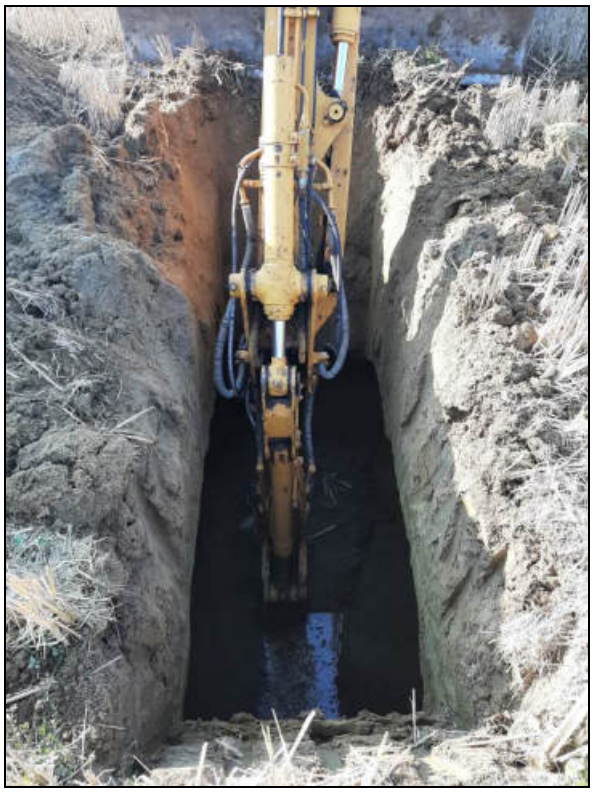


Figura 8.2 – *Dettaglio del pozzetto geognostico T2: 3,4 m di depositi sabbiosi e sabbioso-limosi.*

Pozzetto geognostico T3

Lo scavo geognostico, eseguito con escavatore meccanico in data 05/04/2022 (coordinate WGS 84: lat N 45°18'19.9" - long E 9°15'57.2"), è stato realizzato fino a 3,5 m di profondità. Si evidenzia la presenza di un deposito a granulometria prevalentemente sabbiosa di colore ocra con livelli sabbioso-limosi fino ad una profondità di circa 3,5 m dal piano campagna (Figura 8.3). Si evidenzia la presenza della falda ad una profondità di 3,0 m dal piano campagna.

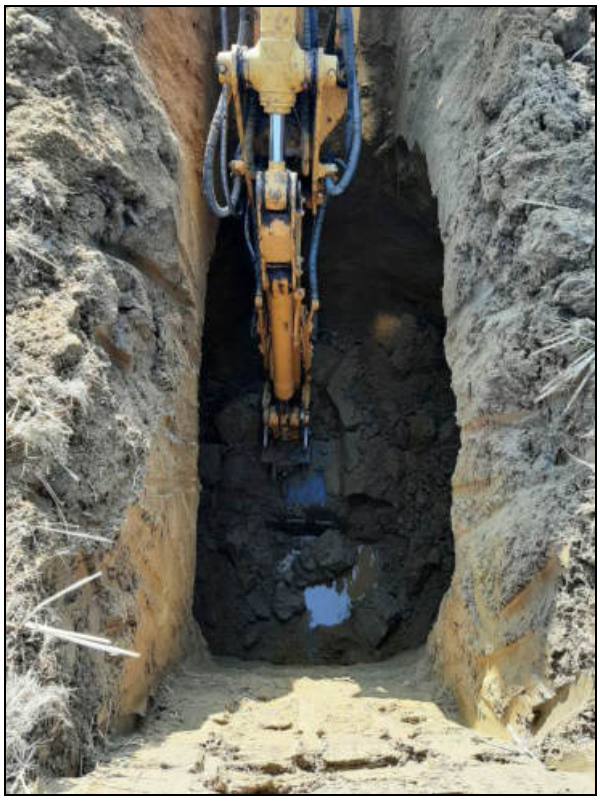


Figura 8.3 – *Dettaglio del pozzetto geognostico T3: 3,5 m di depositi sabbiosi e sabbioso-limosi.*

9. RISULTANZE DELLE PROVE SISMICHE ATTIVE MASW

La presente sezione illustra e descrive l'indagine geofisica di tipo sismico (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzata nel sito in esame. Scopo dell'indagine è di definire il parametro VS,eq per la classificazione sismica dei suoli (in accordo al D.M. 17.01.2018) e successivi aggiornamenti.

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo DoReMi della Sara Electronic Instruments a 12 canali. Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard per la comunicazione 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 si è ottenuta con massa battente da 6kg su piastra metallica. Per l'innesco(trigger) si è utilizzato un geofono starter connesso via cavo al sismografo.

Cenni sulla metodologia MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente. La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (surface waves multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati. Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, in sintesi, può essere suddiviso in tre fasi (Figura 9.1):

acquisizione; elaborazione; inversione.

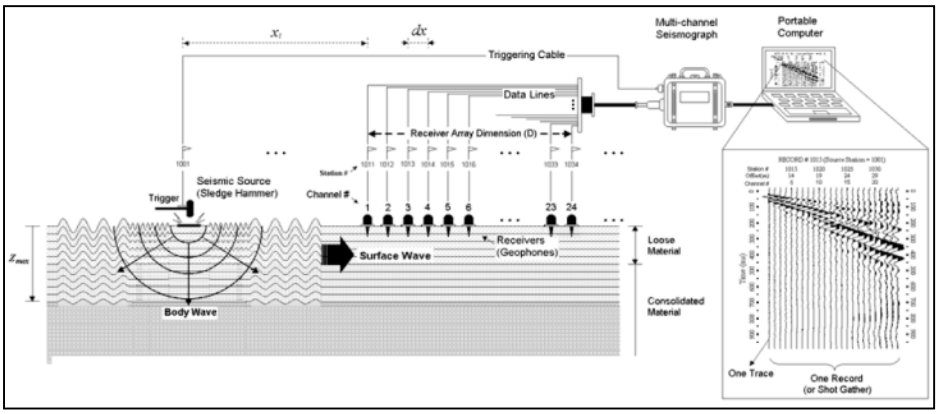


Figura 9.1 – *Schema di acquisizione di un'indagine MASW.*

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è Easy MASW della Geostru).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k.

Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle

stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh VR, determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k \qquad \text{(Equazione 9.1)}$$

Riportando le coppie di valori (V_R,f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo viscoelastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

Ubicazione dell'indagine, acquisizione ed elaborazione dei dati

Come indicato nell'introduzione, l'indagine ha previsto la realizzazione di n. 3 prove MASW che, compatibilmente con gli spazi disponibili in sito, sono state ubicate in corrispondenza del lotto in oggetto con andamento circa di NW-SE e W-E. Gli stendimenti sono stati realizzati posizionando 12 geofoni a 4.5 Hz equispaziati di 1,5 m, per un totale di 16,5 m lineari di stendimento (Figura 9.2-3-4). Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un punto di energizzazione posto a un'estremità dello stendimento, alla distanza (offset) di 3,5 m dal primo geofono. In corrispondenza del punto di energizzazione sono stati generati complessivamente n. 6 impulsi sismici per prova. Le coordinate geografiche assolute (gradi, minuti, secondi) dei punti di riferimento del profilo MASW (per il calcolo Vs,eq) sono:

PROVA MASW S1

45°18'19.7" N Latitudine
9°15'57.1" E Longitudine

Figura 9.2 – *Vista dello stendimento S1 per l'acquisizione della prova MASW.*

PROVA MASW S2

45°18'19.2'' N Latitudine
9°15'58.8'' E Longitudine

Figura 9.3 – *Vista dello stendimento S2 per l'acquisizione della prova MASW.*

PROVA MASW S3

45°18'18.7'' N Latitudine
9°16'01.0'' E Longitudine

Figura 9.4 – *Vista dello stendimento S3 per l'acquisizione della prova MASW.*

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Easy MASW della Geostru software, che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (Figure 9.5-6-7, 9.8-9-10, 9.11-12-13).

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, come riportato nel D.M. delle Infrastrutture 17.01.2018, punto 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche", si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (Tabella 3.2.II - le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni superficiali, oppure alla quota di testa dei pali nel caso di fondazioni speciali):

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo* (*da N.T.C. del 2018*).

Categoria	Descrizione
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.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche. I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \qquad \text{(Equazione 9.2)}$$

con:

h_i	spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$	velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N	numero di strati;
H	profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

L'analisi dei profili stratigrafici, riportati nelle successive figure 9.5, 9.8 e 9.11, evidenzia un assetto sismostratigrafico caratterizzato dalla presenza dei seguenti livelli:

1. un sismostrato superficiale, di potenza pari a circa 5,0-5,7 m, caratterizzato da depositi incoerenti poco addensati;

2. un sismostrato inferiore, caratterizzato da materiali da moderatamente addensati ad addensati e con grado di addensamento crescente con la profondità.

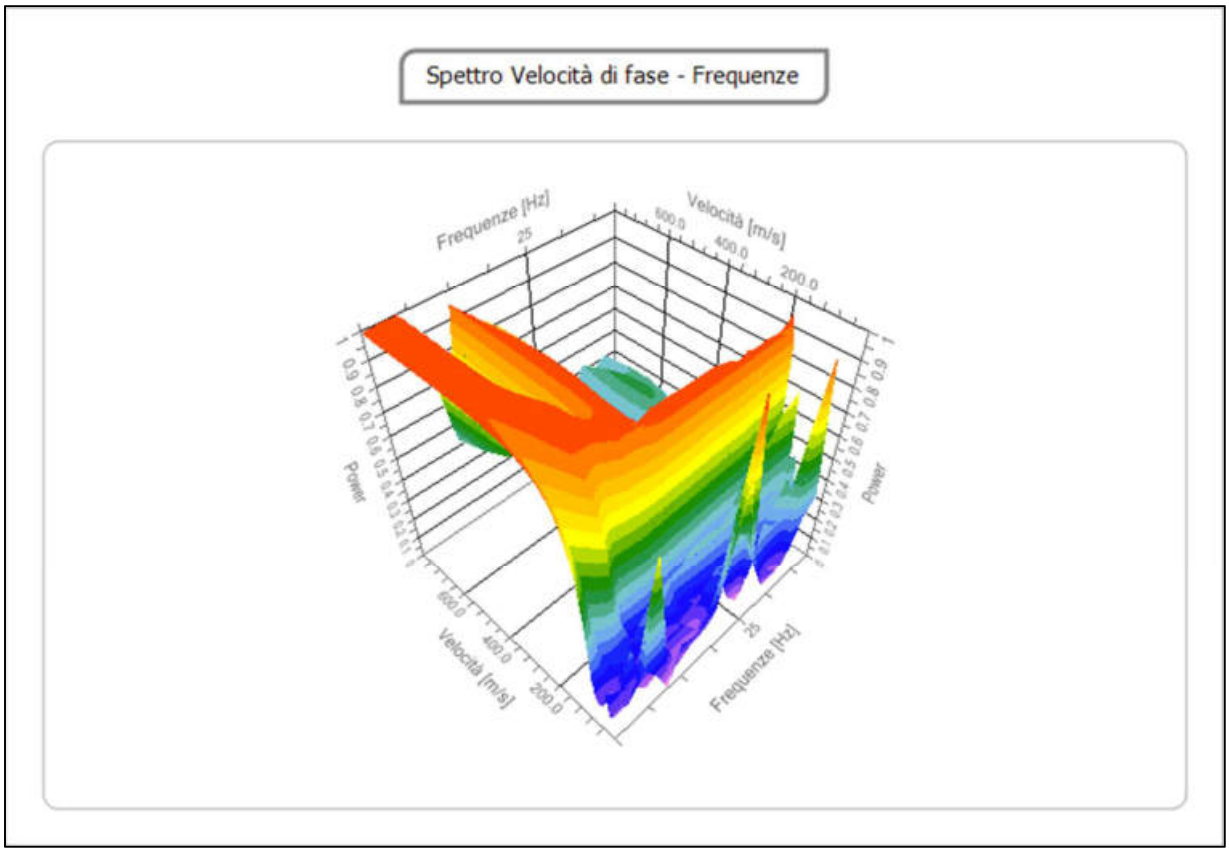


Figura 9.4 – *Spettro velocità di fase-frequenza, ottenuto dalla prova MASW S1.*

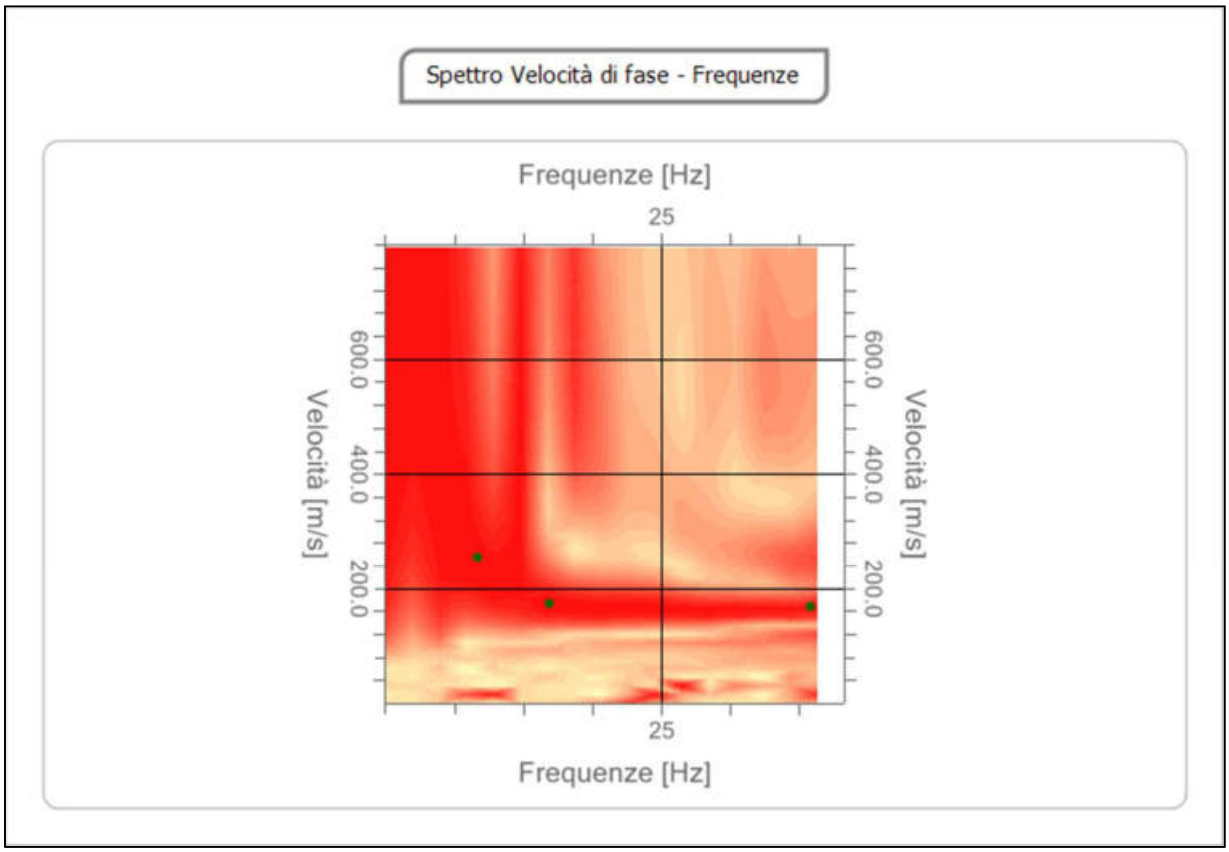


Figura 9.5 – *Traccia della curva di dispersione, ottenuta dalla prova MASW S1.*

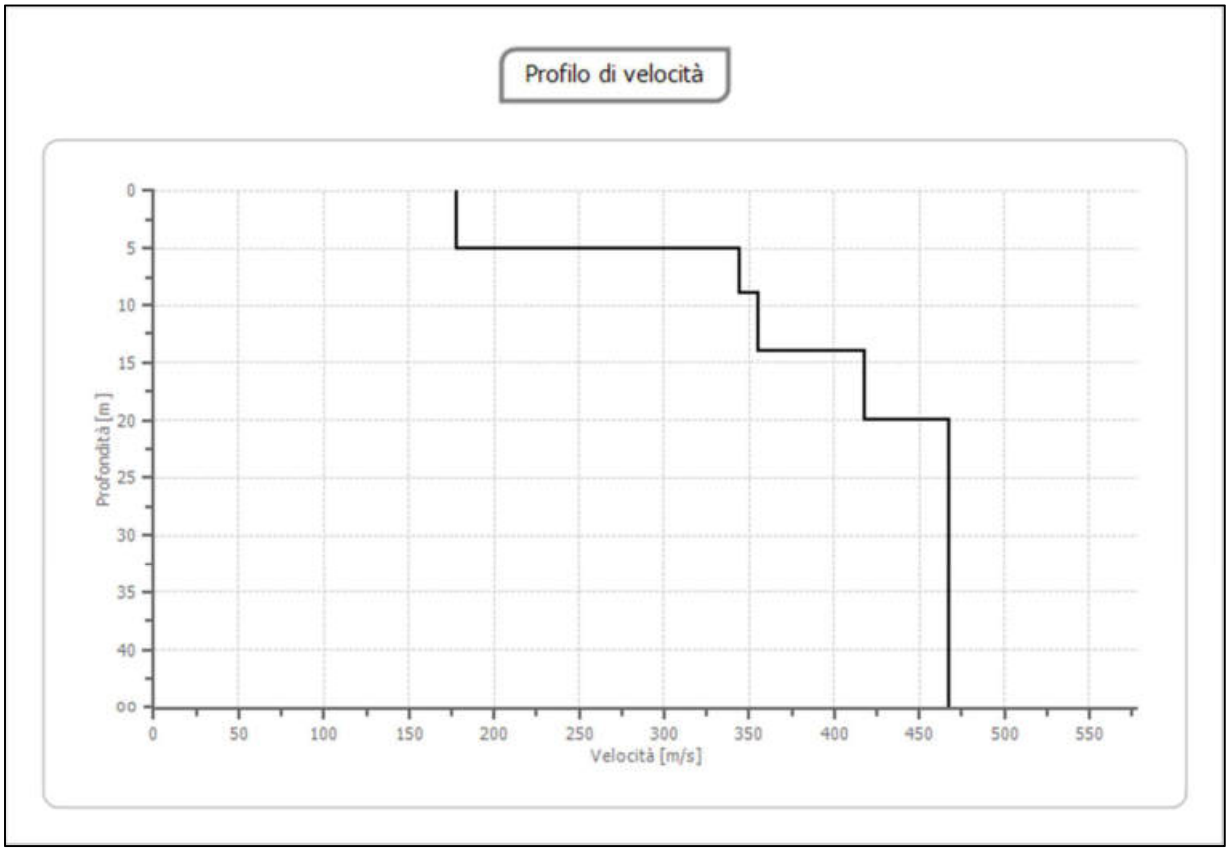


Figura 9.6 – *Profilo della velocità delle onde S in funzione della profondità (S1).*

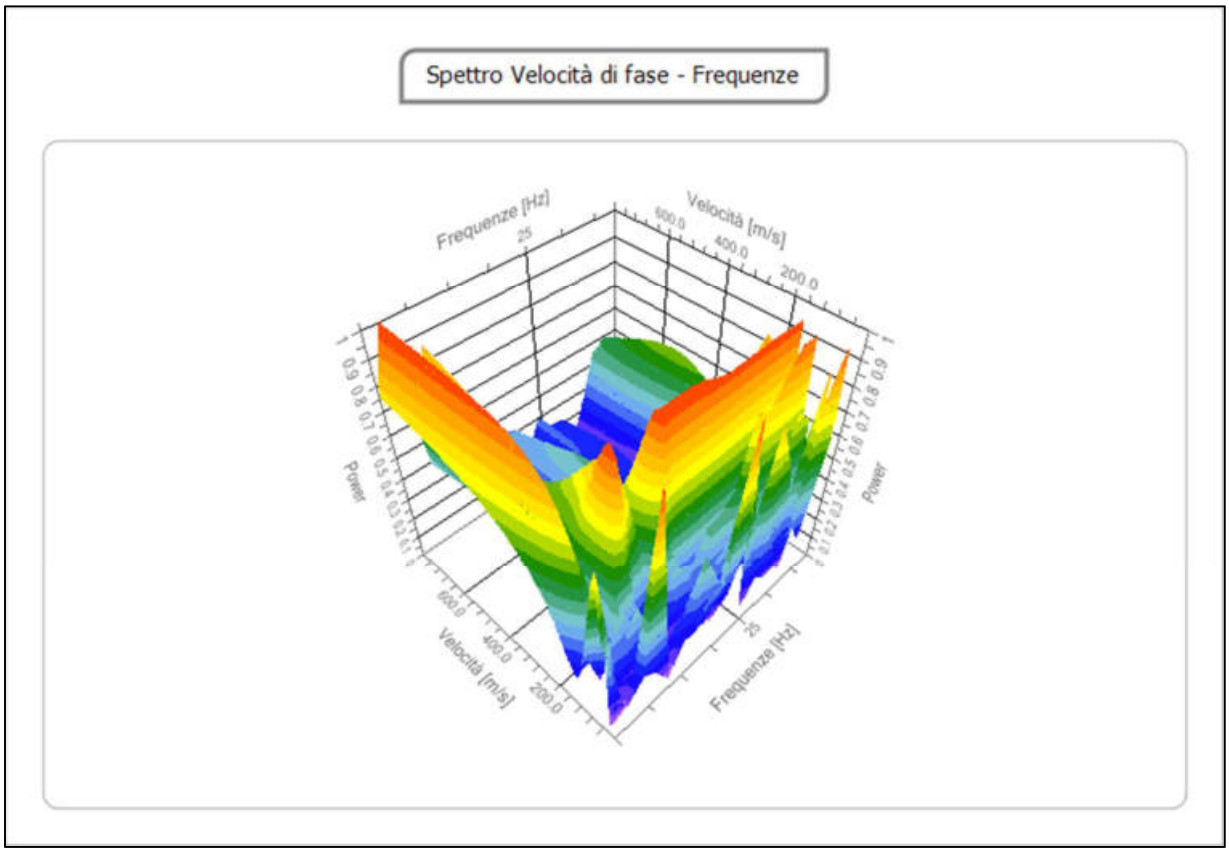


Figura 9.7 – *Spettro velocità di fase-frequenza, ottenuto dalla prova MASW S2.*

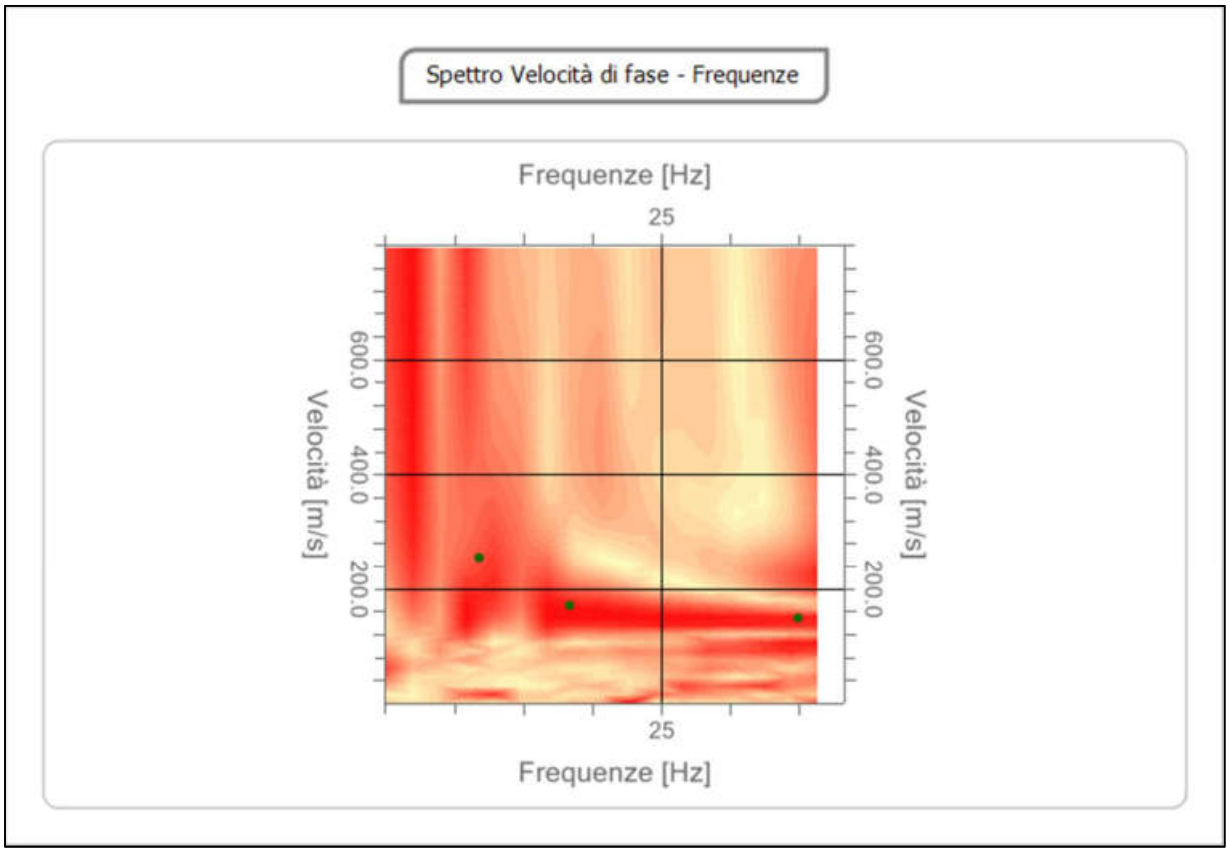


Figura 9.8 – *Traccia della curva di dispersione, ottenuta dalla prova MASW S2.*

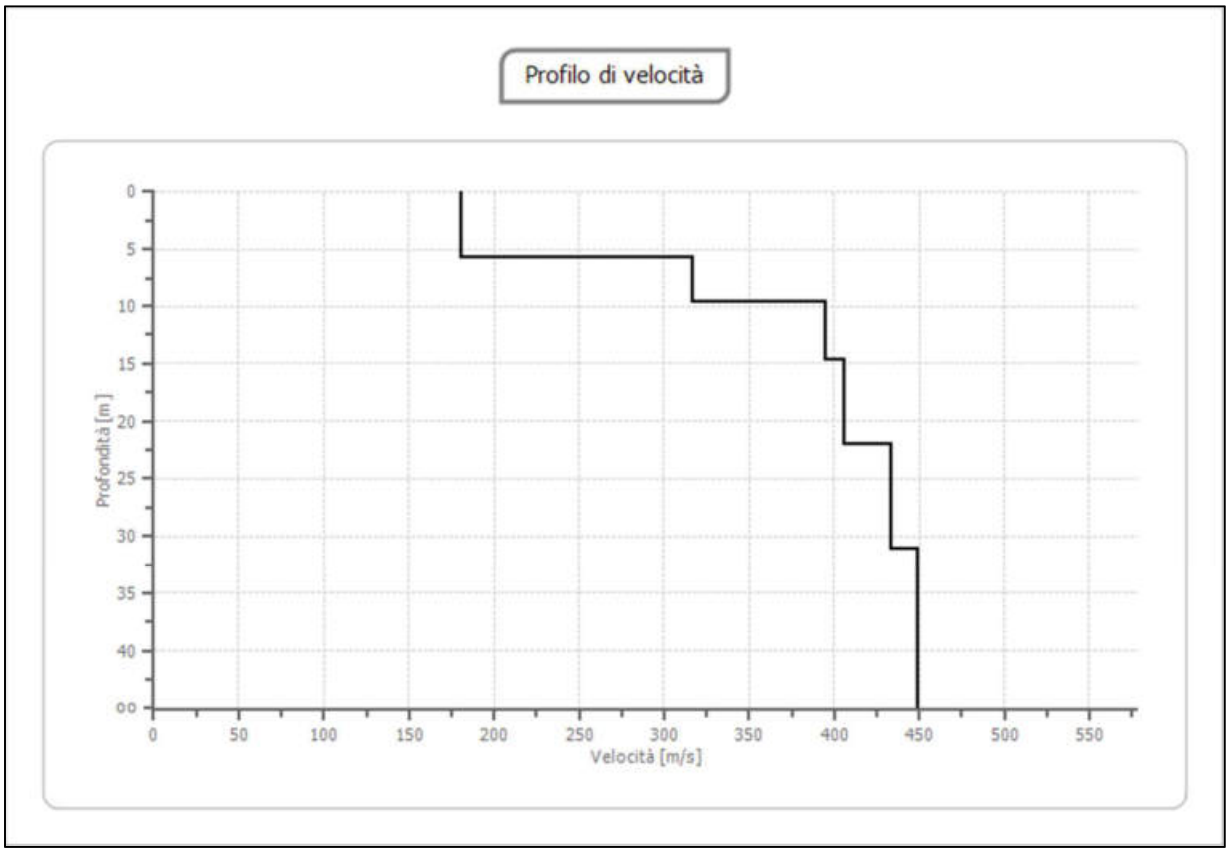


Figura 9.9 – *Profilo della velocità delle onde S in funzione della profondità (S2).*

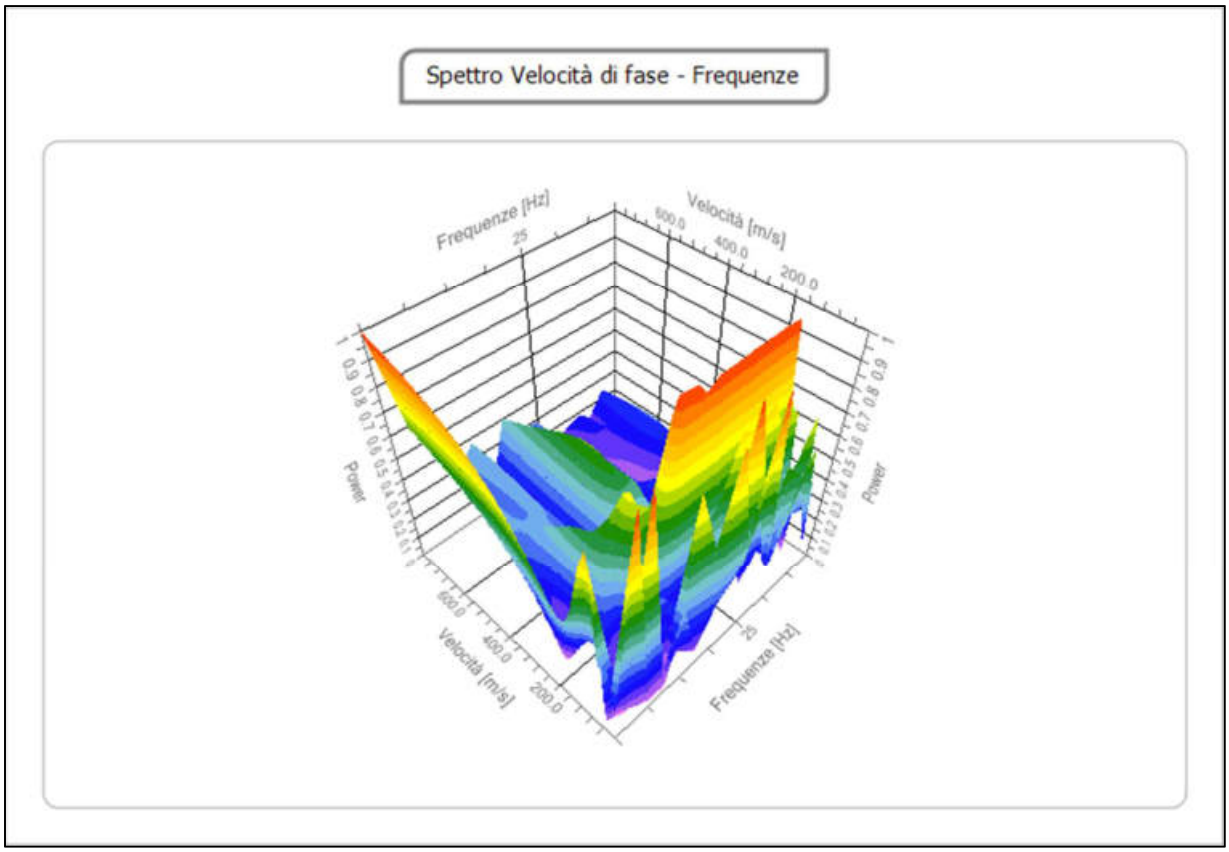


Figura 9.10 – *Spettro velocità di fase-frequenza, ottenuto dalla prova MASW S3.*

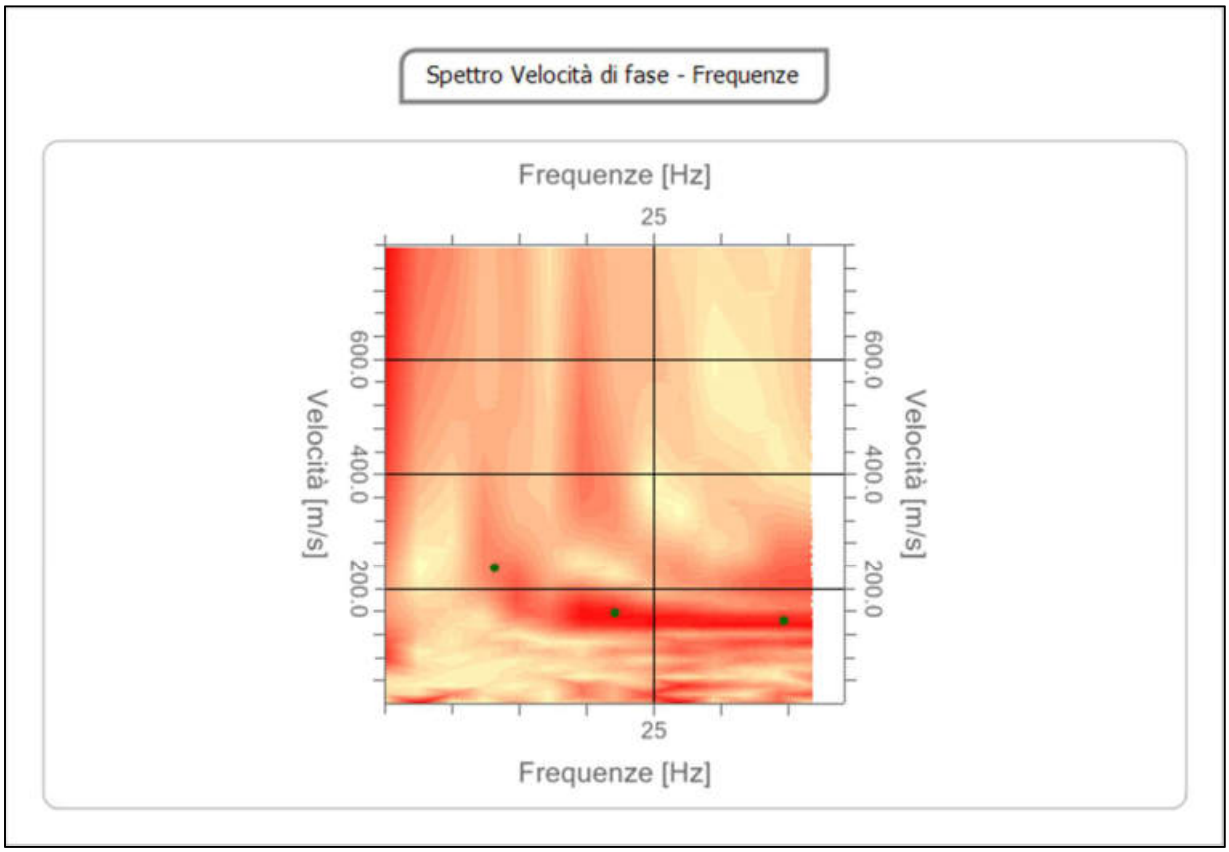


Figura 9.11 – *Traccia della curva di dispersione, ottenuta dalla prova MASW S3.*

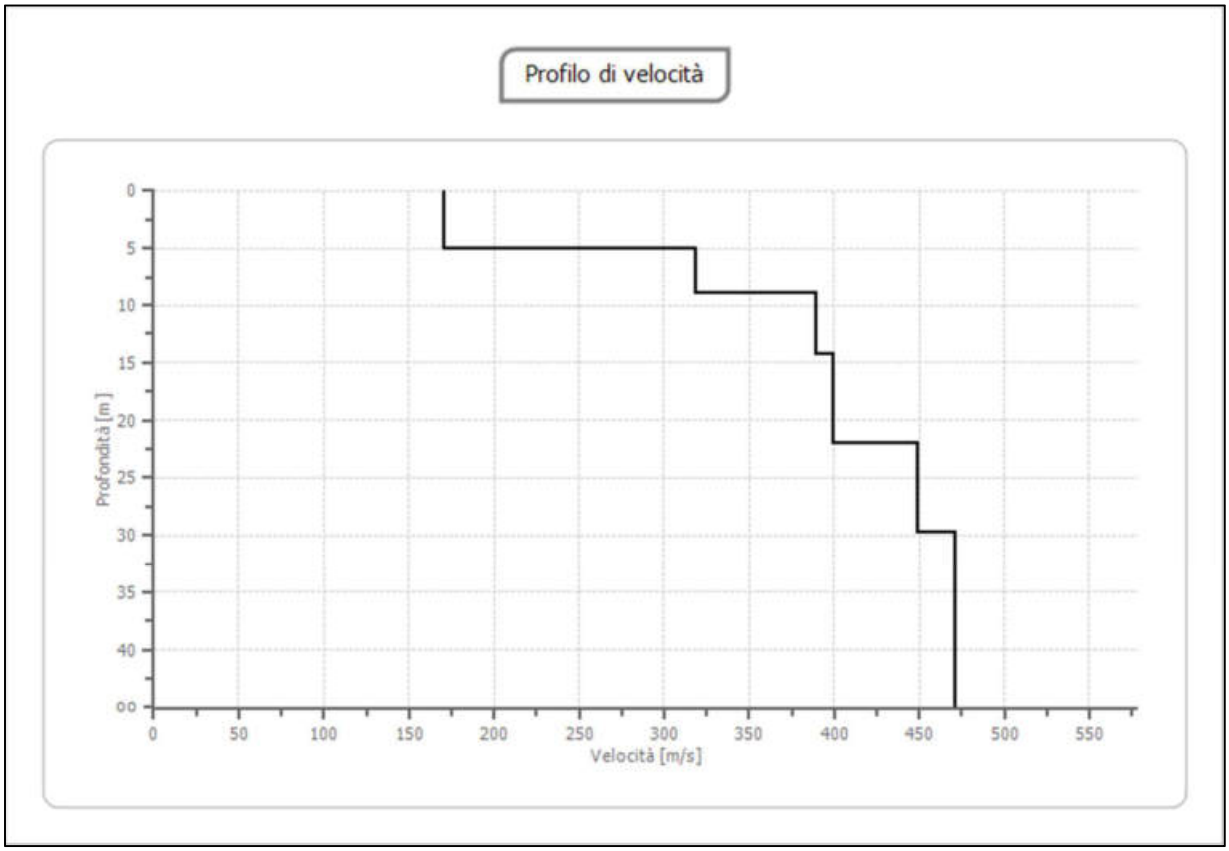


Figura 9.12 – *Profilo della velocità delle onde S in funzione della profondità (S3).*

MASW S1

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	290.5	177.9
2	9.00	4.00	562.4	344.4
3	14.00	5.00	580.0	355.2
4	20.00	6.00	681.7	417.5
5	28.61	8.61	763.6	467.6
6	oo	oo	763.6	467.6

MASW S2

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.70	5.70	295.1	180.7
2	9.70	4.00	516.9	316.6
3	14.70	5.00	644.5	394.7
4	22.09	7.39	662.3	405.6
5	31.09	9.00	708.2	433.7
6	oo	oo	733.3	449.1

MASW S3

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	279.0	170.9
2	9.00	4.00	519.6	318.2
3	14.34	5.34	634.9	388.8
4	22.05	7.71	652.0	399.3
5	29.73	7.69	733.5	449.2
6	oo	oo	768.7	470.7

Applicando la formula riportata nelle pagine precedenti (Equazione 9.2) si ottiene per il sito in esame, un valore di:

S1 = $V_{s,eq}$ = 334,99 m/s (H = 30,00 m)
S2 = $V_{s,eq}$ = 321,52 m/s (H = 30,00 m)
S3 = $V_{s,eq}$ = 324,15 m/s (H = 30,00 m)

Il profilo sismico di riferimento per l'opera in esame è di tipo 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.*

10. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

Ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.5.2003), allegato 1, il territorio comunale di Landriano era classificato in zona 4, definita come un'area con accelerazione orizzontale ag/g, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, inferiore a 0,05.

Con DGR 2129-2014 la Regione Lombardia ha tuttavia provveduto a riclassificare, dal punto di vista sismico, il territorio di propria competenza, e ha inserito il comune di Landriano in Zona Sismica 3, definita come un'area con accelerazione orizzontale ag/g, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresa tra 0,05 e 0,15: si tratta pertanto di una classificazione maggiormente cautelativa.

Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [Ag/g]	**Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [Ag/g] (da Norme Tecniche)**	**Zona**
> 0,25	0,35	1
0,25 – 0,15	0,25	2
0,15 – 0,05	0,15	3
< 0,05	0,05	4

Tale riclassificazione sismica è stata confermata da Regione Lombardia con D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (L.R. 33/2015, art. 23 comma 1 e art. 13 comma 1)", entrata definitivamente in vigore il 10 aprile 2016. Pertanto, il presente elaborato tecnico tiene conto, a norma di legge, della nuova classificazione sismica di Landriano, ovvero della Zona Sismica 3.

Istat	**Provincia**	**Comune**	**Zona sismica**	**Ag max**
03018078	PV	LANDRIANO	3	0,0630168

Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_S e C_C valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_o e T_c^*relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV del D.M., nelle quali g = 9,81 m/s^2 è l'accelerazione di gravità ed il tempo T_c^*è espresso in secondi.

Tabella 3.2.IV – *Espressioni di Ss e di Cc* (*da NTC del 2018*).

Categoria sottosuolo	Ss	Cc
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \leq 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_c^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \leq 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_c^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \leq 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_c^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \leq 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_c^*)^{-0{,}40}$

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al paragrafo 3.2.2 del D.M. 17.01.2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_R} nel periodo di riferimento V_R. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

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

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno Tr considerati dalla pericolosità sismica, i 3 parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- Fo e Tc* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica(la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Sempre in merito alle indicazioni fornite nel suddetto punto 3.2.2 del D.M. 17.01.2018, si rappresenta che la risposta sismica locale di un sito, oltre che dalle caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo, dipende anche dalla conformazione morfologica dei luoghi. Pertanto, qualora le caratteristiche topografiche dei luoghi non risultino particolarmente complesse (caso nel quale è necessario prevedere una modellizzazione particolare del sito, necessaria per identificare correttamente le caratteristiche di risposta sismica locale), vengono individuate 4 diverse categorie topografiche, rappresentative di altrettante configurazioni superficiali semplici, riportate nella successiva tabella (Tabella 3.2.III).

Tabella 3.2.III – *Categorie topografiche*(*da N.T.C del 2018*).

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

Come riportato nel Decreto, le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30m. L'area d'intervento, secondo quanto verificato dai rilevamenti eseguiti in sito, ricade in una zona pianeggiante: pertanto, tale area risulta essere compresa nella categoria topografica **T1=** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°".

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel paragrafo 7.11.3 del D.M. 17.01.2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S.

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Ai fini della determinazione della pericolosità sismica il primo passo consiste nella determinazione di a_g (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido). Per tale determinazione è necessario conoscere, come anticipato, le coordinate geografiche dell'opera da verificare.

Le coordinate geografiche dovranno essere trasformate da gradi sessagesimali a decimali. Si determina, quindi, la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal

ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.
Di seguito si riportano i parametri sismici di riferimento validi per il sito in esame:

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Sito in esame

latitudine: 45,306348
longitudine: 9,26752
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 12927	Lat: 45,3095	Lon: 9,2281	Distanza: 3104,750
Sito 2	ID: 12928	Lat: 45,3120	Lon: 9,2990	Distanza: 2542,563
Sito 3	ID: 13150	Lat: 45,2620	Lon: 9,3025	Distanza: 5637,680
Sito 4	ID: 13149	Lat: 45,2596	Lon: 9,2316	Distanza: 5912,286

Parametri sismici

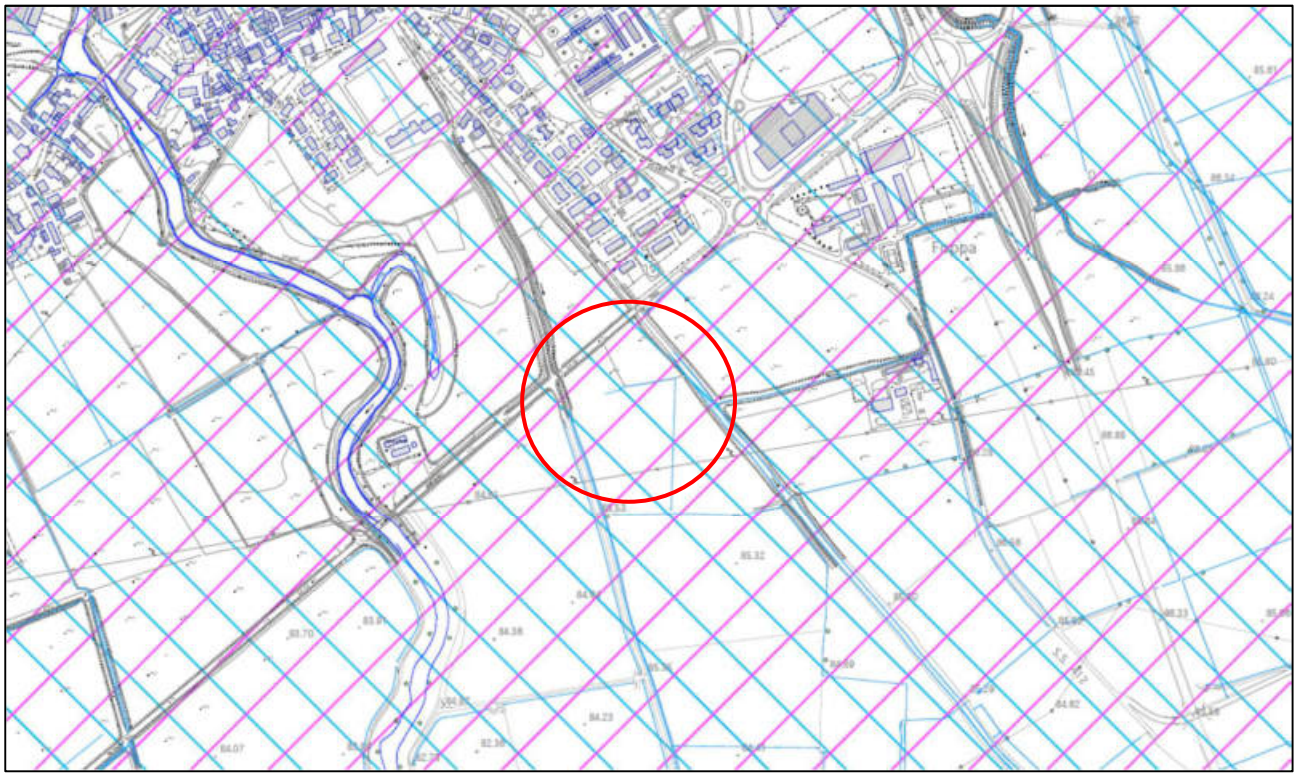
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):		Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	81 %	Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	45 [anni]	Tr:	75 [anni]
ag:	0,027 g	ag:	0,033 g
Fo:	2,540	Fo:	2,556
Tc*:	0,199 [s]	Tc*:	0,220 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):		**Prevenzione dal collasso (SLC):**	
Probabilità di superamento:	10 %	Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	712 [anni]	Tr:	1462 [anni]
ag:	0,071 g	ag:	0,090 g
Fo:	2,582	Fo:	2,574
Tc*:	0,288 [s]	Tc*:	0,296 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:		SLD:	
Ss:	1,500	Ss:	1,500
Cc:	1,790	Cc:	1,730
St:	1,000	St:	1,000
Kh:	0,008	Kh:	0,010
Kv:	0,004	Kv:	0,005
Amax:	0,393	Amax:	0,482
Beta:	0,200	Beta:	0,200
SLV:		**SLC:**	
Ss:	1,500	Ss:	1,500
Cc:	1,580	Cc:	1,570
St:	1,000	St:	1,000
Kh:	0,021	Kh:	0,027
Kv:	0,011	Kv:	0,013
Amax:	1,040	Amax:	1,319
Beta:	0,200	Beta:	0,200

Dal punto di vista degli scenari di pericolosità sismica, l'area di studio, secondo quanto definito nella Tav. 5 "Carta della pericolosità sismica locale" del P.G.T., ricade nello scenario Z4a e Z2 (Figura 10.1).



Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) - Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni

Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio glaciali granulari e/o coesivi

Figura 10.1 – *Tav. 5 "Carta della pericolosità sismica locale"(da P.G.T. – mod.).*

Poiché il Comune di Landriano ricade in classe sismica 3, in relazione allo Scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a e Z2, si dovrà, in fase progettuale, applicare il 2° LIVELLO di approfondimento per ogni tipologia di opera/edificio al fine di caratterizzare (mediante indagini dirette sui terreni oppure mediante sismica in foro o superficiale) gli effetti di amplificazione sismica locale (ai sensi della D.G.R. 8/7374/2008 e della D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011).

Pertanto, alla luce di quanto appena indicato, al fine di pervenire alla corretta categoria di sottosuolo da un punto di vista sismico, sono stati realizzati n. 3 stendimenti sismica MASW, direttamente in corrispondenza dell'area di futura edificazione.

11. VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA (II LIVELLO)

Effetti litologici

Al fine di determinare i valori di Fa dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione delle analisi geofisiche con metodo MASW di n. 3 stendimenti. Mediante tali elaborazioni e con l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia, contenute nella D.G.R. 8/7374 del 28.05.2008, si è calcolato il valore di

Fa (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto Fa è necessario ricavare il valore di Vs_{eq} (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando la velocità Vs degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata. In questo modo si risale al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di **tipo C**.

Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28.05.2008 e successivamente nella D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011.Nello specifico la normativa regionale riporta n. 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie sabbiose.

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento. I dati ottenuti in campagna per i n. 3 stendimenti realizzati, anche in virtù delle risultanze delle indagini eseguite, vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per la litologia "sabbiosa".

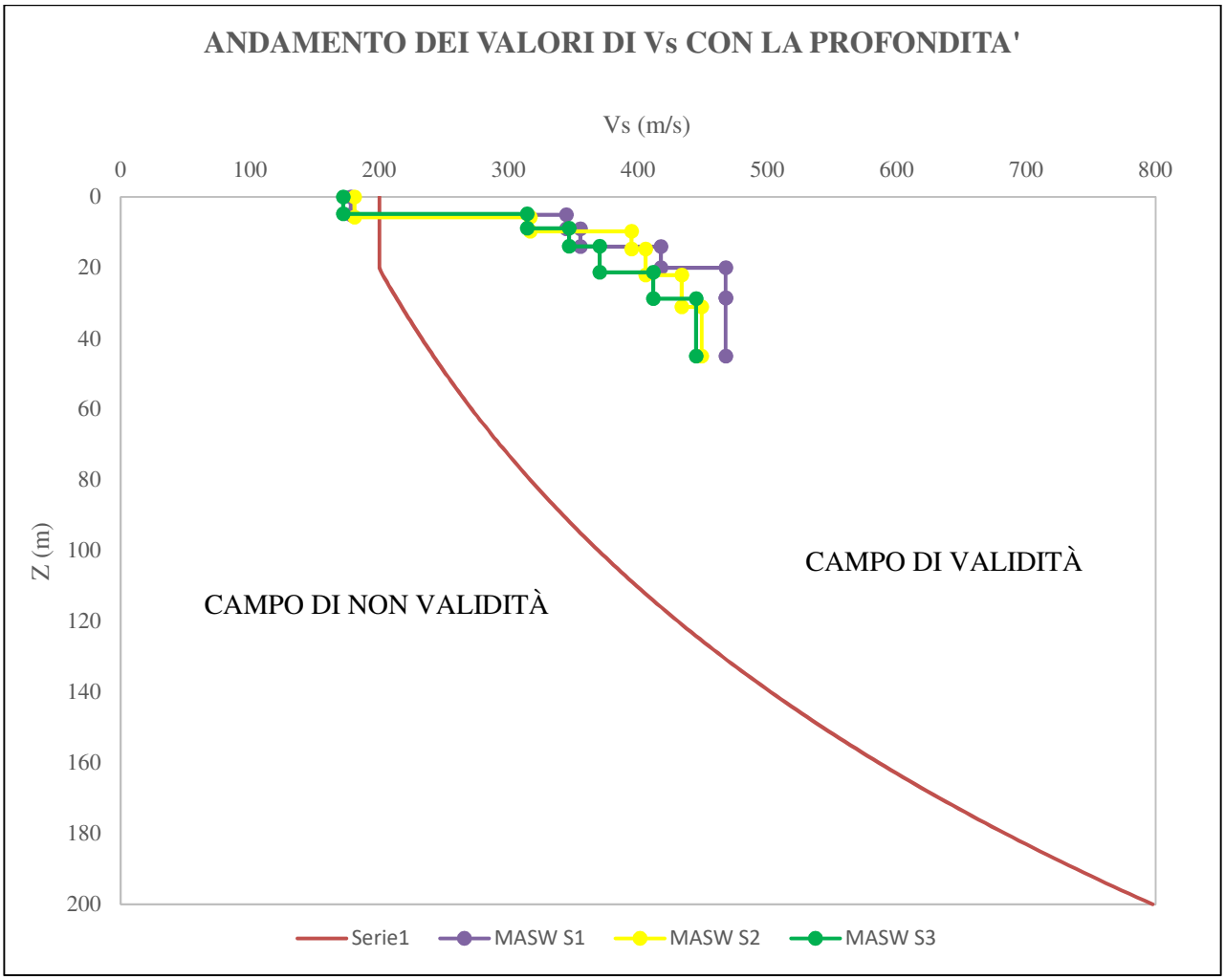


Figura 11.1 – *Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica (da D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011 – mod.).*

Ottenuti la velocità del primo strato ed il relativo spessore si riportano questi valori all'interno dell'abaco al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare per ottenere il valore di Fa.

Dall'analisi sismica condotta emerge per il "primo strato", dedotto dall'elaborazione dei n. 3 stendimenti, una velocità delle onde prossima a 200 m/s.

Ricadendo nel campo evidenziato in rosso non ci sono i presupposti per utilizzare, come indicato dalla normativa, la curva 1 (curva rossa), poiché la condizione "strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s" non è rispettata. Infatti in questo caso è presente uno strato superficiale con velocità inferiore a 300 m/s avente uno spessore compreso tra 5 e 12 m, ma poggiante su uno strato con velocità inferiore a 500 m/s. Per tale considerazione sarà utilizzata la curva verde 2 (Figura 11.2).

Velocità primo strato (m/s) \ Profondità primo strato (m)	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3												
250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA						
350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 11.2 – *Abaco per individuazione di Fa* (*da D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011 – mod.*).

L'elaborazione delle prove ha permesso di calcolare il periodo "T" relativo ai singoli stendimenti, utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vsi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

Tabella11.1 – *Periodo del T calcolato.*

Valore del periodo T calcolato MASW S1	Valore del periodo T calcolato MASW S2	Valore del periodo T calcolato MASW S3
0,44 s	0,47 s	0,48 s

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi ed ad edifici alti (Figura 11.3-4).

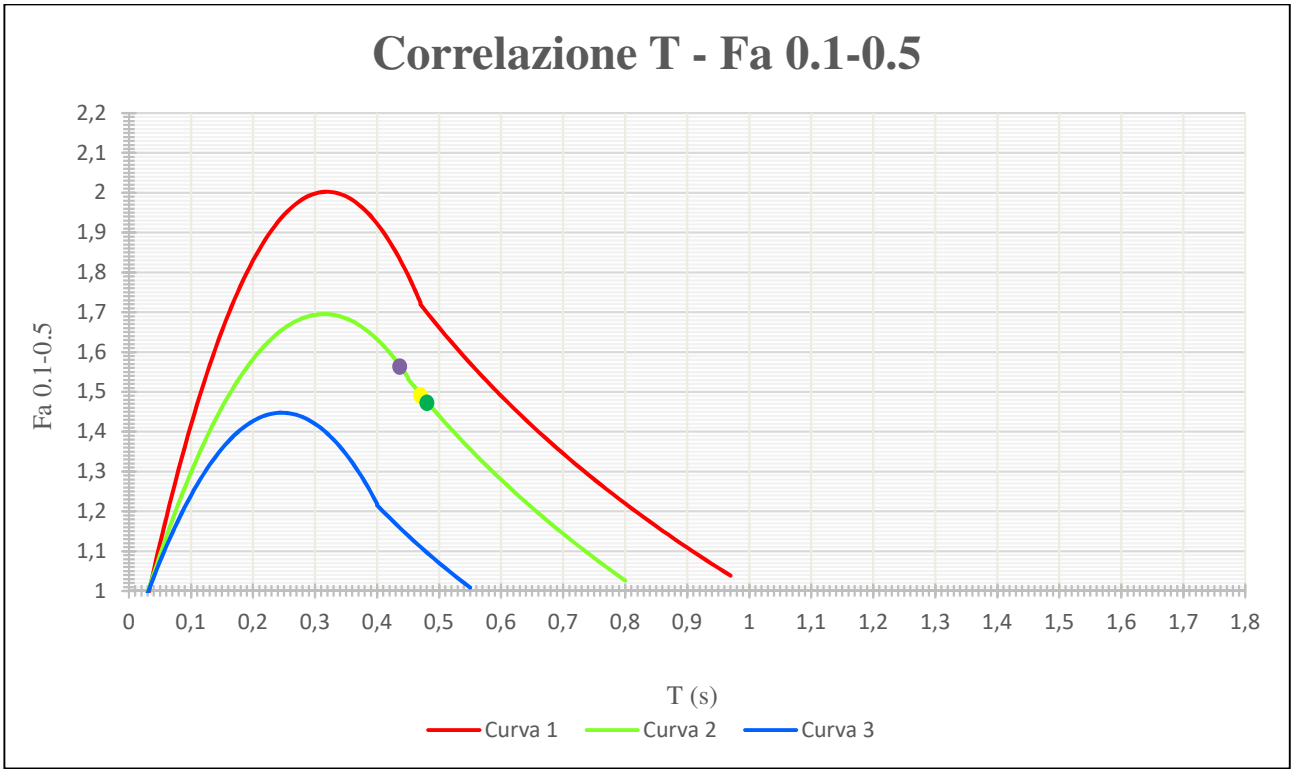


Figura 11.3 – *Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per edifici bassi (da D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011 – mod.).*

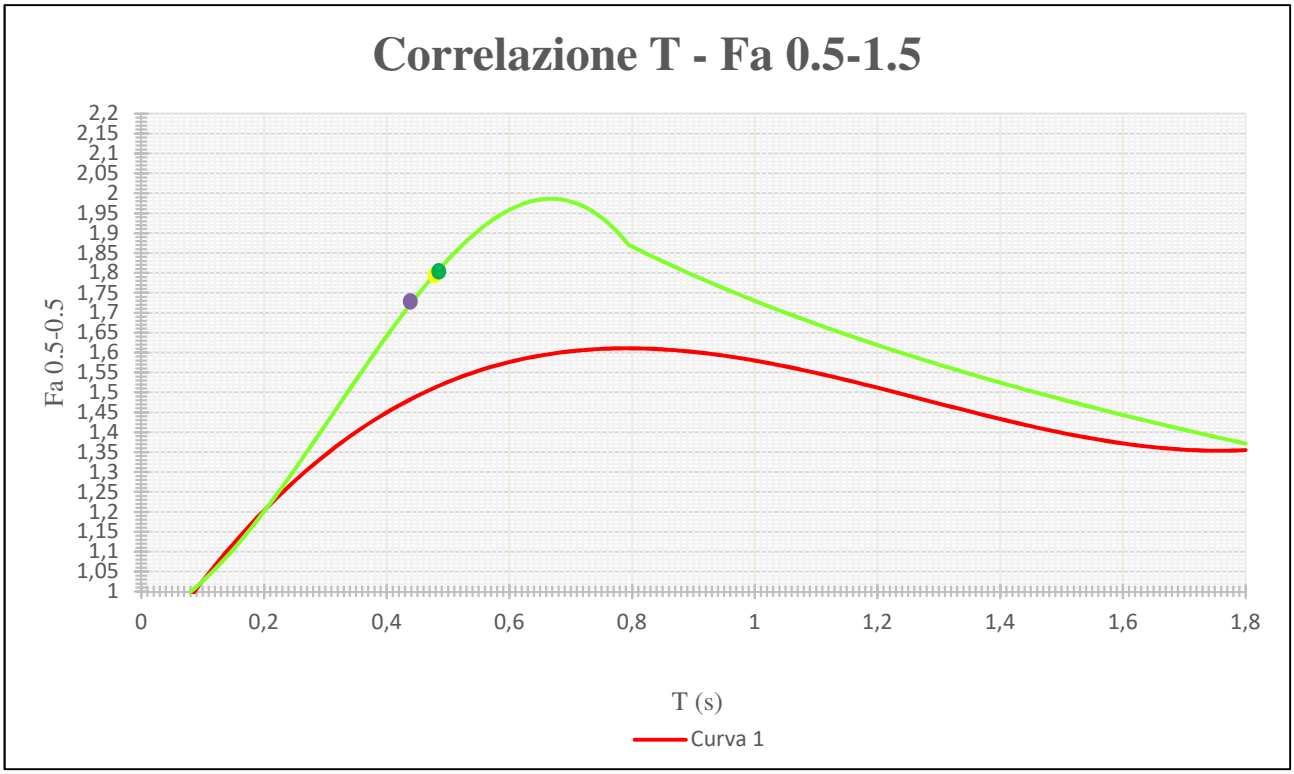


Figura 11.4 – *Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per edifici alti (da D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011 – mod.).*

Dagli abachi emerge come per i valori attribuiti ai vari periodi dei n. 3 stendimenti, si identifichino sulla curva verde i seguenti valori di Fa per edifici bassi ed alti:

Edifici bassi 0,1-0,5 s		
Fa – MASW S1 (Suolo C)	Fa – MASW S2 (Suolo C)	Fa – MASW S3 (Suolo C)
1,56	**1,49**	**1,47**

Edifici alti 0,5-1,5 s		
Fa – MASW S1 (Suolo C)	Fa – MASW S2 (Suolo C)	Fa – MASW S3 (Suolo C)
1,73	**1,78**	**1,80**

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi (max 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il Comune di Landriano.

Tabella 11.2 – *Valori di soglia di Fa relativi ad edifici bassi.*

Valori di soglia per periodo compreso tra 0,1-0,5 s					
Comune	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
Landriano	3	Suolo tipo B 1,5	Suolo tipo C 1,9	Suolo tipo D 2,3	Suolo tipo E 2,0

Tabella 11.3 – *Valori di soglia di Fa relativi ad edifici alti.*

Valori di soglia per periodo compreso tra 0,5-1,5 s					
Comune	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
Landriano	3	Suolo tipo B 1,7	Suolo tipo C 2,4	Suolo tipo D 4,3	Suolo tipo E 3,1

Dalle n. 3 MASW eseguite emerge come il valore di Fa calcolato per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 1,90) e per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,40) è inferiore al valore di soglia regionale, pertanto i valori calcolati di Fa sono conformi alla categoria di suolo individuata.

12. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Il presente capitolo illustra le valutazioni effettuate in merito alla suscettibilità alla liquefazione del terreno di fondazione dell'opera in progetto, in relazione alla pericolosità sismica del sito. In particolare viene effettuata la valutazione delle caratteristiche dei terreni con riferimento alla suscettibilità alla liquefazione, con definizione dei coefficienti di sicurezza e del potenziale di liquefazione dei terreni a partire dalle azioni sismiche di progetto, tenendo conto anche della categoria di sottosuolo del terreno interessato dall'opera in progetto e dalle condizioni topografiche del sito.

La stima della suscettibilità alla liquefazione è stata effettuata utilizzando sia l'approccio deterministico, basato sull'introduzione di un fattore di sicurezza (FS), sia l'approccio probabilistico, mediante l'indice del potenziale di liquefazione LPI (Liquefaction Potential Index),

introdotto da Iwasaki et al. (1978), e l'indice di severità di liquefazione LSI (Liquefaction Severity Index), proposto da Yilmaz (2004), per il quale il potenziale di liquefazione di un terreno, in relazione ad un evento sismico prefissato, è descritto in termini probabilistici.

La suscettibilità a liquefazione deve essere verificata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

La liquefazione dei terreni in condizioni sismiche rappresenta una possibile minaccia che può manifestarsi durante i terremoti interessando, in genere, depositi di natura sabbiosa o sabbioso-limosa, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Il termine liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Azione sismica di progetto e magnitudo

L'azione sismica di progetto è stata definita a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Sono stati considerati una vita nominale pari a 50 anni (Vn = 50), un coefficiente d'uso pari a 3 (Cu=1,5) e un periodo di riferimento per l'azione sismica Tr = 75 anni In base ai risultati dell'indagine sismica, è stata valutata una categoria di sottosuolo di tipo C, e una categoria topografica di tipo T1 (superficie pianeggiante).

In accordo con quanto riportato nel vigente P.G.T., la valutazione del terremoto di progetto, cioè dell'evento sismico di riferimento rispetto al quale effettuare il dimensionamento dei futuri interventi edificativi è stato effettuato mediante un approccio storico-statistico (Gumbel). Sono stati considerati i terremoti che ricadono nella zona sismogenetica di competenza, quella cioè all'interno della quale ricade il sito in esame. Calcolata la distanza di ogni singolo epicentro dal sito, è stato stimato il moto sismico nel sito per ognuno degli eventi applicando due differenti leggi di attenuazione sismica (Pugliese e Sabetta, per siti con copertura profonda, e Kawashima, per depositi soffici-sciolti). Come tempo di ritorno è stato scelto a titolo cautelativo il valore di 975 anni.

Come si desume dai tabulati riportati nella relazione geologica allegata al vigente P.G.T., la magnitudo del sisma di riferimento con TR 975 anni è pari a 3,25 applicando la legge di attenuazione di Pugliese e Sabetta e pari a 4,06 applicando la legge di attenuazione di Kawashima.

Analisi della liquefazione - Cenni generali

Allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni.

La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidezza e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva. Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa Dr e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa.

Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto). Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;

- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di free-field) minori di 0.1 g;
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 (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 1, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3.5 e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc >3.5.

Per il sito in esame risulta che:

- le accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field sono superiori a 0,10 g per le opere in categoria sottosuolo C;
- la profondità della falda è prossima al p.c., ad una profondità di circa 2,0 m dal p.c.,
- sono presenti strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 < 30.

In base a quanto previsto dalla normativa non è possibile escludere a priori la liquefazione. È necessario, quindi, valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

La stima del potenziale rischio di liquefazione è stata valutata sulla base dei risultati delle prove in situ effettuate: prove DPH e prove sismiche MASW.

Metodi di analisi

La verifica a liquefazione degli strati sabbiosi è stata effettuata nell'ipotesi di risposta in condizioni di campo libero. La relativa condizione di sicurezza è stata valutata tramite la seguente relazione:

$$F_L = CRR_M / CSR_M$$

essendo CRRM e CSRM rispettivamente la resistenza e la tensione ciclica relativi ad un dato valore della magnitudo dell'evento sismico di riferimento per l'analisi. Si verifica liquefazione se risulta FL < 1.

La suscettibilità alla liquefazione è stata valutata ricavando il fattore di sicurezza FL nei confronti della liquefazione dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (stato di

sforzo critico associato alla condizione di liquefazione) e la sollecitazione indotta dall'azione sismica. Si definisce il rapporto di resistenza ciclica CRR, ovvero il parametro tensionale normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, mentre CSR è il rapporto di tensione ciclica.

Il termine CSR può essere valutato ad una determinata profondità nel sottosuolo attraverso la seguente relazione semplificata di Seed e Idriss (1971):

$$CSR = 0{,}65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF} \frac{1}{K_\sigma}$$

dove a_{max} rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa in superficie contenente gli effetti amplificativi di sito. Il coefficiente riduttivo $\mathbf{r_d}$ viene valutato secondo quanto proposto da **Idriss** (1999):

$$r_d = \exp\left[\alpha(z) + \beta(z) M\right]$$

$$\alpha(z) = -1{,}012 - 1{,}126 \operatorname{sen}\left[\left(\frac{z}{11{,}73}\right) + 5{,}133\right]$$

$$\beta(z) = 0{,}106 + 0{,}118 \operatorname{sen}\left[\left(\frac{z}{11{,}28}\right) + 5{,}142\right]$$

con **M** si indica la magnitudo momento.

Laddove il terremoto atteso nell'area sia caratterizzato da una magnitudo con momento **M ≠ 7,5** occorre rivalutare la sollecitazione sismica introducendo un coefficiente correttivo **MSF,** nel metodo proposto si fa riferimento ai valori suggeriti dal **NCEER** riportati nella seguente tabella.

Magnitudo	**Seed H.B. & Idriss I.M.** *(1982)*	**Ambraseys N.N** *(1988)*	**NCEER (Seed R. B. et alii)** *(1997; 2003)*
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

K_σ è un fattore di correzione della tensione litostatica compreso fra 1 e 1,5 (Olsen, 1984):

$$K_\sigma = 1 \qquad \text{per } \sigma'_{vo} < 100$$

$$K_\sigma = (\sigma'_{vo}/100)^{f-1} \qquad \text{per } \sigma'_{vo} \geq 100$$

dove f è un parametro funzione di $(N_{1,60})$ e σ'_{vo}.

La resistenza alla liquefazione **CRR** viene calcolata in funzione di parametri desunti da prove **SPT** attraverso le seguenti espressioni:

$$CRR = \frac{1}{\left[34 - (N_{1,60})_{cs}\right]} \frac{(N_{1,60})_{cs}}{135} + \frac{50}{\left[10(N_{1,60})_{cs} + 45\right]^2} - \frac{1}{200}$$

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

$$N_{1,60} = C_N\ C_E\ C_R\ C_S\ C_B\ N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove **ER** è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato.

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7÷1,2
Donut Hammer (USA)	0,5÷1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1÷1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8÷1,4

I parametri α e β, invece, dipendono dalla frazione fine **FC**:

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	per $FC > 35\%$

C_R è un fattore di correzione per la lunghezza **L** delle aste della prova, i valori suggeriti si riportano nella tabella successiva:

L	**C_R**
≤ 3	0,75
3 < L ≤ 4	0,80
4 < L ≤ 6	0,85
6 < L ≤10	0,95
> 10	1,00

C_S è un fattore di correzione per il tipo di campionatore:

- per campionatori di tipo standard **C_S** è sempre uguale a 1,0
- per campionatori di tipo non-standard **C_S** è compreso fra 1,1 e 1,3

C_B è un fattore di correzione per il diametro del foro di sondaggio, assume i valori riportati nella tabella successiva.

Diametro foro	**C_B**
65÷115 mm	0,75
115÷150 mm	0,80
150÷200 mm	0,85

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve essere **FS** ≤ 1,25.

La probabilità di liquefazione $\mathbf{P_L}$, invece, è data dall'espressione proposta da **Juang et al.** (2001):

$$P_L = \frac{1}{1+\left(\frac{F_S}{0,72}\right)^{3,1}}$$

Risultati delle analisi

L'analisi del potenziale di liquefazione del sito in esame, imponendo un carico superficiale ipotetico derivante dalla struttura in progetto pari a 250 KPa, è stata eseguita mediante applicazione dei seguenti metodi:

- EC8 – analisi mediante valori di SPT;
- EC8 – analisi mediante valori di Vs;
- NTC 2018.

Si riportano, di seguito, le risultanze delle suddette analisi.

DATI GENERALI

Data 08/04/2022
Normativa: Eurocodice 8

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
Profondità falda idrica 2 m

DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0,15
Fattore amplificazione 2,574

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs,eq =180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1,5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (Mw) 4,1
Distanza epicentro 34,4 Km
Peak ground acceleration (PGA) 0,225

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	5	16,5	19	7	0,1	1500	100	175
2		5	9	17,5	19,2	10	0,1	2000	100	330
3		9	30	19,8	21	25	0,1	4000	100	360

Energy Ratio (ER) 0,6

Frazione limosa	Frazione argillosa	Indice di plasticità	Tipo Suolo	Validità

(%)	(%)	(%)		
10	1	<= 10	C	Valido
10	1	<= 10	C	Valido
10	1	<= 10	C	Valido

Correzione per ER (CE) (CE) 1
Resistenza alla punta normalizzata (CB) 1
Correzione per la magnitudo (MSF) 4,69

A. EC8 - SPT

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Interventi di stabilizzazione	Numero colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
2,20	36,800	34,839	1,694	0,750	10,339	0,529	0,116	0,022	5,33	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,201
2,40	40,600	36,677	1,651	0,750	10,107	0,529	0,114	0,023	5,00	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,245
2,60	44,400	38,516	1,611	0,750	9,892	0,529	0,112	0,024	4,72	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,293
2,80	48,200	40,355	1,574	0,750	9,692	0,529	0,110	0,025	4,49	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,343
3,00	52,000	42,193	1,539	0,750	9,505	0,529	0,109	0,025	4,29	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,395
3,20	55,800	44,032	1,507	0,800	9,872	0,528	0,112	0,026	4,29	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,394
3,40	59,600	45,871	1,476	0,800	9,696	0,528	0,110	0,027	4,13	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,444
3,60	63,400	47,709	1,448	0,800	9,531	0,528	0,109	0,027	3,98	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,495
3,80	67,200	49,548	1,421	0,800	9,375	0,528	0,108	0,028	3,86	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,547
4,00	71,000	51,387	1,395	0,800	9,228	0,528	0,106	0,028	3,74	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,601
4,20	74,800	53,225	1,371	0,850	9,581	0,528	0,109	0,029	3,78	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,580
4,40	78,600	55,064	1,348	0,850	9,440	0,528	0,108	0,029	3,68	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,630
4,60	82,400	56,903	1,326	0,850	9,306	0,528	0,107	0,030	3,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,680
4,80	86,200	58,741	1,305	0,850	9,178	0,528	0,106	0,030	3,51	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,731
5,00	90,000	60,580	1,285	0,850	9,056	0,528	0,105	0,031	3,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,782
5,20	93,840	62,459	1,265	0,850	12,249	0,528	0,133	0,031	4,32	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,385
5,40	97,680	64,337	1,247	0,850	12,087	0,527	0,132	0,031	4,23	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,412
5,60	101,520	66,216	1,229	0,850	11,931	0,527	0,131	0,032	4,14	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,439
5,80	105,360	68,095	1,212	0,850	11,782	0,527	0,129	0,032	4,06	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,466
6,00	109,200	69,973	1,195	0,850	11,639	0,527	0,128	0,032	3,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,493
6,20	113,040	71,852	1,180	0,950	12,713	0,527	0,138	0,032	4,27	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,401
6,40	116,880	73,731	1,165	0,950	12,566	0,527	0,136	0,033	4,19	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,423
6,60	120,720	75,609	1,150	0,950	12,424	0,527	0,135	0,033	4,12	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,446
6,80	124,560	77,488	1,136	0,950	12,287	0,527	0,134	0,033	4,06	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,468
7,00	128,400	79,367	1,122	0,950	12,155	0,527	0,133	0,033	3,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,491
7,20	132,240	81,245	1,109	0,950	12,028	0,527	0,131	0,033	3,94	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,514
7,40	136,080	83,124	1,097	0,950	11,905	0,526	0,130	0,034	3,88	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,537
7,60	139,920	85,003	1,085	0,950	11,786	0,526	0,129	0,034	3,83	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,560
7,80	143,760	86,881	1,073	0,950	11,671	0,526	0,128	0,034	3,78	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,584
8,00	147,600	88,760	1,061	0,950	11,560	0,526	0,127	0,034	3,73	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,607
8,20	151,800	90,999	1,048	0,950	26,765	0,526	0,332	0,034	9,71	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,031

8,40	156,000	93,237	1,036	0,950	26,457	0,526	0,324	0,034	9,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,034
8,60	160,200	95,476	1,023	0,950	26,159	0,526	0,317	0,034	9,21	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,037
8,80	164,400	97,715	1,012	0,950	25,871	0,526	0,310	0,034	9,00	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,040
9,00	168,600	99,953	1,000	0,950	25,594	0,526	0,304	0,035	8,80	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,043
9,20	172,800	102,192	0,989	0,950	25,325	0,526	0,298	0,035	8,55	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,047
9,40	177,000	104,431	0,979	0,950	25,065	0,525	0,293	0,035	8,33	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,051
9,60	181,200	106,670	0,968	0,950	24,813	0,525	0,288	0,036	8,11	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,055
9,80	185,400	108,908	0,958	0,950	24,570	0,525	0,284	0,036	7,92	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,059
10,00	189,600	111,147	0,949	0,950	24,333	0,525	0,279	0,036	7,73	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,064
10,20	193,800	113,386	0,939	1,000	25,309	0,525	0,298	0,036	8,18	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,053
10,40	198,000	115,624	0,930	1,000	25,074	0,525	0,293	0,037	7,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,058
10,60	202,200	117,863	0,921	1,000	24,847	0,525	0,289	0,037	7,81	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,062
10,80	206,400	120,102	0,912	1,000	24,625	0,525	0,285	0,037	7,64	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,066
11,00	210,600	122,340	0,904	1,000	24,410	0,525	0,281	0,038	7,48	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,071
11,20	214,800	124,579	0,896	1,000	24,201	0,525	0,277	0,038	7,33	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,075
11,40	219,000	126,818	0,888	1,000	23,997	0,525	0,273	0,038	7,19	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,080
11,60	223,200	129,056	0,880	1,000	23,798	0,524	0,270	0,038	7,06	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,084
11,80	227,400	131,295	0,873	1,000	23,605	0,524	0,267	0,038	6,93	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,089
12,00	231,600	133,534	0,865	1,000	23,416	0,524	0,264	0,039	6,81	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,094
12,20	235,800	135,772	0,858	1,000	23,232	0,524	0,261	0,039	6,70	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,099
12,40	240,000	138,011	0,851	1,000	23,053	0,524	0,258	0,039	6,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,104
12,60	244,200	140,250	0,844	1,000	22,878	0,524	0,255	0,039	6,49	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,110
12,80	248,400	142,488	0,838	1,000	22,707	0,524	0,252	0,040	6,39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,115
13,00	252,600	144,727	0,831	1,000	22,540	0,524	0,250	0,040	6,30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,120
13,20	256,800	146,966	0,825	1,000	22,377	0,524	0,247	0,040	6,21	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,126
13,40	261,000	149,204	0,819	1,000	22,218	0,524	0,245	0,040	6,12	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,131
13,60	265,200	151,443	0,813	1,000	22,062	0,523	0,243	0,040	6,04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,137
13,80	269,400	153,682	0,807	1,000	21,909	0,523	0,241	0,040	5,96	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,143
14,00	273,600	155,920	0,801	1,000	21,760	0,523	0,239	0,041	5,88	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,148
14,20	277,800	158,159	0,795	1,000	21,614	0,523	0,237	0,041	5,81	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,154
14,40	282,000	160,398	0,790	1,000	21,471	0,523	0,235	0,041	5,74	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,160
14,60	286,200	162,636	0,784	1,000	21,332	0,523	0,233	0,041	5,67	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,166
14,80	290,400	164,875	0,779	1,000	21,194	0,523	0,231	0,041	5,61	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,172
15,00	294,600	167,114	0,774	1,000	21,060	0,523	0,229	0,041	5,55	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,178

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio = Molto basso

B. EC8 - SPT

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
0,20	66,332	66,332	193,913	219,333	0,998	0,144	0,025	5,69	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,165
0,40	70,132	70,132	191,232	219,333	0,997	0,138	0,025	5,43	Terreno non suscettibile di	0,190

									liquefazione	
0,60	73,931	73,931	188,726	219,333	0,995	0,132	0,025	5,22	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,215
0,80	77,730	77,730	186,376	219,333	0,994	0,127	0,025	5,03	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,241
1,00	81,528	81,528	184,167	219,333	0,992	0,123	0,025	4,87	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,267
1,20	85,326	85,326	182,082	219,333	0,991	0,120	0,025	4,72	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,293
1,40	89,123	89,123	180,111	219,333	0,989	0,116	0,025	4,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,320
1,60	92,918	92,918	178,243	219,333	0,988	0,113	0,025	4,47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,348
1,80	96,712	96,712	176,469	219,333	0,986	0,110	0,025	4,36	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,376
2,00	100,505	100,505	174,780	219,333	0,985	0,108	0,025	4,25	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,404
2,20	104,296	104,296	173,169	219,333	0,983	0,105	0,025	4,16	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,433
2,40	108,086	108,086	171,631	219,333	0,982	0,103	0,025	4,07	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,463
2,60	111,873	111,873	170,160	219,333	0,980	0,101	0,025	3,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,493
2,80	115,659	115,659	168,750	219,333	0,979	0,099	0,025	3,91	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,523
3,00	119,442	119,442	167,397	219,333	0,977	0,097	0,025	3,84	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,554
3,20	123,224	123,224	166,098	219,333	0,976	0,096	0,025	3,77	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,585
3,40	127,002	127,002	164,849	219,333	0,974	0,094	0,025	3,71	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,617
3,60	130,779	130,779	163,645	219,333	0,972	0,092	0,025	3,65	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,649
3,80	134,553	134,553	162,486	219,333	0,971	0,091	0,025	3,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,682
4,00	138,324	138,324	161,367	219,333	0,969	0,090	0,025	3,54	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,715
4,20	142,092	142,092	160,286	219,333	0,968	0,088	0,025	3,48	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,749
4,40	145,857	145,857	159,241	219,333	0,966	0,087	0,025	3,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,783
4,60	149,620	149,620	158,231	219,333	0,965	0,086	0,025	3,39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,817
4,80	153,379	153,379	157,252	219,333	0,963	0,085	0,025	3,34	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,852
5,00	157,136	157,136	156,304	219,333	0,962	0,083	0,025	3,30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,888
5,20	160,929	160,929	292,992	219,333	0,960	0,241	0,025	9,52	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,033
5,40	164,718	164,718	291,292	219,333	0,959	0,238	0,025	9,39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,035
5,60	168,505	168,505	289,642	219,333	0,957	0,235	0,025	9,27	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,036
5,80	172,288	172,288	288,038	219,333	0,956	0,232	0,025	9,15	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,038
6,00	176,067	176,067	286,480	219,333	0,954	0,229	0,025	9,03	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,039
6,20	179,843	179,843	284,964	219,333	0,953	0,226	0,025	8,92	Terreno non	0,041

									suscettibile di liquefazione	
6,40	183,616	183,616	283,489	219,333	0,951	0,223	0,025	8,80	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,043
6,60	187,385	187,385	282,053	219,333	0,950	0,220	0,025	8,69	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,044
6,80	191,151	191,151	280,653	219,333	0,948	0,218	0,025	8,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,046
7,00	194,913	194,913	279,289	219,333	0,946	0,215	0,025	8,48	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,048
7,20	198,671	198,671	277,959	219,333	0,945	0,212	0,025	8,38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,050
7,40	202,426	202,426	276,661	219,333	0,943	0,210	0,025	8,28	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,051
7,60	206,177	206,177	275,394	219,333	0,942	0,207	0,025	8,19	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,053
7,80	209,924	209,924	274,156	219,333	0,940	0,205	0,025	8,09	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,055
8,00	213,668	213,668	272,947	219,333	0,939	0,203	0,025	8,00	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,057
8,20	217,769	217,769	296,349	219,333	0,937	0,248	0,025	9,78	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,031
8,40	221,865	221,865	294,972	219,333	0,936	0,245	0,025	9,67	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,032
8,60	225,959	225,959	293,627	219,333	0,934	0,242	0,025	9,57	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,033
8,80	230,049	230,049	292,313	219,333	0,933	0,240	0,025	9,47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,034
9,00	234,135	234,135	291,029	219,333	0,931	0,237	0,025	9,37	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,035
9,20	238,218	238,218	289,774	219,333	1,149	0,235	0,025	9,28	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,036
9,40	242,297	242,297	288,546	219,333	1,149	0,233	0,025	9,19	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,037
9,60	246,373	246,373	287,345	219,333	1,148	0,230	0,025	9,10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,038
9,80	250,446	250,446	286,170	219,333	1,148	0,228	0,025	9,01	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,040
10,00	254,515	254,515	285,019	219,333	1,147	0,226	0,025	8,92	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,041
10,20	258,582	258,582	283,892	219,333	1,147	0,224	0,025	8,83	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,042
10,40	262,645	262,645	282,788	219,333	1,146	0,222	0,025	8,75	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,043
10,60	266,705	266,705	281,705	219,333	1,146	0,220	0,025	8,67	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,045
10,80	270,762	270,762	280,644	219,333	1,145	0,218	0,025	8,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,046
11,00	274,816	274,816	279,603	219,333	1,145	0,215	0,025	8,51	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,047
11,20	278,866	278,866	278,582	219,333	1,144	0,214	0,025	8,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,049
11,40	282,915	282,915	277,580	219,333	1,144	0,212	0,025	8,35	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,050
11,60	286,960	286,960	276,597	219,333	1,143	0,210	0,025	8,28	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,051
11,80	291,002	291,002	275,631	219,333	1,142	0,208	0,025	8,21	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,053

12,00	295,042	295,042	274,683	219,333	1,142	0,206	0,025	8,13	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,054
12,20	299,079	299,079	273,751	219,333	1,141	0,204	0,025	8,06	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,056
12,40	303,114	303,114	272,836	219,333	1,141	0,202	0,025	7,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,057
12,60	307,146	307,146	271,936	219,333	1,140	0,201	0,025	7,92	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,059
12,80	311,176	311,176	271,051	219,333	1,140	0,199	0,025	7,85	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,061
13,00	315,203	315,203	270,181	219,333	1,139	0,197	0,025	7,79	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,062
13,20	319,228	319,228	269,325	219,333	1,139	0,196	0,025	7,72	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,064
13,40	323,251	323,251	268,483	219,333	1,138	0,194	0,025	7,65	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,066
13,60	327,272	327,272	267,655	219,333	1,138	0,192	0,025	7,59	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,067
13,80	331,291	331,291	266,840	219,333	1,137	0,191	0,025	7,52	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,069
14,00	335,308	335,308	266,037	219,333	1,137	0,189	0,025	7,46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,071
14,20	339,323	339,323	265,246	219,333	1,136	0,187	0,025	7,40	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,073
14,40	343,336	343,336	264,468	219,333	1,136	0,186	0,025	7,34	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,075
14,60	347,347	347,347	263,701	219,333	1,135	0,184	0,025	7,27	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,077
14,80	351,356	351,356	262,945	219,333	1,134	0,183	0,025	7,21	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,079
15,00	355,364	355,364	262,201	219,333	1,134	0,181	0,025	7,15	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,081

C. NTC 2018

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Interventi di stabilizzazione	Numero colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
0,20	66,332	66,332	1,228	0,750	6,506	0,527	0,084	0,020	4,17	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,428
0,40	70,132	70,132	1,194	0,750	6,328	0,527	0,082	0,020	4,11	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,451
0,60	73,931	73,931	1,163	0,750	6,164	0,527	0,081	0,020	4,04	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,474
0,80	77,730	77,730	1,134	0,750	6,012	0,527	0,080	0,020	3,98	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,496
1,00	81,528	81,528	1,108	0,750	5,871	0,527	0,079	0,020	3,93	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,517
1,20	85,326	85,326	1,083	0,750	5,740	0,527	0,078	0,020	3,88	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,538
1,40	89,123	89,123	1,059	0,750	5,617	0,527	0,077	0,020	3,83	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,558
1,60	92,918	92,918	1,037	0,750	5,502	0,527	0,076	0,020	3,79	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,578
1,80	96,712	96,712	1,017	0,750	5,393	0,527	0,075	0,020	3,75	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,598
2,00	100,505	100,505	0,997	0,750	5,291	0,527	0,074	0,020	3,71	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,618
2,20	104,296	104,296	0,979	0,750	5,195	0,527	0,074	0,020	3,65	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,648
2,40	108,086	108,086	0,962	0,750	5,103	0,526	0,073	0,020	3,60	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,677
2,60	111,873	111,873	0,945	0,750	5,017	0,526	0,072	0,020	3,55	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,706
2,80	115,659	115,659	0,930	0,750	4,934	0,526	0,072	0,020	3,50	Terreno non suscettibile di	0,735

										liquefazione	
3,00	119,442	119,442	0,915	0,750	4,856	0,526	0,071	0,021	3,46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,763
3,20	123,224	123,224	0,901	0,800	5,098	0,526	0,073	0,021	3,53	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,717
3,40	127,002	127,002	0,887	0,800	5,022	0,526	0,072	0,021	3,49	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,743
3,60	130,779	130,779	0,874	0,800	4,950	0,526	0,072	0,021	3,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,768
3,80	134,553	134,553	0,862	0,800	4,880	0,526	0,071	0,021	3,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,793
4,00	138,324	138,324	0,850	0,800	4,813	0,526	0,071	0,021	3,38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,818
4,20	142,092	142,092	0,839	0,850	5,045	0,526	0,072	0,021	3,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,770
4,40	145,857	145,857	0,828	0,850	4,979	0,525	0,072	0,021	3,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,793
4,60	149,620	149,620	0,818	0,850	4,917	0,525	0,071	0,021	3,39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,815
4,80	153,379	153,379	0,807	0,850	4,857	0,525	0,071	0,021	3,36	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,837
5,00	157,136	157,136	0,798	0,850	4,799	0,525	0,071	0,021	3,33	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,859
5,20	160,929	160,929	0,788	0,850	6,762	0,525	0,086	0,021	3,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,493
5,40	164,718	164,718	0,779	0,850	6,684	0,525	0,085	0,022	3,95	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,508
5,60	168,505	168,505	0,770	0,850	6,608	0,525	0,085	0,022	3,91	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,523
5,80	172,288	172,288	0,762	0,850	6,536	0,525	0,084	0,022	3,88	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,538
6,00	176,067	176,067	0,754	0,850	6,466	0,525	0,083	0,022	3,84	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,553
6,20	179,843	179,843	0,746	0,950	7,147	0,525	0,089	0,022	4,07	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,464
6,40	183,616	183,616	0,738	0,950	7,073	0,524	0,088	0,022	4,03	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,476
6,60	187,385	187,385	0,731	0,950	7,002	0,524	0,088	0,022	4,00	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,489
6,80	191,151	191,151	0,723	0,950	6,933	0,524	0,087	0,022	3,97	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,502
7,00	194,913	194,913	0,716	0,950	6,866	0,524	0,087	0,022	3,94	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,514
7,20	198,671	198,671	0,709	0,950	6,801	0,524	0,086	0,022	3,91	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,526
7,40	202,426	202,426	0,703	0,950	6,738	0,524	0,086	0,022	3,88	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,539
7,60	206,177	206,177	0,696	0,950	6,677	0,524	0,085	0,022	3,85	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,551
7,80	209,924	209,924	0,690	0,950	6,617	0,524	0,085	0,022	3,82	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,563
8,00	213,668	213,668	0,684	0,950	6,559	0,524	0,084	0,022	3,80	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,575
8,20	217,769	217,769	0,678	0,950	16,199	0,524	0,172	0,024	7,29	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,076
8,40	221,865	221,865	0,671	0,950	16,049	0,523	0,171	0,024	7,21	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,079
8,60	225,959	225,959	0,665	0,950	15,904	0,523	0,169	0,024	7,13	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,082
8,80	230,049	230,049	0,659	0,950	15,762	0,523	0,168	0,024	7,06	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,084
9,00	234,135	234,135	0,654	0,950	15,624	0,523	0,166	0,024	6,98	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,087
9,20	238,218	238,218	0,648	0,950	15,490	0,523	0,165	0,024	6,91	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,090
9,40	242,297	242,297	0,642	0,950	15,359	0,523	0,164	0,024	6,85	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,093
9,60	246,373	246,373	0,637	0,950	15,232	0,523	0,162	0,024	6,78	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,095
9,80	250,446	250,446	0,632	0,950	15,108	0,523	0,161	0,024	6,72	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,098
10,00	254,515	254,515	0,627	0,950	14,987	0,523	0,160	0,024	6,66	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,101
10,20	258,582	258,582	0,622	1,000	15,649	0,523	0,167	0,024	6,90	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,091
10,40	262,645	262,645	0,617	1,000	15,528	0,523	0,165	0,024	6,84	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,093
10,60	266,705	266,705	0,612	1,000	15,410	0,522	0,164	0,024	6,78	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,096
10,80	270,762	270,762	0,608	1,000	15,294	0,522	0,163	0,024	6,73	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,098
11,00	274,816	274,816	0,603	1,000	15,181	0,522	0,162	0,024	6,67	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,101
11,20	278,866	278,866	0,599	1,000	15,071	0,522	0,161	0,024	6,62	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,103

11,40	282,915	282,915	0,595	1,000	14,963	0,522	0,160	0,024	6,57	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,106
11,60	286,960	286,960	0,590	1,000	14,857	0,522	0,159	0,024	6,52	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,108
11,80	291,002	291,002	0,586	1,000	14,754	0,522	0,158	0,024	6,47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,110
12,00	295,042	295,042	0,582	1,000	14,653	0,522	0,157	0,024	6,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,113
12,20	299,079	299,079	0,578	1,000	14,554	0,522	0,156	0,024	6,38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,115
12,40	303,114	303,114	0,574	1,000	14,457	0,522	0,155	0,024	6,34	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,118
12,60	307,146	307,146	0,571	1,000	14,362	0,521	0,154	0,024	6,29	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,120
12,80	311,176	311,176	0,567	1,000	14,268	0,521	0,153	0,024	6,25	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,123
13,00	315,203	315,203	0,563	1,000	14,177	0,521	0,152	0,024	6,21	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,125
13,20	319,228	319,228	0,560	1,000	14,088	0,521	0,151	0,024	6,17	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,128
13,40	323,251	323,251	0,556	1,000	14,000	0,521	0,150	0,024	6,13	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,130
13,60	327,272	327,272	0,553	1,000	13,914	0,521	0,149	0,024	6,10	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,133
13,80	331,291	331,291	0,549	1,000	13,829	0,521	0,149	0,025	6,06	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,135
14,00	335,308	335,308	0,546	1,000	13,746	0,521	0,148	0,025	6,03	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,138
14,20	339,323	339,323	0,543	1,000	13,665	0,521	0,147	0,025	5,99	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,140
14,40	343,336	343,336	0,540	1,000	13,585	0,521	0,146	0,025	5,96	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,143
14,60	347,347	347,347	0,537	1,000	13,507	0,520	0,145	0,025	5,93	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,145
14,80	351,356	351,356	0,533	1,000	13,430	0,520	0,145	0,025	5,89	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,148
15,00	355,364	355,364	0,530	1,000	13,354	0,520	0,144	0,025	5,86	Terreno non suscettibile di liquefazione	0,150

Alla luce delle risultanze delle analisi sopra riportate, è possibile affermare che il terreno di fondazione in esame non risulta essere potenzialmente soggetto a liquefazione in condizioni sismiche.

13. MODELLO GEOTECNICO

Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza in sito di depositi sabbiosi e sabbioso-limosi poco addensati con spessore di circa 3,6÷5,7 m. A partire da circa 3,6÷5,7 m si riscontrano depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi da moderatamente addensati ad addensati con la profondità.

Al fine della ricostruzione del modello geotecnico dell'area d'intervento, finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per il progetto e le verifiche delle fondazioni, nonché per l'impostazione delle successive attività di monitoraggio, sulla base della stratigrafia ottenuta dalle indagini eseguite, è stato possibile individuare le seguenti unità litologiche aventi caratteristiche geotecniche omogenee:

					VALORI MEDI		
Unità litologica	**Litologia**	**Profondità media [m da p.c.]**	**Tipo**	**Classif. A.G.I.**	**γ_m [t/m³]**	**φ'_m [°]**	**c'_m [kg/cm²]**
1	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi	0,0 - 3,6÷5,7	Incoerente	Poco addensato	1,65	23	0,0
2	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi	3,6÷5,7 - 7,2÷8,4	Incoerente	Moderatamente addensato	1,75	29	0,0

3	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi	>7,2÷8,4	Incoerente	Addensato	1,98	34	0,0

dove:

Nspt: numero colpi riferibili ad una prova SPT;
γ_m: peso di volume secco;
φ'_m: angolo di attrito interno;
c'_m: coesione.

Lo schema geotecnico valido per l'area d'intervento, dedotto dalle indagini eseguite è il seguente:

- piano campagna di riferimento locale: orizzontale;
- volume significativo: Unità litologica 1+2+3.

Di seguito si riportano i valori caratteristici coincidenti con i valori medi da adottare nei calcoli ove vengano previste Combinazioni contenenti M1, ai sensi del D.M. 17.01.2018.

					VALORI CARATTERISTICI		
Unità litologica	**Litologia**	**Profondità media [m da p.c.]**	**Tipo**	**Classif. A.G.I.**	**γ_k [t/m³]**	**φ'_k [°]**	**c'_k [kg/cm²]**
1	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi	0,0 - 3,6÷5,7	Incoerente	Poco addensato	1,65	23	0,0
2	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi	3,6÷5,7 - 7,2÷8,4	Incoerente	Moderatamente addensato	1,75	29	0,0
3	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi	>7,2÷8,4	Incoerente	Addensato	1,98	34	0,0

dove:

Nspt: numero colpi riferibili ad una prova SPT;
γ_k: peso di volume secco;
φ'_k: angolo di attrito interno;
c'_k: coesione.

I valori di progetto da adottare nei calcoli ove vengano previste Combinazioni contenenti M2, dovranno essere ottenuti dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale secondo quanto indicato nel D.M. 17.01.2018. Tali parametri vengono ottenuti dividendo i valori caratteristici per i seguenti coefficienti di riduzione:

$$\gamma_d = \gamma_k/1 \qquad \varphi'_d = \varphi'_k/1{,}25 \qquad C_d = C_k/1{,}4$$

					VALORI DI PROGETTO		
Unità litologica	**Litologia**	**Profondità media [m da p.c.]**	**Tipo**	**Classif. A.G.I.**	**γ_d [t/m³]**	**φ'_d [°]**	**c'_d [kg/cm²]**
1	Depositi sabbiosi e sabbioso-limosi	0,0 - 3,6÷5,7	Incoerente	Poco addensato	1,65	18	0,0

2	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi	3,6÷5,7 - 7,2÷8,4	Incoerente	Moderatamente addensato	1,75	23	0,0
3	Depositi sabbiosi alternati a livelli argilloso-limosi	>7,2÷8,4	Incoerente	Addensato	1,98	27	0,0

dove:

Nspt: numero colpi riferibili ad una prova SPT;
γ_d: peso di volume secco;
φ'_d: angolo di attrito interno;
c'_d: coesione.

14. OPERE DI FONDAZIONE ED OPERE DI SOSTEGNO

Premessa

Visti i predetti valori caratteristici e di progetto ottenuti, da utilizzarsi nelle varie tipologie di verifiche da parte del Progettista, tutte le opere e le componenti strutturali dovranno essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione al fine di consentirne la prevista utilizzazione in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalla normativa vigente.

Il superamento di uno stato limite ultimo (SLU) ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio (SLE) può avere carattere reversibile o irreversibile. Il superamento di uno stato limite di esercizio (SLE) ha carattere reversibile nel caso che si esamini una situazione in cui la deformazione o il danno cessino con l'estinguersi della causa che ha determinato il superamento dello stato limite. Se, pur non avendosi il collasso, l'opera subisce dissesti tali da renderla inutilizzabile, in quest'ultimo caso siamo in presenza di danni irreversibili o di deformazioni permanenti inaccettabili. Ad esempio, nel caso di una fondazione superficiale ciò può verificarsi quando i cedimenti del terreno superano una soglia critica, provocando delle distorsioni angolari non accettabili negli elementi della sovrastruttura.

Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi (SLU).La verifica della sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di resistenza si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali" di sicurezza tramite l'equazione:

$$\mathbf{Rd > Ed} \qquad \text{(Equazione 14.1)}$$

con:

Rd = resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate (di pertinenza del geotecnico e dello strutturista);

Ed = valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto nelle varie combinazioni di carico (di pertinenza dello strutturista).

Disponendo dei carichi indotti dalle strutture in progetto, nonché dei parametri caratteristici e di progetto forniti, dovranno essere effettuate dal Progettista le verifiche ai diversi stati limite del sistema geotecnico per le combinazioni A1+M1+R1, A1+M1+R3 e A2+M2+R2, suddivise nei 2 approcci previsti, applicando i coefficienti parziali sui parametri del D.M. 17.01.2018 indicati nella tabella seguente.

Tabella 14.1 – *Coefficienti parziali e relativi parametri* (*da N.T.C del 2018*).

PARAMETRO		COEFFICIENTE PARZIALE		
		A1	A2	
Carichi permanenti		$\gamma G = 1,3$	$\gamma G = 1,0$	
Carichi variabili		$\gamma Q = 1,5$	$\gamma Q = 1,3$	
PARAMETRO		COEFFICIENTE PARZIALE		
		M1	M2	
Angolo di attrito	tan ϕ'	$\gamma\phi' = 1,00$	$\gamma\phi' = 1,25$	
Coesione	c'	$\gamma c' = 1,00$	$\gamma c' = 1,25$	
Resistenza non drenata	Cu	$\gamma Cu = 1,00$	$\gamma cu = 1,40$	
Peso di volume	γ	$\gamma\gamma = 1,00$	$\gamma\gamma = 1,00$	
PARAMETRO	COEFFICIENTE PARZIALE			
	R1	R2	R3	
Carico limite	$\gamma R = 1,0$	$\gamma R = 1,1$	$\gamma R = 2,3$	

Opere di fondazione

Sulla base del modello geologico e geotecnico locale si evince come le opere fondazionali del manufatto in progetto dovranno trasferire le azioni ai depositi sufficientemente addensati. Data la natura di tali depositi, si prescrive l'adozione di strutture di fondazioni continue tipo platea, con limitata applicazione di carico al sottosuolo. Si dovranno evitare fenomeni di appoggio differenziato su porzioni di terreno a diverso grado di addensamento e consolidamento, il tutto al fine di evitare cedimenti o dissesti.

Non disponendo, allo stato attuale, dei valori dei carichi ed azioni indotti dal manufatto in oggetto, nonché dell'esatte caratteristiche delle opere fondazionali, per le verifiche di tali opere si rimanda alla Relazione sulle opere fondazionali a firma del Progettista delle strutture. Nel caso il Progettista delle verifiche delle opere fondazionali nei confronti dei diversi Stati Limite strutturali (STR) e geotecnici (GEO) utilizzi il seguente Approccio 1 -Combinazione 2 (A2+M2+R2) i parametri di riferimento che dovranno essere utilizzati saranno quelli di progetto (γ_d,Cu_d,φ'_d).Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) dei coefficienti parziali previsti dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I del D.M. 17.01.2018.

Opere di sostegno

Le operazioni di scavo e sbancamento previste da progetto, a seguito delle indagini superficiali eseguite, dovranno essere precedute dalla realizzazione di opere di contenimento temporanee, in modo da confinare la zona soggetta al detensionamento indotto dalle operazioni di scavo.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno dovrà essere effettuata secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), utilizzando i parametri di progetto (γ_d,Cu_d,φ'_d).Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) dei coefficienti parziali previsti dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del D.M. 17.01.2018.

15. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

- La presente indagine geologica, geotecnica e sismica, a supporto di un progetto di "REALIZZAZIONE DI UNA RESIDENZA ASSISTENZIALE PER ANZIANI (R.S.A.) E COMUNITA' ALLOGGIO SOCIALE ANZIANI (C.A.S.A.)" sito nel Comune di Landriano (PV) – Str. Provinciale n. 2, fa seguito ad un sopralluogo e ad un'indagine geologico-tecnica eseguita in sito, su incarico conferito allo scrivente dallo Studio di Architettura - Arch. Silvia BRACCO, nonché dall'IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l., committente dell'intervento.

Le indagini svolte, estese ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi, in ottemperanza alle Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17.01.2018), sono state finalizzate alla definizione delle condizioni geologico-geomorfologiche del sito e delle proprietà geotecniche dei materiali presenti, con l'obiettivo di definirne le potenzialità di fruizione in relazione all'assetto territoriale, traendo le opportune valutazioni sulla compatibilità dell'intervento con la situazione litotecnica, geomorfologica, sismica ed idrogeologica locale.

- Il sito in esame, come riportato nella Tav. 7 "Carta di Sintesi" del vigente P.G.T., risulta essere ubicato in un settore del territorio comunale inserito in "area a vulnerabilità idrogeologica elevata, in quanto impostata in depositi alluvionali con predominanza della componente sabbiosa e sede di una falda idrica con livello piezometrico prossimo al piano campagna. Soggiacenza in genere variabile da 1,5 a 3,5 m".
- Secondo la Tav. 8 "Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano" del P.G.T. l'area oggetto di studio risulta compresa nella Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni. In questa classe ricadono le aree in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, ed in particolare all'edificabilità, per l'entità e la natura delle problematiche individuate, sia a scala locale che territoriale. Si tratta di aree contraddistinte da un più che soddisfacente grado di stabilità, ma caratterizzate da un assetto litostratigrafico segnato da marcate disomogeneità tessiturali latero-verticali, con la locale presenza di orizzonti argillosi, argillo-sabbiosi-limosi e torbosi con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti. A tale assetto litostratigrafico si associa in genere una ridotta soggiacenza della prima falda, il cui livello piezometrico può risultare stagionalmente prossimo al piano campagna.
- Dal punto di vista litologico, sulla base di quanto riportato nel Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1.100.000 e nella Tav. 1 "Carta di inquadramento geologico-geomorfologico" del P.G.T. alla scala 1:5.000, in corrispondenza dell'area in esame affiorano depositi pleistocenici costituiti dal ripiano del "Fluviale recente" o "Piano Generale Terrazzato della Pianura", impostato in sabbie prevalenti con lenti di limo, sopraelevato in media da 2 a 5 m rispetto al ripiano delle "Alluvioni recenti".
- Il profilo sismico di riferimento per l'opera in esame è di <u>tipo C</u>: 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.
- Il Comune di Landriano, interessato dall'intervento studiato, ricade nella classificazione sismica dei Comuni della Regione Lombardia in <u>Zona 3</u>.
- Dal punto di vista idrogeologico, l'indagine eseguita non ha evidenziato, nell'area e nella zona circostante, la presenza di emergenze idriche (sorgenti) mentre si segnalano punti di captazione delle acque sotterranee (pozzi). L'area in oggetto rivela caratteri di permeabilità medio-bassa nei livelli superiori del sottosuolo, passanti a medio-alta in quelli inferiori, in funzione della porosità dei terreni, nonché alla presenza di livelli ed intercalazioni a diverso grado di addensamento e con diversa composizione granulometrica. In particolare l'area, ubicata alla quota di circa 85,0 m s.l.m., risulta caratterizzata da una soggiacenza inferiore a 3,0 m dal piano campagna. Tale valore risulta variabile in funzione della granulometria sito specifica, con innalzamenti di tale quota a circa 2,0 m dal piano campagna attuale in concomitanza di eventi meteorologici prolungati. Durante l'esecuzione delle prove di profondità e dei pozzetti esplorativi (05.04.2022) è stata riscontrata la presenza della falda freatica alla profondità di 3,0 m dal piano campagna. Pertanto si richiede nel dimensionamento delle fondazioni e delle strutture la previsione di specifiche tecnologie di impermeabilizzazione. Si prescrive inoltre di realizzare un sistema di drenaggi interrati e perimetrali ad eventuali opere sotterranee in grado di veicolare le acque d'infiltrazione lontano dalle strutture fondazionali.
- Secondo la Tav. 2 "Carta d'inquadramento idrogeologico" del P.G.T. il settore oggetto di studio risulta compreso in "aree a vulnerabilità idrogeologica elevata, in quanto impostate in depositi alluvionali con predominanza della componente sabbiosa e sede di una falda idrica con

livello piezometrico prossimo al piano campagna. Soggiacenza in genere variabile da 1,5 a 3,5 m".

- Il territorio indagato che è interamente impostato in corrispondenza del P.G.T., se si esclude l'assolcamento vallivo del Lambro M. con fondo ribassato di pochi metri rispetto all'adiacente pianura, e non ha subito modificazioni, se non antropiche, in periodo recente è caratterizzato unicamente, con l'eccezione del Lambro M., dalla presenza di un fitto sistema di canali artificiali (rogge, cavi, ecc.), di vecchia o più recente impostazione, utilizzati per soddisfare le locali necessità irrigue agricole. Le indagini svolte, le informazioni storiche acquisite, nonché l'analisi della cartografia di pericolosità e di rischio del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), non hanno evidenziato il verificarsi di fenomeni di esondazione per piene catastrofiche dei corsi d'acqua principali. L'area in esame non rientra all'interno delle fasce fluviali evidenziate nella cartografia tematica allegata al PAI. In merito a tali aspetti, si prescrive inoltre che le acque meteoriche intercettate dalle superfici impermeabilizzate annesse agli interventi in progetto, nonché quelle provenienti dalle aree limitrofe, vengano opportunamente captate, convogliate e smaltite nella locale rete di drenaggio, previa adeguata verifica dell'idoneità del ricettore.

Per quanto riguarda le generali condizioni di stabilità dell'area allo stato attuale ed in fase esecutiva, si pone in evidenza la necessità di prevedere la realizzazione di adeguate opere di contenimento dei terreni interessati dalle operazioni di scavo ed il raggiungimento del relativo piano di fondazione, che ben si oppongano alle spinte del terreno a tergo. Gli scavi dovranno essere realizzati in periodi di scarse precipitazioni, ponendo opportuna attenzione per le pareti verticalizzate, ove potrebbero verificarsi dei dissesti, evitando lunghe esposizioni dei fronti di scavo agli agenti atmosferici.

In base a quanto ottenuto dalle indagini geologico-geotecniche e sismiche di dettaglio, realizzate nel sito oggetto di studio, si conclude positivamente l'attività svolta, ritenendo il lotto di terreno idoneo alla realizzazione dell'opera e attestando la fattibilità geologica dell'intervento progettuale.

Stante quanto indicato in precedenza, si riportano alcune prescrizioni da seguire obbligatoriamente in fase di progettazione esecutiva, di realizzazione dei lavori, nonché a fine lavori, al fine di garantire la sicurezza e la stabilità dei luoghi e delle opere in oggetto.

In fase di progettazione esecutiva si dovrà scrupolosamente rispettare quanto segue:

- il Tecnico incaricato dovrà avvalersi della collaborazione del Geologo, al fine di definire la corretta soluzione esecutiva delle opere, con attenta valutazione dell'interazione delle stesse con il terreno e della stabilità dell'area in esame e del suo intorno, alla luce degli interventi in oggetto;
- il Tecnico incaricato dovrà definire le opere di intercettazione, raccolta e smaltimento di tutti i possibili apporti idrici nell'area di cantiere ed in quella di sua influenza, garantendone il corretto recapito in idoneo ricettore.

In fase esecutiva si dovrà scrupolosamente rispettare quanto segue:

- Andrà prevista, quando necessario, la figura del Geologo, al fine di:
  - valutare eventuali problematiche di carattere geologico-tecnico ed idrogeologico emerse, non previste in fase progettuale, fornendone le adeguate soluzioni tecniche;
  - supportare la D.L. circa possibili varianti resesi necessarie in corso d'opera;

- valutare la corretta esecuzione di tutte le attività coinvolgenti la componente geologica l.s. (impermeabilizzazioni, etc.);
- effettuare un'attenta analisi visiva del terreno di fondazione per accertare la presenza di eventuali disomogeneità dello stesso e, se rilevate, fornire adeguate soluzioni esecutive atte a garantire il buon esito dell'intervento in oggetto;
- porre in essere un sistema di monitoraggio, adeguato agli interventi in esecuzione, esteso ad un congruo intorno, al fine di rilevare immediatamente l'eventuale insorgere di problematiche dissestive, così da poter attivare tempestivamente i necessari rimedi;
- evitare fenomeni di appoggio differenziato su porzioni di terreno a diverso grado di consistenza e consolidamento, il tutto al fine di evitare cedimenti o dissesti;
- al di sotto delle fondazioni in c.a., ove previste, dovrà essere gettato in opera un "magrone" di sottofondo in ghiaia o misto granulare anidro, ben costipato e livellato, od eventualmente in cls, di adeguato spessore ed estensione, con eventuale rete elettrosaldata;
- ogni fronte aperto dovrà essere adeguatamente contrastato e sostenuto dalle necessarie opere controterra, sia di tipo provvisionale che definitivo, al fine di garantire la sicurezza in fase esecutiva ed a lavori ultimati dell'area d'intervento e di un suo congruo intorno, anche in previsione di eventi di pioggia particolarmente intensi e prolungati. Nel caso si verifichino situazioni di disomogeneità, sarà necessario procedere a sistemazioni differenziate;
- i riporti, temporanei e/o definitivi, andranno depositati in aree la cui stabilità, puntuale e del loro intorno, sia stata oggetto di attenta verifica in fase esecutiva, al fine di garantire la sicurezza dei luoghi nel tempo;
- dovranno essere realizzate tutte le opere di intercettazione, raccolta e smaltimento di tutti i possibili apporti idrici nell'area di cantiere ed in quella di sua influenza, garantendone il corretto recapito in idoneo ricettore, al fine di evitare ogni possibile problematica dissestiva;
- osservare attentamente, da parte dell'Impresa esecutrice, sotto il controllo del Responsabile della sicurezza e della D.L., l'assoluto rispetto delle norme in materia di sicurezza nei cantieri;
- andranno posti in essere tutti gli interventi, gli accorgimenti e le cautele atte a garantire la sicurezza dei luoghi.

Si rappresenta che le attività professionali di cui sopra (fase di progettazione definitiva/esecutiva ed esecutiva) con riferimento a quelle di specifica competenza del Geologo, esulano dall'incarico professionale finalizzato alla stesura della presente relazione geologica.

La presente relazione costituisce adempimento alle Norme Tecniche di cui al D.M. 17.01.2018.

Si rimane a disposizione per eventuali chiarimenti in merito.

Bra, 28 Aprile 2022

ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE
MARCO TERENZI GEOLOGO
A.P. SEZ. A N. 809
ALBO PROFESSIONALE

Dott. Geol. Marco TERENZI

16. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

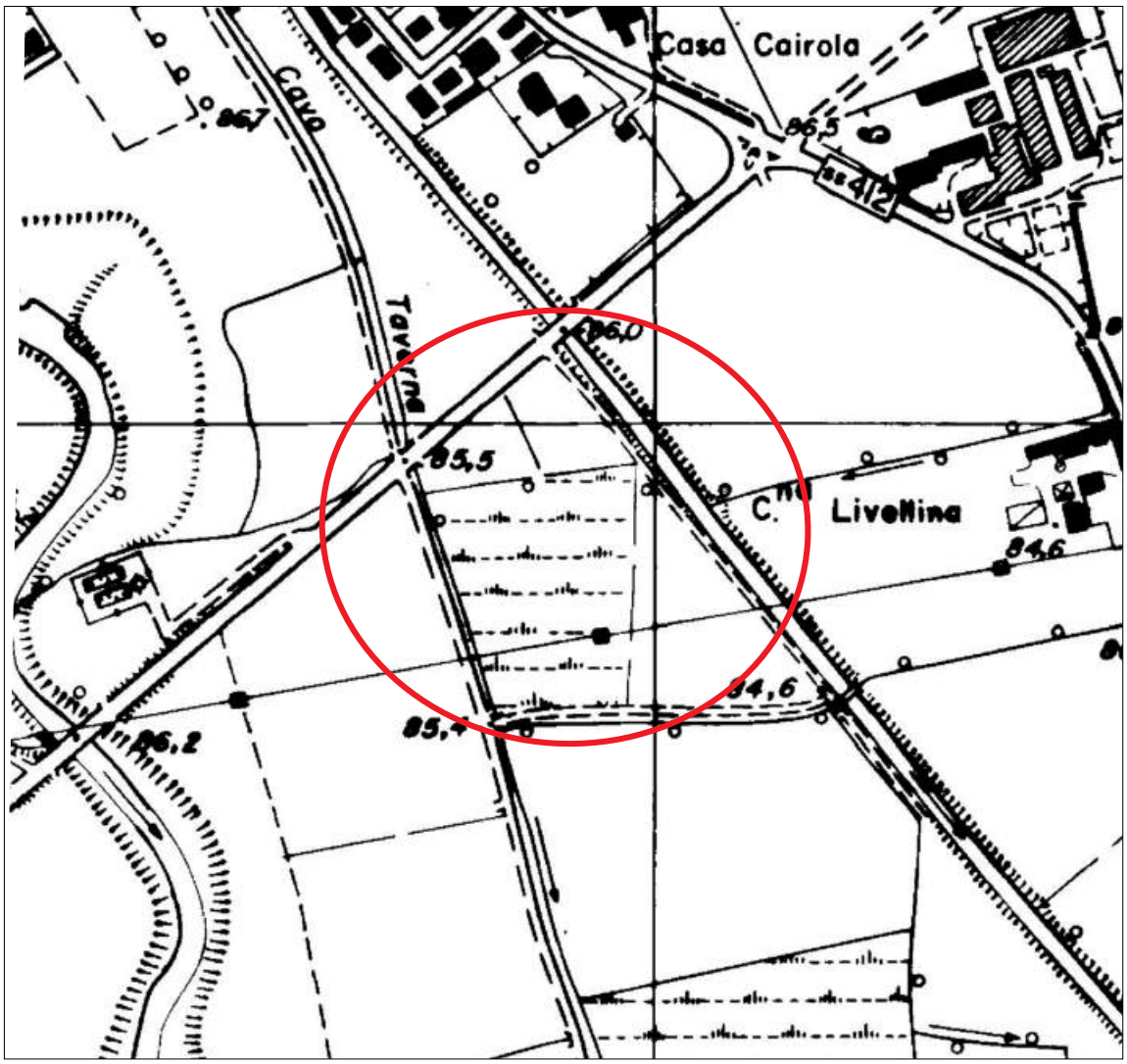
- CASADIO M. & ELMI C. (2006) “Il manuale del geologo”, Ed. Pitagora, pp. 760, Bologna.
- CESTARI F. (1990) “Prove geotecniche in sito" Ed. Geo-Graph snc. Segrate (MI).
- CELICO P. (2003) “Elementi di idrogeologia”, Ed. Liguori, pp. 145, Napoli.
- CHERUBINI C. &ORR T.L.L. (1999) “Considerations on applicability of semiprobabilistic bayesian methods to geotechnicaldesign”, XX Convegno Nazionale di Geotecnica, Parma.
- DECRETO MINISTERIALE 17.01.2018 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D. MINISTERO LL.PP. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate (...)" Suppl. Ord. alla Gazzetta Ufficiale n. 4 del 1.06.1988.
- D. MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI 14.09.2005 “Testo Unitario delle Norme Tecniche per le costruzioni” Suppl. Ord. n. 159 alla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23.09.2005.
- EN 1998-1 (rev. 2003) “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance” CEN/TC250/SC-8.
- LUPINI J.F., SKINNER A.E., VAUGHAN P.R. (1981) “The Drained Residual Strength of Cohesive Soils” Geotechnique 31, n. 2, pp 181-213.
- ORDINANZA DELLA PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI n. 3274 del 20 marzo 2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- ORDINANZA DELLA PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" Gazzetta Ufficiale n. 108 del 11.05.2006.
- P.R.G.C.
- YOUD T. L. & PERKINS D. M. (1978) “Mapping of liquefaction induced ground failure potential”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 104, n. 4, pp. 433-446.

17. ALLEGATI

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

Scala 1:5.000

N



Legenda

Ubicazione area d'indagine

ELABORATO FOTOGRAFICO

(Foto aerea dell'area in esame)

N

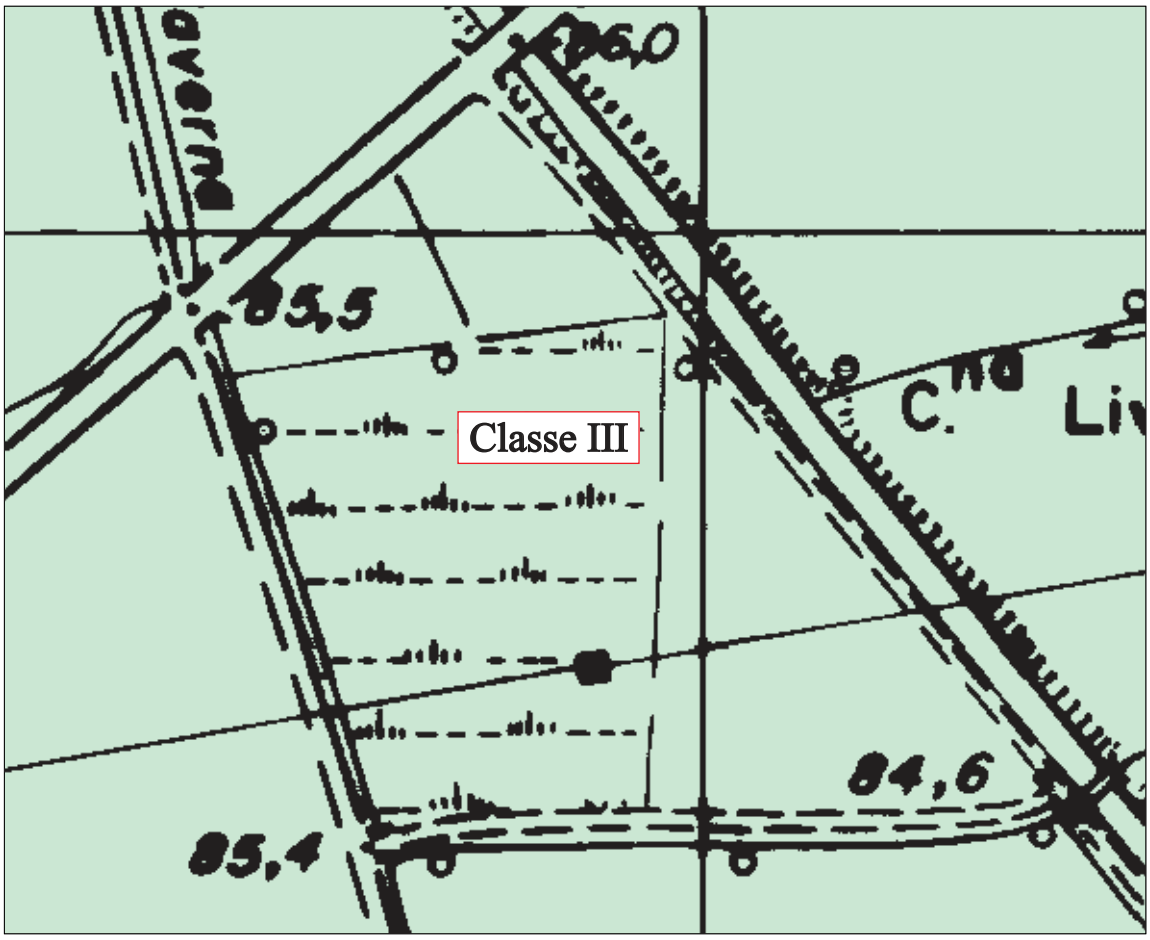
Legenda

Ubicazione area d'indagine

CARTA GEOLOGICO - TECNICA
(*con elementi geomorfologici ed idrogeologici)*

Scala 1:2.500

N



LEGENDA

Depositi pleistocenici costituiti dal ripiano del "Fluviale recente" o "Piano Generale Terrazzato della Pianura", impostato in sabbie prevalenti con lenti di limo, sopraelevato in media da 2 a 5 m rispetto al ripiano delle "Alluvioni recenti" (Estratto della Tav. 1 "Carta di inquadramento geologicogeomorfologico" del P.G.T., mod.).

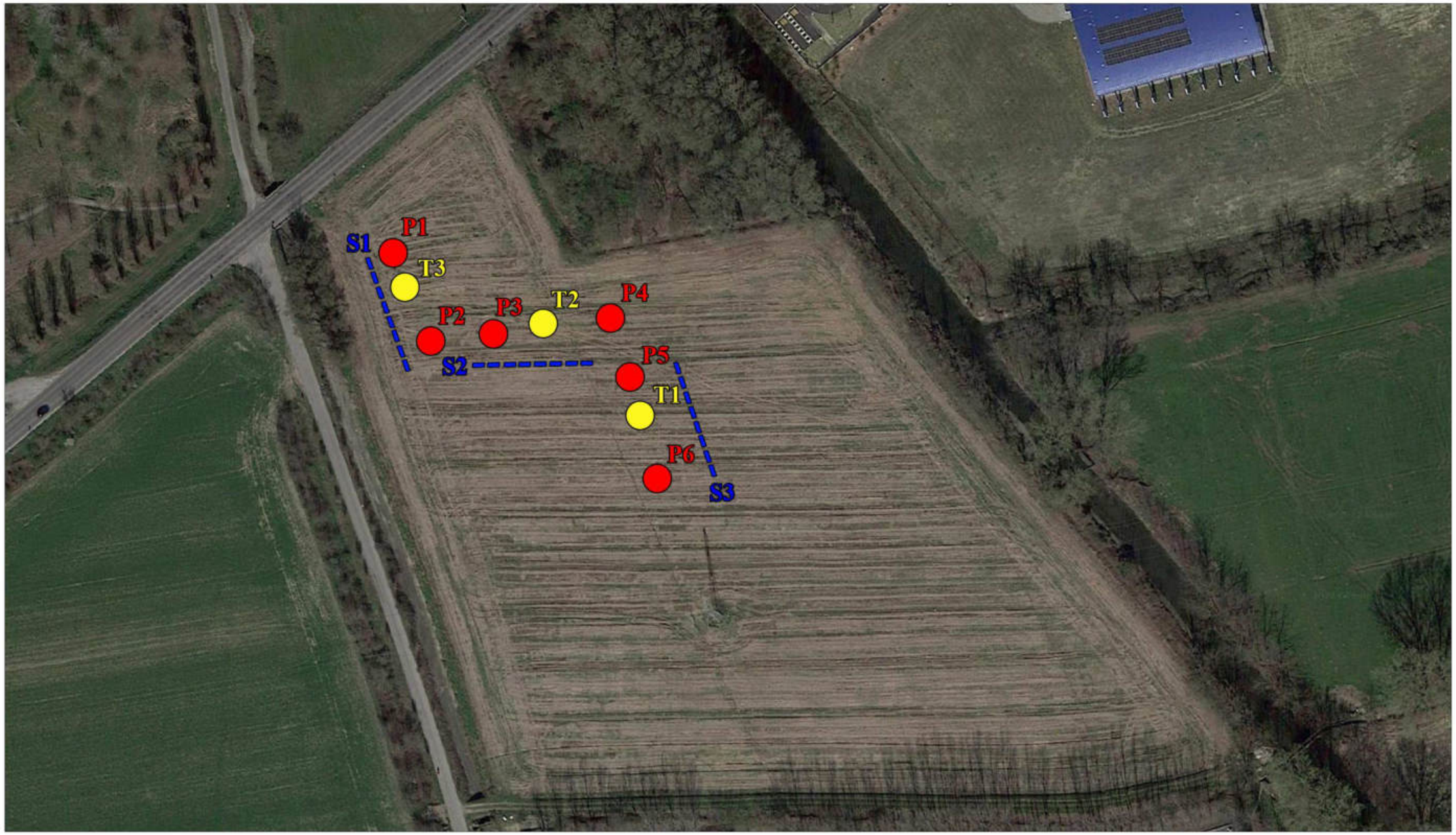
Classe III

Classe III: In questa classe ricadono le aree in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, ed in particolare all'edificabilità, per l'entità e la natura delle problematiche individuate, sia a scala locale che territoriale. Si tratta di aree contraddistinte da un più che soddisfacente grado di stabilità, ma caratterizzate da un assetto litostratigrafico segnato da marcate disomogeneità tessiturali latero-verticali, con la locale presenza di orizzonti argillosi, argillo-sabbiosi-limosi e torbosi con caratteristiche geotecniche potenzialmente scadenti (Estratto della Tav. 8 "Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano" del P.G.T., mod.).

UBICAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE - SISMICHE

Estratto di cartografia tecnica

N



LEGENDA

P1 — Ubicazione delle prove penetrometriche dinamiche eseguite.

T1 — Ubicazione dei pozzetti esplorativi eseguiti.

S1 — Ubicazione delle prove sismiche MASW eseguite.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
(indagine geologica)

Foto 1: Prova penetrometrica dinamica P1.

Foto 2: Prova penetrometrica dinamica P2.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
(indagine geologica)

Foto 3: Prova penetrometrica dinamica P3.

Foto 4: Prova penetrometrica dinamica P4.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
(indagine geologica)

Foto 5: Prova penetrometrica dinamica P5.

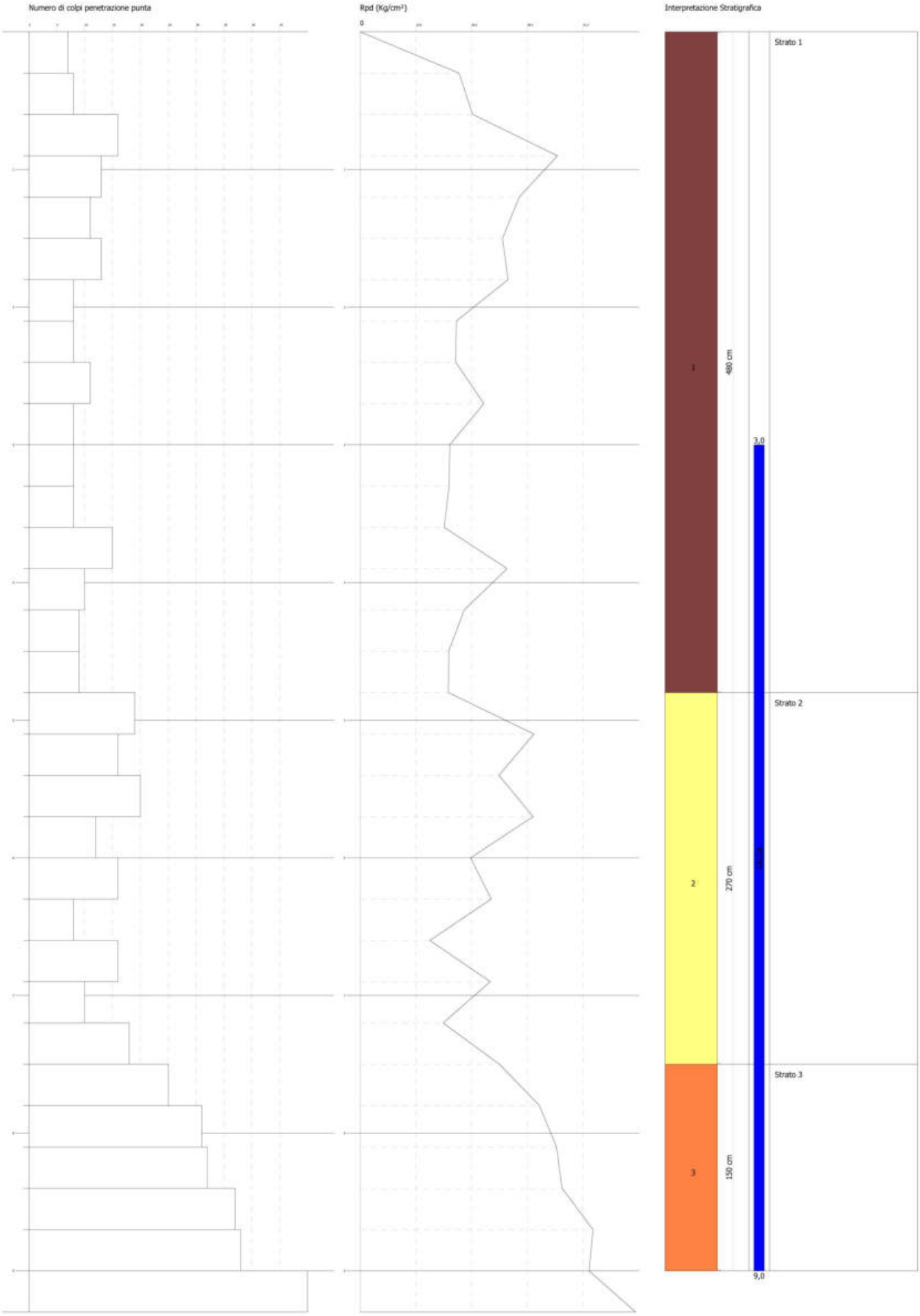
Foto 6: Prova penetrometrica dinamica P6.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1
Strumento utilizzato... DPH

Committente: Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Cantiere: Str. Provinciale, 2
Località: Landriano (PV)

Data: 05/04/2022

Scala 1:38

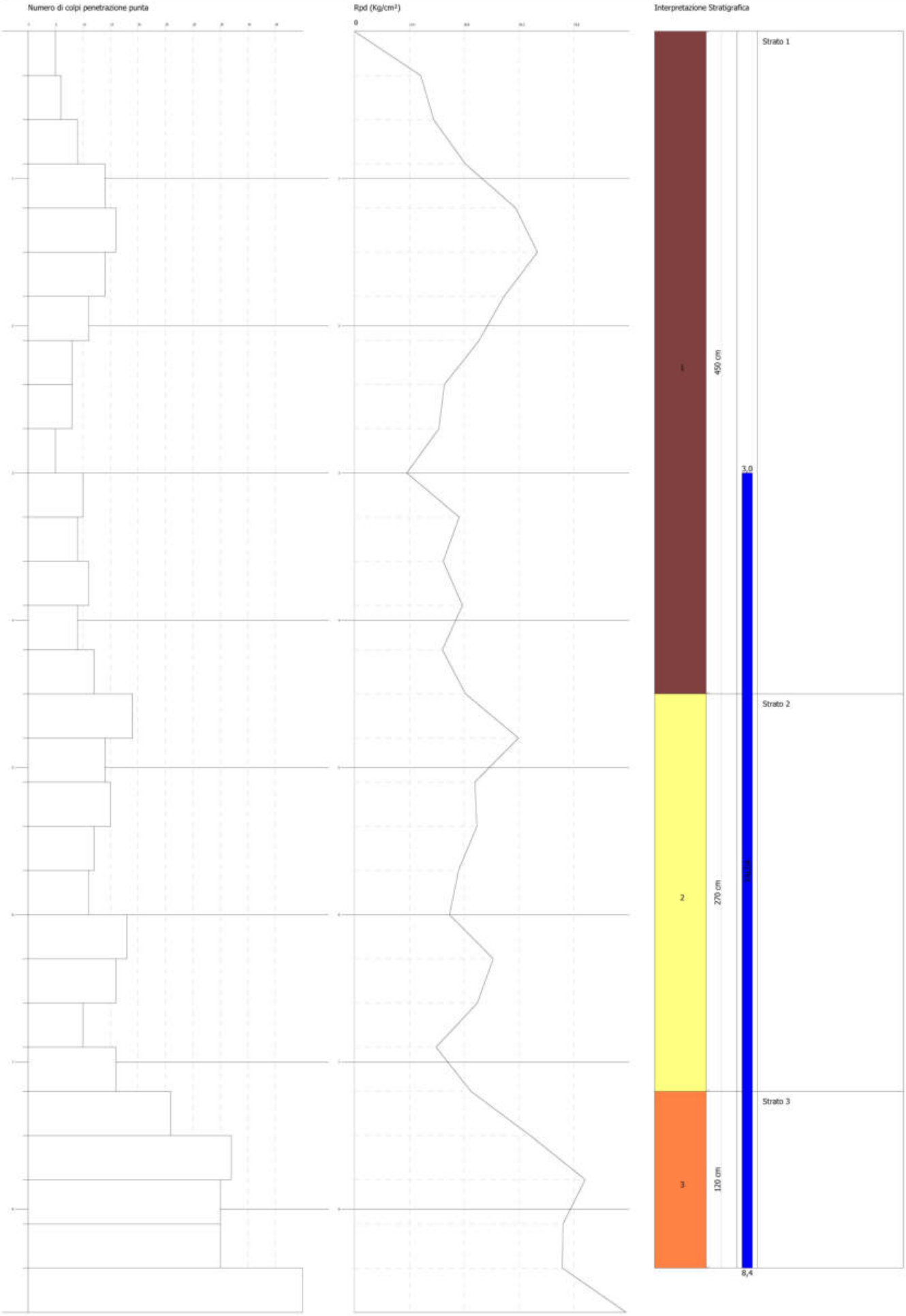


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P2
Strumento utilizzato... DPH

Committente: Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Cantiere: Str. Provinciale, 2
Località: Landriano (PV)

Data: 05/04/2022

Scala 1:35

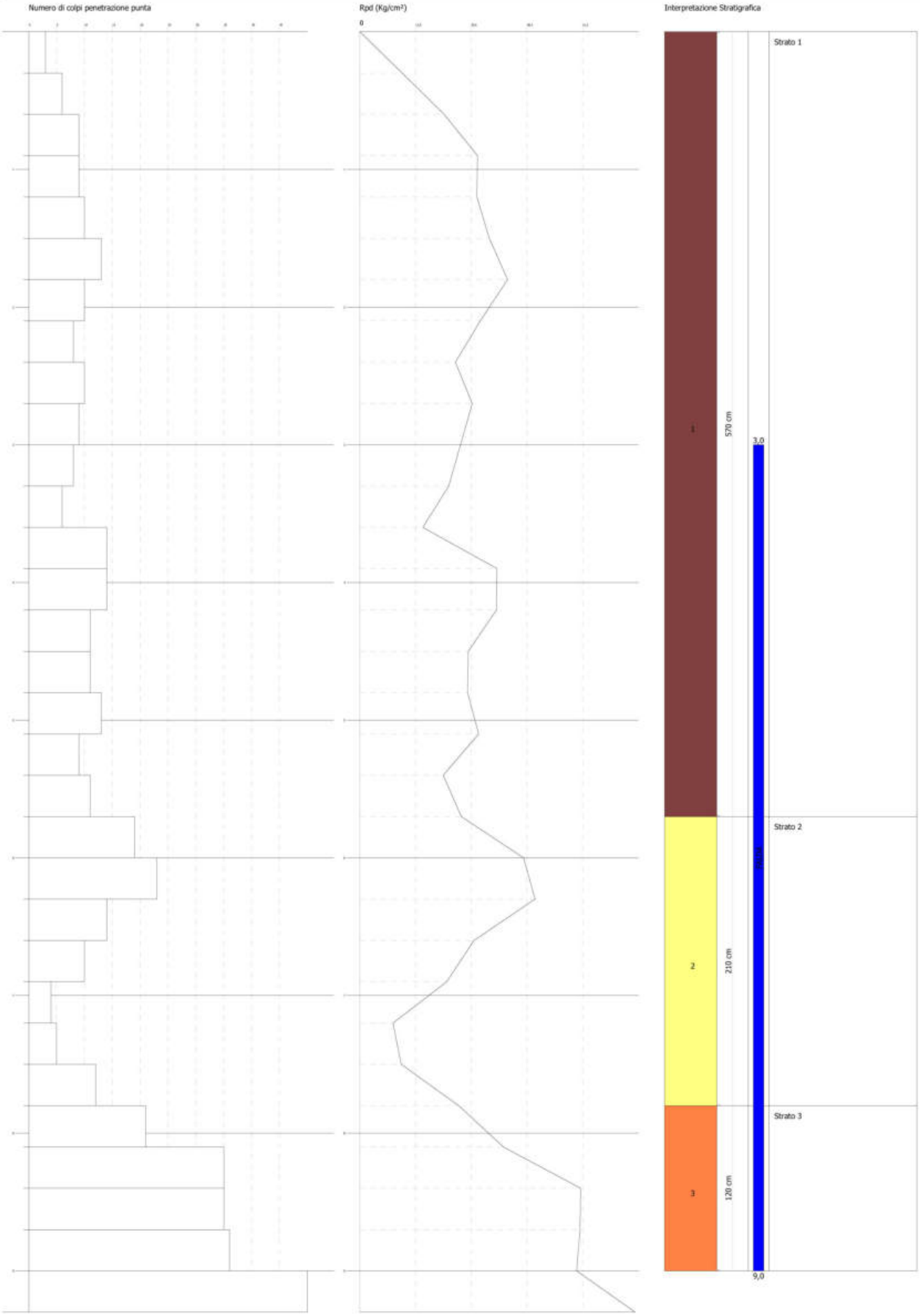


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P3
Strumento utilizzato... DPH

Committente: Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Cantiere: Str. Provinciale, 2
Località: Landriano (PV)

Data: 05/04/2022

Scala 1:38

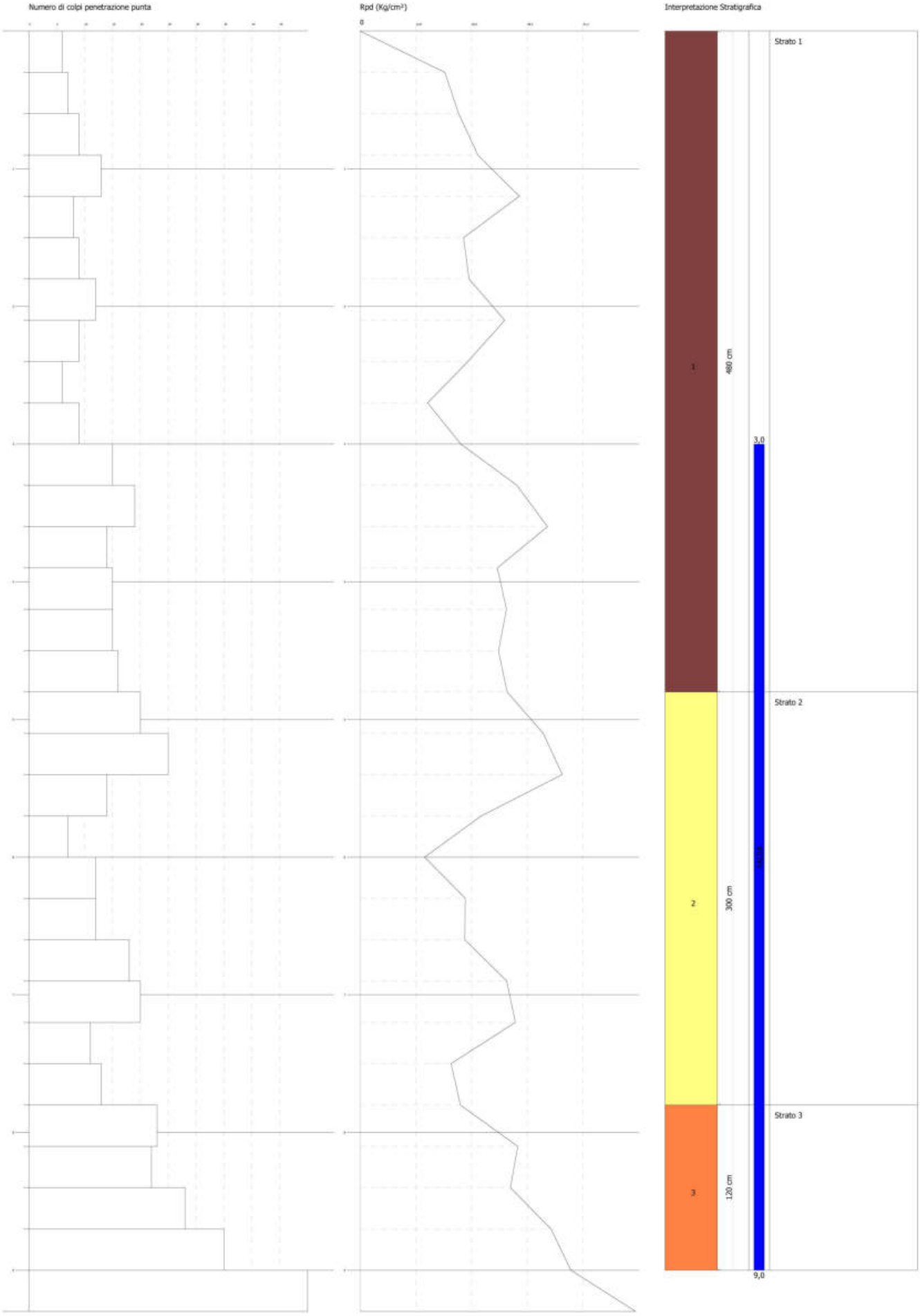


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P4
Strumento utilizzato... DPM

Committente: Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Cantiere: Str. Provinciale, 2
Località: Landriano (PV)

Data: 05/04/2022

Scala 1:38

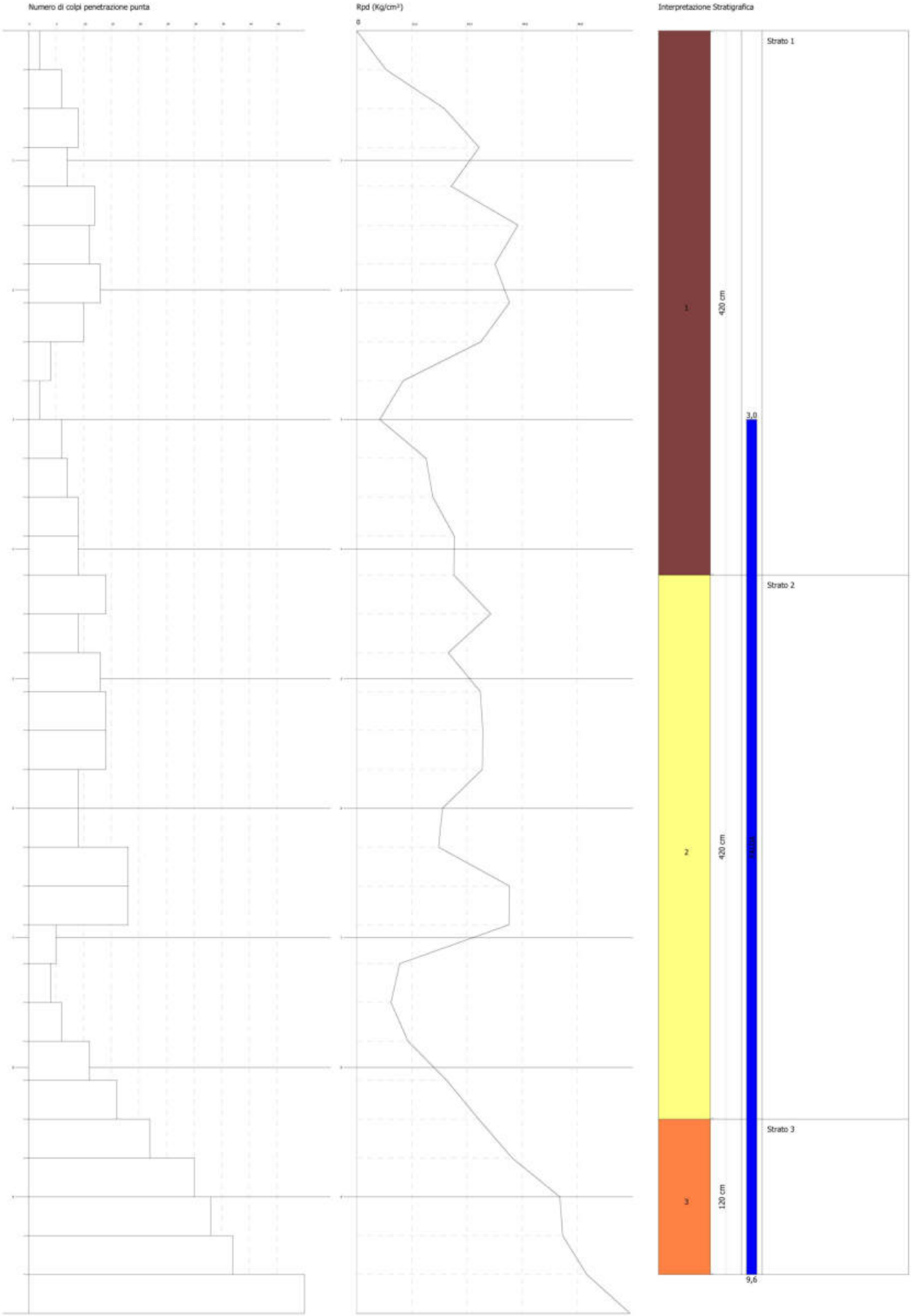


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P5
Strumento utilizzato... DPM

Committente: Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Cantiere: Str. Provinciale, 2
Località: Landriano (PV)

Data: 05/04/2022

Scala 1:40

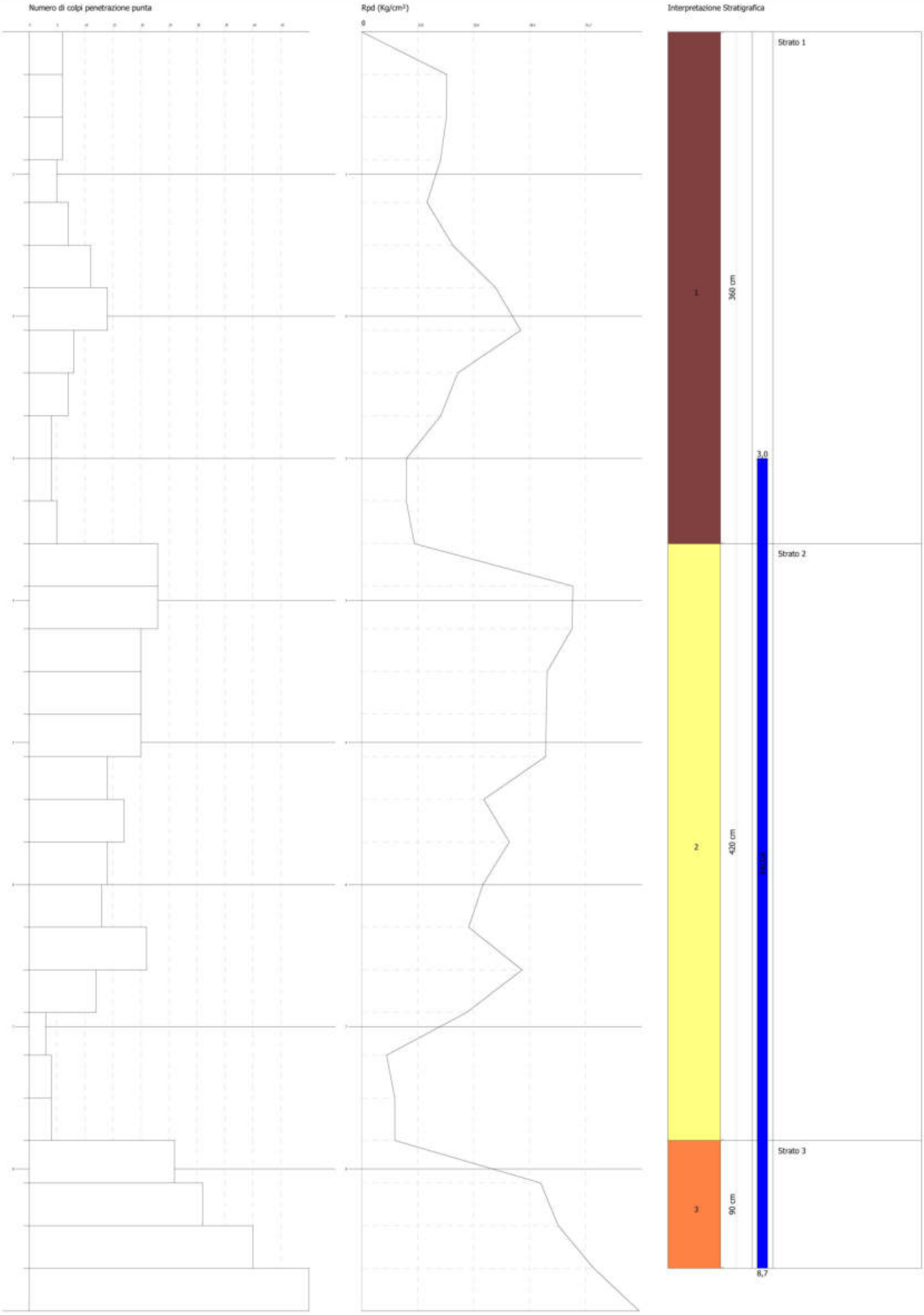


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P6
Strumento utilizzato... DPH

Committente: Spett.le IMMOBILIARE SAN DOMENICO s.r.l.
Cantiere: Str. Provinciale, 2
Località: Landriano (PV)

Data: 05/04/2022

Scala 1:37



CARATTERISTICHE DEL PENETROMETRO PESANTE DINAMICO

Penetrometro dinamico in uso: **DPH (50)**

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
LEGGERO	DPL (light)	$M \leq 10$
MEDIO	DPM (mediom)	$10 < M < 40$
PESANTE	DPH (heavy)	$40 \leq M < 60$
SUPER PESANTE	DPSH (super heavy)	$M \geq 60$

Caratteristiche tecniche: **DPH (50)**

PESO MASSA BATTENTE	M = 50,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,50 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 18,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 43,70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 15,00 cm^2
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 90°$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 0,90 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 4,83 kg
PROF. GIUNZIONE 1^A ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,30$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(30)
RIVESTIMENTO/FANGHI	NO
COEFF. TEOR. DI ENERGIA	$\beta t = Q/Qspt = 0,71$

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N]
(FORMULA OLANDESE)

$$Rpd = M2\ H/[A\ e\ (M+P)] = M2\ H\ N/\ [A\ \delta\ (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ/N
M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITÀ DI MUSURA	
1 kg/cm^2	0,098067 Mpa
1 Mpa = 1MN/m^2	10,197 kg/cm^2
1 bar = 1,0197 kg/cm^2	0,1 Mpa
1 kN = 0,001MN	101,97 kg