

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA A SUPPORTO DEL PA CONFORME AL PGT PER LO SVILUPPO DI UN IMMOBILE PRODUTTIVO NEL COMUNE DI POZZUOLO MARTESANA (MI)

Doc. Rif. L550_22 Relazione geologica geotecnica e sismica Pozzuolo Martesana_rev02.docx

del 28/07/2022

rev.01 del 30/11/2023

rev.02 del 22/10/24

COMMITTENTE:

XBT S.R.L.

IL TECNICO INCARICATO:

Dott.ssa Geol. Claudia Borelli



SOMMARIO

Premessa.....	5
1 Relazione geologica.....	6
1.1 Inquadramento geografico.....	6
2.1 Inquadramento urbanistico.....	9
2.2 Inquadramento geologico regionale.....	18
2.2.1 Caratteristiche idrogeologiche.....	25
3 PROVE DI PERMEABILITÀ.....	26
3.1 Modalità esecutiva.....	26
3.2 Risultati delle prove.....	29
4 Intervento in progetto.....	30
6 Caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni.....	31
6.1 Indagine geognostica.....	32
6.1.1 Prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH.....	32
6.2 Modello geologico del sottosuolo.....	41
6.3 Valori caratteristici dei parametri geotecnici.....	41
Relazione sismica.....	43
7 Azione sismica.....	43
7.1 Sorgenti sismogenetiche.....	44
7.2 STORIA SISMICA DI POZZUOLO MARTESANA.....	46
7.3 Rischio sismico.....	48
7.3.1 Pericolosità Sismica Locale.....	48
Risposta Sismica Locale.....	50
7.3.2 Sismica attiva MASW.....	50
7.3.3 Definizione dell'azione sismica di base.....	59

7.3.4	Definizione dell'azione sismica di base per l'area di studio	61
7.3.5	Scelta della strategia di progettazione	62
7.4	Definizione dell'azione sismica di progetto	65
7.4.1	Effetti di sito	67
8	Suscettibilità nei confronti della liquefazione	71
10	Conclusioni	73

ELENCO ALLEGATI

Allegato 1	Ubicazione delle indagini eseguite sull'area
Allegato 2	Certificati e grafici delle prove penetrometriche eseguite
Allegato 3	Prove Lefranc

PREMESSA

Su incarico di XBT S.r.l., si è proceduto alla stesura della presente Relazione geologica, geotecnica e sismica a supporto del PA in coerenza con il PGT di un immobile produttivo, localizzato lungo la strada SP 103 dir nel Comune di Pozzuolo Martesana (MI).

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle N.T.C. di cui al D.M. 17/01/2018 in vigore dal 22/03/2018, per l'adempimento delle specifiche in essa contenute, è stato eseguito un sopralluogo sull'area al fine di verificarne l'idoneità all'intervento.

Per la caratterizzazione geotecnica il giorno 14/07/22 sono state eseguite 8 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, spinte a rifiuto e che hanno raggiunto la profondità massima che varia dai 3 ai 5,6 metri dal p.c. attuale a seconda delle prove, 1 prova MASW e 1 HVSR. il giorno 25/07/2022 è stato realizzato un sondaggio fino alla profondità di 3,5 metri dal piano campagna attuale per eseguire n.2 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile all'interno del foro di sondaggio.

1 RELAZIONE GEOLOGICA

1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di intervento si trova in adiacenza alla zona industriale situata a nord dell'abitato di Pozzuolo Martesana (MI), come mostra l'ortofoto satellitare in Fig. 1.



Fig. 1 Stralcio della ortofoto satellitare a scala 1:15.000 rappresentante l'area di interesse

In Fig. 2 l'area del comparto TP3 è rappresentata sulla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10000.

L'area si presenta pianeggiante, quasi completamente a verde (attuale uso agricolo seminativo), con quote comprese tra 124 e 125 m s.l.m.

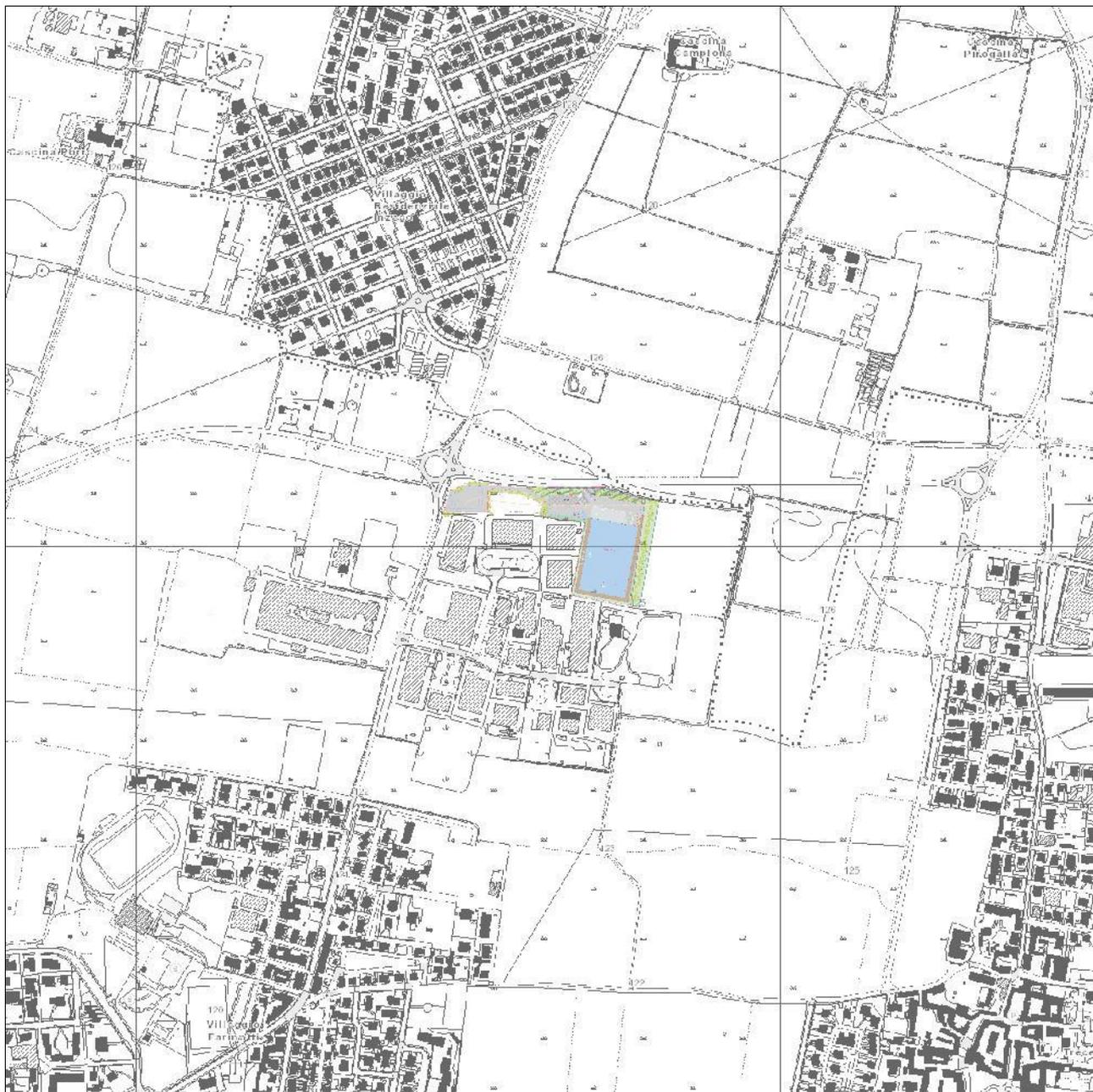


Fig. 2 Stralcio della sezione CTR a scala 1:10000 rappresentante l'area di interesse

Dal punto di vista catastale l'area ricade nel foglio 3 mappali 425 428 431p. del NCT del Comune di Pozzuolo Martesana (MI) (Fig. 3).

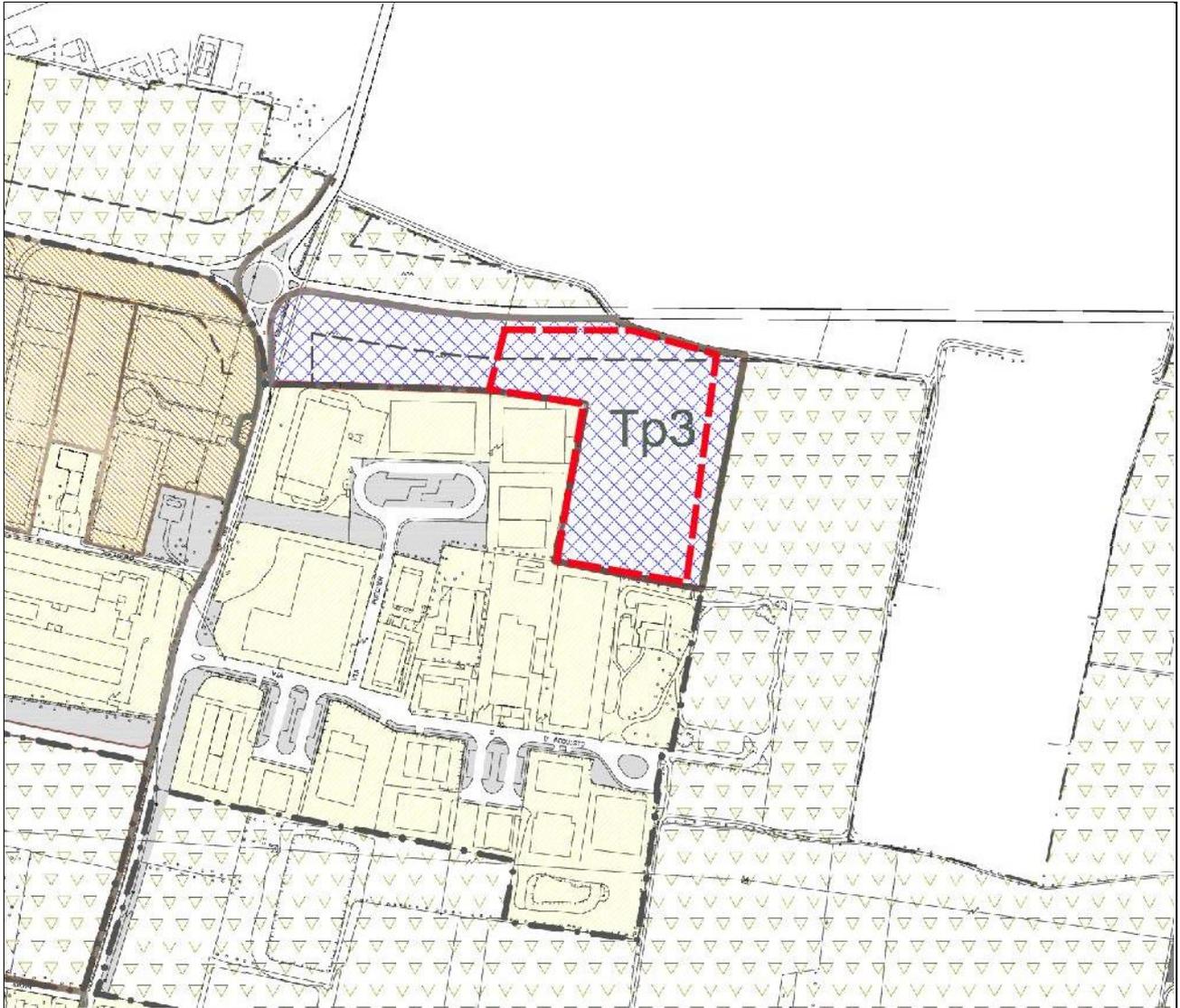


Fig. 3 Stralcio della carta catastale rappresentante l'area di interesse scala 1:2500 (fonte Ag. Entrate)

La quasi totalità dell'area al momento è a verde, in prossimità della zona industriale del comune.

2.1 INQUADRAMENTO URBANISTICO

Secondo il PGT del Comune di Pozzuolo Martesana l'area in questione è contraddistinta dalla sigla "Ambiti di Trasformazione per la crescita delle funzioni produttive".



SISTEMA DELLO SPAZIO COSTRUITO

Città da Trasformare

 Ambiti di Trasformazione per la crescita delle funzioni produttive

Ambiti disciplinati dal Piano delle Regole

 Ambiti Consolidati

 Ambiti da Consolidare

SISTEMA DELLO SPAZIO APERTO

 Ambiti agricoli

SISTEMA INFRASTRUTTURALE

 Viabilità locale esistente

 Fasce di rispetto delle strade, cimitero, pozzi, ferrovia

Fig. 4 Estratto dal PGT Pozzuolo Martesana Documento di Piano DP 14 – Atlante delle previsioni

L'area in esame si colloca tra ambiti già consolidati a sud e ad ovest con la presenza di edifici adibiti alla produzione industriale e ambiti agricoli con diversi campi coltivati sia a nord che a ovest l'area si affaccia su una viabilità principale del comune, la SP 130 dir.

Il PGT classifica l'area come *Ambito di Trasformazione per la crescita delle funzioni produttive*, classificandolo nell'ambito dello "spazio costruito" considerata la sua posizione in adiacenza rispetto all'area artigianale esistente.

La porzione nord dell'ambito ricade nella fascia di rispetto stradale, e l'ambito confina parzialmente sempre sul lato nord con le fasce afferenti al reticolo idrico principale Fig. 5.

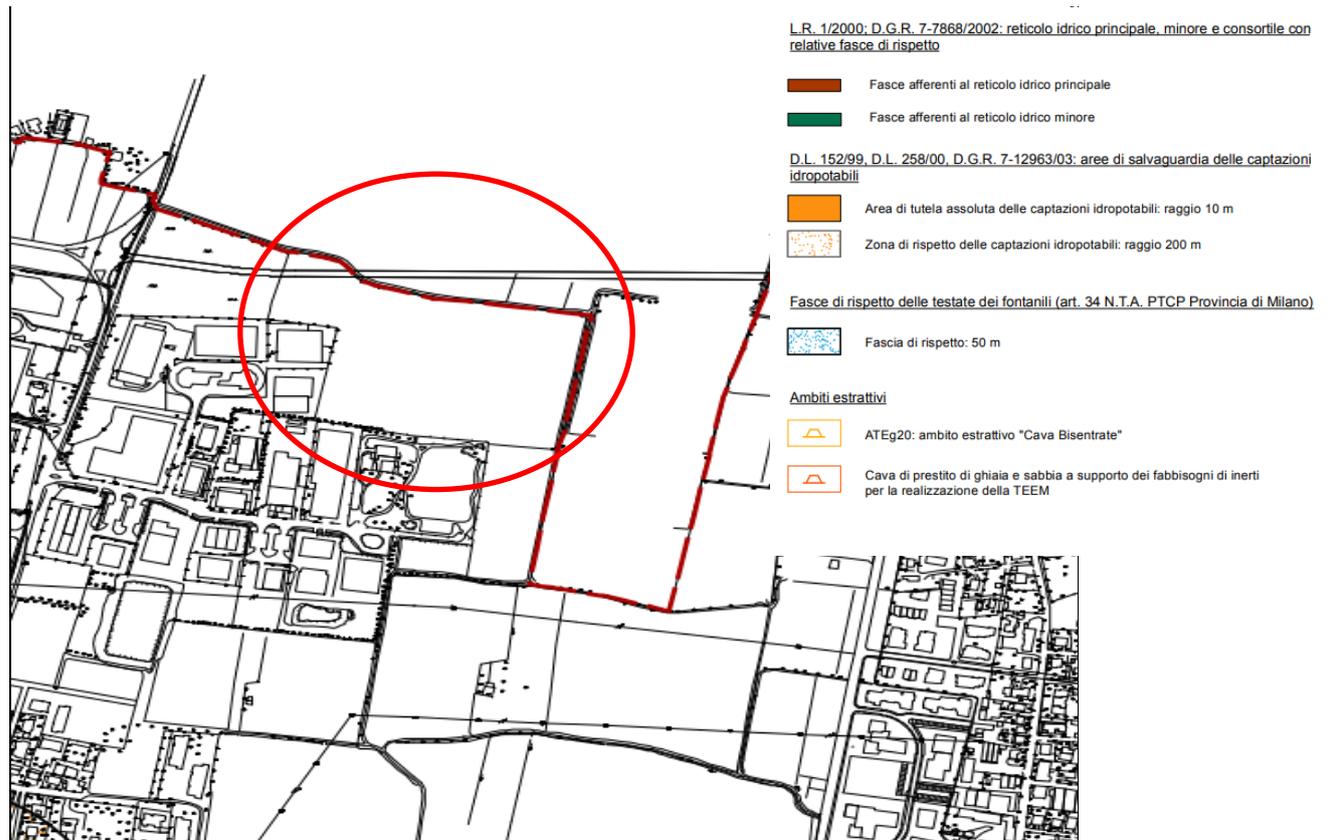
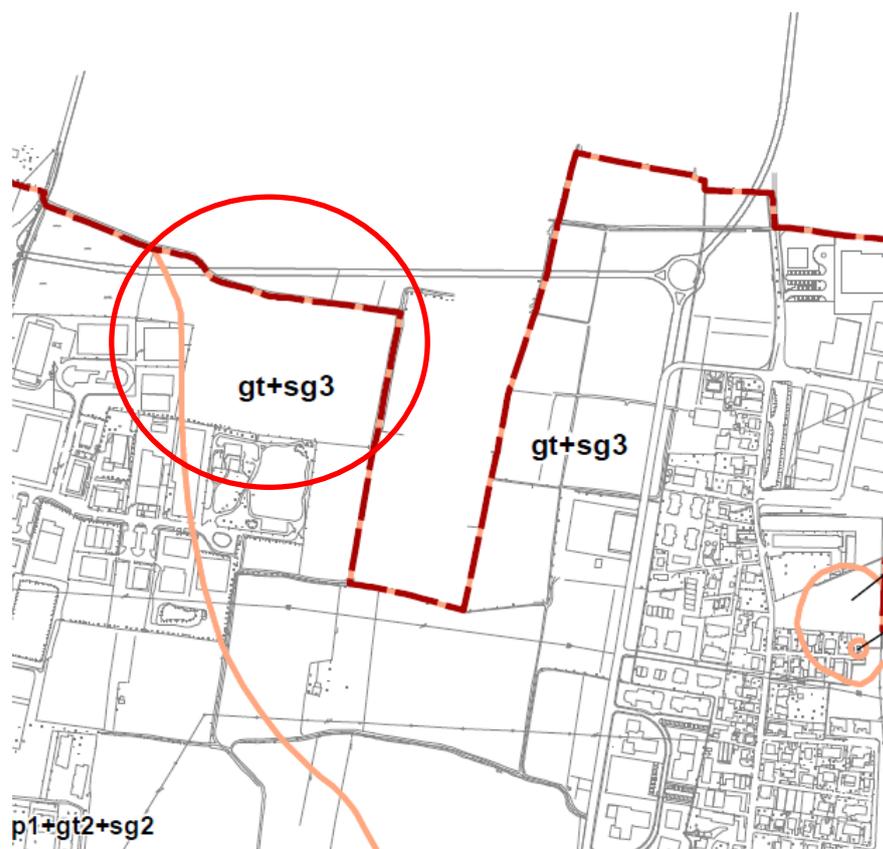


Fig. 5 Estratto della carta dei vincoli Tav. II del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana



Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

- f** Area adiacente a corsi d'acqua che deve essere tenuta libera da manufatti per consentire l'accessibilità dei mezzi per la manutenzione e/o la realizzazione di eventuali opere di difesa spondale. Fasce di rispetto del reticolo idrico principale e minore.

Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

- sg1** Area a elevata vulnerabilità dell'acquifero freatico, con soggiacenza della falda inferiore a 2 metri.
- sg2** Area a elevata vulnerabilità dell'acquifero freatico, con soggiacenza della falda compresa tra 2 e 10 metri.
- sg3** Area a medio-alta vulnerabilità dell'acquifero freatico, con soggiacenza della falda maggiore di 10 metri.
- pz1** Area di tutela assoluta delle opere di captazione a uso idropotabile.
- pz2** Area di rispetto delle opere di captazione a uso idropotabile.

Aree che presentano particolari caratteristiche geotecniche

- gt** Area prevalentemente ghiaiosa sabbiosa con discreta-buona capacità portante.

Aree di particolare interesse geomorfologico, scientifico, naturalistico ed educativo

- fon** Ambito di tutela paesaggistica delle teste dei fontanili.

Ambiti estrattivi

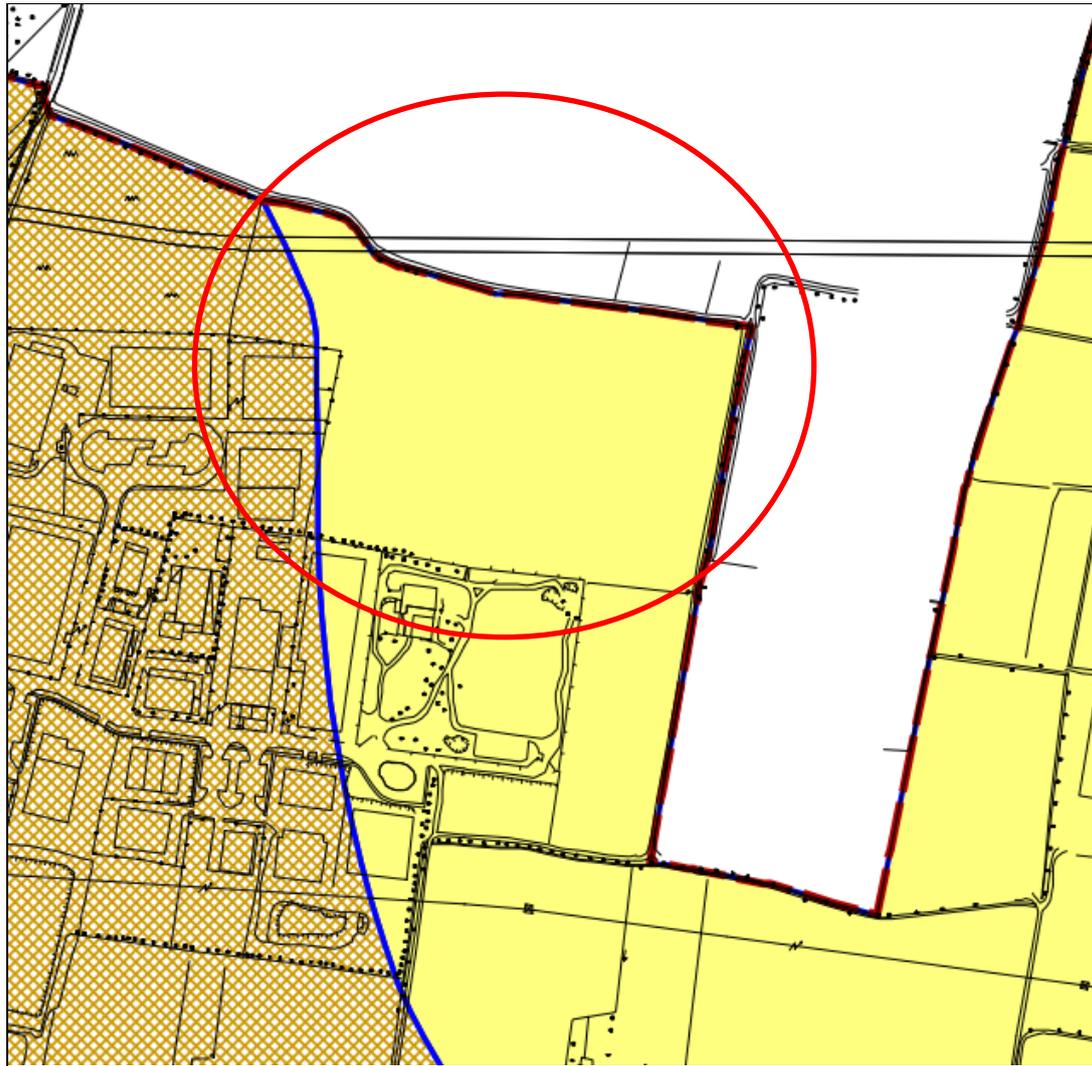
- ae** Ambito destinato alla coltivazione di materiale sciolto destinato alle costruzioni, ghiale e sabbie.

Fig. 6 Estratto della Carta delle vulnerabilità geologica idrogeologica e sismica tratta dal PGT del Comune di Pozzuolo Martesana

In Fig. 6 è riportato uno stralcio della carta delle vulnerabilità geologiche idrogeologiche e sismiche del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana: l'ambito è definito come area gt+sg3.

Tali sigle corrispondono a vulnerabilità idrauliche o geotecniche: gt comprende tutte le aree con presenza di depositi sabbiosi e ghiaiosi con capacità portante discreta/buona; sg3 comprende tutte le aree con una vulnerabilità idrogeologica dell'acquifero freatico medio-alta e soggiacenza della falda maggiore di 10 metri.

Per quanto riguarda la classe di fattibilità geologica Fig. 7, l'area in oggetto ricade per la maggior parte nella classe 2 e per una minima parte nella classe 3b. Queste due classi sono descritte in maniera dettagliata nelle Norme Tecniche per l'attuazione COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO ai sensi della D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011.



Classi di fattibilità geologica



Fig. 7 Estratto dalla Tav. 9 Fattibilità geologica del PGT Comune di Pozzuolo Martesana

La classe 2 di fattibilità geologica corrisponde ad una classe in cui in cui si esprime una fattibilità con modeste limitazioni dovuta alle mediocri proprietà meccaniche del primo sottosuolo ed alla soggiacenza della falda freatica, il cui livello si trova normalmente a profondità maggiore di 10 metri. La vulnerabilità dell'acquifero è medio-alta per la scarsa protezione dalla superficie, legata alla presenza di terreni granulari ad alta permeabilità. L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di studi che approfondiscano la conoscenza dei parametri meccanici del sottosuolo e della situazione idrogeologica locale. Tali studi potranno essere supportati da indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basati sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato. Allo scopo di proteggere le acque sotterranee le richieste di concessione edilizia dovranno contenere: un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione; un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e relativi criteri costruttivi.

Mentre per quanto riguarda la classe 3b essa esprime una fattibilità con consistenti limitazioni dovuta alla vulnerabilità dell'acquifero freatico e a una soggiacenza della falda compresa tra 2 e 10 metri dal piano campagna. L'utilizzo delle aree ricadenti in questa classe è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale al fine di prevedere, già in fase progettuale, quegli accorgimenti tecnici necessari a garantire la salubrità dei locali e mitigare il rischio di contaminazione della falda. Si applicano altresì le prescrizioni di cui alla classe 2 per la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.

La presente relazione approfondisce gli aspetti indicati dal PGT; per quanto riguarda la porzione ricadente nella classe 3b, il progetto non prevede per quella porzione la realizzazione di fabbricati.

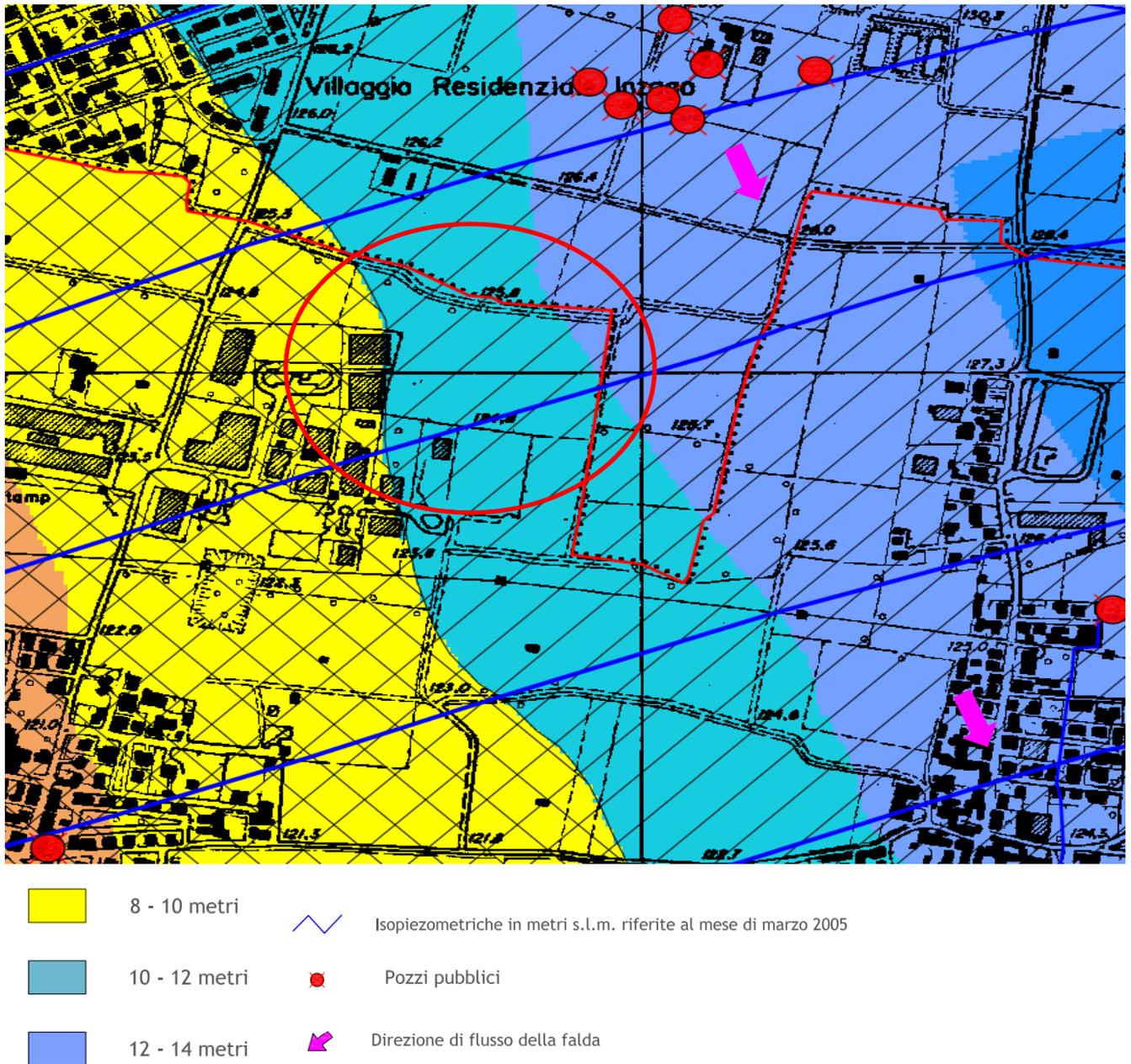


Fig. 8 Estratto dalla Tav. 6 Piezometria, soggiacenza del PGT Comune di Pozzuolo Martesana

L'andamento della falda è rappresentato nella Fig. 8, nella quale si riconosce il condizionamento sulla piezometrica determinato dall'emungimento dai pozzi. È possibile notare che l'area è attraversata dalle isopieze 116,5 m s.l.m. e 115,5 m s.l.m. la direzione di flusso è indicata dalle frecce viola e definisce anche l'andamento delle linee piezometriche che risulta calante da nordovest a sudest. La soggiacenza della prima falda, ovvero la profondità della

tavola d'acqua dal piano campagna, è compresa tra 8 e 14 m s.l.m. Non si hanno informazioni in merito alle eventuali oscillazioni stagionali.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La Pianura Padana nel suo insieme rappresenta l'espressione morfologica di superficie del Bacino Padano, un bacino sedimentario di età terziaria, compreso tra le strutture alpine (a vergenza meridionale) e le strutture appenniniche (a vergenza settentrionale) Fig. 9.

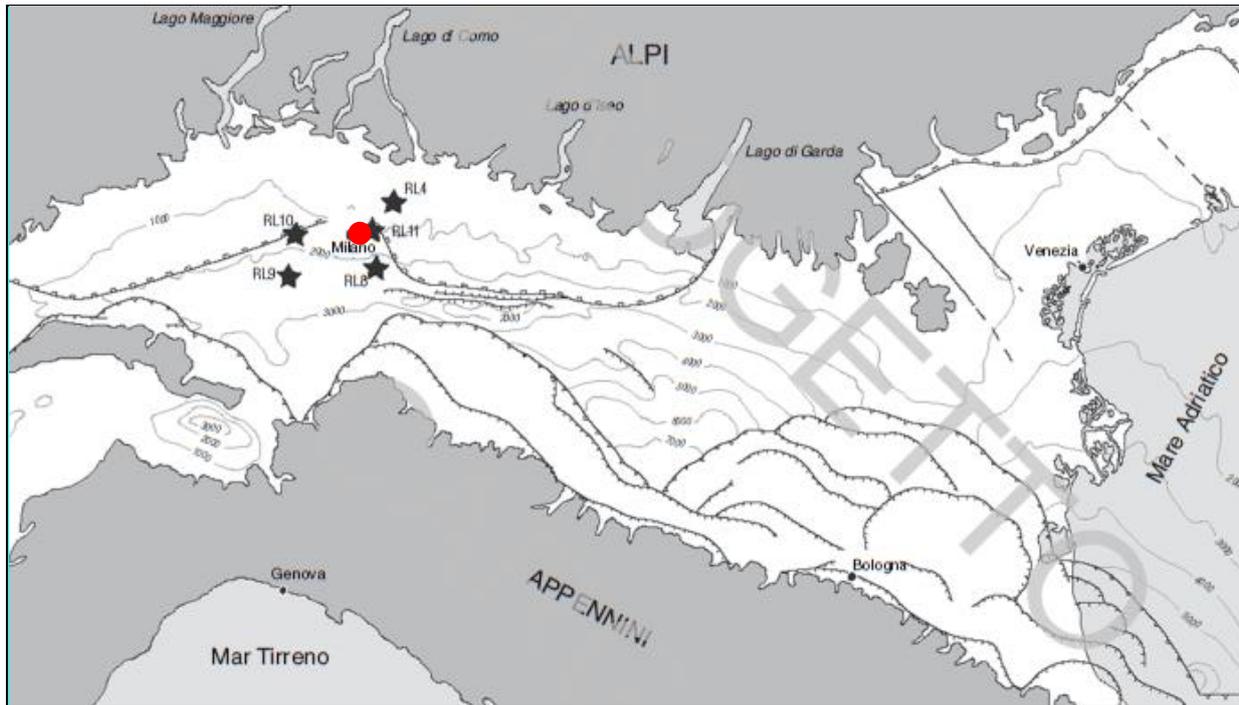


Fig. 9 Schema strutturale semplificato della Pianura Padana, con indicazione dei sondaggi CARG e Regione Lombardia utilizzati per la realizzazione del Foglio 118

La storia tettonica che lo ha interessato ha determinato, assieme alle variazioni climatiche succedutesi nel tempo, l'architettura dei suoi depositi.

La successione sedimentaria plio-pleistocenica del Bacino Padano ha un carattere complessivamente regressivo: alla base sono presenti depositi torbiditici di mare profondo, ricoperti da un prisma sedimentario progradante sia assialmente, in quanto legato all'azione del paleo Po, che trasversalmente, originato dai depositi dei sistemi alpini ed appenninici.

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettonico-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e ridotta attività delle strutture compressive. Le successioni di sedimenti di età plio-quadernaria che costituiscono la pianura lombarda, ricoprono in discordanza il substrato più antico, interessato dalla tettonica compressiva protrattasi fino al miocene

superiore, lungo il bordo pedemontano e collinare delle Alpi meridionali lombarde, prospiciente la pianura padana. A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo, si registra un sensibile spostamento verso NE del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino Padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde nord appenniniche e ai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini.

Possibili riattivazioni tarso-quaternarie del fronte sud-alpino

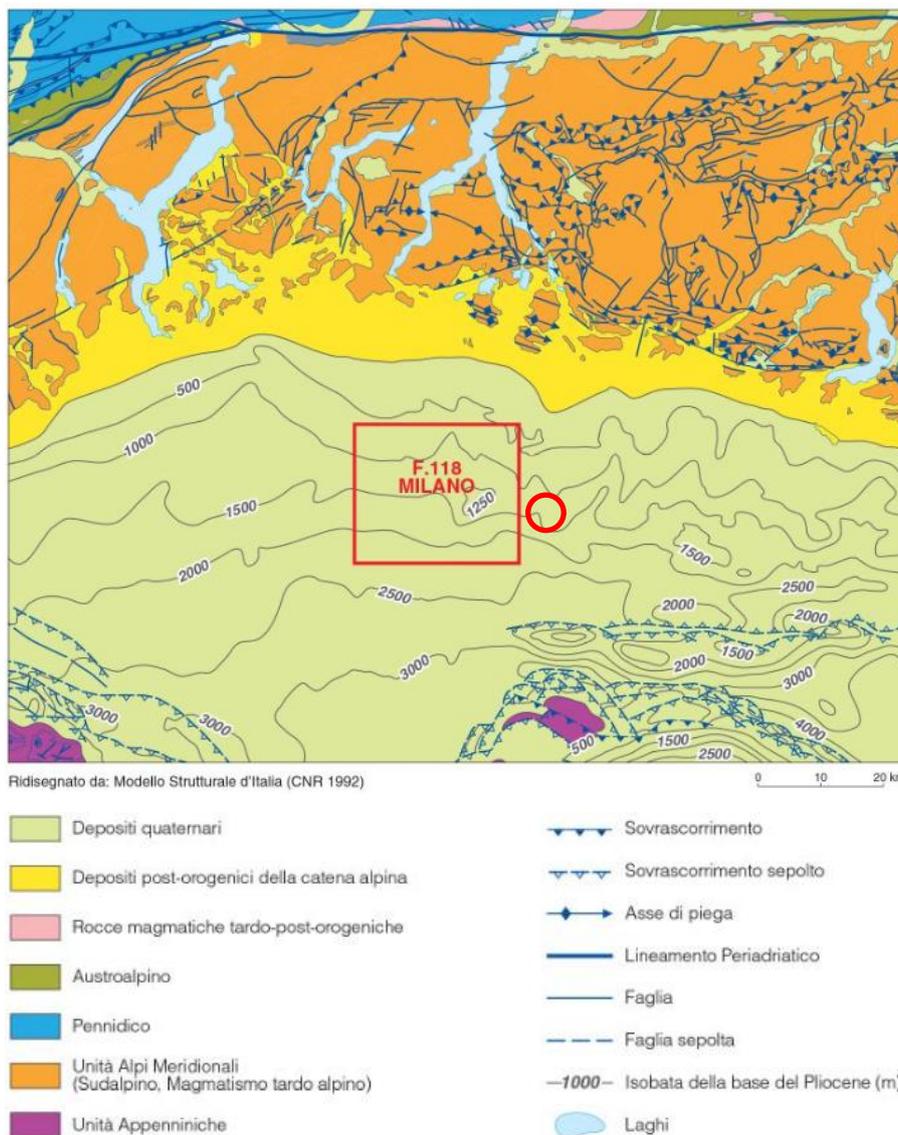
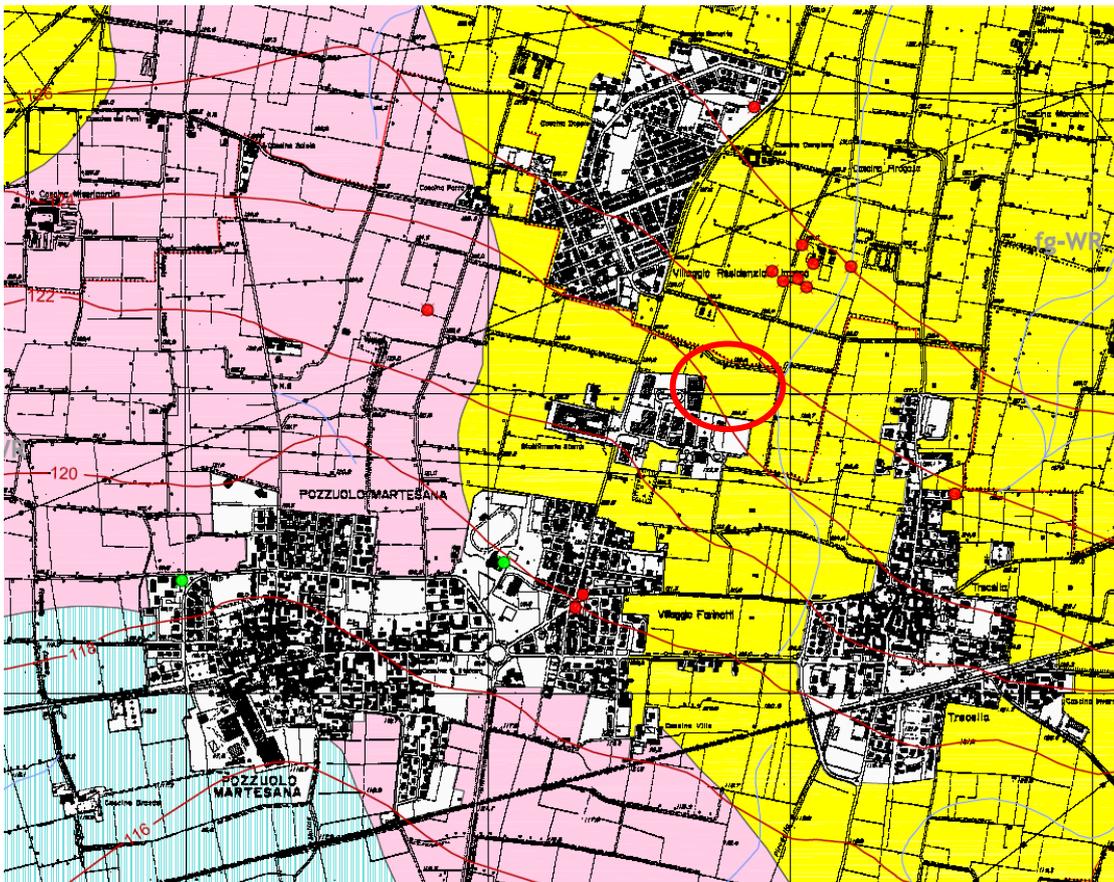


Fig. 10 Inquadramento regionale

A livello geologico l'area ricade poco distante dal margine dell'area descritta del Foglio 118. Per mancanza di dati bibliografici relativi al foglio 119 Treviglio (foglio di appartenenza dell'area in esame) la descrizione geologica dell'area è stata condotta avvalendosi di dati ricavati dal foglio 118 , considerata l'analogia delle formazioni affioranti; si è inoltre fatto riferimento alla relazione geologica del PGT del comune di Pozzuolo Marchesana. Come è possibile osservare in Fig. 10 l'area del foglio 118 e, in generale, quelle limitrofe appartenenti alla pianura padana, sono caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali quaternari legati all'attività dei corsi d'acqua del bacino Lambro, Seveso, Olona e Adda. Una prima distinzione tra tali depositi può essere effettuata su base morfologica, distinguendoli per differenti livelli topografici, dal più al meno elevato, ognuno corrispondente a una o più unità geologiche:

- 1) sistema dei terrazzi dell'Alta Pianura;
- 2) livello modale della pianura;
- 3) sistema delle valli fluviali.



-  Confini amministrativi
-  Paleoalveo fluviale
-  Orlo di terrazzo di erosione fluviotorrentizia
-  Curve di livello s.l.m.
-  Pozzi pubblici
-  Piezometri

fg-WR: Alluvioni fluvio-glaciali sabbiose e ghiaiose wurmiane

Alta pianura

-  Ghiaie poco gradate
-  Ghiaie ben gradate con limo e sabbia
-  Sabbie limose con ghiaia

Media pianura idromorfa

-  Ghiaie ben gradate con sabbia
-  Sabbie poco gradate con limo
-  Ghiaie poco gradate con argille e sabbie - Ghiaie ben gradate con limo e sabbia

Bassa pianura idromorfa

-  Sabbie poco gradate

Pianure alluvionali attuali e recenti

Fig. 11 Estratto della carta geologica del PGT del comune di Pozzuolo Martesana

L'ambito di maggior estensione è il livello modale della pianura: con questo termine si intende la superficie pianeggiante di maggior estensione, apparentemente omogenea e priva di significative discontinuità morfologiche (ad eccezione di quelle delle valli fluviali) che si estende tra quota 200 e 100 m s.l.m. circa. L'area di Pozzuolo Martesana appartiene alla pianura modale, si colloca tra le quote di 128 e 116 m s.l.m., con pendenza verso sud. I depositi presenti sono prevalentemente grossolani (ghiaie e sabbie prevalenti), testimoni di un ambiente fluviale tipo *braided*. La piana è solcata dalle incisioni (valli fluviali) dei principali corsi d'acqua, che rappresentano le fasi più recenti dell'evoluzione della pianura, riconducibili al tardo Pleistocene superiore e all'Olocene. All'interno degli alvei sono confinati sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi nel settore nord, passanti a sabbioso-limosi in quello meridionale. Analizzando più in dettaglio la carta geologica del PGT è possibile notare che l'area oggetto del presente studio è caratterizzata dalla presenza di ghiaie poco gradate.



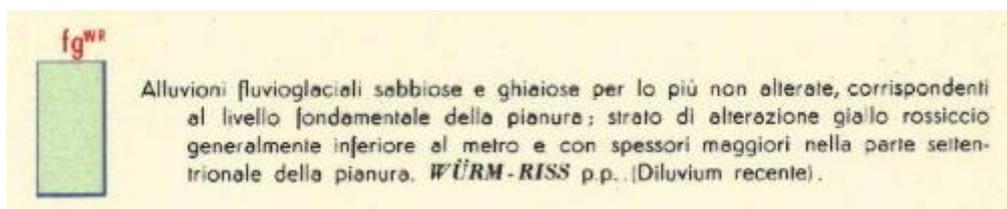
fg-WR: Alluvioni fluvio-glaciali sabbiose e ghiaiose wurmiane

Alta pianura

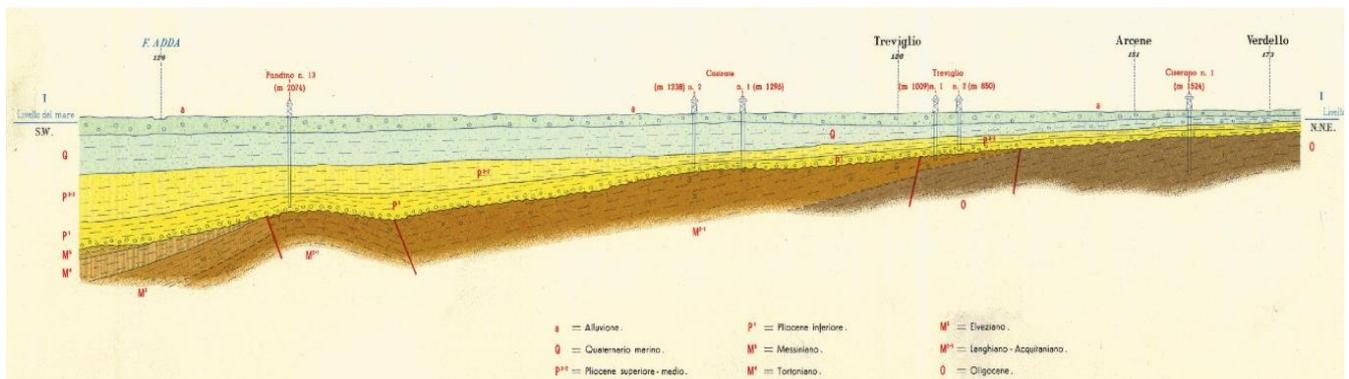
Ghiaie poco gradate

Fig. 12 Dettaglio della carta geologica ricavata dal PGT del comune di Pozzuolo Martesana
Rappresentante l'area di studio

Questi terreni derivano dall'attività fluvioglaciale dell'ultima era glaciale (Wurm 110.000-12.000 anni fa); tale aspetto permette di confermare le caratteristiche geologiche regionali descritte nelle pagine precedenti. Analizzando la Carta Geologica d'Italia foglio 46 Treviglio si conferma la presenza di ghiaie fluvioglaciali Wurmiane.



Si riporta inoltre una delle sezioni a scala 1:100.000 correlate al foglio 46 per descrivere in maniera generale gli spessori di questi depositi. La sezione in questione è la sez. I che si estende da Sud Ovest a Nord Est. Per quanto riguarda i terreni caratterizzanti l'area di interesse, essi rappresentano la parte sommitale della successione e presentano degli spessori variabili da 300/250 metri in prossimità dell'alveo fluviale del Fiume Adda fino a 100/150 m nel margine Nord Est della sezione.



Sezione I del Foglio 46 Treviglio della Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000

2.2.1 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per le caratteristiche idrogeologiche dell'area di interesse, non essendoci dati bibliografici relativi a sezioni idrogeologiche o note illustrative che descrivano il sottosuolo dell'area si è provveduto all'utilizzo degli elaborati del PGT del comune di Pozzuolo Martesana relativi alla piezometria e alla soggiacenza. L'andamento della falda è rappresentato nella Fig. 13, nella quale si riconosce il condizionamento sulla piezometrica determinato dall'emungimento dai pozzi. È possibile notare che l'area è attraversata dalle isopieze 116,5 m s.l.m. e 115,5 m s.l.m. la direzione di flusso è indicata dalle frecce viola e definisce anche l'andamento delle linee piezometriche che risulta calante da nord est a sud ovest. La soggiacenza della prima falda, ovvero la profondità della tavola d'acqua dal piano campagna, è compresa tra 8 e 14 m s.l.m. Non si hanno informazioni in merito alle eventuali oscillazioni stagionali.

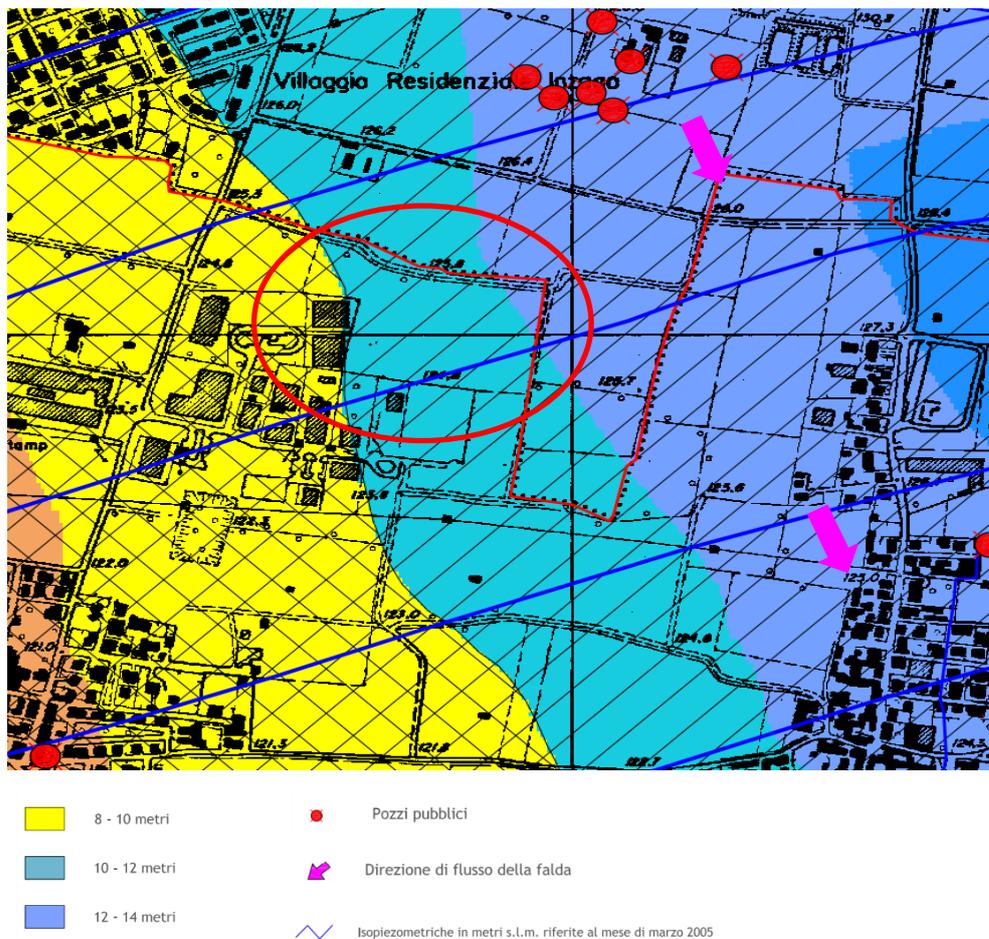


Fig. 13 Carta delle caratteristiche idrogeologiche ricavata dal PGT del Comune di Pozzuolo Martesana

3 PROVE DI PERMEABILITÀ

Al fine di determinare la permeabilità dei terreni alle profondità delle eventuali vasche di laminazione, sono state eseguite n.2 prove di permeabilità in foro a carico variabile.

Le prove di permeabilità sono state eseguite a profondità di -2,25 m e -3,25 m dal piano campagna attuale.

I sondaggi sono stati eseguiti utilizzando una con una sonda Geomarc modello Gm600.

3.1 MODALITÀ ESECUTIVA

La prova Lefranc è stata preceduta dall'allestimento della tasca di prova, secondo le seguenti modalità esecutive:

- misura del livello di falda nel tratto di prova, con freatimetro elettrico;
- installazione del rivestimento nel foro fino al “tetto” della tasca di prova, avendo cura di approfondire gli ultimi 30cm di rivestimento con modalità di avanzamento “a secco”.
- perforazione a secco con carotiere fino alla quota di prova;
- inserimento nella tasca di prova di ghiaia pulita fino a riempire l'intero spessore della tasca.

Dove presente una doppia batteria di rivestimenti nel foro, l'allestimento della tasca di prova è stato eseguito nel seguente modo:

- perforazione con carotiere fino alla base del tratto da misurare;
- rivestimento del foro fino alla quota raggiunta dalla perforazione, con acqua pulita come fluido di circolazione a bassa pressione e modesta portata;
- inserimento nella colonna di rivestimento di ghiaia ben lavata;
- sollevamento della batteria di rivestimento;
- misura del livello d'acqua nel foro;

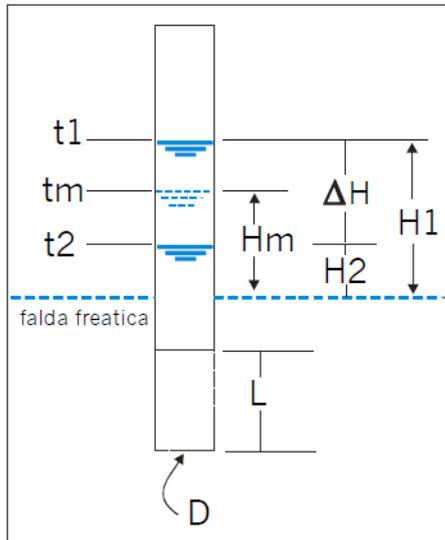
L'esecuzione della prova di permeabilità vera e propria è avvenuta secondo le modalità seguenti:

1. Riempimento con acqua del foro, fino alla sommità del rivestimento.
2. Interruzione dell'immissione di acqua, e misura nel tempo della diminuzione del livello dalla testa tubo del rivestimento fino al raggiungimento del livello della falda o del fondo foro.

La falda non è stata individuata entro la profondità di indagine di 3,5 m dal p.c. attuale.



La metodologia utilizzata per la valutazione di K fa riferimento alla metodologia consigliata dalla Associazione Geotecnica Italiana (AGI) ed utilizza i seguenti schemi geometrici e relazioni di calcolo:



Per le prove a carico costante la conducibilità idraulica è:

$$K = Q / CH$$

Q = portata a regime (cm³/sec)

H = carico idraulico a regime (cm)

C = coefficiente di forma (cm), in funzione della tasca inferiore di diametro D e lunghezza L

Per prove a carico idraulico variabile la conducibilità idraulica è:

$$K = AdH / C dt Hm$$

A = area di base della tasca filtrante

dH = H₁ - H₂ = differenza di carico idraulico

dt = t₂ - t₁ = intervallo di tempo corrispondente a dH

Hm = carico idraulico corrispondente al tempo medio (t₁ + t₂) / 2

C = coefficiente di forma

Fig. 14 Figura 1 Schema della prova Lefranc e relative relazioni di calcolo

Il metodo visualizza un grafico tempi/abbassamenti in cui viene calcolato un valore di K per ogni tratto della curva tra una lettura e la successiva; inoltre viene calcolato un valore medio dal punto della curva ove si ritiene che si sia instaurato un regime di flusso permanente (dopo saturazione dei terreni), fino a fine curva; l'operatore sceglie il punto della curva dal quale si ritiene instaurato un regime permanente.

Le pareti della perforazione sono state rivestite con una tubazione per tutto il tratto non direttamente interessato dalla prova stessa; prima di eseguire la prova è stata effettuata un'accurata pulitura del foro.

3.2 RISULTATI DELLE PROVE

All'interno del foro di sondaggio sono state eseguite due prove Lefranc a - 2,25 ed a - 3,25 m dal piano campagna attuale, per definire la permeabilità dei terreni in cui verranno realizzare le vasche di laminazione; nella tabella seguente sono riportati i risultati per ciascuna prova, i certificati sono riportati in allegato 3.

Fig. 15 Tabella 1 Risultati delle prove Lefranc.

Sondaggio	Prova	Tipo di prova	Permeabilità	Profondità di prova da p.c.
Num.	Num.		cm/s	m
S1	P1	Carico variabile	$5,48 \times 10^{-4}$	2,25
S1	P2	Carico variabile	$2,96 \times 10^{-2}$	3,25

Si allegano le tabelle e i grafici relativi alle singole prove.

4 INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto per il quale si redige la presente prevede la realizzazione di un edificio ad uso produttivo, a pianta rettangolare sviluppato in senso circa nord sud, correlato di infrastrutture e parcheggi. L'edificio in questione è stato progettato avente dimensioni di 72 metri per il lato corto e 120 metri per il lato lungo con una superficie totale di 9.383 metri quadri.



Fig. 16 Planivolumetrico di sviluppo

5 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI

Per la definizione dei caratteri fisico meccanici che contraddistinguono il sottosuolo della zona in esame è stata condotta una specifica indagine geognostica: sono state eseguite 8 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH spinte a rifiuto. In Fig. 17 si riporta l'ubicazione delle verticali di indagine sullo stato attuale.

Sono state inoltre eseguite 1 indagine sismica attive (MASW) e una passiva (HVSr).

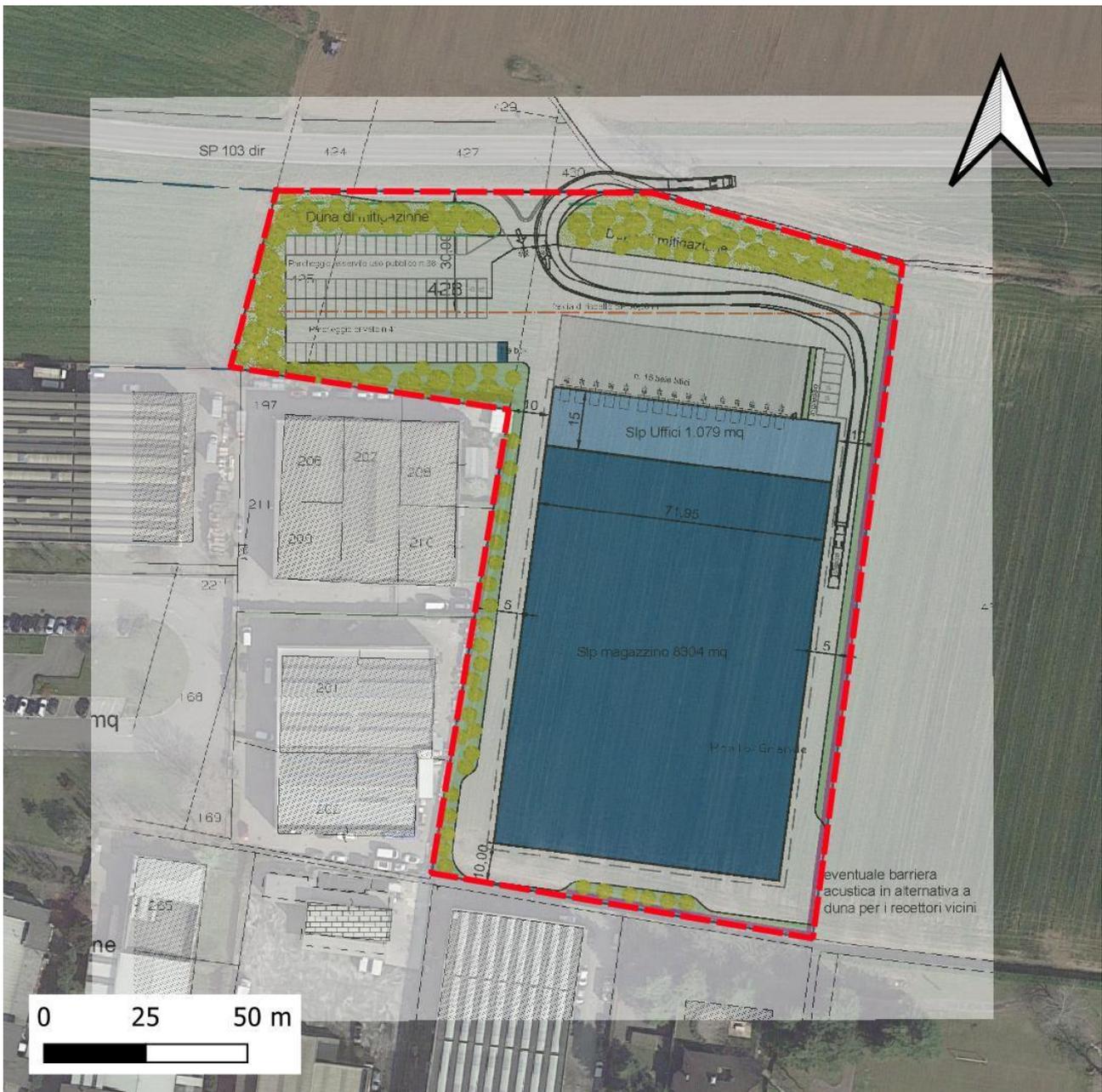


Fig. 17 Ubicazione delle prove DPSH svolte

5.1 INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica, finalizzata alla definizione delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni presenti nell'area, è stata condotta con l'esecuzione di 8 prove penetrometriche dinamiche superpesanti, che sono state spinte a rifiuto ed hanno raggiunto la profondità massima compresa tra i 3 e i 5 metri dall'attuale piano campagna a seconda della posizione e del livello delle ghiaie.

5.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPERPESANTI DPSH

Le verticali d'indagine hanno attraversato una successione caratterizzata da terreni fluvioglaciali, costituiti da ghiaie con matrice sabbiosa.

Le prove sono tra loro ben sovrapponibili, la falda non è stata intercettata.

L'interpretazione delle prove penetrometriche ha consentito di suddividere la successione attraversata in strati omogenei per caratteristiche litologiche e/o geotecniche; per ciascuno strato sono stati calcolati i parametri geotecnici nominali, riportati nelle tabelle dell'Allegato 1 per ciascuna prova.

Di seguito si riportano le tabelle e le foto relative alle singole prove.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 5,20 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	12	0,851	99,21	116,61	4,96	5,83
0,60	13	0,797	100,69	126,33	5,03	6,32
0,80	9	0,843	73,76	87,46	3,69	4,37
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	4	0,833	29,95	35,96	1,50	1,80
1,60	4	0,830	29,83	35,96	1,49	1,80
1,80	7	0,826	52,00	62,93	2,60	3,15
2,00	9	0,823	61,96	75,27	3,10	3,76
2,20	12	0,820	82,31	100,36	4,12	5,02
2,40	9	0,817	61,51	75,27	3,08	3,76
2,60	12	0,814	81,72	100,36	4,09	5,02
2,80	16	0,761	101,89	133,81	5,09	6,69
3,00	13	0,759	77,11	101,64	3,86	5,08
3,20	18	0,756	106,39	140,73	5,32	7,04
3,40	19	0,753	111,92	148,55	5,60	7,43
3,60	20	0,751	117,41	156,37	5,87	7,82
3,80	18	0,748	105,33	140,73	5,27	7,04
4,00	32	0,646	151,74	234,89	7,59	11,74
4,20	35	0,644	165,37	256,91	8,27	12,85
4,40	25	0,691	126,88	183,51	6,34	9,18
4,60	22	0,689	111,30	161,49	5,57	8,07
4,80	23	0,687	116,00	168,83	5,80	8,44
5,00	41	0,585	165,92	283,60	8,30	14,18
5,20	50	0,583	201,64	345,86	10,08	17,29



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 5,60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	8	0,851	66,14	77,74	3,31	3,89
0,60	15	0,797	116,18	145,77	5,81	7,29
0,80	8	0,843	65,56	77,74	3,28	3,89
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	5	0,836	37,59	44,95	1,88	2,25
1,40	6	0,833	44,92	53,94	2,25	2,70
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	19	0,776	132,60	170,81	6,63	8,54
2,00	27	0,723	163,30	225,81	8,17	11,29
2,20	21	0,720	126,48	175,63	6,32	8,78
2,40	22	0,717	131,95	183,99	6,60	9,20
2,60	28	0,714	167,26	234,17	8,36	11,71
2,80	22	0,711	130,90	183,99	6,54	9,20
3,00	18	0,759	106,77	140,73	5,34	7,04
3,20	11	0,806	69,32	86,00	3,47	4,30
3,40	9	0,803	56,53	70,37	2,83	3,52
3,60	6	0,801	37,57	46,91	1,88	2,35
3,80	4	0,798	24,97	31,27	1,25	1,56
4,00	11	0,796	64,27	80,74	3,21	4,04
4,20	16	0,744	87,34	117,44	4,37	5,87
4,40	22	0,691	111,66	161,49	5,58	8,07
4,60	22	0,689	111,30	161,49	5,57	8,07
4,80	28	0,687	141,22	205,53	7,06	10,28
5,00	30	0,685	142,15	207,52	7,11	10,38
5,20	36	0,633	157,63	249,02	7,88	12,45
5,40	37	0,631	161,51	255,94	8,08	12,80
5,60	50	0,579	200,30	345,86	10,01	17,29



PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 4,40 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	11	0,851	90,94	106,90	4,55	5,34
0,60	10	0,847	82,31	97,18	4,12	4,86
0,80	6	0,843	49,17	58,31	2,46	2,92
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	10	0,836	75,18	89,90	3,76	4,49
1,40	12	0,833	89,85	107,88	4,49	5,39
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	18	0,773	116,40	150,54	5,82	7,53
2,20	18	0,770	115,93	150,54	5,80	7,53
2,40	25	0,717	149,94	209,08	7,50	10,45
2,60	21	0,714	125,44	175,63	6,27	8,78
2,80	22	0,711	130,90	183,99	6,54	9,20
3,00	19	0,759	112,70	148,55	5,64	7,43
3,20	23	0,706	126,96	179,83	6,35	8,99
3,40	16	0,753	94,25	125,10	4,71	6,25
3,60	10	0,801	62,62	78,18	3,13	3,91
3,80	7	0,798	43,70	54,73	2,18	2,74
4,00	7	0,796	40,90	51,38	2,05	2,57
4,20	30	0,694	152,76	220,21	7,64	11,01
4,40	50	0,591	217,06	367,01	10,85	18,35



PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 3,40 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	12	0,851	99,21	116,61	4,96	5,83
0,60	13	0,797	100,69	126,33	5,03	6,32
0,80	7	0,843	57,37	68,02	2,87	3,40
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	10	0,833	74,87	89,90	3,74	4,49
1,60	16	0,780	112,13	143,84	5,61	7,19
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	21	0,723	127,01	175,63	6,35	8,78
2,20	22	0,720	132,50	183,99	6,62	9,20
2,40	27	0,717	161,94	225,81	8,10	11,29
2,60	26	0,714	155,31	217,45	7,77	10,87
2,80	28	0,711	166,60	234,17	8,33	11,71
3,00	38	0,659	195,69	297,10	9,78	14,86
3,20	46	0,606	217,95	359,65	10,90	17,98
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55



PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 3,40 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	15	0,801	116,73	145,77	5,84	7,29
0,60	13	0,797	100,69	126,33	5,03	6,32
0,80	9	0,843	73,76	87,46	3,69	4,37
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	2	0,833	14,97	17,98	0,75	0,90
1,60	10	0,830	74,58	89,90	3,73	4,49
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	20	0,773	129,33	167,27	6,47	8,36
2,20	20	0,770	128,82	167,27	6,44	8,36
2,40	16	0,767	102,65	133,81	5,13	6,69
2,60	12	0,814	81,72	100,36	4,09	5,02
2,80	13	0,761	82,78	108,72	4,14	5,44
3,00	17	0,759	100,84	132,91	5,04	6,65
3,20	17	0,756	100,48	132,91	5,02	6,65
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55



PROVA ... Nr.6

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 4,60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	9	0,851	74,41	87,46	3,72	4,37
0,60	14	0,797	108,43	136,05	5,42	6,80
0,80	9	0,843	73,76	87,46	3,69	4,37
1,00	6	0,840	45,30	53,94	2,26	2,70
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	2	0,833	14,97	17,98	0,75	0,90
1,60	2	0,830	14,92	17,98	0,75	0,90
1,80	6	0,826	44,57	53,94	2,23	2,70
2,00	8	0,823	55,08	66,91	2,75	3,35
2,20	6	0,820	41,15	50,18	2,06	2,51
2,40	6	0,817	41,00	50,18	2,05	2,51
2,60	6	0,814	40,86	50,18	2,04	2,51
2,80	5	0,811	33,93	41,82	1,70	2,09
3,00	10	0,809	63,23	78,18	3,16	3,91
3,20	17	0,756	100,48	132,91	5,02	6,65
3,40	23	0,703	126,49	179,83	6,32	8,99
3,60	24	0,701	131,51	187,64	6,58	9,38
3,80	30	0,698	163,82	234,55	8,19	11,73
4,00	37	0,646	175,45	271,59	8,77	13,58
4,20	37	0,644	174,82	271,59	8,74	13,58
4,40	43	0,591	186,68	315,63	9,33	15,78
4,60	50	0,589	216,26	367,01	10,81	18,35



PROVA ... Nr.7

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 3,00 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	7	0,851	57,87	68,02	2,89	3,40
0,60	11	0,847	90,54	106,90	4,53	5,34
0,80	7	0,843	57,37	68,02	2,87	3,40
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	10	0,833	74,87	89,90	3,74	4,49
1,60	16	0,780	112,13	143,84	5,61	7,19
1,80	20	0,776	139,58	179,80	6,98	8,99
2,00	20	0,773	129,33	167,27	6,47	8,36
2,20	23	0,720	138,52	192,36	6,93	9,62
2,40	35	0,667	195,28	292,72	9,76	14,64
2,60	37	0,664	205,55	309,44	10,28	15,47
2,80	44	0,611	225,00	367,99	11,25	18,40
3,00	50	0,609	237,95	390,92	11,90	19,55



PROVA ... Nr.8

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
 Prova eseguita in data 14/07/2022
 Profondità prova 3,40 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	9	0,851	74,41	87,46	3,72	4,37
0,60	10	0,847	82,31	97,18	4,12	4,86
0,80	8	0,843	65,56	77,74	3,28	3,89
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	8	0,833	59,90	71,92	2,99	3,60
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	15	0,776	104,69	134,85	5,23	6,74
2,00	19	0,773	122,86	158,90	6,14	7,95
2,20	22	0,720	132,50	183,99	6,62	9,20
2,40	16	0,767	102,65	133,81	5,13	6,69
2,60	16	0,764	102,27	133,81	5,11	6,69
2,80	17	0,761	108,26	142,18	5,41	7,11
3,00	23	0,709	127,44	179,83	6,37	8,99
3,20	32	0,656	164,13	250,19	8,21	12,51
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55



5.2 MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche descritte ai paragrafi precedenti e delle indagini geognostiche eseguite, è stato possibile costruire il modello geologico del sito in esame.

Il sottosuolo nell'area è costituito da una successione di origine fluvioglaciale, costituita da depositi sabbioso-ghiaiosi. La falda, che non è stata intercettata con le indagini eseguite, è indicata nel PGT con una soggiacenza di 10-12 m dal piano campagna attuale.

5.3 VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Le tabelle in allegato 1 riportano i parametri geotecnici nominali degli strati omogenei desunti dall'interpretazione delle prove penetrometriche.

Per le verifiche agli stati limite, come previsto al par.6.2.2 delle NTC2018 è necessario definire i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi.

La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Tale scelta richiede una valutazione specifica da parte del progettista, per il necessario riferimento ai diversi tipi di verifica. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa, effettuata dal progettista, del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Nella scelta dei valori caratteristici è necessario tenere conto della specifica verifica e delle condizioni costruttive che ad essa corrispondono.

In particolare la scelta va fatta in funzione del volume significativo coinvolto dalle strutture di fondazione: appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di

rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti; al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidezza.

Le indagini geognostiche effettuate evidenziano una buona omogeneità nei risultati delle indagini eseguite, per le profondità indagate. Considerata la litologia presente (ghiaia in ciottoli anche grossolani, le indagini si sono arrestate a rifiuto alla profondità massima di 5,6 m dal p.c., e dai dati desunti da bibliografia (PGT e stratigrafie di pozzi) la stratigrafia rilevata nei primi 5,6 m è rappresentativa del primo sottosuolo fino ad almeno 20 m dal p.c. attuale.

È stato quindi elaborato il seguente modello geologico e geotecnico, che potrà essere impiegato nelle successive verifiche geotecniche.

Modello geologico

Strato	Profondità m da p.c.	Litologia	Addensamento	N _{SPT} min.	Nota
1	da 0.00 a 20.0	Sabbie e ghiaie con ciottoli	da moderatamente a molto addensato	8	Valore simato in base alla stratigrafia locale
Falda: non rilevata; profondità attesa > 10 m dal p.c.					

Modello geotecnico

Profondità [m] da p.c.	N _{sept} min	Classificaz. granulom. ⁽¹⁾	Addensam. ⁽²⁾	γ_d [kN/m ³]	Angolo di attrito [ϕ_{cv}] ⁽³⁾	Coesione [kPa]	Falda
0.75	8	Sabbia e ghiaia con ciottoli	da moderatam. a molto addensati	1.8	28°	0.00	NO

(1): Raccomandazioni AGI [3]

(2): sulla base del n° di colpi/piede (N_{spt}), da Tezaghi & Peck, 1948 e da "Raccomandazioni AGL..." [2]

(3): valore ampiamente cautelativo - da Peck, Hanson & Thornburn per prove SPT (1953) e da B.K. Hough, Basic soil engineering (1957).

RELAZIONE SISMICA

6 AZIONE SISMICA

La sismicità di un territorio è strettamente legata al suo conteso tettonico strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima di pericolosità di un territorio vi è quindi la conoscenza della sua storia sismica e della geologia strutturale locale.

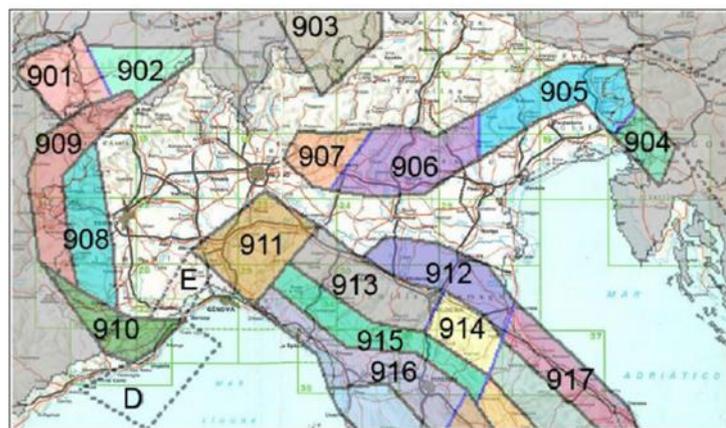
Per realizzare l’inquadramento sismotettonico della presente relazione sono stati utilizzati:

- CPTI11 – Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11);
- DBMI15 – Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI11 (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi; <http://emidius.mi.ingv.it/>);
- Il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.3.0 (INGV – DISS Working Group, 2010; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie o regioni contenenti faglie in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore.
- Macrozonazione sismogenetica “ZSg” prodotta dall’INGV (2004)

6.1 SORGENTI SISMOGENETICHE

In riferimento alla macrozonazione ZS9, l'area di Pozzuolo Martesana ricade all'interno della zona sismogenetica 907. Tale zona include oltre la provincia di Milano anche le province di Bergamo e Brescia. È caratterizzata da una sismicità di energia normale medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802 a cui è stata assegnata una magnitudo di circa 5.9.

A questa zona viene attribuita una magnitudo massima di $M=6.0$.



Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

In riferimento alla banca dati del DISS 3.3 l'area in studio ricade al margine della fascia sismogenetica ITCS115 (Western S-Alps external thrust shallow-west), non ricade all'interno di nessuna sorgente sismogenetica ma tra due sorgenti sismogenetiche composite. Le sorgenti in questione sono verso Nord Est la Western S-Alps external thrust deep avente codice ITCS002 e verso sud Ovest la sorgente Western S-Alps external thrust shallow-west avente codice ITCS115.

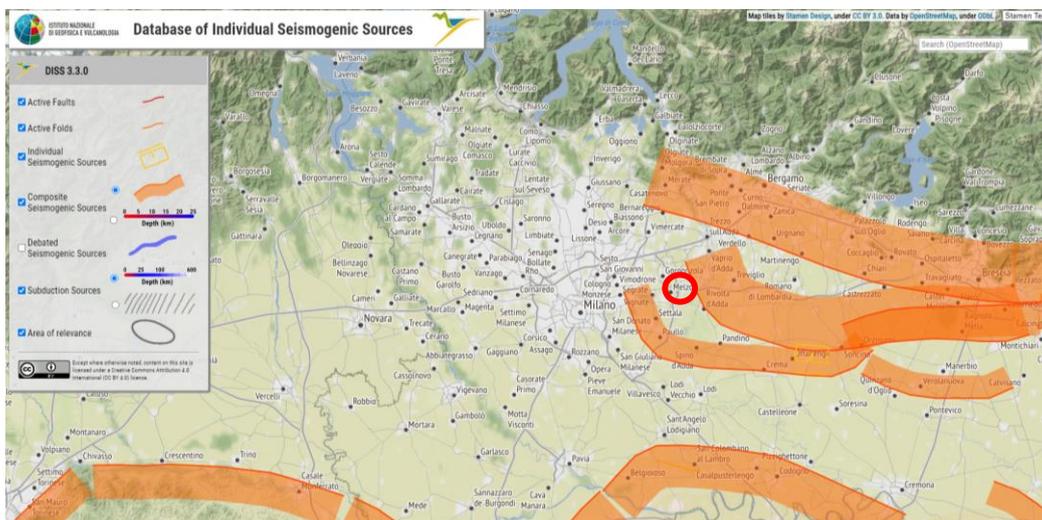


Fig. 18 Distribuzione delle zone sismogenetiche contenute in DISS 3.3.0

Queste due sorgenti sismogenetiche fanno parte del sistema di sovrascorrimenti che caratterizzano la zona di contatto tra la catena alpina e la placca Adria Fig. 19.

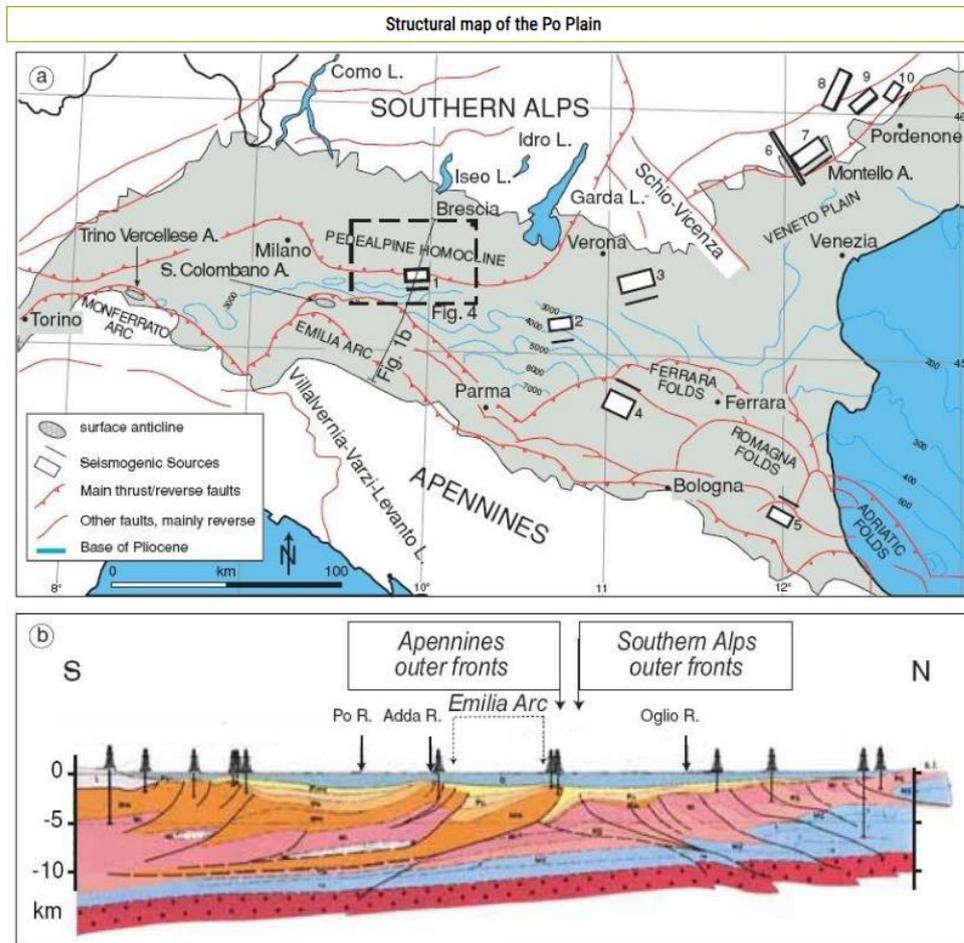


Fig. 19 Mappa strutturale della Pianura Padana

La sorgente Western S-Alps external thrust deep ITCS002 appartiene al fronte di spinta più esterno delle Alpi meridionali, convergente a S, sepolto nella pianura lombarda ed è la più profonda e la più grande delle strutture esterne. Anche la sorgente Alps external thrust shallow-west ITCS115 appartiene al fronte di spinta più esterno delle Alpi meridionali, convergente a S, sepolto nella pianura lombarda. Questa Sorgente Composita è la più occidentale e la più grande delle due strutture poco profonde, e ospita la singola sorgente sismogenica del terremoto della Valle dell'Oglio del 1802.

6.2 STORIA SISMICA DI POZZUOLO MARTESANA

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Pozzuolo Martesana (https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15, il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11.

Pertanto, nella successiva tabella si intende:

- **Is** Intensità al sito (scala MCS)
- **Anno** Tempo origine: anno
- **Me** Tempo origine: mese
- **Gi** Tempo origine: giorno
- **Or** Tempo origine: ora
- **Mi** Tempo origine: minuti
- **Se** Tempo origine: secondi
- **Io** Intensità epicentrale nella scala MCS
- **Mw** Magnitudo momento

Il database Macrosismico Italiano disponibile al momento della redazione della presente relazione riporta 3 record relativi agli effetti per la località di Pozzuolo Martesana, che sono elencati nella tabella seguente. Sono riportati quelli con effetti al sito pari o superiori al grado IV della scala MCS. I massimi effetti al sito noti dalle fonti storiche sono attribuibili al 7-8 grado della scala MCS.

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of	Pozzuolo Martesana
PlaceID	IT_13673 45.513, 9.454
Coordinates (lat, lon)	
Municipality (ISTAT 2015)	Pozzuolo Martesana
Province	Milano
Region	Lombardia
No. of reported earthquakes	3

Int. at place	Year	Month	Day	Hour	Min	Sec	Epicentral Area	LatD ef	LonD ef	DepD ef	IoD ef	MwD ef	ErMw Def	RefM	EqID
	35	19		2	4	53,		44,8	10,6					AMGNDR	19870502_2043
3-4	20	87	5	2	0	3	32 Reggiano	1	94	0,1	6	4,71	0,1	995	_000
	37	19		2	1	27,		45,7	9,84					BMING99	19951029_1300
NF	80	95	10	9	3	0	69 Lago d'Iseo	23	9	32,5	5-6	4,35	0,08	9d	_000
	40	20		2	1	1	Monferrat	44,9						BMINGV0	20000821_1714
NF	48	00	8	1	7	4	o	11	8,38		6	4,94	0,07	04b	_000

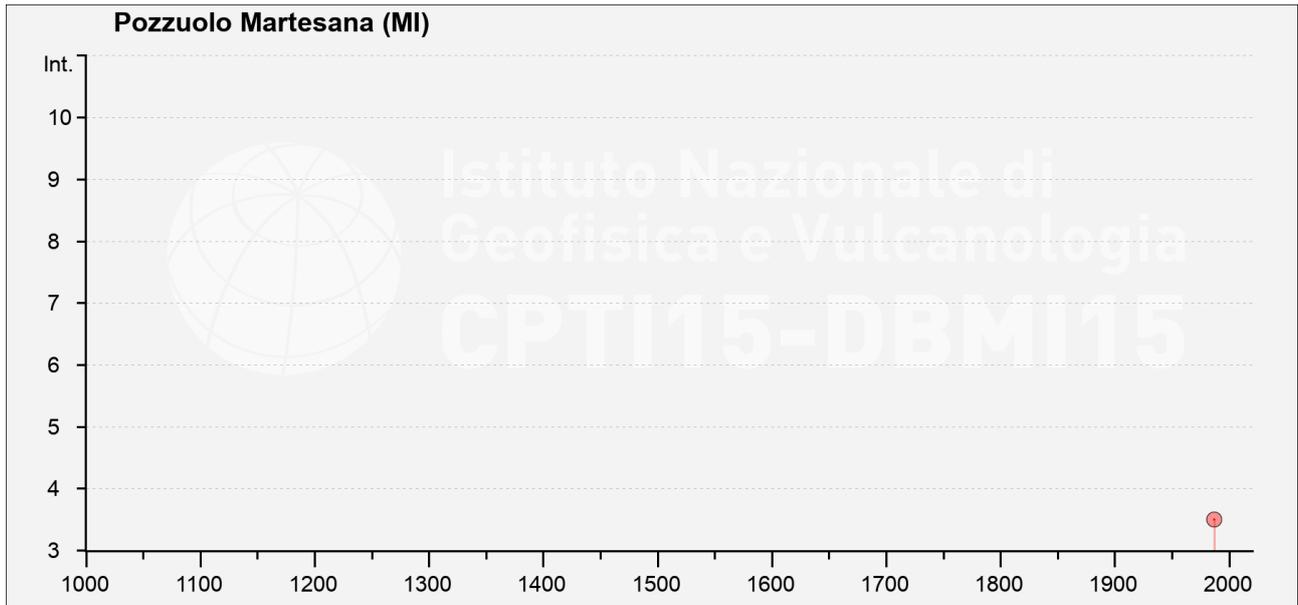


Fig. 20 Record del DBMI15 relativi agli effetti pari o superiori al grado IV della scala IMCS per la località di Pozzuolo Martesana

6.3 RISCHIO SISMICO

Nel presente capitolo sono stati presi in considerazione i rapporti tra l'area oggetto di intervento e le prescrizioni della pianificazione comunale.

6.3.1 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Come si evince dalla Tavola 1 “Pericolosità Sismica Locale” del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, l'ambito in esame ricade nella zona con scenario di pericolosità Z2/Z4a. La zona Z2 zona è caratterizzata da terreni granulari fini con falda superficiale e prevede la Applicazione del 3° livello di approfondimento sismico per edifici strategici e rilevanti. Questo scenario è associato alla bassa soggiacenza della falda freatica poiché tale condizione predispone il sottosuolo al potenziale pericolo di liquefazione e/o cedimento del terreno, nel caso di terreni a granulometria liquefacibile.

La zona Z4a è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi e prevede l'applicazione del 2° livello di approfondimento sismico per edifici strategici e rilevanti. Questo scenario è riferito alla presenza di depositi granulari e/o coesivi.

Lo scenario che si applica al caso in studio è quello della zona Z4a, dal momento che la soggiacenza è superiore a 10 m dal p.c. e la litologia affiorante è caratterizzata da terreni granulari grossolani. L'edificio produttivo non ricade tra gli edifici strategici e rilevanti, si è comunque proceduto ad un'analisi di RSL semplificata di II livello, come previsto dalle NTC2018.



Scenari di Pericolosità Sismica Locale (PSL)



Scenario **Z2/Z4a**

Z2: zona con terreni granulari fini con falda superficiale. Applicazione del 3° livello di approfondimento sismico per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

Z4a: zona con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi. Applicazione del 2° livello di approfondimento sismico per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).



Scenario **Z3a:** zona di ciglio/scarpa.

Applicazione del 3° livello di approfondimento sismico nei seguenti casi:

- aree di scarpa con previsione di costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15m
- aree di scarpa se nell'area di progetto il fattore di amplificazione sia maggiore del valore soglia St.

Fig. 21 Estratto della carta della pericolosità sismica locale ricavata dal PGT del Comune di Pozzuolo Martesana

RISPOSTA SISMICA LOCALE

Sul lotto di intervento è stata eseguita una campagna sismica a rifrazione con metodo MASW di tipo attivo e una acquisizione di microtremore a stazione singola con elaborazione HVSR. L'elaborazione della Masw ha permesso di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio Vs, in riferimento alle NTC 2018 del 17/01/2018, mentre l'acquisizione di sismica passiva con elaborazione HVSR ha permesso di determinare la frequenza di vibrazione naturale del sottosuolo. L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire da piano campagna (Vs30), in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio (N.T.C. 23/09/05), alla delibera G.R.E.R. (n. 1677 del 24/10/05) ed alle NTC2018.

Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati dell'indagine eseguita.

6.3.2 SISMICA ATTIVA MASW

Indagine Masw

Metodo d'Indagine

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16S24-U", dotato di 24 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura tra i geofoni di 2.0 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri.

L'energizzazione è stata eseguita a 2, 5 e 10 metri dal primo geofono.

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 2018 – Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

Risultati–Determinazione delle categoria del suolo di fondazione

L'analisi delle onde di taglio (Vs) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore Vseq per la sezione indagata.

Per l'elaborazione è stata eseguita una correlazione tra i dati sismici e le caratteristiche geologico stratigrafiche dalle indagini eseguite integrati con dati reperiti in bibliografia.

Indagine HVSR

L'indagine HVSR è stata eseguita utilizzando un acquisitore Geobox della Sarah Instruments.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione è stata effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata di 30 minuti.

E' stata eseguita un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente sono stati presi in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{seq} .

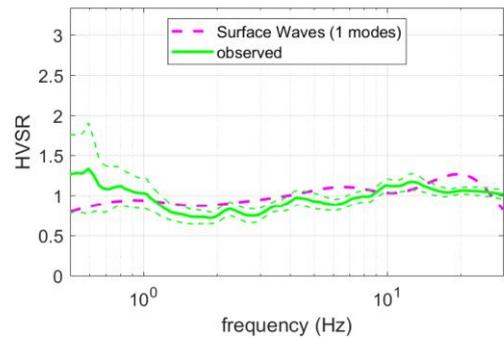
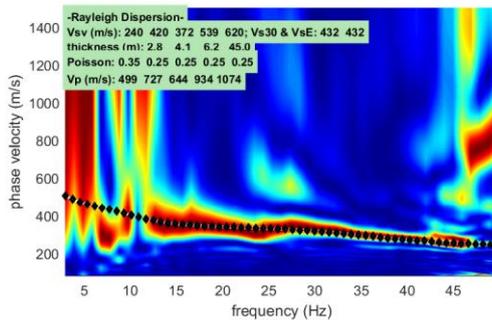
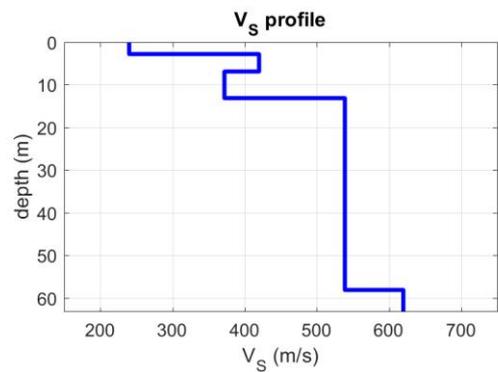
Di seguito si riportano i risultati e i grafici delle prove svolte

winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Date: 23 7 2022

Time: 9 35

Dataset: pozman#3.DAT



Subsurface Model

V_s (m/s): 240 420 372 539 620

Thickness (m): 2.8, 4.1, 6.2, 45.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.89 1.98 1.95 2.04 2.07

Shear modulus (MPa) (approximate values): 109 349 269 592 796

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 499 727 644 934 1074

Poisson: 0.35 0.25 0.25 0.25 0.25

Vs30 and VsE (m/s): 432



Fig. 22 Localizzazione della prova MASW

Il valore Vs30 è risultato 432 m/sec pertanto secondo normativa la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B:

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.

ACQUISIZIONE HVSR - winMASW & HoliSurface: Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

=====

Dataset: MT_20220714_130434.SAF
DATA ACQUISITION
Date and time: 2022 07 14 13 04 34.000

DATA PROCESSING
Date: 23 7 2022
Time: 9 27
Sampling frequency (Hz): 64
Window length (sec): 20
Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
Length of analysed dataset (min): 22.9
Tapering (%): 5
Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.6 (a5.2)
Peak HVSR value: 1.3 (a0.5)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: 0.594 > 0.5 (OK)
- #2. [$nc > 200$]: 1533 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 1.3 < 2 (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ a } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ a } 5\%$]: (NO)
- #5. [$\sigma_A(f_0) < \epsilon(f_0)$]: 5.155 > 0.089 (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 1.692 < 2 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

show d... reset

step#1 (optional) - decimate
 [64 Hz] new frequency resample

step#2 - HV computation
 remove events both Ra... clean axes
 20 window length Min. freq.: 0.5Hz
 5 tapering
 15 amplitude test removal
 5 HVSr
 15% spectral smoothing (triangular)
 2 detrending HOLSIC-2...
 Particle motion, all HVSrS, time lapse...
 full ou... comp...

contin...

3D motion
 save video show 3D moti...

directivity analysis
 frequencies to 1.0 5.0 10Hz compute

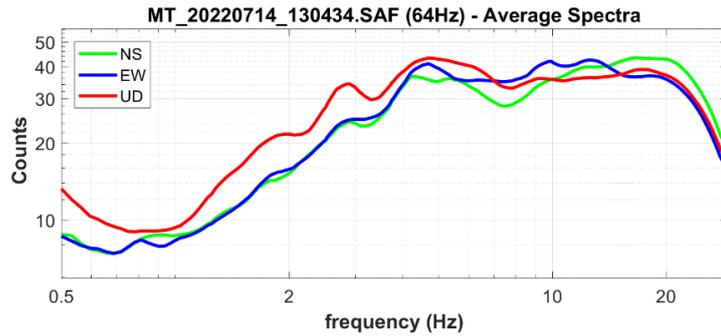
save-option#1: save HVSr as it is
 save HVV [0.5] to [30] Hz
 save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra
 HVSr pick data
 save picked... compute

quick analysis (fs=4H)
 200 average Vs (m/s) (from surface to
 20 depth of the
 1000 Vs of the
 clean compute

highlight a frequency
 draw/highlig... [10] Hz

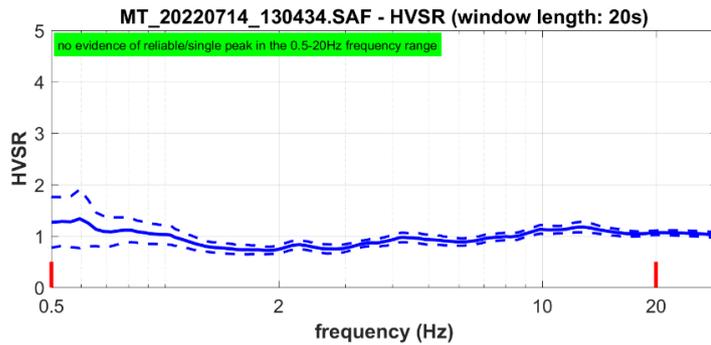
directivity over time
 directivity in time time [120] s



open working fold...
 show location
 field notes

your comments

default axes



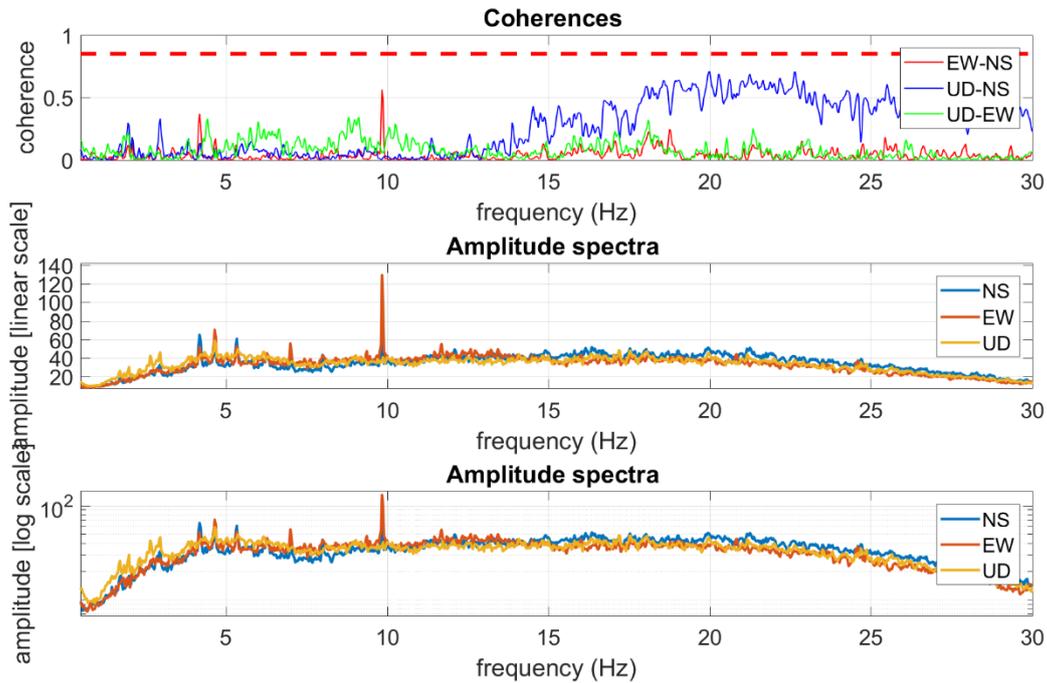
Criteria for a reliable H/V curve

- #1: OK
- #2: OK
- #3: OK

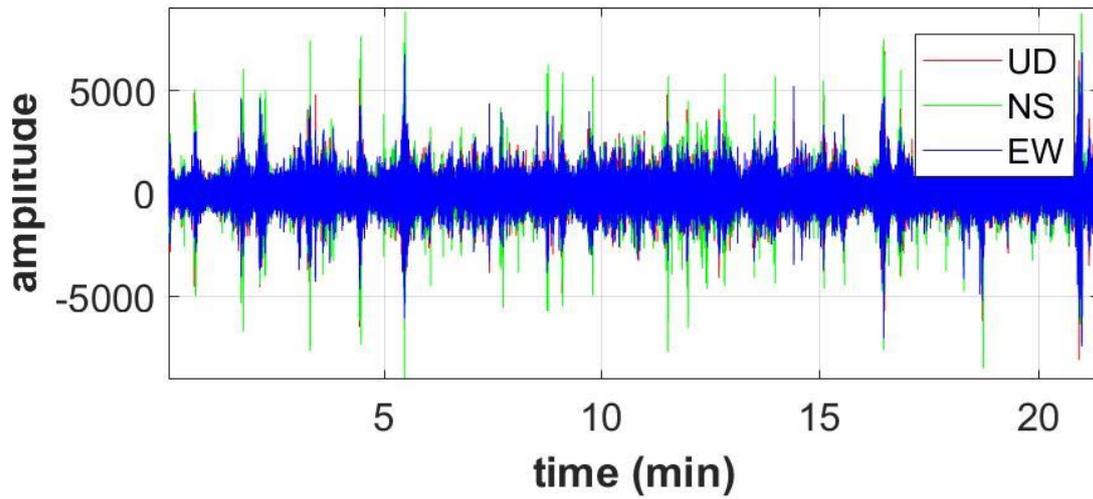
Criteria for a clear H/V peak [0.5

- #1: NO
- #2: OK
- #3: NO
- #4: NO
- #5: NO
- #6: OK

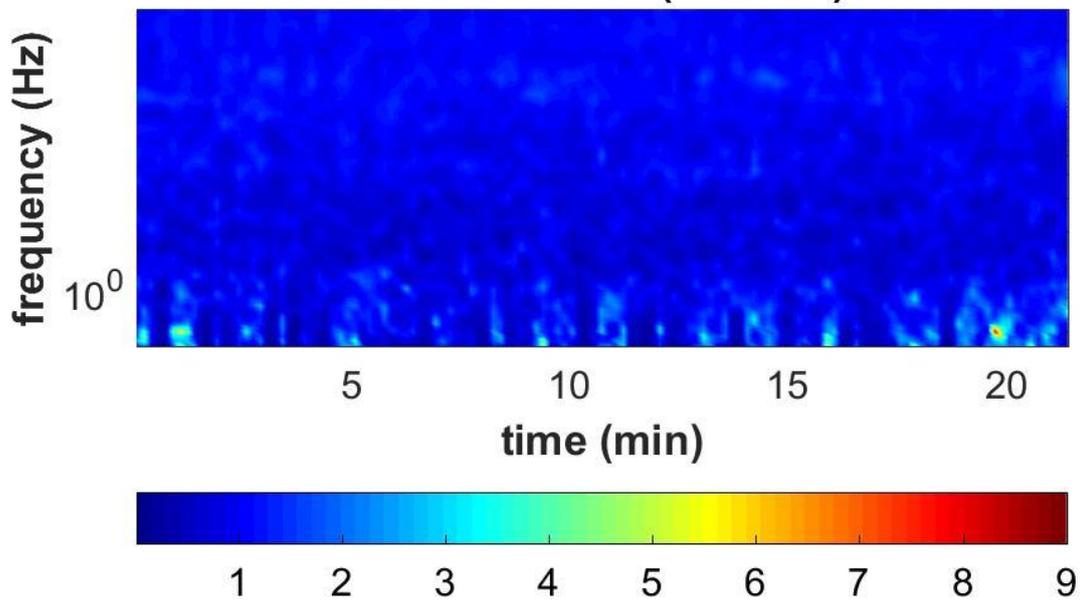
To model the HVSr (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels



Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



HVSR vs Time (2D view)



Directivity of the H/V Spectral Ratio

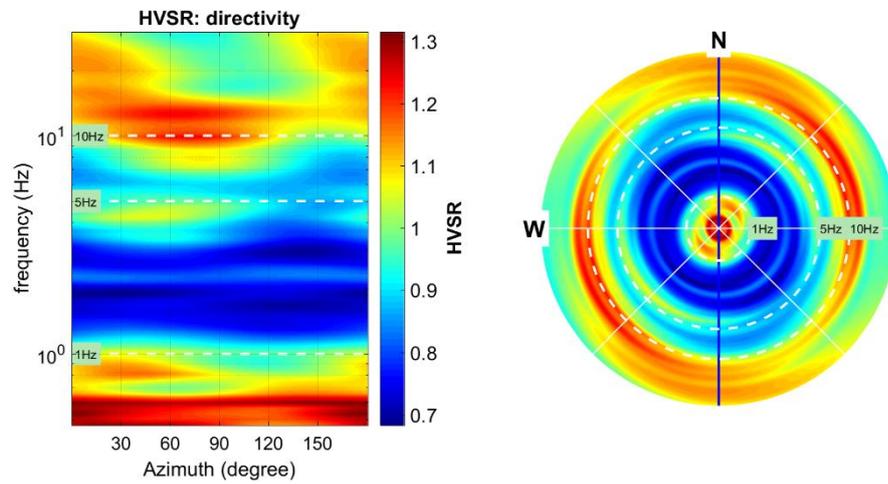


Fig. 23 Localizzazione della prova HVSR

6.3.3 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base è quella componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area. Essa fornisce, in termini probabilistici, per una certa regione e per un determinato periodo di tempo, i valori, corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza, dei parametri che descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto. Si riferisce a condizioni ideali di suolo roccioso affiorante e privo di irregolarità morfologiche e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento atteso al sito.

Tali caratteristiche sono definite¹ quando sono noti l'accelerazione di picco orizzontale ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, entrambi riferiti a condizioni di suolo rigido e superficie topografica orizzontale.

La possibilità di descrivere l'azione sismica in forma di accelerogrammi è ammessa solo a condizione che essi siano compatibili con le predette caratteristiche del moto sismico.

La pericolosità sismica di base è definita secondo una procedura basata sui risultati dello studio dell'INGV, disponibili sul sito web² nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica". In tali mappe, la pericolosità si sgancia dalle divisioni amministrative e viene distribuita sui 10751 nodi, a distanza reciproca non superiore a 10 km, di un reticolo geografico regolare. Ogni nodo è caratterizzato da specifiche curve di pericolosità che definiscono la frequenza media annua di occorrenza di una serie di terremoti caratterizzati da diversi livelli di severità, espressa, ad esempio, in termini di a_g .

Anche la definizione di spettro elastico (attraverso 3 parametri di controllo) varia da punto a punto del reticolo e in funzione del periodo di ritorno dell'azione sismica.

Dal punto di vista temporale, la pericolosità non è più definita con riferimento ad un singolo valore del *periodo di ritorno*, $T_R = 475$ anni³, ma in corrispondenza di 9 valori, ovvero $T_R = 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975$ e 2475 anni. Questo coerentemente con un *approccio prestazionale alla progettazione*, basato sull'assunzione che, a fronte di un'azione sismica di intensità variabile e pertanto caratterizzata da un periodo di ritorno variabile, si richiedano alle strutture livelli di prestazione diversi.

¹ Per una prefissata P_{v,r}.

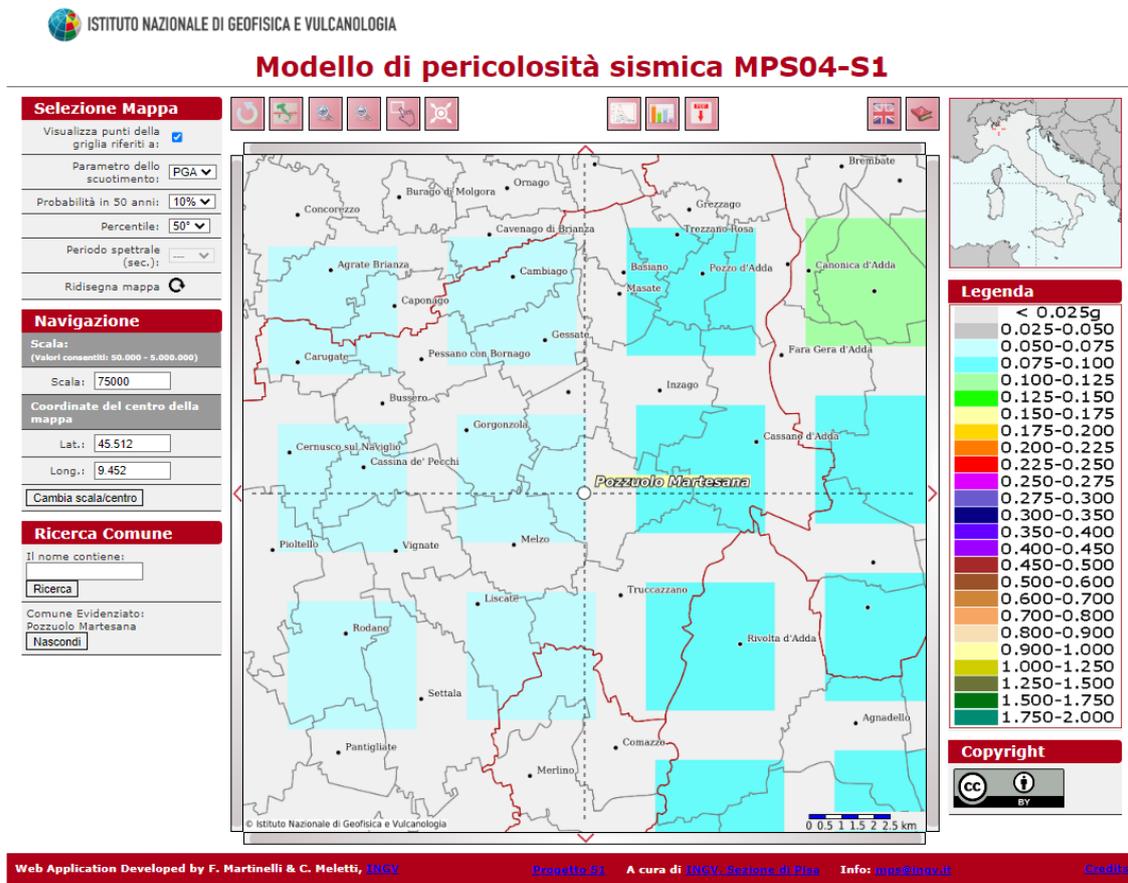
² <http://esse1.mi.ingv.it/>

³ Considerato internazionalmente come il livello di pericolosità di riferimento per la progettazione di edifici ordinari allo stato limite ultimo.

I 3 parametri che definiscono la pericolosità sismica di base, in condizioni ideali di sito di riferimento, sono a_g , F_0 e T^*c , rispettivamente definiti come: *accelerazione orizzontale massima del terreno, valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.*

Essi sono necessari per la definizione dello spettro di risposta elastico rispetto ad uno specifico periodo di ritorno. Per ogni nodo del reticolo INGV sono forniti i grafici relativi alle curve di pericolosità e gli spettri di risposta a pericolosità uniforme (isoprobabili), corrispondenti alle diverse probabilità di eccedenza in 50 anni.

Si fa notare che, qualora il periodo di ritorno calcolato nell'approccio prestazionale fosse inferiore al valore minimo nello studio di pericolosità sismica dell'INGV (30 anni) o superiore al valore massimo considerato (2475 anni), si porrà pari a 30 anni nel primo caso e pari a 2475 anni nel secondo caso.



6.3.4 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE PER L'AREA DI STUDIO

I parametri di pericolosità sismica possono essere ricavati, come espresso nella Circolare NTC18, dal software “Azioni sismiche – Spettri di risposta” scaricabile dal sito web del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che effettua le operazioni di interpolazione sia geografica, sia temporale richieste per la valutazione dell'azione sismica.

Come risultato, il software restituisce i 9 spettri di risposta elastici delle NTC18 (su roccia) e i 9 spettri a pericolosità uniforme dai quali sono stati derivati, per il sito in questione e per i 9 periodi di ritorno considerati.

Si riportano, di seguito, i valori dei parametri di riferimento che definiscono gli spettri di risposta elastici caratteristici del sito in esame per i 9 periodi di ritorno di riferimento (tabella 1).

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0,025	2,489	0,191
50	0,032	2,513	0,209
72	0,037	2,541	0,220
101	0,043	2,524	0,236
140	0,049	2,512	0,244
201	0,057	2,533	0,264
475	0,079	2,524	0,280
975	0,104	2,507	0,289
2475	0,143	2,515	0,296

Tabella 1- Valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento



Fig. 24 Coordinate geografiche dei 4 punti della griglia INGV entro i quali ricade il sito in esame e distanza, in km, del sito da essi.

6.3.5 SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

L'associazione tra i livelli prestazionale definiti per una data struttura e la severità dello scuotimento sismico dipende dall'importanza dell'opera considerata.

In particolare, le NTC2018 prevedono che l'azione sismica sia associata ad un *periodo di riferimento* (V_R) dell'opera e ad una prefissata probabilità di eccedenza, cui è abbinato un periodo di ritorno T_R . V_R definisce il periodo di osservazione per l'accadimento di terremoti di severità prefissata in base a T_R , mentre *allo stato limite è associata la probabilità di eccedenza*, durante tale periodo, dell'azione sismica da considerare.

Per ogni tipo di costruzione, V_R è ottenuto come prodotto della *vita nominale dell'opera* (V_N) per il *coefficiente della classe d'uso* (C_u) della stessa e non può essere inferiore a 35 anni.

La V_N è indicata espressamente negli elaborati di progetto e, per il caso in esame risulta essere pari a **$V_N = 50$ anni** (Tipo di costruzione: costruzioni con livelli di prestazioni ordinari).

Le diverse strutture sono suddivise in *classi d'uso*, sulla base del livello di affollamento tipicamente presente nell'opera e delle possibili conseguenze, in termini sia di vittime, sia di rischi per l'ambiente, derivabili da un eventuale collasso o, comunque, da un'interruzione d'uso. A ciascuna classe d'uso è associato un valore del *coefficiente d'uso* C_u .

Nel caso in esame, la classe d'uso è la II, corrispondente ad un coefficiente d'uso C_u pari a **1**

Da qui deriva, per la struttura in esame, un V_R pari a **50**.

Da un punto di vista prestazionale, la filosofia che sta alla base della definizione degli stati limite prevede che la struttura rimanga operativa, o comunque subisca danni tali da non comprometterne significativamente la resistenza, nel caso di terremoti meno severi e pertanto con una più elevata probabilità di verificarsi nel periodo di riferimento della struttura (superiore al 63%). Per contro, si accettano danni più significativi, sempre però garantendo la salvaguardia della vita degli occupanti, nel caso si verifichi un terremoto più severo, cui è associata una probabilità di occorrenza significativamente più bassa (5-10%) durante il periodo di riferimento dell'opera.

Per questo, ad ogni SL è associata una *probabilità di eccedenza* P_{VR} che rappresenta la probabilità di accadimento, nel periodo di riferimento V_R , di almeno un sisma avente periodo di ritorno T_R :

Stato Limite di Operatività	(SLO) - 81%
Stato Limite di Danno	(SLD) - 63%
Stato Limite di salvaguardia della Vita	(SLV) - 10%
Stato Limite di prevenzione del Collasso	(SLC) - 5%

Identificati V_R e P_{VR} , il periodo di ritorno dell'azione sismica, da considerare per l'opera in esame e per i diversi SL, può essere calcolato sulla base della relazione biunivoca riportata di seguito:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})}$$

Dall'equazione di cui sopra si ottengono le relazioni tra il periodo di ritorno e il periodo di riferimento per i 4 SL e i rispettivi parametri d'azione.

Per il sito in esame si riportano di seguito la tabella dei parametri d'azione e gli spettri elastici per i 4 periodi di ritorno e per i 4 SL:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,025	2,489	0,191
SLD	50	0,032	2,513	0,209
SLV	475	0,079	2,524	0,280
SLC	975	0,104	2,507	0,289

Tabella 2 - Valori dei parametri a_g , F_o e T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento associati a ciascun SL.

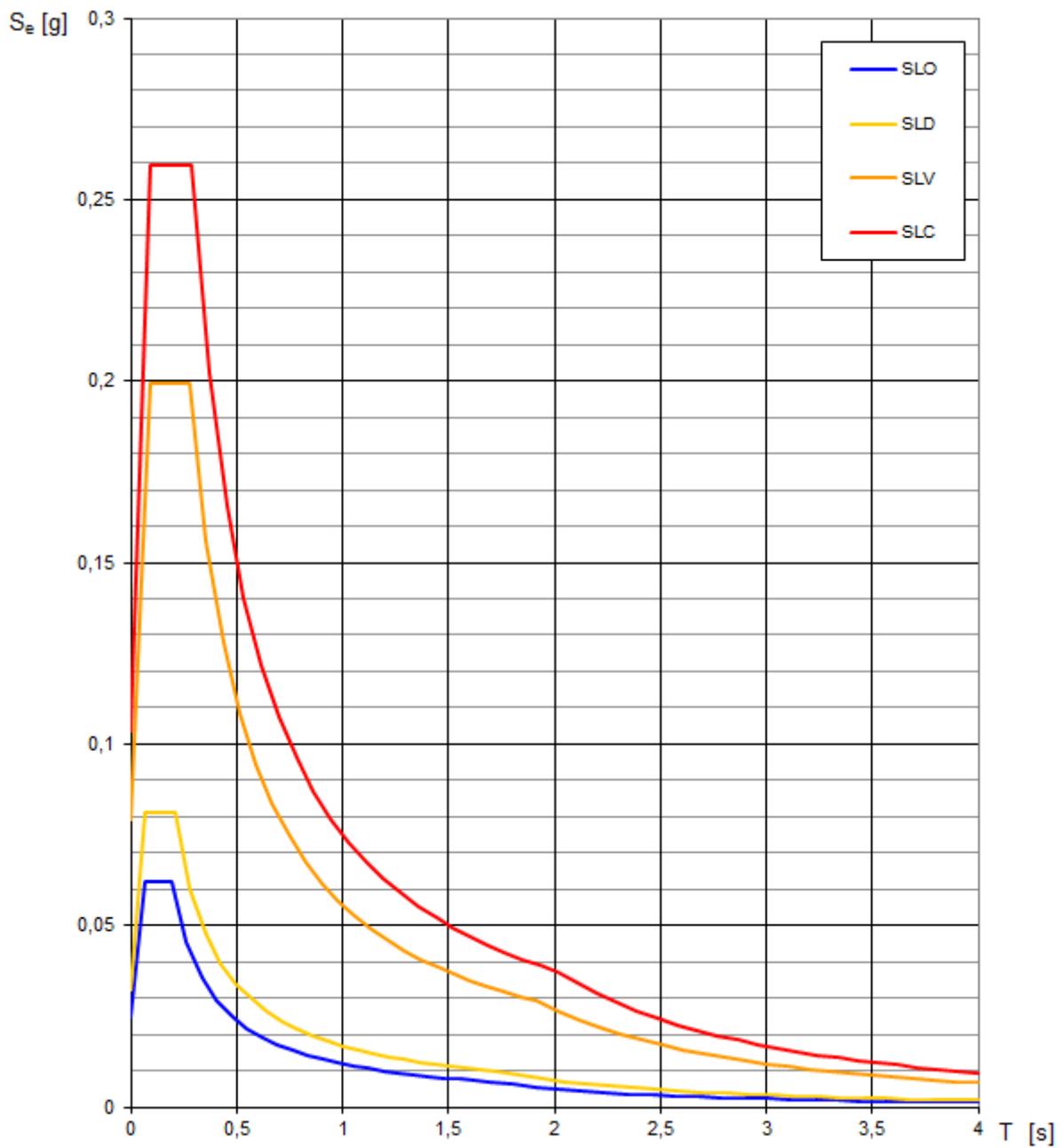


Fig. 25 Spettri di risposta elastici per i 4 Stati Limite

6.4 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

L'utilizzo degli spettri di risposta elastici precedentemente descritti corrisponde ad esigere che, durante un terremoto di prefissata severità, la struttura in progetto (o esistente) mantenga un comportamento elastico lineare, evitando in tal modo qualsiasi alterazione della sua integrità. Questa filosofia, evidentemente molto gravosa dal punto di vista economico, viene di fatto utilizzata soltanto nel caso di strutture particolari, il cui danneggiamento anche lieve può provocare conseguenze molto gravi alla società. A parte questi casi di strutture particolari, tipicamente si ammette che, sotto l'azione del terremoto, la struttura possa uscire dal campo elastico e sia in grado di sfruttare le proprie risorse in campo anelastico. In altre parole, è consentito progettare una struttura per un livello di azione sismica più moderata rispetto a quella corrispondente ad un comportamento puramente elastico, ammettendo che, oltre il limite elastico, la struttura abbia un comportamento duttile e dissipativo.

Per *duttilità* si intende la capacità di una struttura di deformarsi anche dopo la plasticizzazione del primo elemento, senza raggiungere la rottura in modo fragile. A parità di duttilità, le strutture possono tuttavia rispondere in modo diverso, in relazione alla loro capacità di dissipare l'energia di deformazione accumulata nei cicli di carico e scarico indotti dal terremoto.

La filosofia delle normative più recenti, incluse le NTC18, è di mirare alla realizzazione di strutture con un prefissato livello di duttilità e con un'opportuna capacità dissipativa, grazie alla quale la struttura sia in grado di esibire riserve di resistenza oltre il limite di plasticizzazione del primo elemento, prima che si formi un meccanismo di collasso controllato, in accordo al criterio di gerarchia delle resistenze. Poiché dunque tali strutture, se correttamente progettate, possono attingere a risorse ulteriori una volta raggiunta la resistenza massima, per le strutture con adeguato comportamento dissipativo, le forze corrispondenti ad una risposta puramente elastica (risultati perciò dall'applicazione dello spettro di risposta elastico) possono essere ridotte.

In particolare, si dividono le ordinate dello spettro di risposta elastico per un coefficiente, detto *fattore di struttura* (q), il cui valore dipende dal materiale, dal tipo di sistema strutturale adottato e dal suo grado di iperplasticità.

Nella definizione degli spettri di risposta di progetto, le NTC18 adottano questa filosofia⁴.

Gli spettri di risposta di progetto in accelerazione per le componenti orizzontali, da utilizzare per la verifica degli stati limite ultimi, possono essere pertanto definiti solo qualora il progettista abbia calcolato il *fattore di struttura* (q), definito nel capitolo 7 delle NTC18 (punto 7.3.1), per le strutture dissipative.

Per la componente verticale dell'azione sismica, a meno di adeguate analisi giustificative, le NTC18 stabiliscono di utilizzare sempre un fattore di struttura $q = 1.5$, per qualunque tipologia strutturale e di materiale. Fanno eccezione i ponti, per i quali si richiede di adottare $q = 1$.

Per gli stati limite di esercizio, le NTC18 stabiliscono di utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per quelle verticali, gli spettri di progetto elastici riferiti al periodo di ritorno corrispondente a ciascun stato limite. Secondo le NTC18 questo avviene indipendentemente dal fatto che le strutture siano dissipative o non dissipative. Pertanto, nel caso degli stati limite di esercizio la risposta sismica della struttura è affidata esclusivamente alle sue caratteristiche di rigidità e resistenza.

⁴ Le righe di questo capitolo, fino alla presente nota, sono in gran parte state trascritte, integralmente, dalla seguente pubblicazione: C.G. Lai, S. Foti e M. Rota (2009) – Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione. IUSS Press, 312 p.

6.4.1 EFFETTI DI SITO

Amplificazione stratigrafica

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale può essere valutata in prima approssimazione con riferimento alle categorie di sottosuolo di cui al paragrafo § 3.2.2. delle NTC18. Il moto sismico alla superficie di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s \cdot a_g$ dove a_g è l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido ed S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Sono distinte 5 categorie speciali di sottosuolo (Tab. 3.2.III - § 3.2.2. delle NTC18), per determinati sistemi geotecnici o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante specifiche analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

Tabella 3. Tab. 3.2.III - § 3.2.2. delle NTC18.

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

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

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_0

e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV (§3.2.3.2. delle NTC18), nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 2 - Tab. 3.2.IV - § 3.2.3.2. delle NTC18.

Amplificazione topografica

Considerando le condizioni topografiche e morfologiche dell'area di studio (pianura, superficie topografica sub-orizzontale), il coefficiente di amplificazione topografica S_T può essere assunto pari ad 1, sulla base delle categorie individuate dalle NTC18 (tabella 3.2.III).

Tabella 3 - Tabelle 3.2.III e 3.2.V – NTC18.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

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

Per il sito in esame non si ha amplificazione topografica, essendo l'area pianeggiante (T1).

Di seguito si riportano i valori del fattore di amplificazione stratigrafica S_S per il sito in esame, per la categoria di suolo "B" e per ogni Stato Limite, calcolati con l'approccio semplificato consentito dalle NTC18 e con categoria topografica T1.

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">COMPONENTE ORIZZONTALE</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Parametri indipendenti</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Stato limite - SLO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a_g</td> <td>0,025</td> </tr> <tr> <td>F_o</td> <td>2,489</td> </tr> <tr> <td>T^*_C</td> <td>0,191</td> </tr> <tr> <td>S_S</td> <td>1,200</td> </tr> <tr> <td>C_C</td> <td>1,532</td> </tr> <tr> <td>S_T</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table>	COMPONENTE ORIZZONTALE		Parametri indipendenti		Stato limite - SLO		a_g	0,025	F_o	2,489	T^*_C	0,191	S_S	1,200	C_C	1,532	S_T	1,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">COMPONENTE ORIZZONTALE</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Parametri indipendenti</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Stato limite - SLD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a_g</td> <td>0,032</td> </tr> <tr> <td>F_o</td> <td>2,513</td> </tr> <tr> <td>T^*_C</td> <td>0,209</td> </tr> <tr> <td>S_S</td> <td>1,200</td> </tr> <tr> <td>C_C</td> <td>1,504</td> </tr> <tr> <td>S_T</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table>	COMPONENTE ORIZZONTALE		Parametri indipendenti		Stato limite - SLD		a_g	0,032	F_o	2,513	T^*_C	0,209	S_S	1,200	C_C	1,504	S_T	1,000
COMPONENTE ORIZZONTALE																																					
Parametri indipendenti																																					
Stato limite - SLO																																					
a_g	0,025																																				
F_o	2,489																																				
T^*_C	0,191																																				
S_S	1,200																																				
C_C	1,532																																				
S_T	1,000																																				
COMPONENTE ORIZZONTALE																																					
Parametri indipendenti																																					
Stato limite - SLD																																					
a_g	0,032																																				
F_o	2,513																																				
T^*_C	0,209																																				
S_S	1,200																																				
C_C	1,504																																				
S_T	1,000																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">COMPONENTE ORIZZONTALE</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Parametri indipendenti</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Stato limite - SLV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a_g</td> <td>0,079</td> </tr> <tr> <td>F_o</td> <td>2,524</td> </tr> <tr> <td>T^*_C</td> <td>0,280</td> </tr> <tr> <td>S_S</td> <td>1,200</td> </tr> <tr> <td>C_C</td> <td>1,419</td> </tr> <tr> <td>S_T</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table>	COMPONENTE ORIZZONTALE		Parametri indipendenti		Stato limite - SLV		a_g	0,079	F_o	2,524	T^*_C	0,280	S_S	1,200	C_C	1,419	S_T	1,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">COMPONENTE ORIZZONTALE</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Parametri indipendenti</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Stato limite - SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a_g</td> <td>0,104</td> </tr> <tr> <td>F_o</td> <td>2,507</td> </tr> <tr> <td>T^*_C</td> <td>0,289</td> </tr> <tr> <td>S_S</td> <td>1,200</td> </tr> <tr> <td>C_C</td> <td>1,410</td> </tr> <tr> <td>S_T</td> <td>1,000</td> </tr> </tbody> </table>	COMPONENTE ORIZZONTALE		Parametri indipendenti		Stato limite - SLC		a_g	0,104	F_o	2,507	T^*_C	0,289	S_S	1,200	C_C	1,410	S_T	1,000
COMPONENTE ORIZZONTALE																																					
Parametri indipendenti																																					
Stato limite - SLV																																					
a_g	0,079																																				
F_o	2,524																																				
T^*_C	0,280																																				
S_S	1,200																																				
C_C	1,419																																				
S_T	1,000																																				
COMPONENTE ORIZZONTALE																																					
Parametri indipendenti																																					
Stato limite - SLC																																					
a_g	0,104																																				
F_o	2,507																																				
T^*_C	0,289																																				
S_S	1,200																																				
C_C	1,410																																				
S_T	1,000																																				

Accelerazione massima orizzontale al suolo

La determinazione dell'**accelerazione massima orizzontale al sito**, per i 4 stati limite, sarà data dalla formula:

Per quanto riguarda l'azione sismica, sono state calcolate l'accelerazione massima al suolo (a_{max}) e lo spostamento orizzontale massimo del suolo (d_g), oltre alla velocità orizzontale massima del suolo (v_g), considerando il valore ottenuto nello Stato Limite della Vita nello spettro di progetto.

SLV

$$a_{max} = S \times a_g = \mathbf{0,929 \text{ m/sec}^2}$$

$$d_g = 0.025 S \times T_c \times T_d \times a_g = \mathbf{0.0012715 \text{ m}}$$

$$v_g = 0.16 \times S \times T_c \times a_g = \mathbf{0,004247 \text{ m/s}}$$

I **coefficienti sismici orizzontale e verticale**, per il sito in esame, sono dati rispettivamente dalle seguenti formule:

$$k_h = \frac{\beta_s \cdot a_{max}}{g}$$

dove: β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0.30	0.28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0.27	0.24
$a_g (g) \leq 0,1$	0.20	0.20

$$K_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

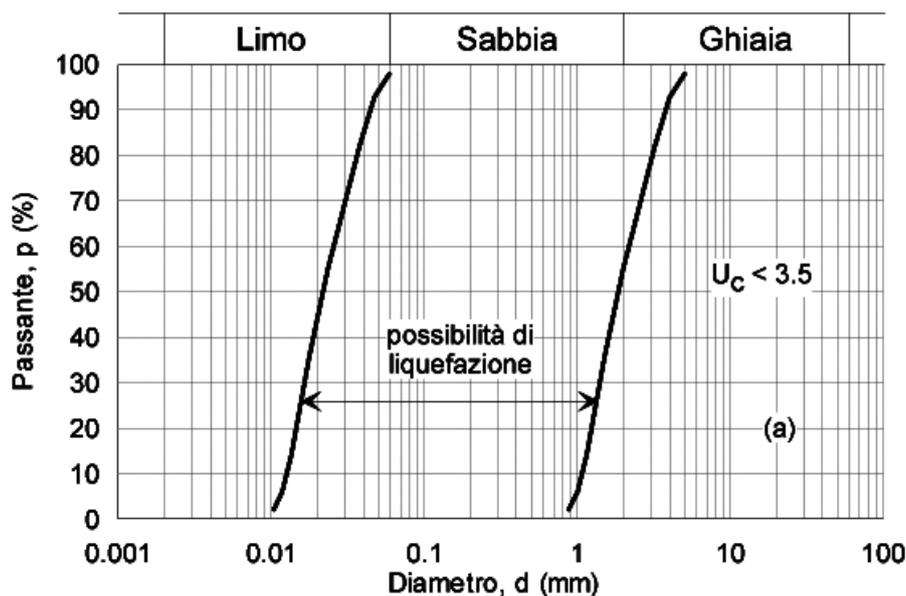
Pertanto, i coefficienti sismici orizzontali e verticali per i 4 stati limite saranno:

Stato limite	k_h	k_v
SLV	0,01896	$\pm 0,00948$

7 SUSCETTIBILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Secondo quanto fissato dalle NTC2018 (par. 7.11.3.4.2) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 26 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 26 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



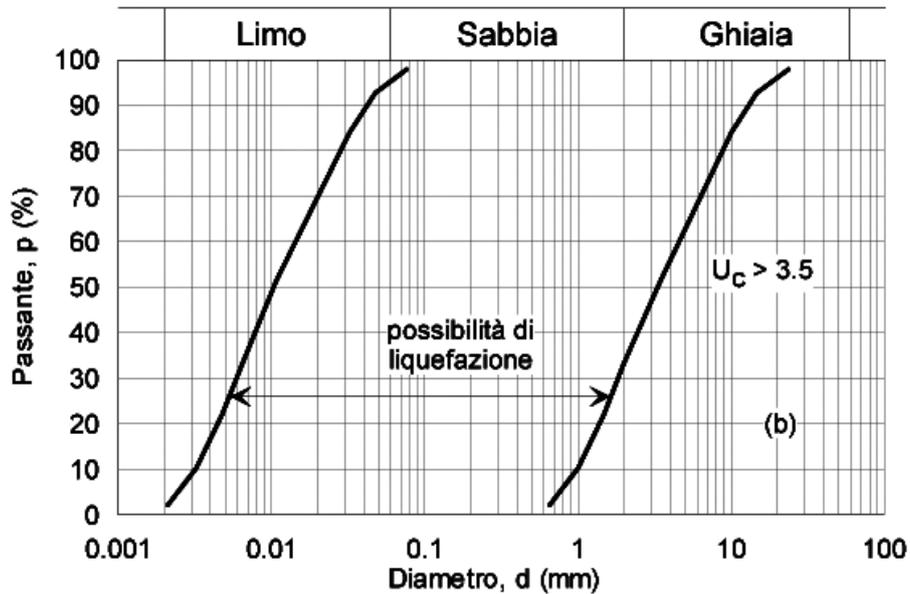


Fig. 26 Fusi granulometrici suscettibili di liquefazione

Gli approfondimenti geognostici effettuati consentono di escludere la presenza di strati suscettibili di liquefazione, dal momento che la litologia attraversata è caratterizzata da ghiaie grossolane in matrice limo-sabbiosa e che $a_{max} < 0,1g$.

9 CONCLUSIONI

La presente relazione tratta delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche di un'area situata al margine dell'area artigianale in Comune di Pozzuolo Martesana (MI).

Sulla base delle analisi e delle considerazioni svolte, si dichiara la fattibilità geologica dell'intervento in progetto; i parametri geotecnici sono stati desunti da una specifica indagine geognostica (8 prove penetrometriche dinamiche superpesanti) effettuata in corrispondenza del sito d'intervento.

Si è proceduto al calcolo della Risposta Sismica Locale con il metodo semplificato, come previsto dalle NTC2018, a partire da una specifica indagine sismica locale costituita da una prova MASW ed una HVSR: la classe sismica di appartenenza è la B, nei paragrafi dedicati sono riportati i parametri sismici da adottare nelle verifiche strutturali per i vari SL.

Sulla base delle verifiche effettuate, considerazioni ed ipotesi svolte, si dichiara la fattibilità geologica e sismica dell'intervento.

Castelnuovo Rangone (MO), 22/10/2024

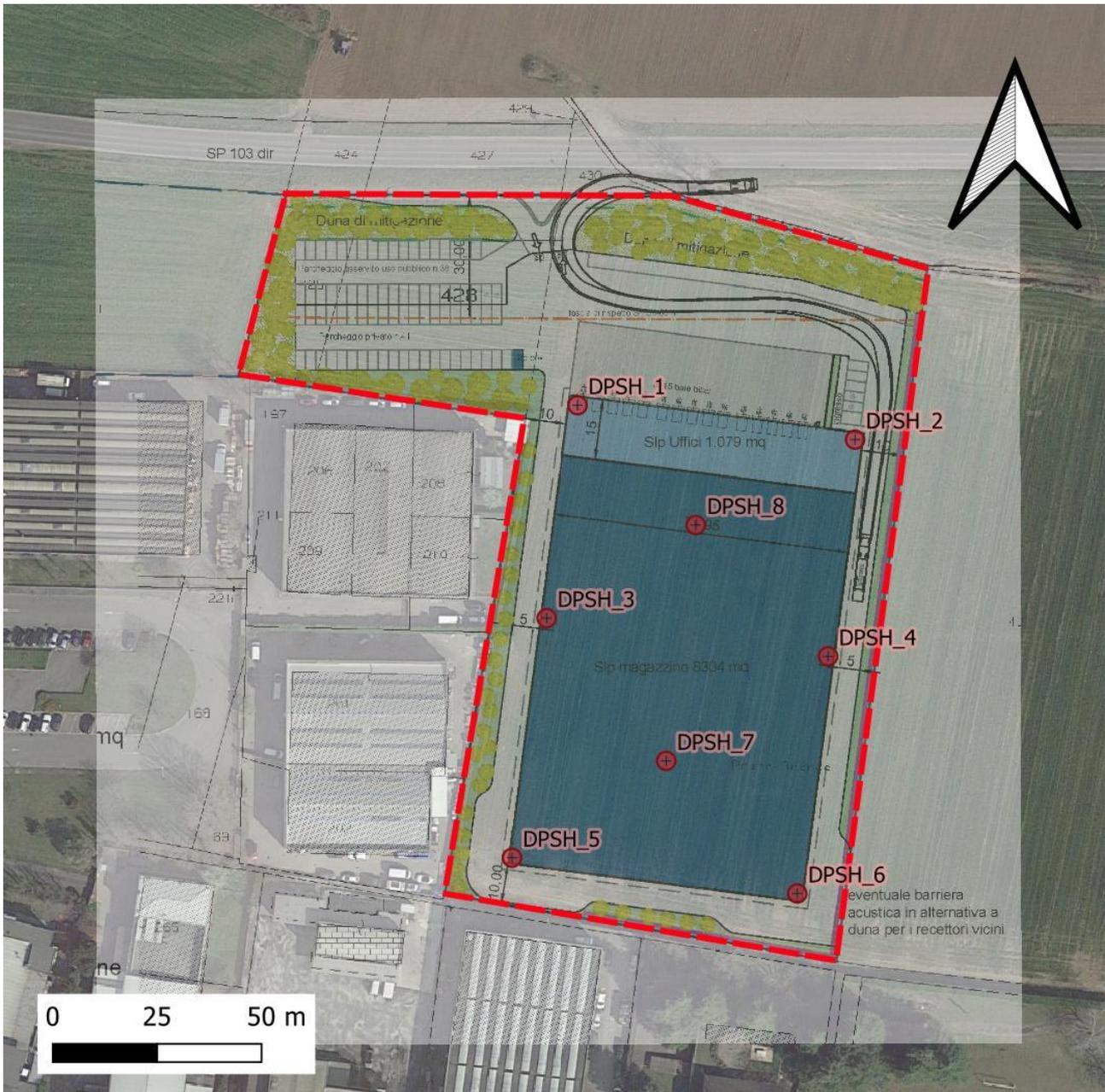
Dott.ssa Geol. Claudia Borelli



The stamp is circular and contains the following text: 'REGIONE EMILIA-ROMAGNA' at the top, 'DOTT.SSA CLAUDIA BORELLI' in the center, 'Emilia-Romagna' below the name, 'GEOLOGO' below that, 'SEZ. A' below that, and 'N. 937 ALBO. P. RANGONE' at the bottom. There is a blue ink signature over the stamp.

ALLEGATO 1

UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE



ALLEGATO 2

CERTIFICATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

ALLEGATO 3

PROVE DI PERMEABILITÀ

ALLEGATO 2

CERTIFICATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Dott. Borelli Claudia Cantiere: SP 103 DIR Località: Serramazzone POZZUOLO MARTESANO (MI)	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-100 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 5,20 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

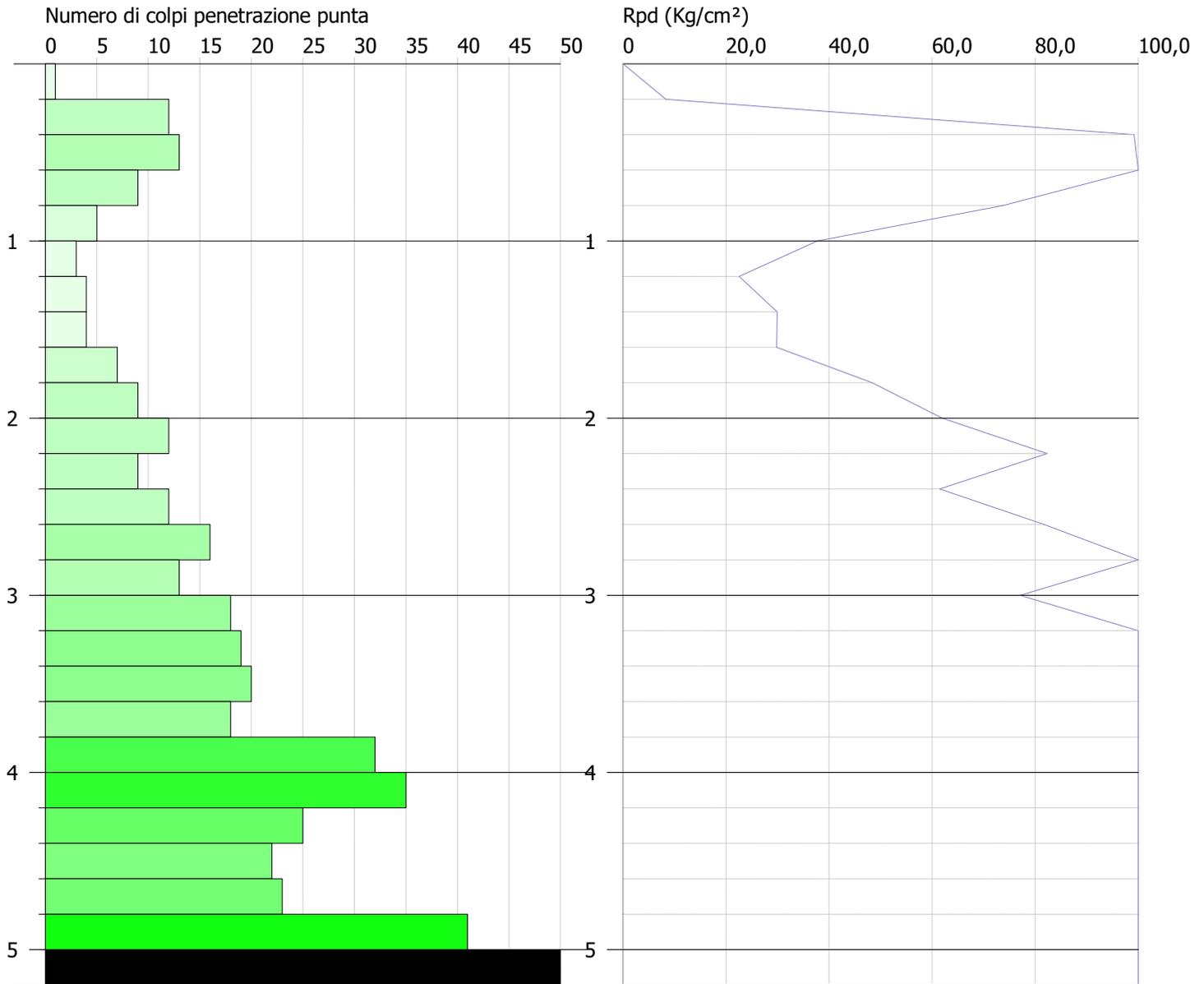
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	12	0,851	99,21	116,61	4,96	5,83
0,60	13	0,797	100,69	126,33	5,03	6,32
0,80	9	0,843	73,76	87,46	3,69	4,37
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	4	0,833	29,95	35,96	1,50	1,80
1,60	4	0,830	29,83	35,96	1,49	1,80
1,80	7	0,826	52,00	62,93	2,60	3,15
2,00	9	0,823	61,96	75,27	3,10	3,76
2,20	12	0,820	82,31	100,36	4,12	5,02
2,40	9	0,817	61,51	75,27	3,08	3,76
2,60	12	0,814	81,72	100,36	4,09	5,02
2,80	16	0,761	101,89	133,81	5,09	6,69
3,00	13	0,759	77,11	101,64	3,86	5,08
3,20	18	0,756	106,39	140,73	5,32	7,04
3,40	19	0,753	111,92	148,55	5,60	7,43
3,60	20	0,751	117,41	156,37	5,87	7,82
3,80	18	0,748	105,33	140,73	5,27	7,04
4,00	32	0,646	151,74	234,89	7,59	11,74
4,20	35	0,644	165,37	256,91	8,27	12,85
4,40	25	0,691	126,88	183,51	6,34	9,18
4,60	22	0,689	111,30	161,49	5,57	8,07
4,80	23	0,687	116,00	168,83	5,80	8,44
5,00	41	0,585	165,92	283,60	8,30	14,18
5,20	50	0,583	201,64	345,86	10,08	17,29

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 5,60 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

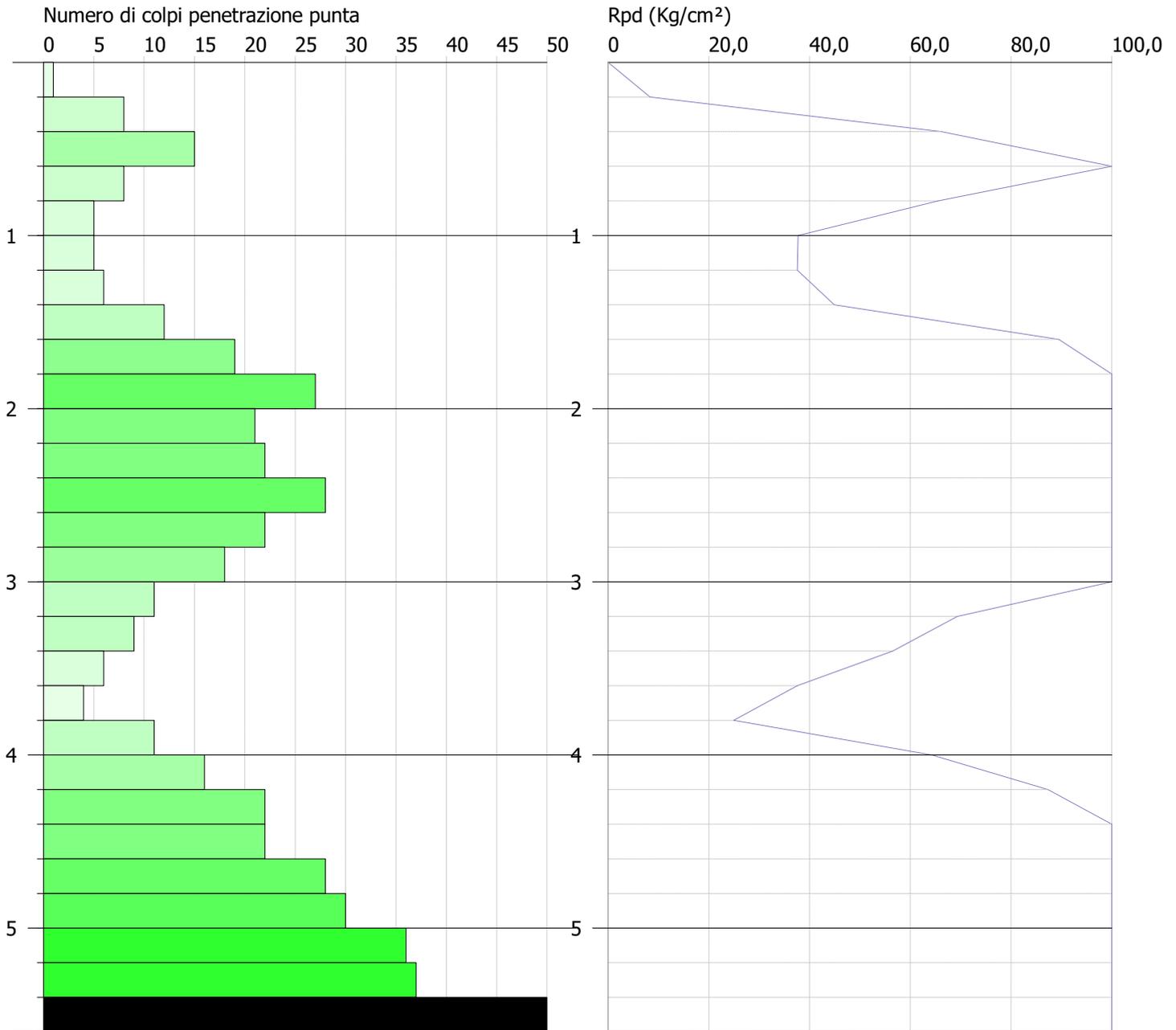
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	8	0,851	66,14	77,74	3,31	3,89
0,60	15	0,797	116,18	145,77	5,81	7,29
0,80	8	0,843	65,56	77,74	3,28	3,89
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	5	0,836	37,59	44,95	1,88	2,25
1,40	6	0,833	44,92	53,94	2,25	2,70
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	19	0,776	132,60	170,81	6,63	8,54
2,00	27	0,723	163,30	225,81	8,17	11,29
2,20	21	0,720	126,48	175,63	6,32	8,78
2,40	22	0,717	131,95	183,99	6,60	9,20
2,60	28	0,714	167,26	234,17	8,36	11,71
2,80	22	0,711	130,90	183,99	6,54	9,20
3,00	18	0,759	106,77	140,73	5,34	7,04
3,20	11	0,806	69,32	86,00	3,47	4,30
3,40	9	0,803	56,53	70,37	2,83	3,52
3,60	6	0,801	37,57	46,91	1,88	2,35
3,80	4	0,798	24,97	31,27	1,25	1,56
4,00	11	0,796	64,27	80,74	3,21	4,04
4,20	16	0,744	87,34	117,44	4,37	5,87
4,40	22	0,691	111,66	161,49	5,58	8,07
4,60	22	0,689	111,30	161,49	5,57	8,07
4,80	28	0,687	141,22	205,53	7,06	10,28
5,00	30	0,685	142,15	207,52	7,11	10,38
5,20	36	0,633	157,63	249,02	7,88	12,45
5,40	37	0,631	161,51	255,94	8,08	12,80
5,60	50	0,579	200,30	345,86	10,01	17,29

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 4,40 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

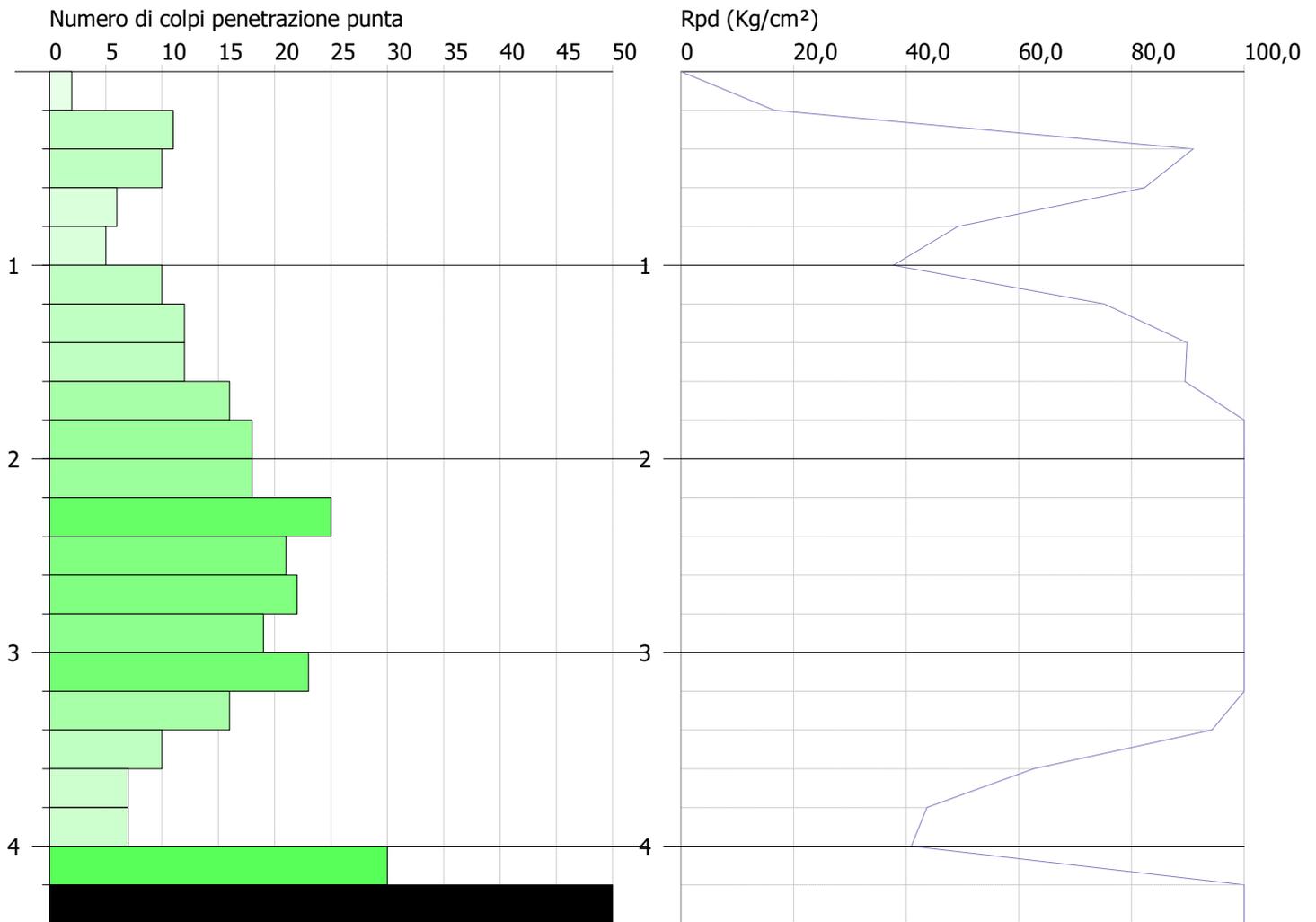
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	11	0,851	90,94	106,90	4,55	5,34
0,60	10	0,847	82,31	97,18	4,12	4,86
0,80	6	0,843	49,17	58,31	2,46	2,92
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	10	0,836	75,18	89,90	3,76	4,49
1,40	12	0,833	89,85	107,88	4,49	5,39
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	18	0,773	116,40	150,54	5,82	7,53
2,20	18	0,770	115,93	150,54	5,80	7,53
2,40	25	0,717	149,94	209,08	7,50	10,45
2,60	21	0,714	125,44	175,63	6,27	8,78
2,80	22	0,711	130,90	183,99	6,54	9,20
3,00	19	0,759	112,70	148,55	5,64	7,43
3,20	23	0,706	126,96	179,83	6,35	8,99
3,40	16	0,753	94,25	125,10	4,71	6,25
3,60	10	0,801	62,62	78,18	3,13	3,91
3,80	7	0,798	43,70	54,73	2,18	2,74
4,00	7	0,796	40,90	51,38	2,05	2,57
4,20	30	0,694	152,76	220,21	7,64	11,01
4,40	50	0,591	217,06	367,01	10,85	18,35

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 3,40 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

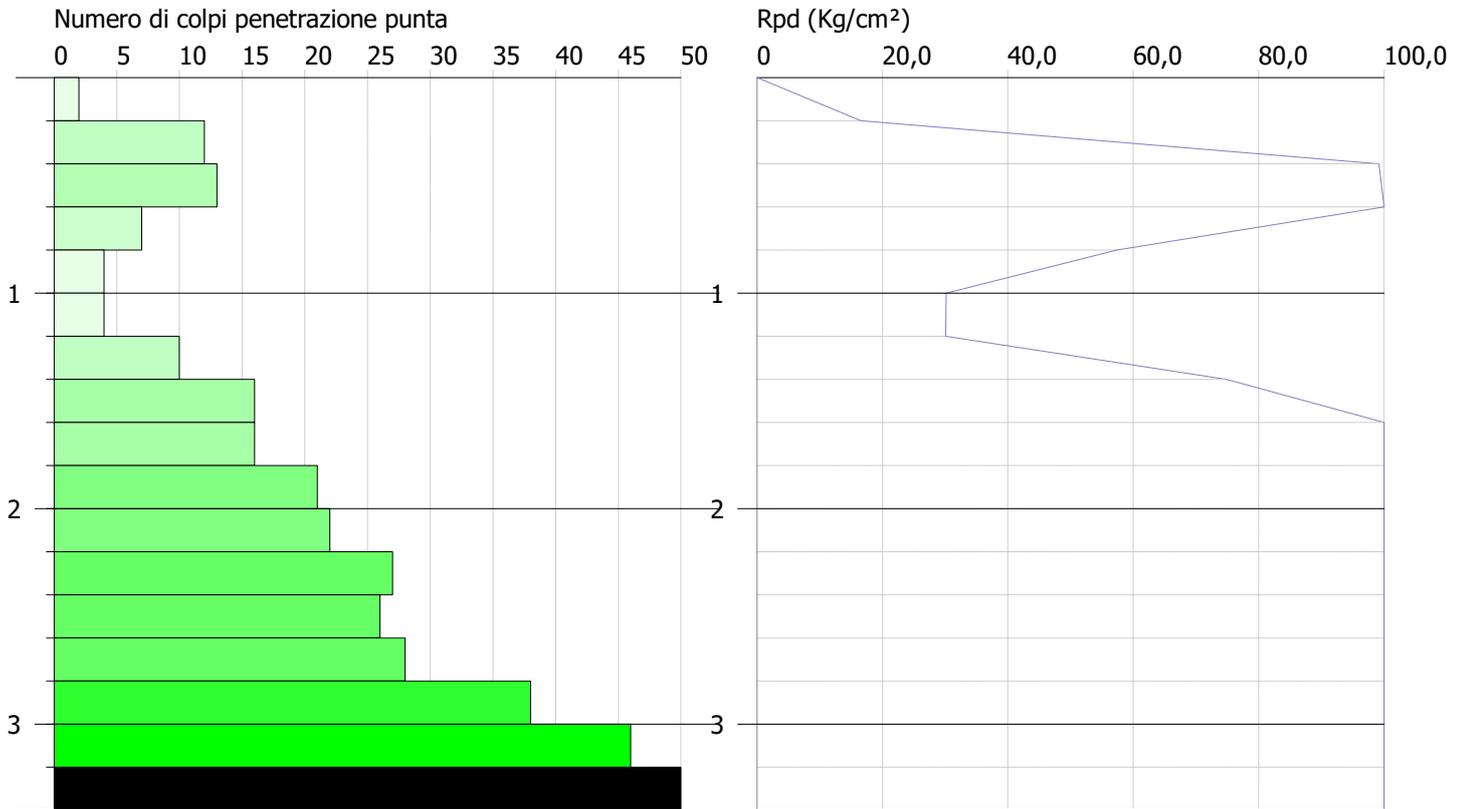
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	12	0,851	99,21	116,61	4,96	5,83
0,60	13	0,797	100,69	126,33	5,03	6,32
0,80	7	0,843	57,37	68,02	2,87	3,40
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	10	0,833	74,87	89,90	3,74	4,49
1,60	16	0,780	112,13	143,84	5,61	7,19
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	21	0,723	127,01	175,63	6,35	8,78
2,20	22	0,720	132,50	183,99	6,62	9,20
2,40	27	0,717	161,94	225,81	8,10	11,29
2,60	26	0,714	155,31	217,45	7,77	10,87
2,80	28	0,711	166,60	234,17	8,33	11,71
3,00	38	0,659	195,69	297,10	9,78	14,86
3,20	46	0,606	217,95	359,65	10,90	17,98
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 3,40 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

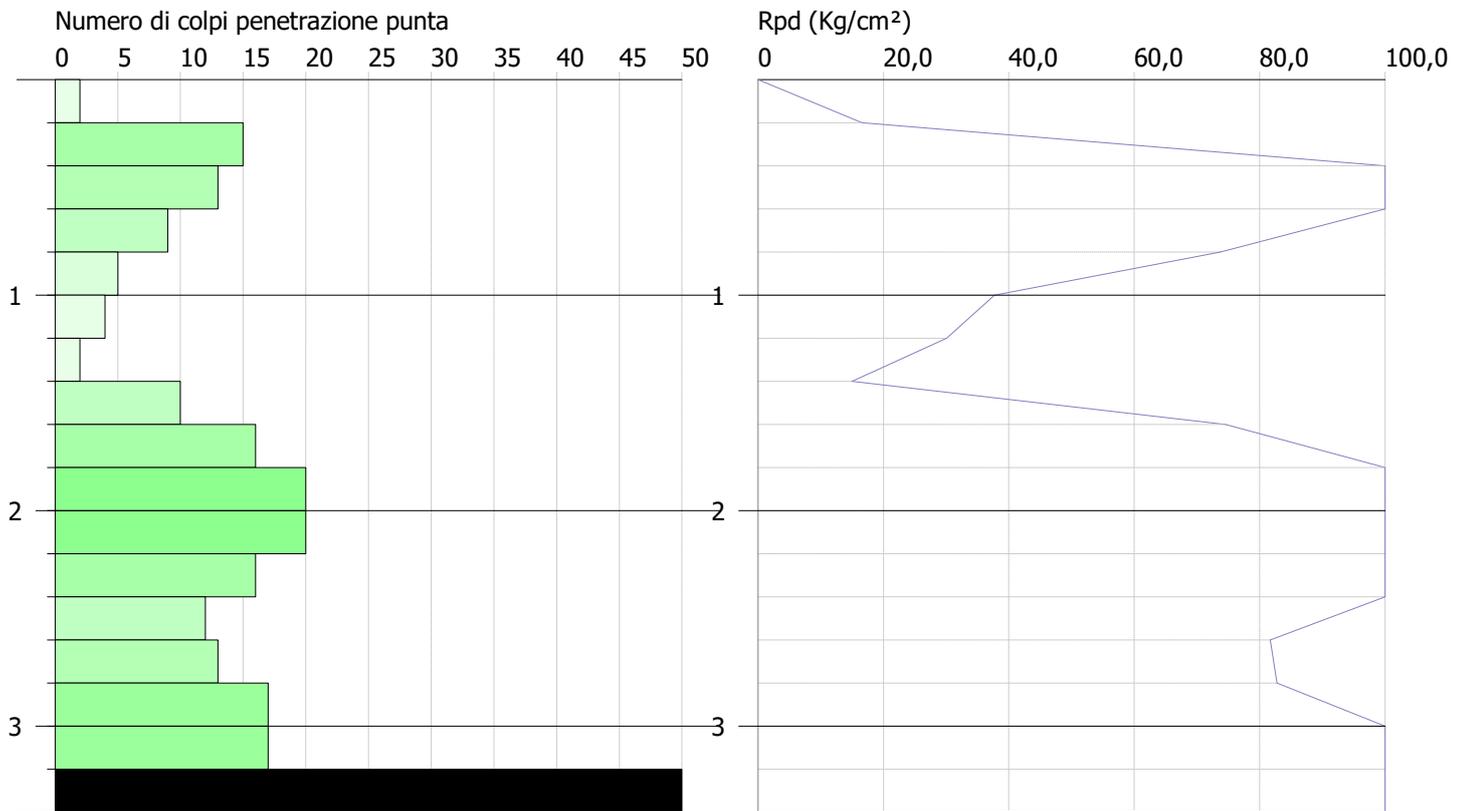
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	15	0,801	116,73	145,77	5,84	7,29
0,60	13	0,797	100,69	126,33	5,03	6,32
0,80	9	0,843	73,76	87,46	3,69	4,37
1,00	5	0,840	37,75	44,95	1,89	2,25
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	2	0,833	14,97	17,98	0,75	0,90
1,60	10	0,830	74,58	89,90	3,73	4,49
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	20	0,773	129,33	167,27	6,47	8,36
2,20	20	0,770	128,82	167,27	6,44	8,36
2,40	16	0,767	102,65	133,81	5,13	6,69
2,60	12	0,814	81,72	100,36	4,09	5,02
2,80	13	0,761	82,78	108,72	4,14	5,44
3,00	17	0,759	100,84	132,91	5,04	6,65
3,20	17	0,756	100,48	132,91	5,02	6,65
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.6

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 4,60 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

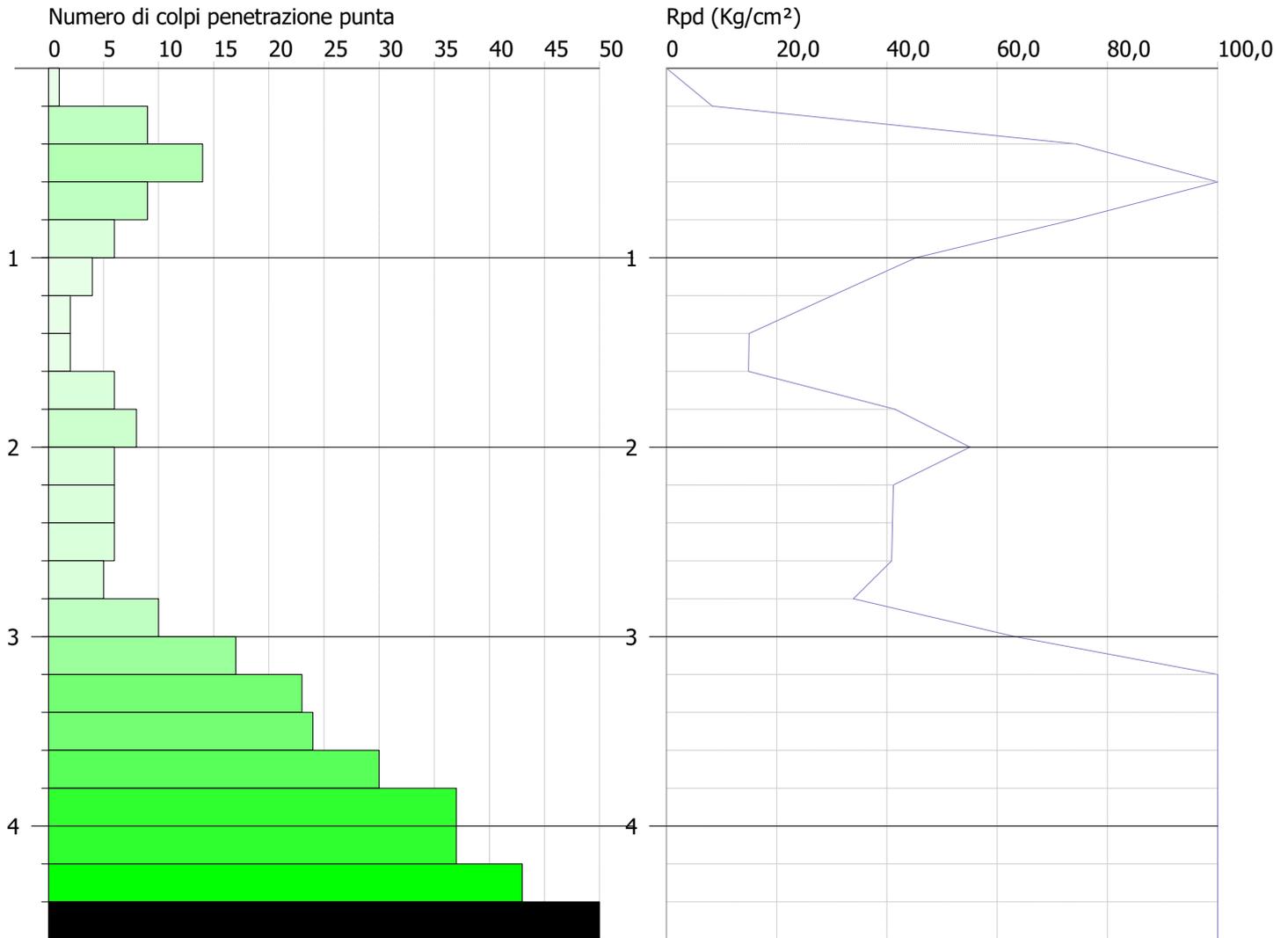
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	9	0,851	74,41	87,46	3,72	4,37
0,60	14	0,797	108,43	136,05	5,42	6,80
0,80	9	0,843	73,76	87,46	3,69	4,37
1,00	6	0,840	45,30	53,94	2,26	2,70
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	2	0,833	14,97	17,98	0,75	0,90
1,60	2	0,830	14,92	17,98	0,75	0,90
1,80	6	0,826	44,57	53,94	2,23	2,70
2,00	8	0,823	55,08	66,91	2,75	3,35
2,20	6	0,820	41,15	50,18	2,06	2,51
2,40	6	0,817	41,00	50,18	2,05	2,51
2,60	6	0,814	40,86	50,18	2,04	2,51
2,80	5	0,811	33,93	41,82	1,70	2,09
3,00	10	0,809	63,23	78,18	3,16	3,91
3,20	17	0,756	100,48	132,91	5,02	6,65
3,40	23	0,703	126,49	179,83	6,32	8,99
3,60	24	0,701	131,51	187,64	6,58	9,38
3,80	30	0,698	163,82	234,55	8,19	11,73
4,00	37	0,646	175,45	271,59	8,77	13,58
4,20	37	0,644	174,82	271,59	8,74	13,58
4,40	43	0,591	186,68	315,63	9,33	15,78
4,60	50	0,589	216,26	367,01	10,81	18,35

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.7

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 3,00 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

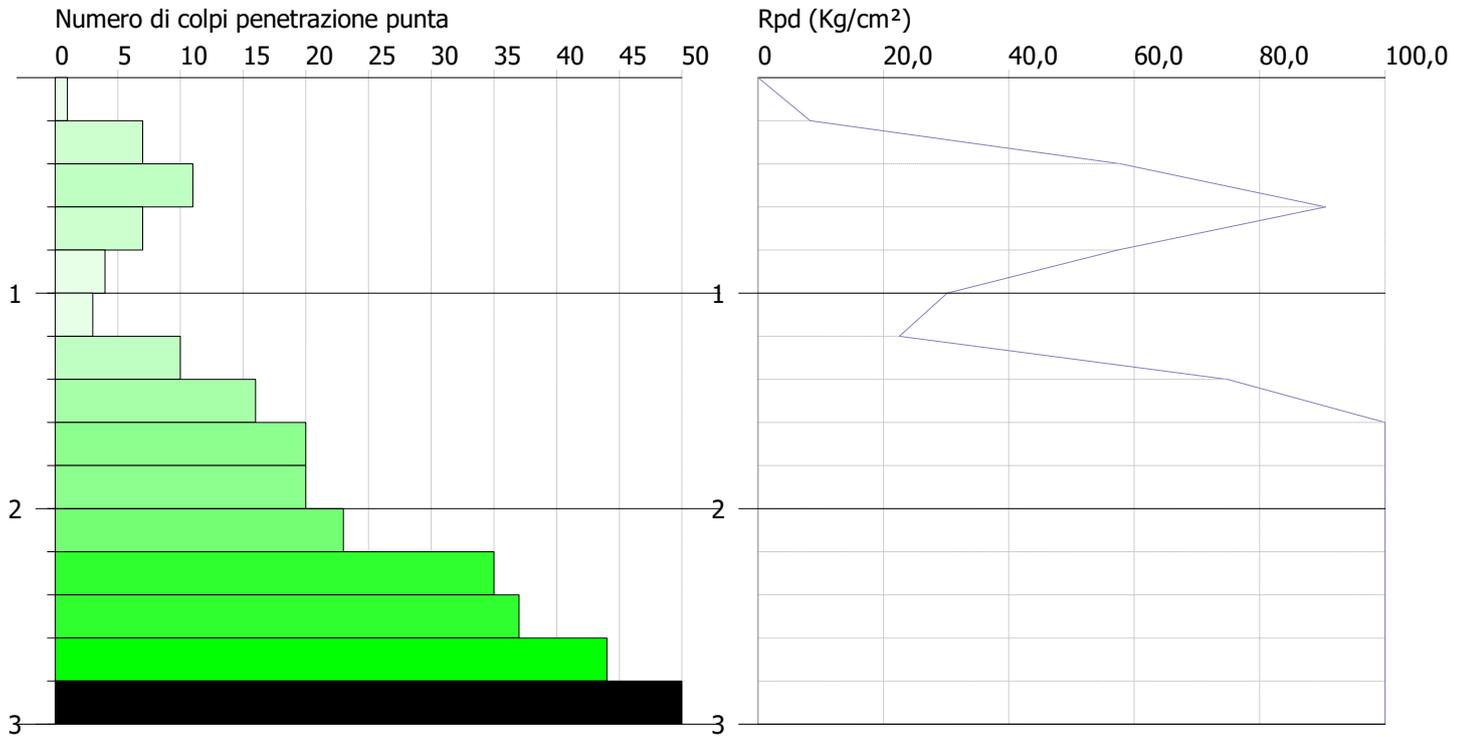
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	7	0,851	57,87	68,02	2,89	3,40
0,60	11	0,847	90,54	106,90	4,53	5,34
0,80	7	0,843	57,37	68,02	2,87	3,40
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	10	0,833	74,87	89,90	3,74	4,49
1,60	16	0,780	112,13	143,84	5,61	7,19
1,80	20	0,776	139,58	179,80	6,98	8,99
2,00	20	0,773	129,33	167,27	6,47	8,36
2,20	23	0,720	138,52	192,36	6,93	9,62
2,40	35	0,667	195,28	292,72	9,76	14,64
2,60	37	0,664	205,55	309,44	10,28	15,47
2,80	44	0,611	225,00	367,99	11,25	18,40
3,00	50	0,609	237,95	390,92	11,90	19,55

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.7
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



PROVA ... Nr.8

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI
Prova eseguita in data 14/07/2022
Profondità prova 3,40 mt
Falda assente

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

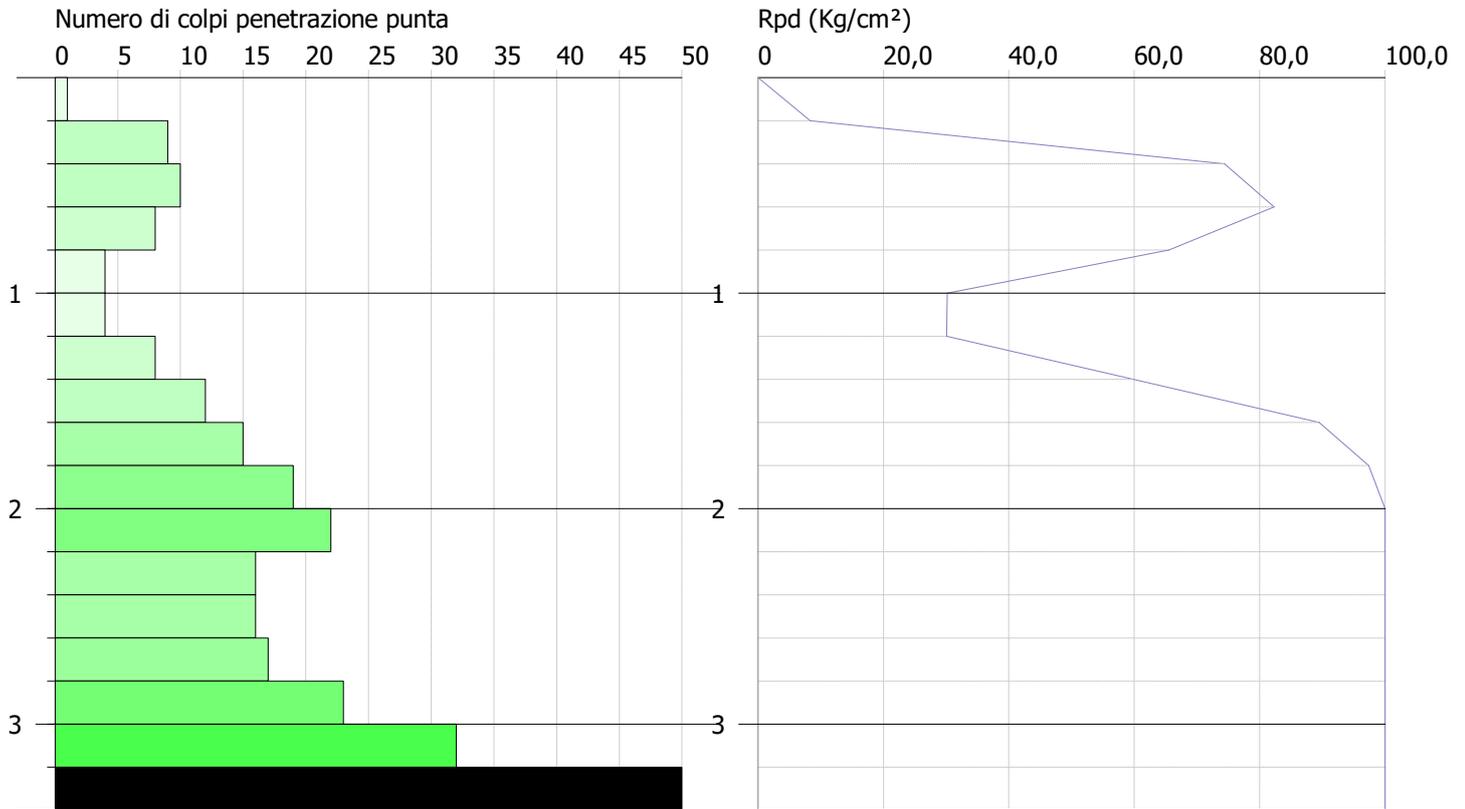
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	9	0,851	74,41	87,46	3,72	4,37
0,60	10	0,847	82,31	97,18	4,12	4,86
0,80	8	0,843	65,56	77,74	3,28	3,89
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	8	0,833	59,90	71,92	2,99	3,60
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	15	0,776	104,69	134,85	5,23	6,74
2,00	19	0,773	122,86	158,90	6,14	7,95
2,20	22	0,720	132,50	183,99	6,62	9,20
2,40	16	0,767	102,65	133,81	5,13	6,69
2,60	16	0,764	102,27	133,81	5,11	6,69
2,80	17	0,761	108,26	142,18	5,41	7,11
3,00	23	0,709	127,44	179,83	6,37	8,99
3,20	32	0,656	164,13	250,19	8,21	12,51
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.8
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Dott.Geol.Borelli Claudia
Cantiere: SP103 DIR
Località: Pozzuolo Martesano (MI)

Data: 14/07/2022

Scala 1:35



ALLEGATO 3

PROVE DI PERMEABILITÀ

COMMITTENTE: XBT S.r.l.
 CANTIERE: Pozzuolo Martesana (MI) SONDAGGIO: S1
 LOCALITA': Pozzuolo Martesana (MI) PROVA n°: 2
 DATA: 25/07/2022 DA m 3,05 A m 3,25

MODALITA' PROVA:
 Immissione Carico costante
 Estrazione Carico variabile

FALDA (m da p.c.)

Contatore tipo :

ANALOGICO

Vol. tasca (lt):

633,38

Lunghezza tasca (m):

0,20

Profondità foro m da p.c.:

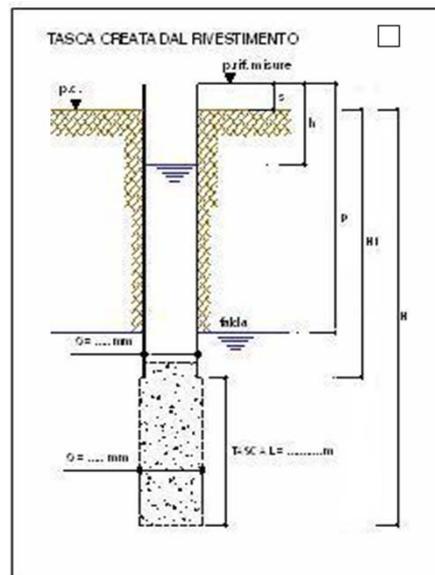
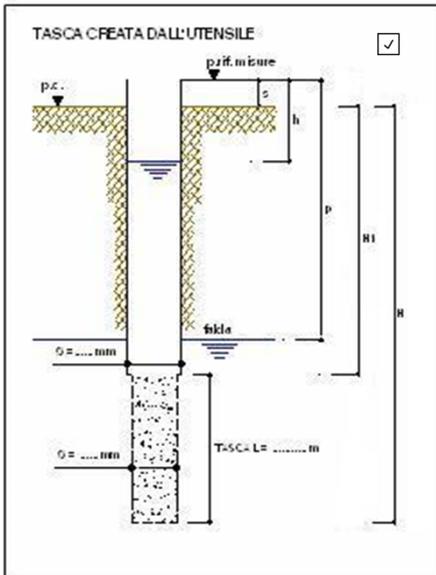
3,25

Profondità rivestimento m da p.c.:

305,00

Sporgenza rivestimento m da p.c.:

0,00

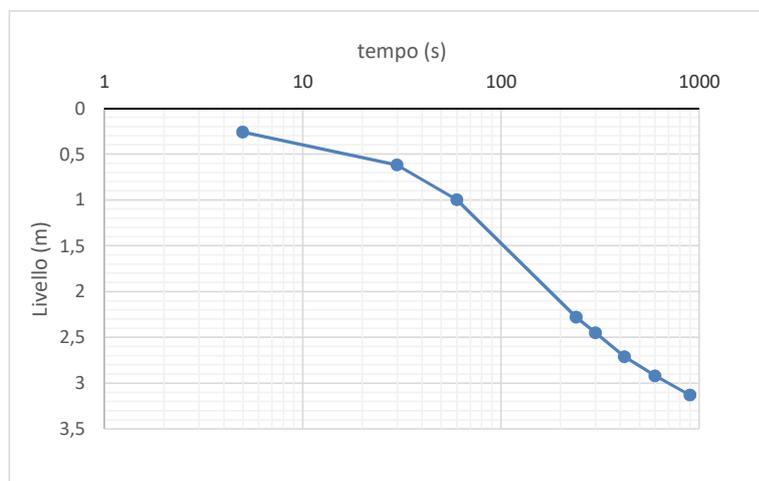


CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI SONDAGGIO

Perforatrice : Diam. Rivestimento (mm): 127 Diam. Carotiere (mm): 127
 Pompa acqua: Tipo carotiere: semplice

PROVA A LIVELLO VARIABILE

t	livello
sec	m
5	0,26
30	0,62
60	1
240	2,28
300	2,45
420	2,71
600	2,92
900	3,13
1200	3,25

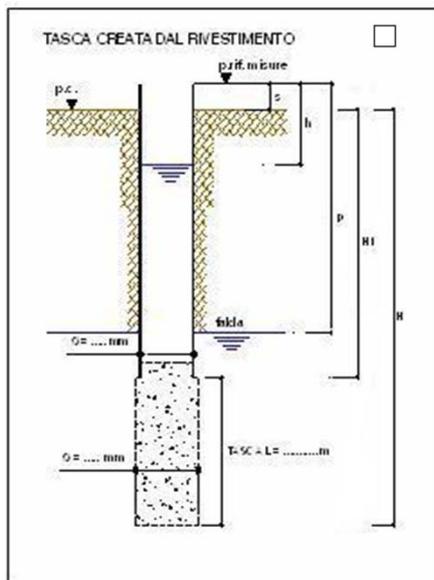
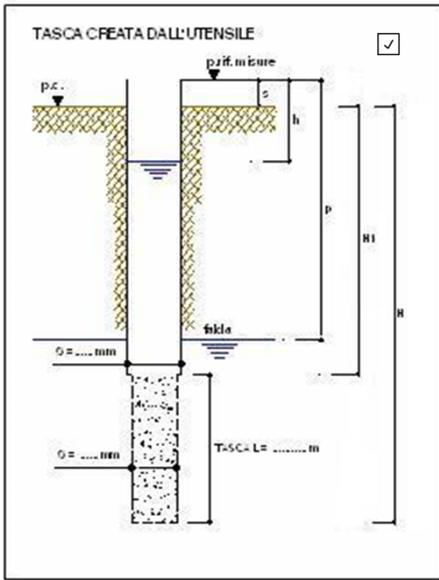


$$k = A \times \ln(h_1/h_2) / 1,03 \times (t_2 - t_1)$$

k 2,96E-04 m/s

COMMITTENTE:	XBT S.r.l.		
CANTIERE:	Pozzuolo Martesana (MI)	SONDAGGIO:	S1
LOCALITA':	Pozzuolo Martesana (MI)	PROVA n°:	1
DATA :	25/07/2022	DA m	1,75 A m 2,25

MODALITA' PROVA:	<input checked="" type="checkbox"/> Immissione	<input type="checkbox"/> Carico costante
	<input type="checkbox"/> Estrazione	<input checked="" type="checkbox"/> Carico variabile

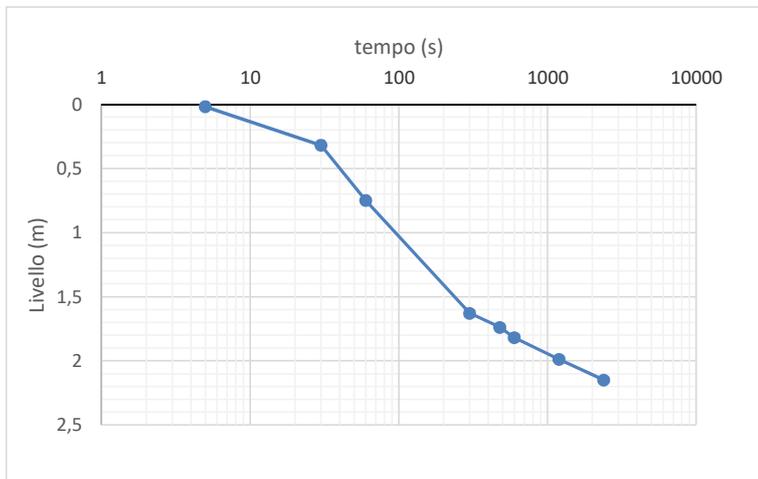


FALDA (m da p.c.)	
Contatore tipo :	ANALOGICO
Vol. tasca (lt):	633,38
Lunghezza tasca (m):	0,50
Profondità foro m da p.c.:	2,25
Profondità rivestimento m da p.c.:	175,00
Sporgenza rivestimento m da p.c.:	0,00

CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI SONDAGGIO			
Perforatrice :		Diam. Rivestimento (mm):	127
Pompa acqua:		Diam. Carotiere (mm):	127
		Tipo carotiere:	semplice

PROVA A LIVELLO VARIABILE

t	livello
sec	m
5	0,02
30	0,32
60	0,75
300	1,63
480	1,74
600	1,82
1200	1,99
2400	2,15
3600	2,20



$$k = A \times \ln(h_1/h_2) / 1,03 \times (t_2 - t_1)$$

k 5,482E-06 m/s