

00	aprile 2019	EMISSIONE			
REV.	DATA	OGGETTO DELLA MODIFICA	DIS.	VER.	APP.

PROPRIETARI:

Autotrasporti Vercesi S.p.A.

Sede Legale: Via Siena 23 - 20060 Pozzuolo Martesana (MI)
Legale Rappresentante: Vercesi Paola

Libruma Costruzioni S.r.L.

Sede Legale: Viale Papiano 31 - 20123 Milano
Legale Rappresentante: Calabrese Savino Marco

GGR S.r.L.

Sede Legale: Via Vincenzo Bellini 23 - 20060 Pozzuolo Martesana (MI)
Procuratore speciale: Ferrario Riccardo

ARPES S.n.c. DI ARRIGONI CARLO E UMBERTO

Sede Legale: 20060 Pozzuolo Martesana (MI)
Procuratore speciale: Arrigoni Carlo e Arrigoni Umberto

ARRIGONI CARLO

C.F.:RRGCRL47L21G965Z

ARRIGONI UMBERTO

C.F.:RRGMRT55P23G965Z

PROLOGIS ITALY XXXIX S.r.l.

Sede Legale: Via Marina 6 - 20121 Milano (MI)
CF/P.IVA 10426740964
pec: prologis.italy.xxxixsrl@legalmail.it
Legale Rappresentante: Innocenti Sandro

PROGETTO:

COMUNE DI POZZUOLO MARTESANA

PROVINCIA DI MILANO

**VARIANTE AL PIANO ATTUATIVO PER
REALIZZAZIONE DI INSEDIAMENTI PRODUTTIVI**

PAV 4 - ex "Tp2" e "COMPARTO 3"
Approvato con D.C.C. n. 42 del 27/09/2012 e successiva
D.G.C.n. 69 del 23/5/2013

PROGETTISTI:



Geom. Salvatore Ragona

Iscrizione n. 2785 all'Albo dei Geometri
della provincia di Novara

Corso XXIII Marzo 91 - 28100 Novara
Mobile: +39 348 5256 968
Phone +39 0321860168
e-mail pec: salvatore.ragona@geopec.it

XBT srl
Sede Legale
C.so XXIII Marzo, 91 - 28100 NOVARA
P.I. e C.F. 02515520035



ista
Ingegneria per lo sviluppo del territorio e dell'ambiente
28100 novara (Italy) via magnani ricotti, 8
telefono +39 0321 623 303 fax +39 0321 233 556 email ista@istaer.it

Ing. Pettinati Ubezio Roberto
Iscrizione n. 834/A all'albo di Prov. Novara



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOTECNICA - SISMICA

DATA:

03.04.2019

COMM.:

ELABORATO N°:

D2

SCALA:



Corso XXIII Marzo 91 – 20100 Novara

INSEDIAMENTI PRODUTTIVI

Relazione geotecnica e sismica



Comune di Pozzuolo Martesana (MI)

Revisione 01

Dott. Geol. Gabriele Anselmi



Dott. Ing. Marco Saleri



INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E DOCUMENTI D'INTERESSE	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	INQUADRAMENTO CATASTALE	2
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	2
6	INDAGINI 2011	9
6.1	Prove penetrometriche dinamiche (DPSH)	10
6.2	Stratigrafia	10
7	INDAGINI 2018	12
7.1	Pozzetti esplorativi	13
7.2	Prove di permeabilità	17
7.3	MASW	20
8	SISMICITA'	26
8.1	Valutazione della suscettibilità sismica dell'area	33
8.2	Pericolosità sismica locale	37
9	PARAMETRI SISMICI	39
9.1	Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	39
9.2	Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno	40
9.3	Definizione della pericolosità sismica di base	42
9.4	Pericolosità sismica di sito	47
9.4.1	Coefficienti sismici	47
9.4.2	Stabilità dei pendii e fondazioni	47
9.5	Pericolosità sismica di base	48
9.6	Pericolosità sismica di sito	51
10	PARAMETRI GEOTECNICI	55
11	LIQUEFAZIONE	56
12	CAPACITÀ PORTANTE	58
12.1	Fondazioni superficiali	58
12.2	Cedimenti	59
12.3	Piani di posa delle fondazioni	61
13	CONCLUSIONI	63
	Allegato 1 – Indagini	64

1 PREMESSA

La presente relazione geotecnica-sismica è stata redatta per la realizzazione di insediamenti produttivi sulle aree TP2 e comparto 3 del comune di Pozzuolo Martesana (MI), tra via Livorno nord e la strada provinciale SP103, come mostrato dalla figura successiva.



Figura 1: area d'intervento evidenziata in rosso.

Il terreno destinato agli edifici è posto in pianura alla quota media di 123,5 m s.l.m.

Tale relazione ottempera a quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

2 NORMATIVA E DOCUMENTI D'INTERESSE

- **D.M. LL.PP. del 11/03/1988** - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **D.g.r. 30 marzo 2016** - n. X/5001 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).
- **D.G.R. 21 Maggio 2014**, n. 65-7656 – Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084.
- **D.G.R. 19 Gennaio 2010**, n. 11-13058 - Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006).
- **Circ. Min. 10/04/1997** n. 65: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16/01/1996".
- Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- **O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003** (Supplemento ordinario alla G.U. 8.5.2003 n.105).
- Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- **Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018** - Serie generale.
- **D.M. 17.01.2018**: Norme Tecniche per le Costruzioni.
- Comune di Pozzuolo Martesana (MI): Piano di Governo del Territorio (PGT) vigente dal 20/01/2016.
- <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- “Piano attuativo. Studio di fattibilità geotecnica – indagine geotecnica”. (Studio Bottoni, novembre 2011).

4 INQUADRAMENTO CATASTALE

Nella seguente figura è riportato uno stralcio della mappa catastale in cui ricade l'area oggetto dell'intervento.



5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto d'interesse è rappresentata nel Foglio n. 45 "Milano" della Carta Geologica Italiana, in scala 1: 100.000, riportato nella figura seguente.

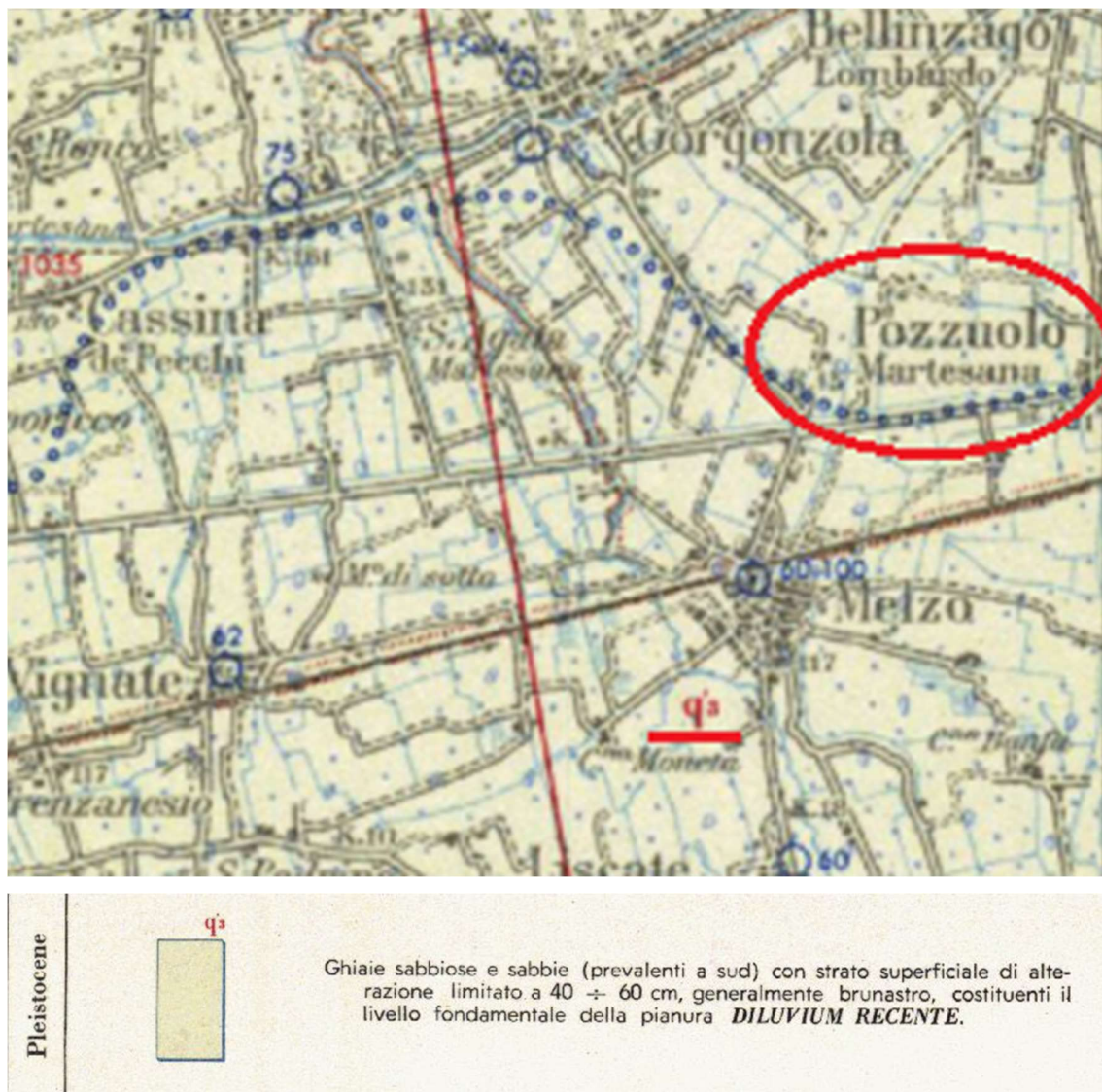


Figura 2: Carta Geologica d'Italia - Foglio Milano n° 45, in scala 1:100.000, con relativa legenda e area d'interesse indicata da un cerchio rosso.

L'area oggetto di studio è situata in una zona pianeggiante costituito da alluvioni recenti, come illustrato nel Foglio n. 45 "Milano" della Carta Geologica Italiana.

Per una descrizione geologica di maggior dettaglio dell'area, si riporta uno stralcio della "Carta geologica, litologica e geomorfologica", in scala 1:10.000 (luglio 2014), e della "Carta geotecnica", in scala 1:10.000 (luglio 2014), del Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Pozzuolo Martesana.

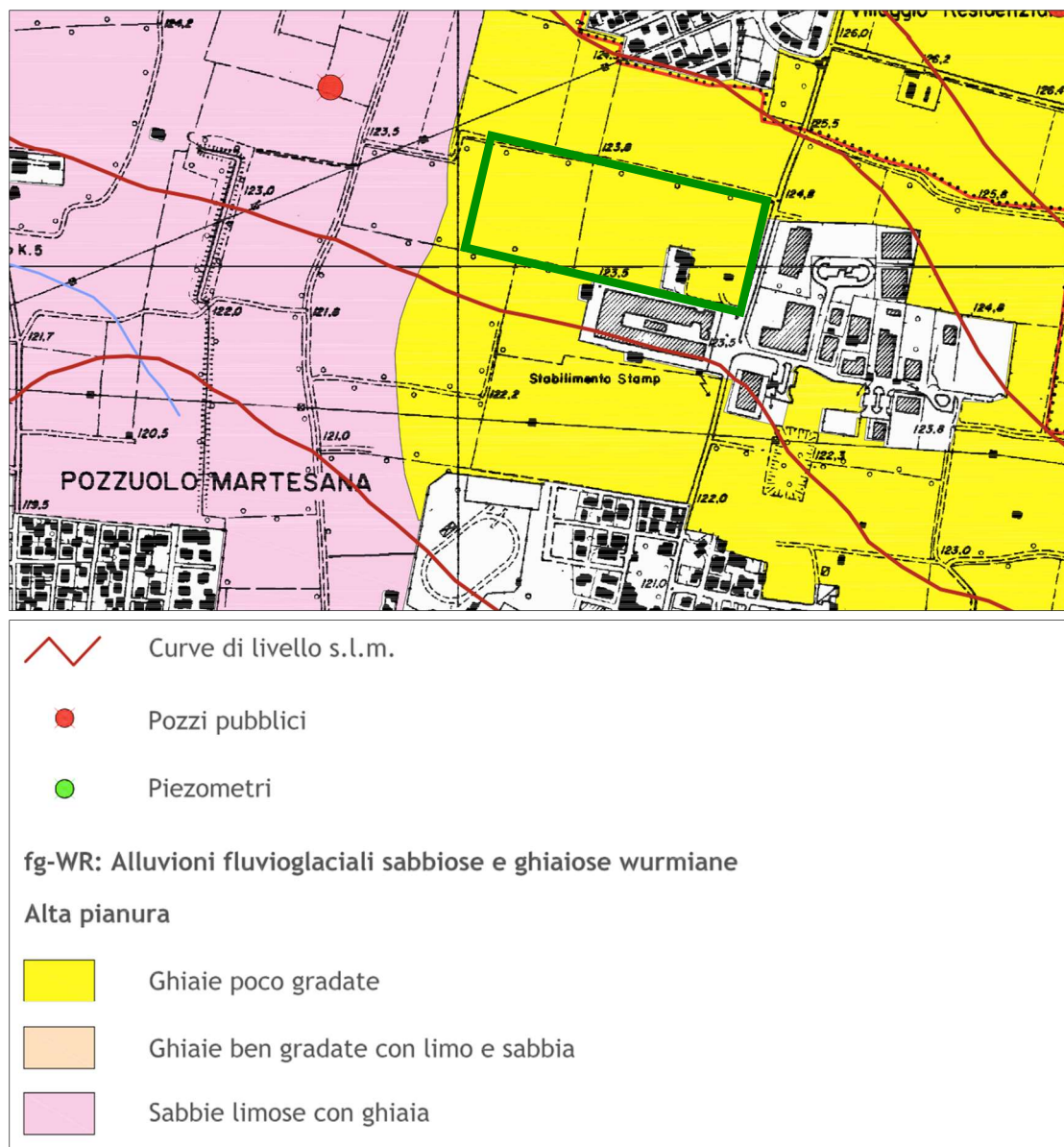


Figura 3: “Carta geologica, litologica e geomorfologica”, in scala 1:10.000 (luglio 2014) del Comune di Pozzuolo Martesana, con relativa legenda e un rettangolo verde a indicare la zona d’interesse.

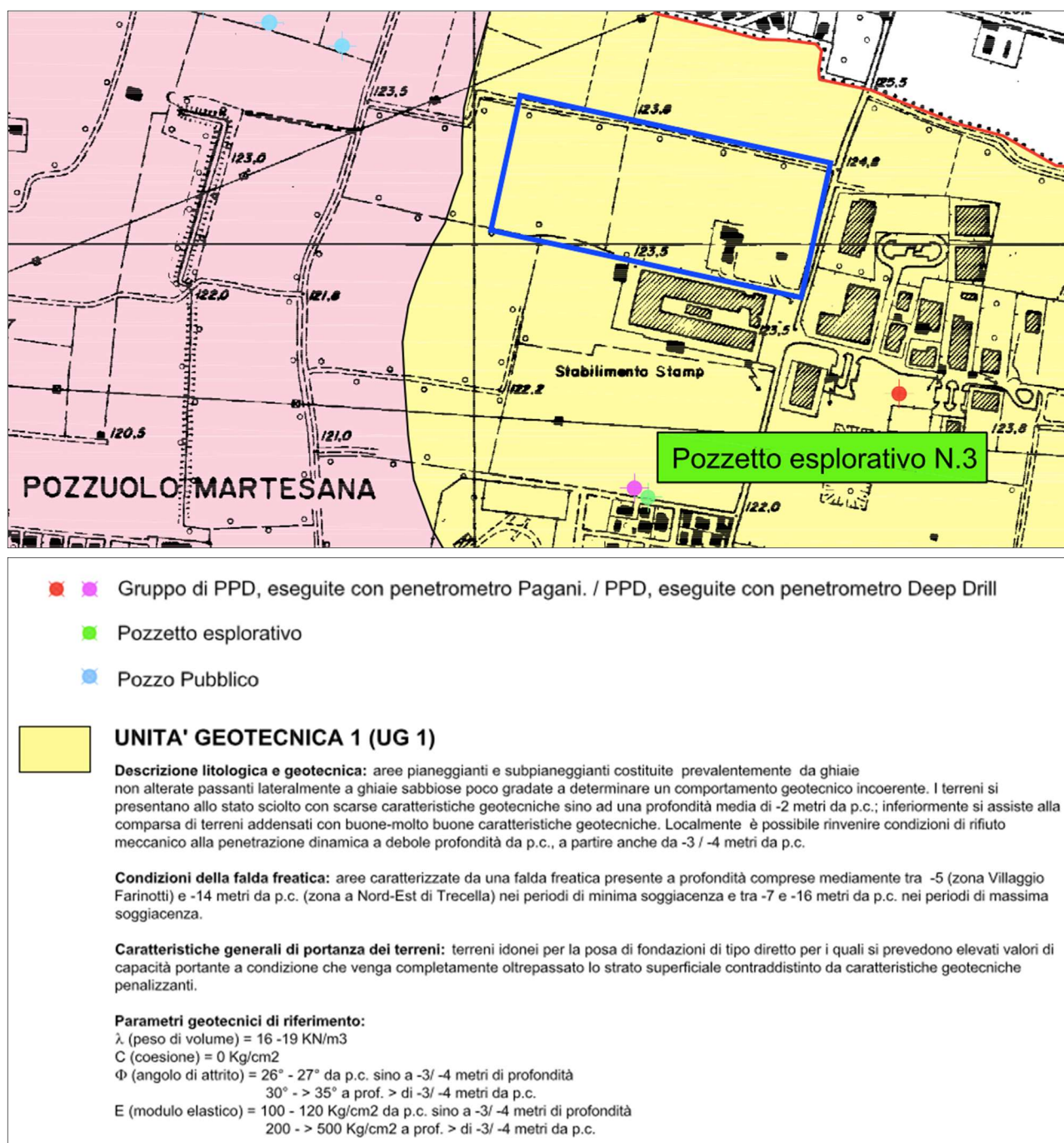


Figura 4: “Carta geotecnica”, in scala 1:10.000 (luglio 2014), del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, con relativa legenda e un rettangolo blu a indicare la zona d’interesse.

Come si evince dalle figure precedenti, l’area è costituita da depositi fluvioglaciali, costituiti prevalentemente da *“ghiaie non alterate passanti lateralmente a ghiaie sabbiose poco gradate a determinare un comportamento geotecnico incoerente”*. I terreni di questa zona *“si presentano allo stato sciolto con scarse caratteristiche geotecniche sino ad una profondità media di -2 metri da p.c.”*, mentre, scendendo più in profondità, si riscontrano *“terreni addensati con buone-molto buone caratteristiche*

geotecniche". Inoltre, "localmente è possibile rinvenire condizioni di rifiuto meccanico alla penetrazione dinamica a debole profondità da p.c., a partire anche da -3/-4 m da p.c.".

Per quanto riguarda la pedologia dell'area di studio, si riporta di seguito uno stralcio della "Carta pedologica" in scala 1:10.000 (luglio 2014), del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, che classifica i terreni oggetto di studio nell'unità pedologica "MGR1", che indica "suoli moderatamente profondi, caratterizzati da epipedon arrossato, su ghiaie e ciottoli calcarei. Scheletro abbondante, tessitura moderatamente grossolana, reazione acida, saturazione molto bassa in superficie, bassa media in profondità. Drenaggio buon.".

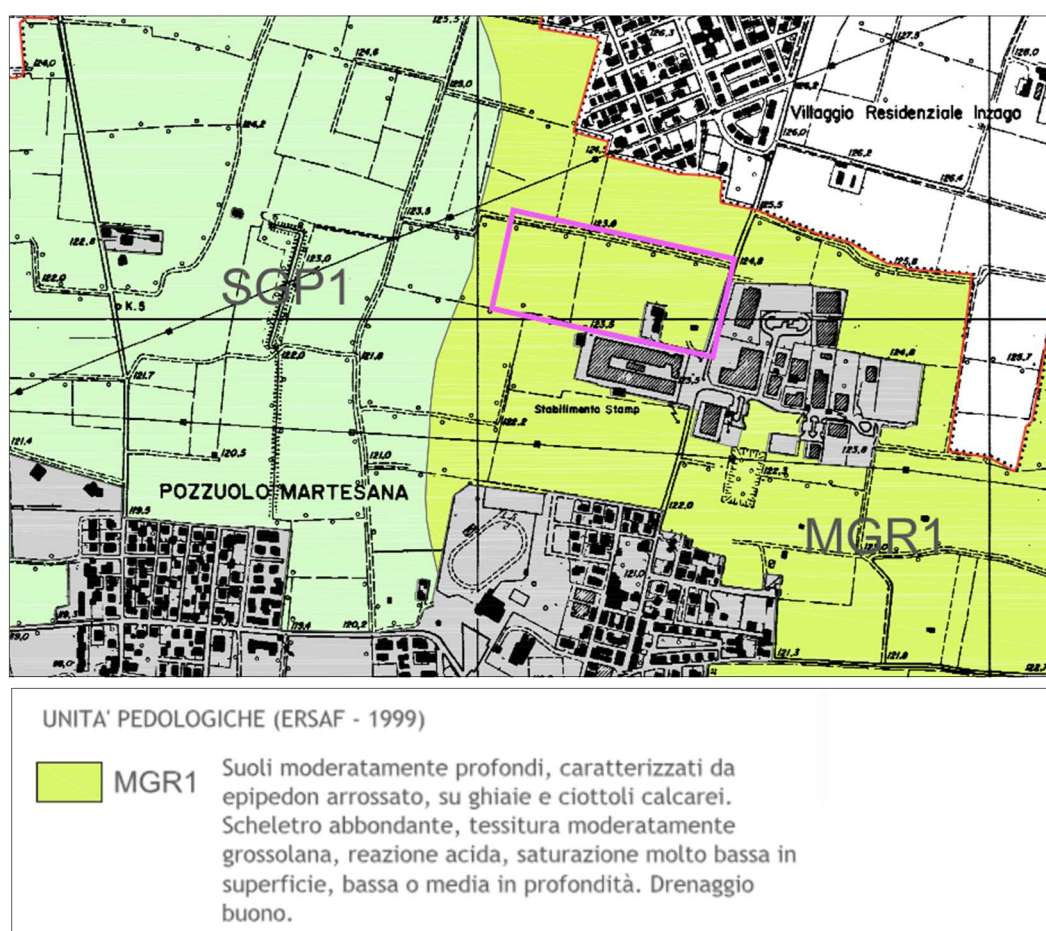


Figura 5: "Carta pedologica", in scala 1:10.000 (luglio 2014), del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, con relativa legenda e un rettangolo rosa a indicare la zona d'interesse.

L'idrogeologia della zona di studio, invece, è descritta nella "Carta idrogeologica (dati riferiti ad agosto 2005) e della vulnerabilità dell'acquifero", in scala 1:10.000 (luglio 2014) del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, di cui se ne riporta uno stralcio nella figura seguente. Secondo tale carta, l'area di studio è caratterizzata da una vulnerabilità della falda freatica medio-alta, la cui soggiacenza è stata rilevata a 8-10 m da p.c. per la maggior parte della zona oggetto d'interesse, mentre, a ovest, una parte di dimensioni più

limitate presenta un livello della falda pari a circa 6-8 m da p.c..

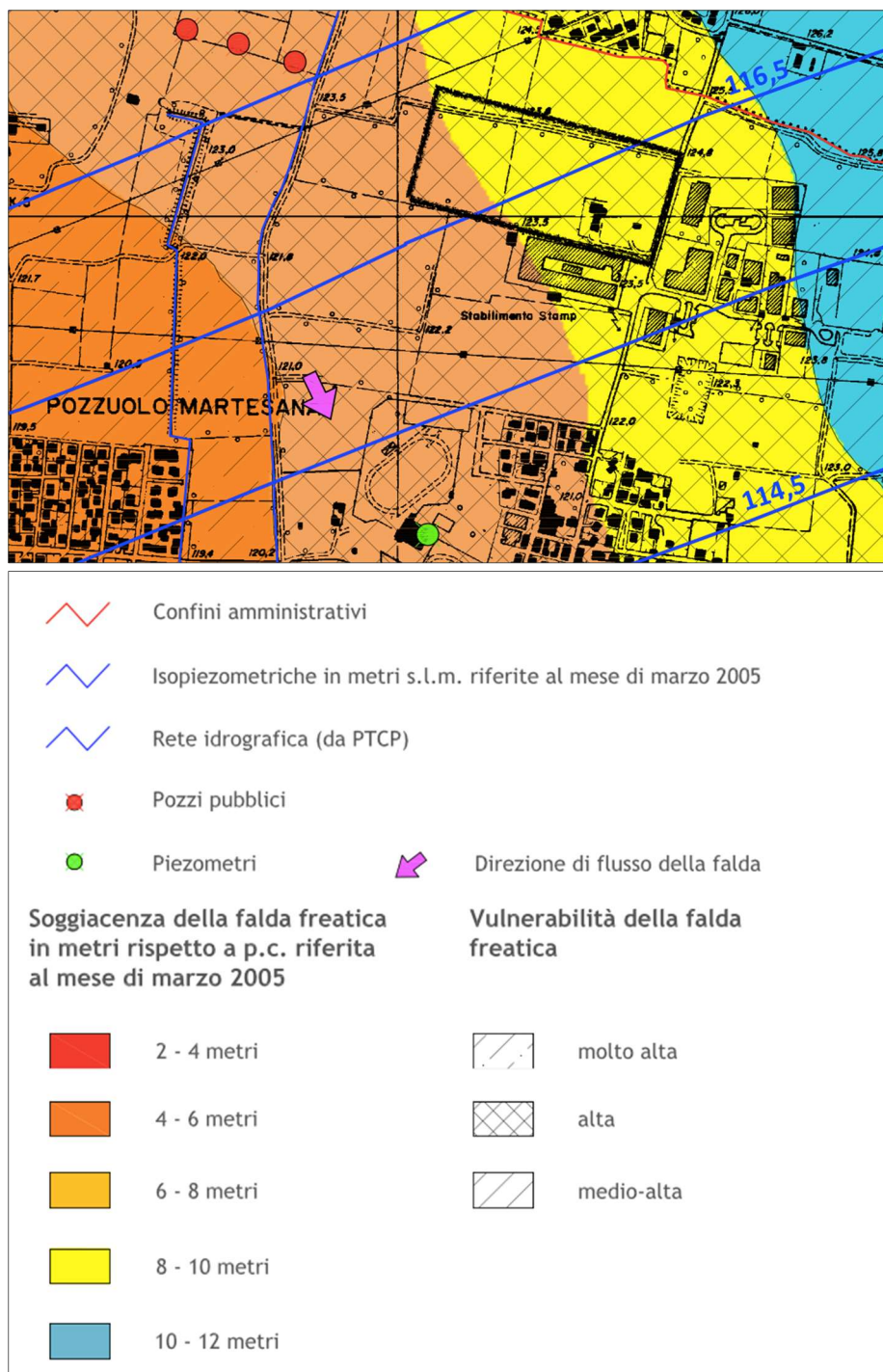


Figura 6: “Carta idrogeologica (dati riferiti ad agosto 2005) e della vulnerabilità dell’acquifero”, in scala 1:10.000 (luglio 2014) del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, con relativa legenda e un rettangolo nero a indicare la zona d’interesse.

Secondo dati riportati nei siti specifici della Provincia, la falda, sotto l'area in esame, si colloca alla quota di 117-118 metri, e fluisce da NNO verso SSE. A poca distanza (500 metri,) a ovest vi è un fontanile. La falda

affiora in due ex cave poste appena a nord del Villaggio residenziale di Inzago e appena a valle (Bisentrato).

La vulnerabilità della falda in questa zona, già mostrata nella “Carta idrogeologica (dati riferiti ad agosto 2005) e della vulnerabilità dell’acquifero” del PGT del Comune di Pozzuolo Martesana, è legata inoltre a oscillazioni stagionali, come illustrato nella figura successiva mostrante le oscillazioni della falda negli anni compresi tra il 1998 ed il 2005.

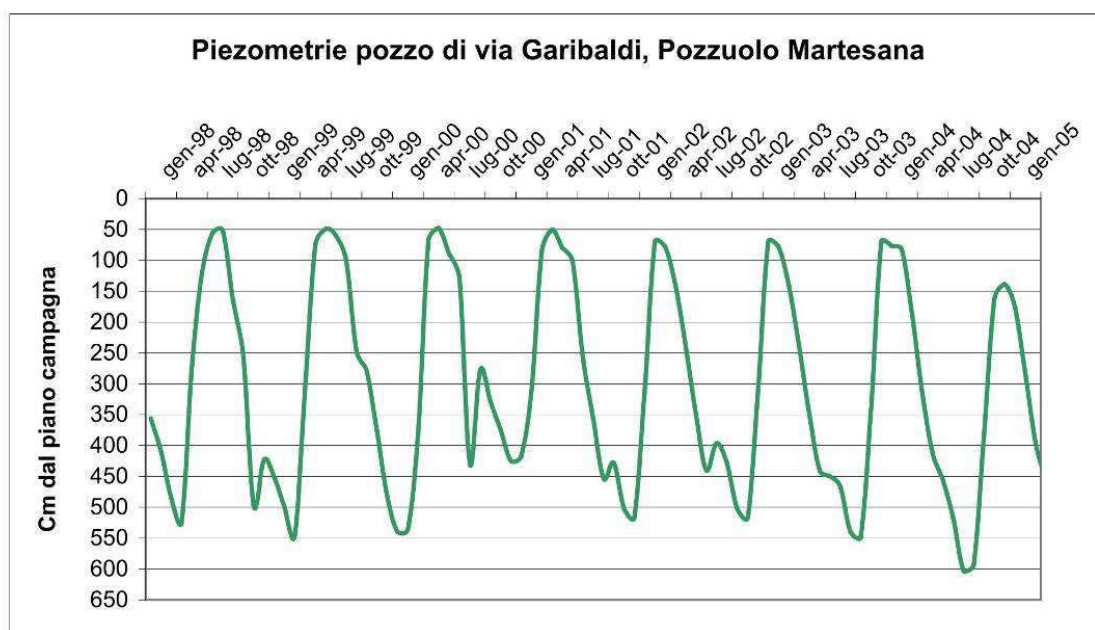


Figura 7: oscillazioni della falda freatica per il territorio di Pozzuolo Martesana registrate negli anni 1998-2005.

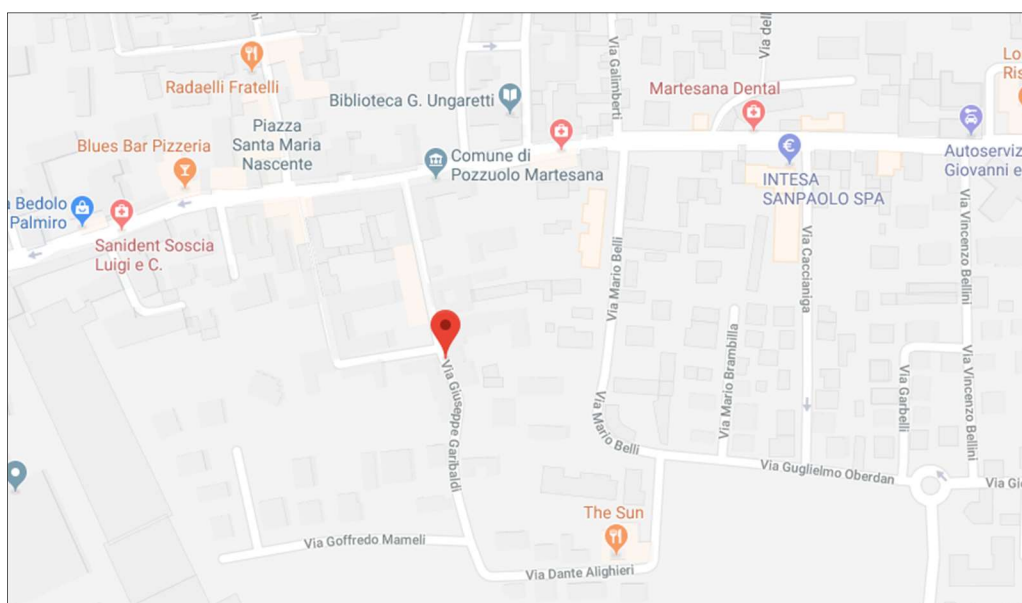


Figura 8: ubicazione via Garibaldi, Pozzuolo Martesana.

Nel territorio di Pozzuolo Martesana, difatti, la falda presenta ottime possibilità di ricarica sia dalle acque piovane, che si infiltrano nel terreno con facilità, sia dalle acque irrigue, che, soprattutto nel periodo estivo, quando l'attività agricola richiede dei forti apporti idrici, permettono al livello della falda di innalzarsi decisamente con oscillazioni che raggiungono escursioni di diversi metri. I massimi positivi annuali cadono generalmente tra luglio e settembre, mentre gli abbassamenti più rilevanti riguardano i mesi di marzo ed aprile, subordinatamente novembre e dicembre e alcuni valori degli abbassamenti coincidono con i periodi di asciutta del Naviglio della Martesana.

Per l'individuazione dei terreni presenti in sito e dei relativi parametri geotecnici, sono state eseguite nel 2011 dallo Studio Bottoni le seguenti indagini:

- n.18 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) in continuo con punta conica.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura seguente.

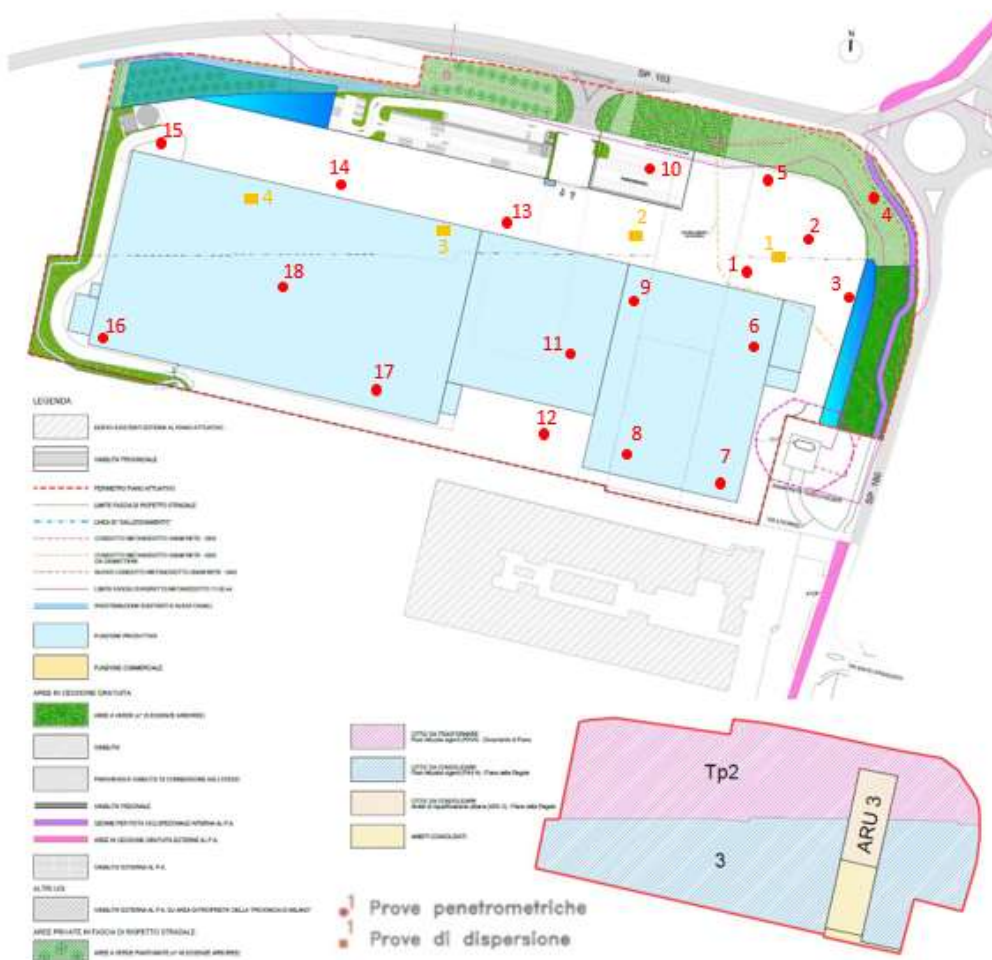


Figura 9- ubicazione indagini.

Le aree illustrate in giallo nella figura soprastante, secondo informazioni raccolte in loco, sono state cavate e in parte riempite.

6.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH)

Nel settembre del 2011 sono state eseguite 18 prove penetrometriche dinamiche in continuo con punta conica, secondo lo standard AGI, con penetrometro super-pesante della Deep Drill.

Ogni prova consiste nell'infiggere, con maglio di 73 kg che cade da un'altezza di 75 cm, una punta conica del diametro di 50.8 mm, contando il numero di colpi (N) necessario per 30 cm di penetrazione. La batteria di aste, inoltre, è stata tenuta ruotata per eliminare l'attrito laterale, in considerazione del non utilizzo del rivestimento.

Secondo quanto affermato da La Croix e Horn (1973), si è calcolata la costante di trasformazione e correlazione fra i dati di N di questo penetrometro e quelli delle S.P.T. (Standard Penetration Test) che è uguale a uno (1,13 per la precisione). Al fine di utilizzare la messe di correlazioni derivanti dalle S.P.T., occorre calcolare i valori corretti "N60", che tengono conto della resa energetica più prossima al vero rapporto energetico abitualmente ottenuto in America del Nord. Si considera il rapporto suggerito da Seed et al. (1985) e Skempton (1986) $E_r = (\text{energia effettivamente ceduta dalla massa battente} / \text{energia assorbita}) \times 100 = 60$. Il valore dedotto di "N60" tiene conto del sovraccarico rapportato alla pressione litostatica di riferimento pari a $1 \text{ kg/cm}^2 = 95.76 \text{ kPa}$.

Le prove permettono di valutare in continuo la resistenza dei vari orizzonti costituenti il sottosuolo, secondo la cosiddetta "formula olandese", i cui risultati sono espressi di norma in diagrammi "Profondità/resistenza dinamica alla punta Rd".

6.2 STRATIGRAFIA

Sulla base dei risultati delle prove penetrometriche, è stata dedotta la seguente stratigrafia:

Strato	Profondità (m)	Descrizione
Terreno	0 – 0,7	Terreno vegetale da asportarsi.
Sabbie limose	0,7 – 1,5	Sabbie limose con anche ciottoli sparsi alterati*
Ghiaie grossolane sabbioso limose	>1.5	Alternanza di ghiaie sabbioso limose più grossolane dello strato soprastante, con ottime caratteristiche geotecniche e che danno il rifiuto più profondo a 5 metri.

Tabella 1: stratigrafia area d'interesse.

*Le sabbie limose con ciottoli sparsi possono spingersi fino a 3-4m di profondità a contatto con le ghiaie grossolane. Dai pozzetti eseguiti risulta evidente che nel pozzetto n.4 la presenza di materiale di riporto direttamente al contatto con le ghiaie.

Le quote sono relative al piano campagna attuale.

La falda è stata individuata ad una profondità pari a – 4 m da p.c. Dovrà essere tenuta in conto l'innalzamento della falda fino a -0.5m dal p.c. così come indicato nel grafico di Figura 7**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** dal quale si evince un abbassamento nel periodo estivo autunnale e un innalzamento nel periodo invernale e primaverile.

7 INDAGINI 2018

Per l'individuazione dei terreni presenti in sito e dei relativi parametri geotecnici, sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.4 pozzetti esplorativi fino al raggiungimento dello strato di ghiaia di color grigio;
- n.1 prova sismica di tipo MASW;
- prova di permeabilità eseguita sul pozzetto n. 3;

L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura seguente.



7.1 POZZETTI ESPLORATIVI

Si riportano di seguito le coordinate DMS dove sono stati eseguiti i saggi esplorativi:

Nome	Coordinate DMS	
	N	E
Pozz 1	45°31'21.30"	9°27'58.32"
Pozz 2	45°31'20.10"	9°27'59.08"
Pozz 3	45°31'19.47"	9°27'57.47"
Pozz 4	45°31'17.97"	9°27'59.07"

L'acqua è stata riscontrata solo ed esclusivamente nel pozzetto num.4 ad una profondità di 3.70m da PC.

Per quanto riguarda i Pozzetti num 1,2,3 la profondità dello strato di ghiaia è stata riscontrata a -1.50m da PC mentre differente è il pozzetto 4 dove lo strato di ghiaia grigia è stato trovato a una quota di circa -4m da PC.

Di seguito si riporta la stratigrafia dei pozzetti e successivamente alcune immagini durante l'esecuzione:

Pozzetto 1		Pozzetto 2		Pozzetto 3		Pozzetto 4	
Spessore strato da PC [m]	Stratigrafia	Spessore strato da PC [m]	Stratigrafia	Spessore strato da PC [m]	Stratigrafia	Spessore strato da PC [m]	Stratigrafia
0.5	Terreno vegetale	0.5	Terreno vegetale	0.5	Terreno vegetale	0.5	Terreno vegetale
1.5	Sabbia limosa	1.5	Sabbia limosa	1.6	Sabbia limosa	3.7	Materiale di riporto
>1.50	Ghiaia di color grigio	>1.50	Ghiaia di color grigio	>1.60	Ghiaia di color grigio	>3.70	Ghiaia di color grigio



Figura 10 – Esecuzione pozzetto n.1



Figura 11 – Stratigrafia pozzeiti



Figura 12 – Cumulo di sabbia limosa proveniente da scavo



Figura 13 – Esecuzione Pozzetto n.2

7.2 PROVE DI PERMEABILITÀ

E' stata eseguita una prova di permeabilità in pozzetto superficiale a carico variabile secondo le prescrizioni AGI-Roma 1977 (Raccomandazioni e prescrizioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche).

Per valutare la permeabilità dei terreni superficiali, è stata eseguita una prova di permeabilità in un tubo cilindrico prefabbricato, ubicato a circa -2,0 m da p.c. avente diametro interno di 19cm e altezza 94cm.

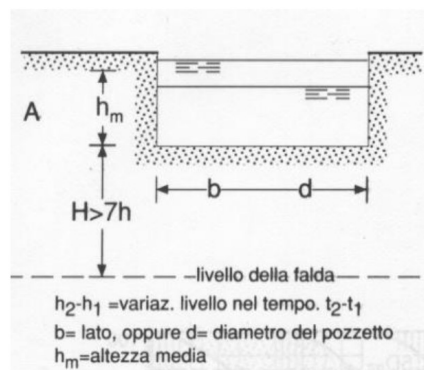
Dopo aver saturato il pozzetto mediante l'immissione continua di acqua, e non appena lo stesso e' stato colmo, è stata bloccata l'immissione e si sono misurati gli abbassamenti nel tempo.



Figura 14 – Esecuzione prova di permeabilità

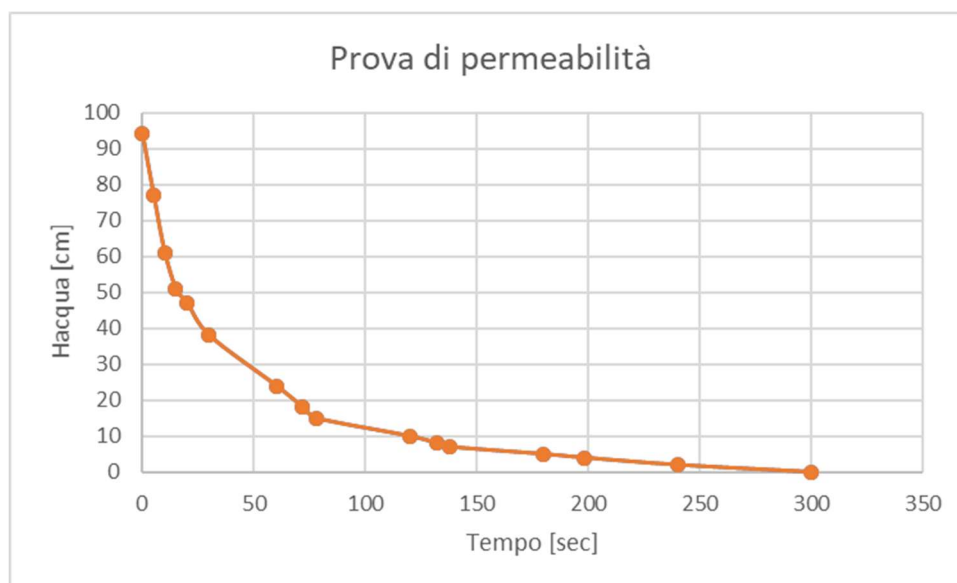
La formula utilizzata per il calcolo della Permeabilità' K (m/s) ed il significato dei simboli sono:

$$K = \frac{H_2 - H_1}{t_2 - t_1} \times \frac{1 + \left(\frac{2 H_m}{b} \right)}{\left[\left(\frac{27 H_m}{b} \right) + 3 \right]}$$



Dai dati ricavati durante la prova si è ottenuto quanto segue:

Prova Permeabilita' [Pozzetto 3]		
Tempo [sec-min]	Abbassamento [cm]	Altezza Acqua [cm]
0	0	94
5	17	77
10	16	61
15	10	51
20	4	47
30	9	38
60	14	24
72	6	18
78	3	15
120	5	10
132	2	8
138	1	7
180	2	5
198	1	4
240	2	2
300	0	0
Permeabilit�	Valore	Unit� Misura
H2	94	[cm]
H1	0	[cm]
t2	300	[s]
t1	0	[s]
Hm	47	[cm]
d	19	[cm]
k	2.67E-02	[cm/sec]
	2.67E-04	[m/sec]



7.3 MASW

È stato realizzato uno stendimento sismico a rifrazione i cui risultati sono riportati di seguito.

L'acquisizione di campagna è stata condotta con sismografo PASI modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza), geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz spazati di 5m con offset a 5m e 10m di distanza dal primo geofono e dall'ultimo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF):
 - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz,
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio.
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF):
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento;
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio.
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF):
 - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento;
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori, acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF) e per le Onde di Love (THF). Una volta individuati, sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset. Si è deciso poi se optare per l'analisi congiunta la combinazione (ZVF-THF) o (RVF-THF). Scelta la combinazione da utilizzare, è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzando nella stessa anche i dati H/V elaborati a seguito dell'acquisizione sismica passiva mediante geofono triassiale 3D.

E' necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta, infine, come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

Al fine di fornire i valori delle Vs, necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata L1, di lunghezza pari a 55m con distanza intergeofonica pari a 5.0 metri. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali, è stata ottenuta impiegando una mazza battente sia in senso verticale, su di una piastra aderente al suolo (onde di Rayleigh), sia in senso orizzontale, su una traversina in legno (onde di Love). L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m e 10m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Si riportano di seguito i sismogrammi frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrati di eventuali disturbi di fondo scelti per la modellazione congiunta (ZVF + THF) ed i relativi spettri di velocità scelti per l'analisi.

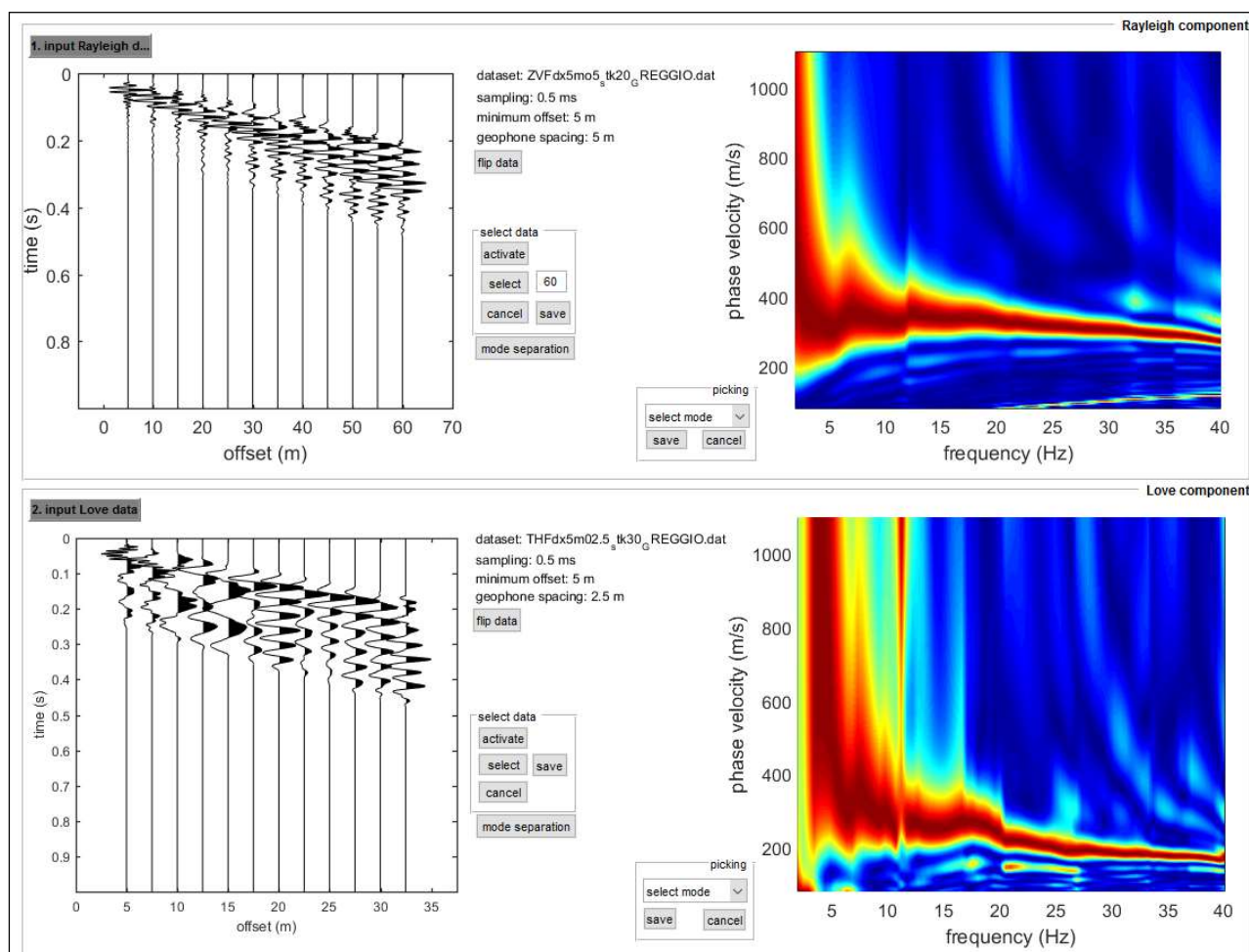


Figura 15: Sismogrammi e spettri di velocità ZVF (onde Rayleigh) e THF (onde Love) base sismica L1.

L'elaborazione dei sismogrammi ha consentito di estrapolare gli spettri di velocità dai quali si è risalito tramite picking alle curve di dispersione (fig. 6) che consentono di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

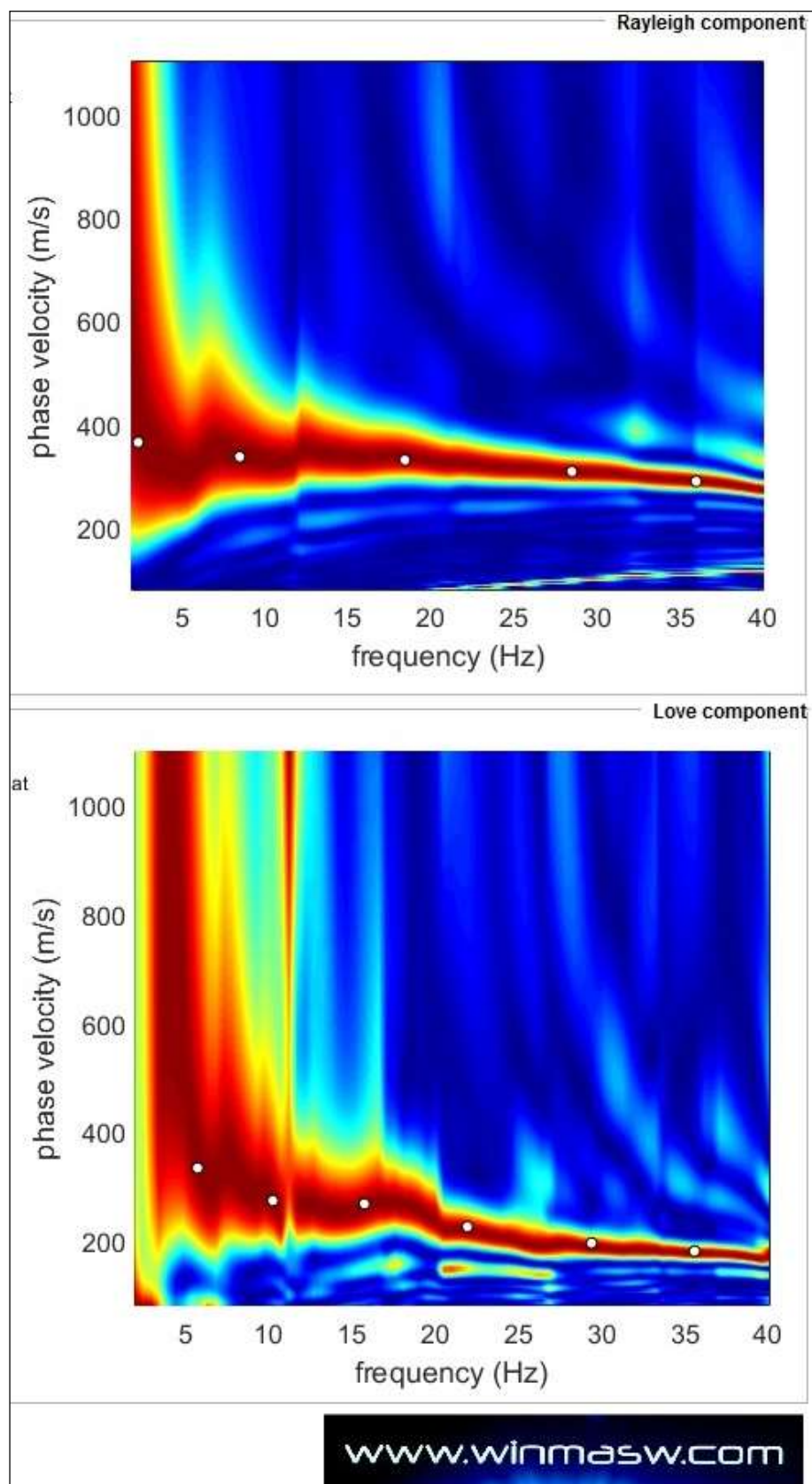


Figura 16: Spettri di velocità base sismica L1 con picking.

Dall'inversione delle curve di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità, come indicato nella tabella seguente.

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V _s (m/sec)
1.50	0.0-1.50	195
1.30	1.50-2.80	206
0.70	2.80-3.50	153
3.00	3.50-6.50	305
8.30	6.50-14.80	376
8.70	14.80-23.50	347
6.50	23.50-30.0	407

Tabella 2.

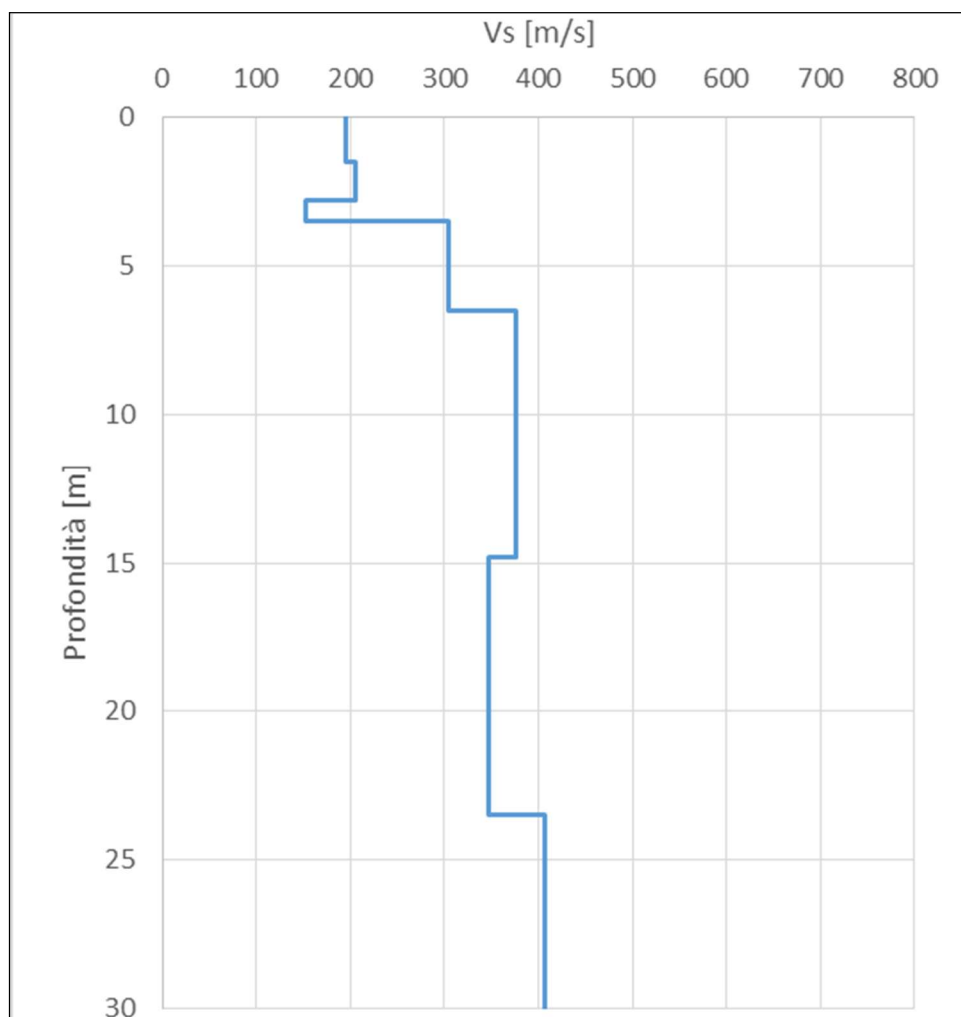


Figura 17: Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.

8 SISMICITA'

Nella tabella seguente, che illustra le zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, è riportata una descrizione più dettagliata della zona sismica 3, in cui è stato classificato l'area oggetto di studio.

<i>Zona sismica</i>	<i>Descrizione</i>	<i>accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]</i>	<i>accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]</i>	<i>numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)</i>
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.230
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	2.815
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	2.235

Tabella 3: zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l' Ordinanza del PCM n. 3519/2006.

La figura seguente mostra l'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni per la zona oggetto d'interesse, pari a $PGA = 0,075 - 0,100$, valore caratteristico della zona sismica di tipo 3.

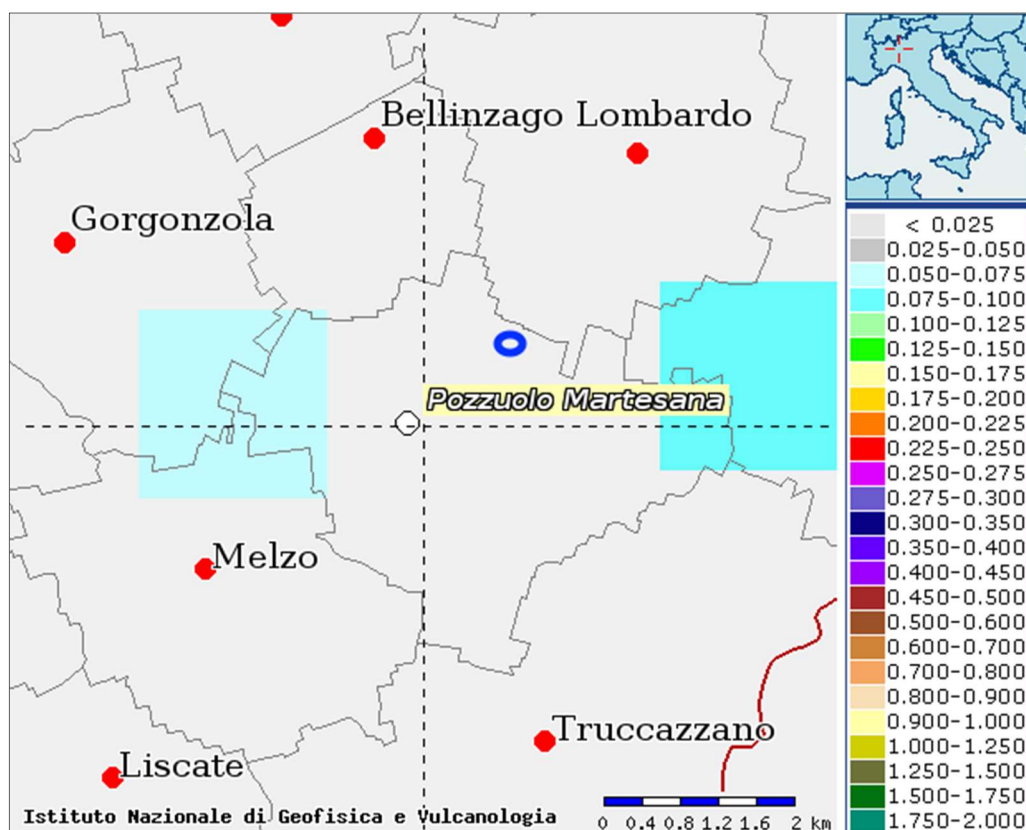


Figura 18: INGV - Mappa della pericolosità sismica per il comune di Pozzuolo Martesana (MI), dove un cerchio blu indica la zona di studio.

In base all'Ordinanza PCM del 28 Aprile 2006, sono state definite sulla base di più approfonditi studi, le zone a pericolosità sismica per il territorio nazionale ed è stata definita la mappa di pericolosità sismica MPSO4, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s e $T_R = 475$ anni).

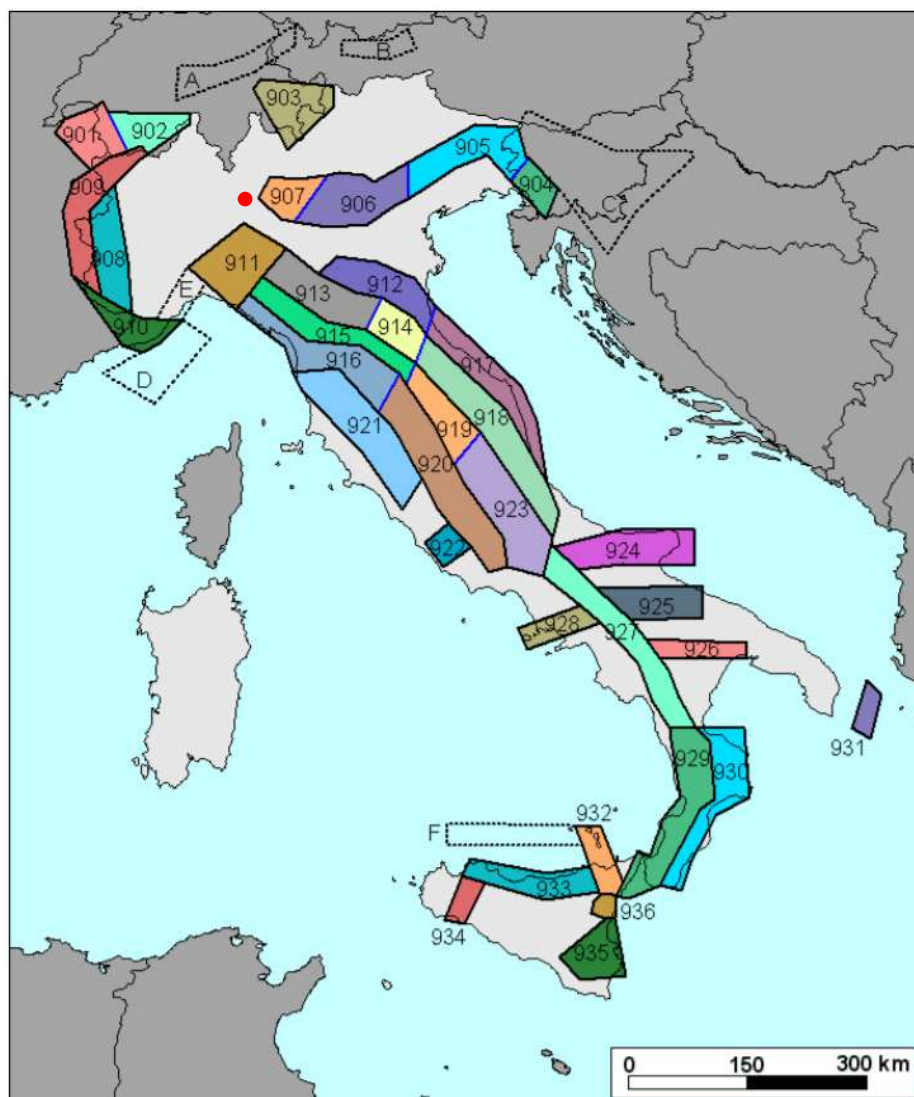


Figura 19: zonazione sismogenetica ZS9 con l'area d'interesse indicata da un puntino rosso.

Come si può vedere dalla figura soprastante, che riporta la zonazione sismogenetica ZS9 per tutto il territorio italiano, l'area oggetto di studio non rientra in tale zonazione.

Le figure seguenti mostrano, invece, la disaggregazione per il comune di Pozzuolo Martesana della stima di PGA con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è una elaborazione che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica di un certo sito: le sorgenti vengono discretizzate per intervalli di spazio e magnitudo.

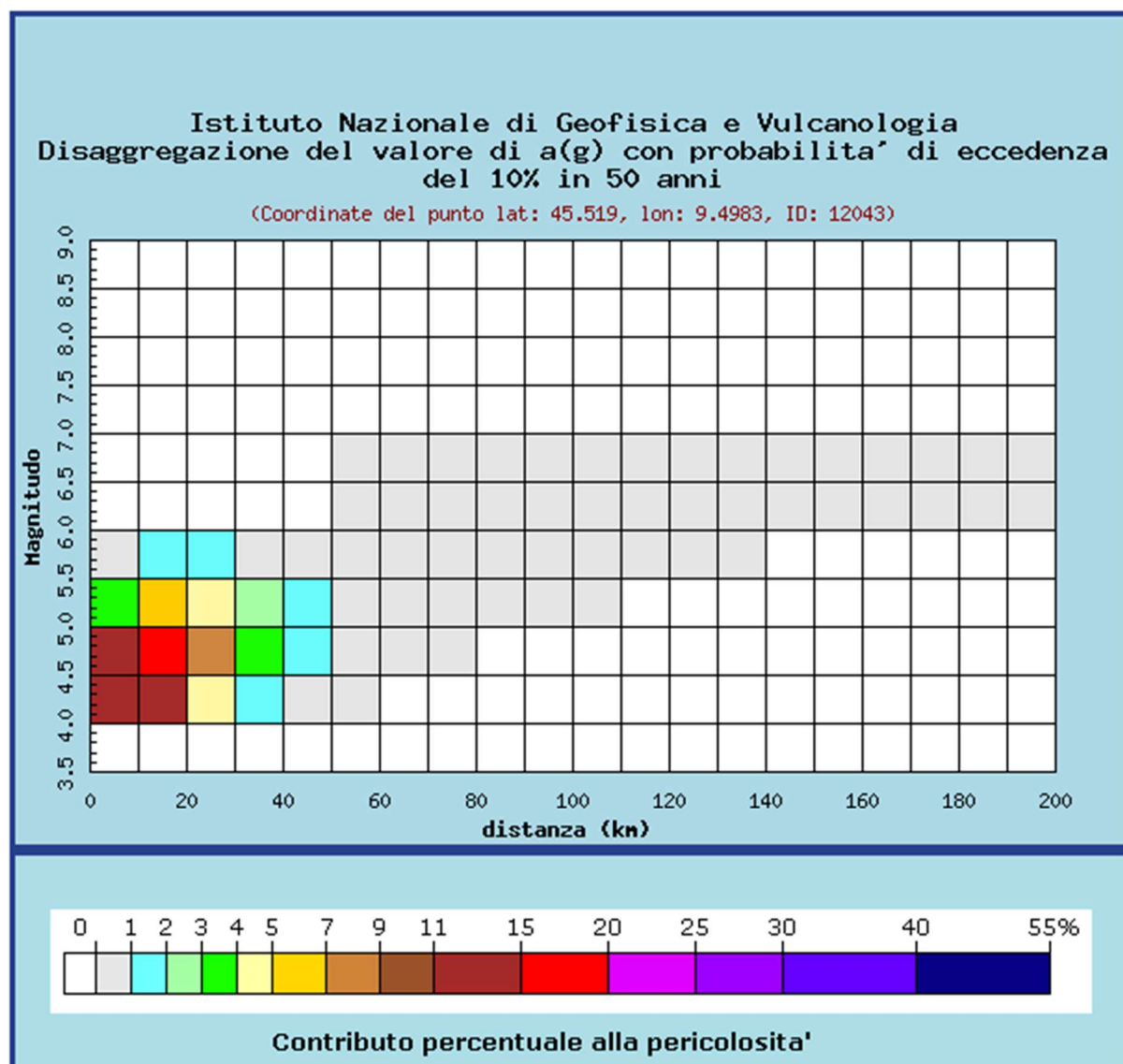


Figura 20: disaggregazione del valore $a(g)$ con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV), per il comune di Pozzuolo Martesana.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.519, lon: 9.4983, ID: 12043)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	11.400	12.600	3.290	0.640	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	12.700	17.900	6.490	1.620	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	4.770	8.570	4.340	1.400	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	1.520	3.570	2.420	0.920	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.261	1.110	1.060	0.451	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.004	0.259	0.469	0.272	0.065	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.038	0.223	0.220	0.144	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.001	0.096	0.172	0.136	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.030	0.131	0.113	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.005	0.077	0.089	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.068	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.046	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.029	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.016	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 21: disaggregazione del valore $a(g)$ con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.780	18.500	0.721

Figura 22: valori medi di magnitudo per l'area oggetto di studio.

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – “*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*” riferita all'intero territorio nazionale e recepita dalla Regione Lombardia tramite la D.G.R. n. X/2129 - 11.07.2014, il territorio comunale di Pozzuolo Martesana   classificato come **zona sismica 3** a sismicit  bassa, a cui corrisponde un valore massimo di a_g pari a 0.083035 g.

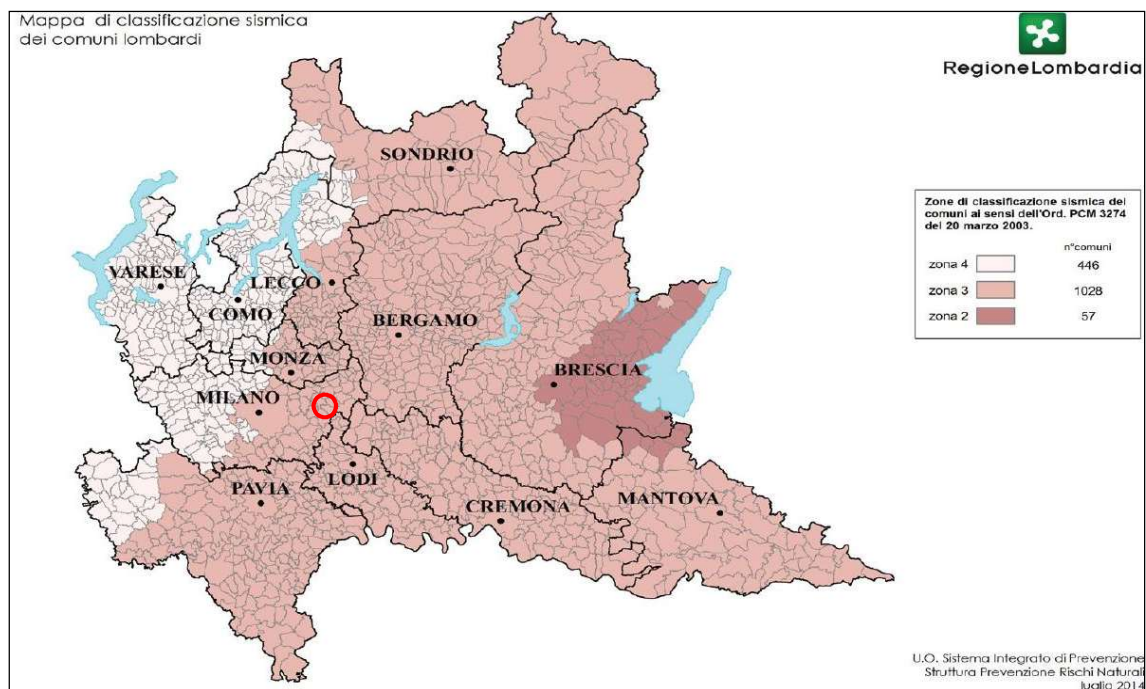


Figura 23: classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito DGR n. X/2129, dove l'area d'interesse è cerchiata in rosso.

ELENCO DEI COMUNI CON INDICAZIONE DELLE RELATIVE ZONE SISMICHE E DELL'ACCELERAZIONE MASSIMA (AGMAX) PRESENTE ALL'INTERNO DEL TERRITORIO COMUNALE (O.P.C.M. 3519/06 E DECRETO MIN. INFRASTRUTTURE 14/01/08)				
ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03015178	MI	POZZUOLO MARTESANA	3	0,083035

Figura 24: classificazione sismica del comune di Pozzuolo Martesana a seguito DGR n. X/2129.

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo, il D.M. 17.01.18 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II del D.M. (tabella seguente), definite in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} , determinata quale velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano di fondazione tramite la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

- h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo,
- V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima,
- N = Numero di strati.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per le linee eseguite, valori delle Vs30, riferiti all'attuale piano campagna, pari a 328 m/s.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs ₃₀ (m/s)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.	360 - 800
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.	180 - 360
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.	100 - 180
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.	-

Tabella 4: "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.18.

Il terreno di fondazione, in base ai risultati delle indagini sismiche, è classificabile in **categoria C**, che indica *"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."*

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.IV del D.M. (tabella sottostante), il sito può essere classificato nella **categoria T1**.

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 $i > 30^\circ$.

Tabella 5: tabella 3.2 IV "Categorie Topografiche- D.M. 17.01.18.

8.1 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ SISMICA DELL'AREA

Per determinare i valori di F_a dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione degli stendimenti geofisici con metodo MASW e le apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia. A tale scopo si è calcolato il valore di F_a (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura)

Si riportano, nell'apposito diagramma, i valori delle V_s relative ad ogni strato. Tale sovrapposizione permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento. I dati ottenuti in campagna e riportati nelle precedenti tabelle vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per "litologia sabbiosa".

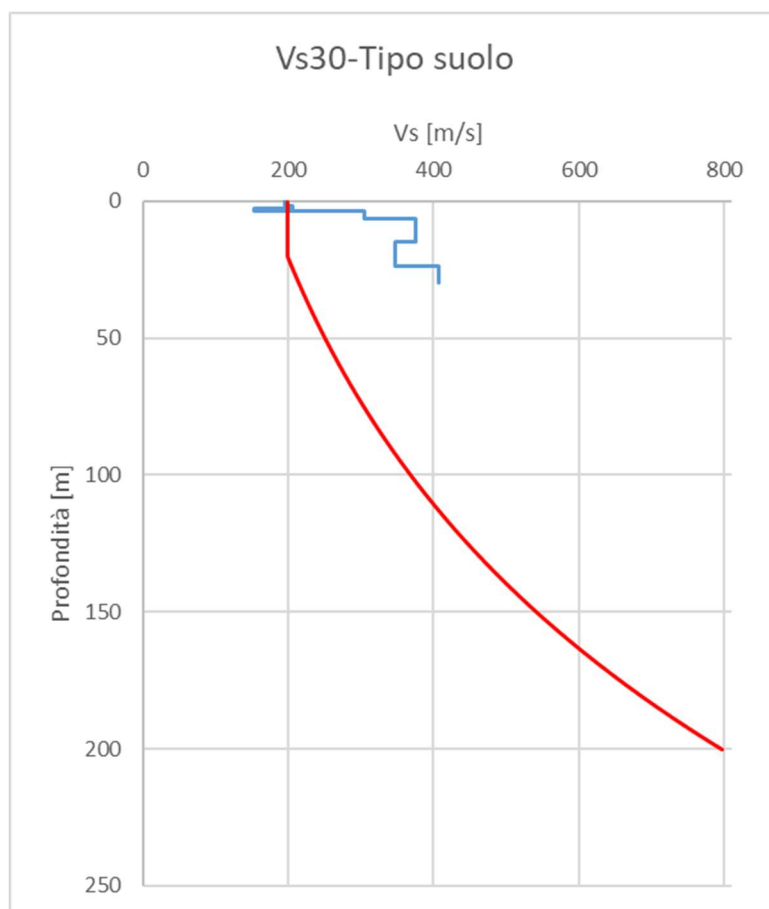


Figura 25: Grafico relativo alla "litologia sabbiosa a cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo in base alle V_s dello stendimento sismico.

Come è possibile osservare l'andamento delle V_s è posizionato al di "sopra" della linea rossa che divide il campo di validità dal campo di non validità. Il fatto che questa scheda litologica soddisfi questo primo "vincolo", comporta che i valori delle V_s ricavati siano correlabili con la relativa scheda di riferimento per "litologia sabbiosa". Ottenuta la velocità del primo strato ed il relativo spessore, si riportano questi valori all'interno dell'abaco al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare per ottenere il valore di F_a . Tale parametro (F_a) verrà confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0.1-0.5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0.5-1.5 s - riferito a strutture più alte e flessibili. Per utilizzare correttamente l'abaco come vincolo viene posto che il primo strato debba avere almeno 4 m di spessore con velocità di almeno 200 m/s. Se tale condizione non fosse soddisfatta è necessario calcolare la media pesata delle velocità delle V_s di almeno i primi 4.0 metri di terreno, tenendo in dovuta considerazione gli spessori parziali con le rispettive velocità delle onde di taglio.



Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo “T” relativo al sito. Le velocità verificate dall’indagine M.A.S.W. non raggiunge gli 800 m/s come previsto dalla metodologia per il calcolo di F_a : di conseguenza, in funzione delle condizioni stratigrafico-sismiche dell’area è stato ipotizzato un gradiente di velocità delle onde aumentante man mano con la profondità fino a raggiunge gli 800 m/s.

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

h_i = spessore in metri dello strato i -esimo; V_i = velocità dell'onda di taglio i -esima.

35

0.52

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

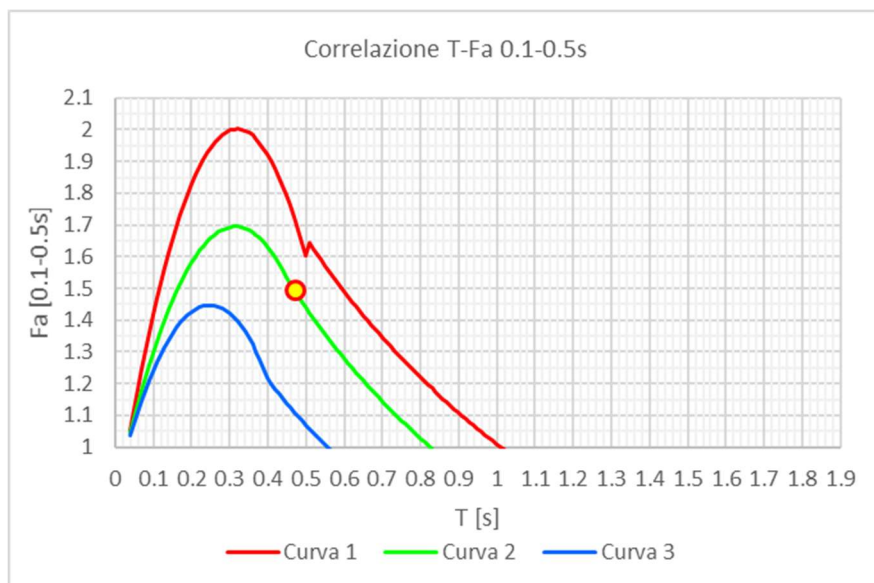


Figura 27: Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare F_s sulla base di T e della curva di riferimento riferita a bassi edifici

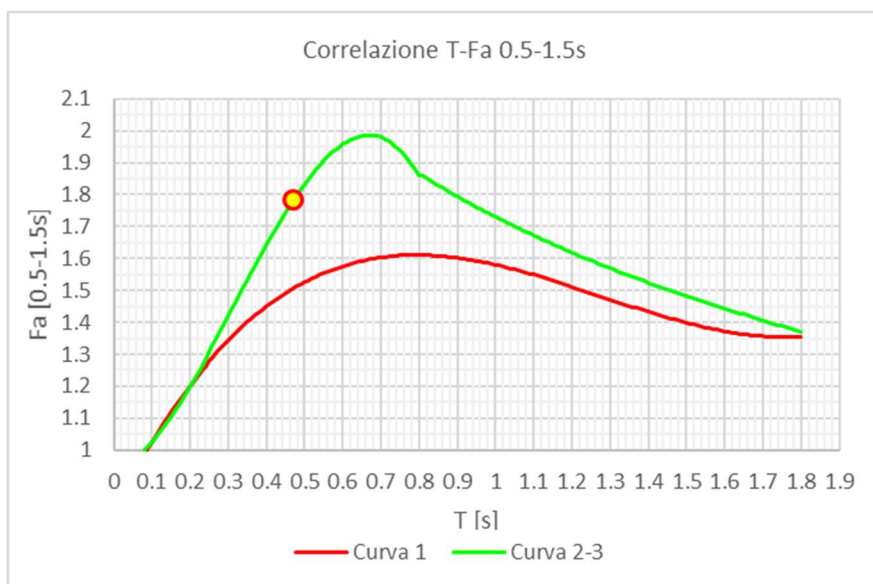


Figura 28: Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare F_a sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti).

La procedura prevede di stimare F_a con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con il corrispettivo valore di soglia, considerando una variabilità di $\pm 0,1$, che tiene conto la variabilità del valore di F_a ottenuto. Dagli abachi emerge come gli F_a risultino pari a:

Fa 0.1 – 0.5 s (riferito ad edifici bassi)	Fa 0.5 – 1.5 s (riferito ad edifici bassi)
1.49	1.78

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

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 – 0.5 S					
Comune	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo	Suolo tipo	Suolo tipo	Suolo tipo
		B	C	D	E
Pozzuolo Martesana	3	1.4	1.8	2.2	2.0

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 – 1.5 S					
Comune	Classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
		Suolo tipo	Suolo tipo	Suolo tipo	Suolo tipo
		B	C	D	E
Pozzuolo Martesana	3	1.7	2.4	4.2	3.1

Ne deriva che, sia nel caso di edifici bassi che caso di edifici alti, il valore di F_a calcolato e riferito alla categoria di suolo C è inferiore al valore di riferimento, pertanto lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo C risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

8.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Secondo la “Carta della pericolosità sismica locale”, in scala 1:10.000, del vigente PGT del comune di Pozzuolo Martesana, l'intero territorio comunale è inserito nello scenario misto di Pericolosità Sismica

Locale Z2/Z4a, come illustrato nella figura seguente.

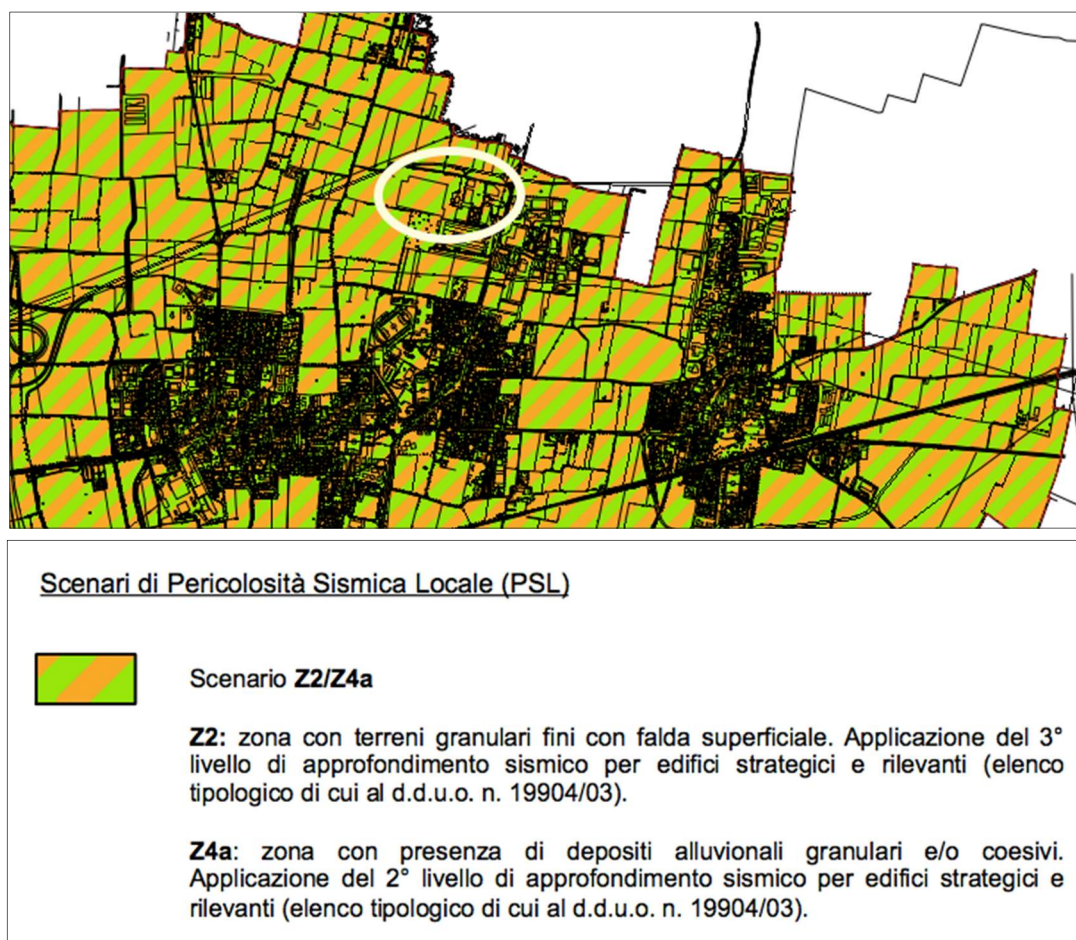


Figura 29: “Carta della pericolosità sismica locale”, in scala 1:10.000, del vigente PGT del comune di Pozzuolo Martesana con relativa legenda e un cerchio bianco a indicare la zona d’interesse.

L’Art. 2 delle Norme Tecniche di Attuazione (giugno 2014 – PGT del comune di Pozzuolo Martesana), per quanto riguarda lo scenario misto di Pericolosità Sismica Locale Z2/Z4a, riporta quanto segue:

“La normativa regionale prevede l’applicazione del secondo livello di approfondimento sismico nelle zone a PSL Z3 e Z4 solo nelle aree in cui è prevista la realizzazione di edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al D.D.U.O. N. 19904/03).

L’applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per gli scenari di PSL Z1 e Z2 solo nelle aree in cui è prevista la realizzazione di edifici strategici e rilevanti.”

La zona oggetto di studio, caratterizzata prevalentemente da ghiaie sabbiose e sabbie, è classificabile in classe Z4a e, non essendo destinata alla costruzione di edifici strategici e rilevanti, non richiede ulteriori livelli di approfondimento sismico.

9 PARAMETRI SISMICI

9.1 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

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

Tabella 6: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

Nel caso specifico $V_N = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame, si prende in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso $C_U=1$.

Ricavati i valori di V_N e C_U , è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R , che qui vale:

$$V_R = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

9.2 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella seguente), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Tabella 7: Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R .

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

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

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $V_R = 50$ anni, il tempo di ritorno T_R sarà:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$T_R = 30$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$T_R = 50$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$T_R = 475$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$T_R = 975$

Tabella 8: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R .

9.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F₀ e **T_c*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti nella tabella (riportata di seguito) contenuta nell'Allegato B delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Tabella 9: Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato, mentre $p_{1,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $TR_{1,2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag , Fo , TC^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

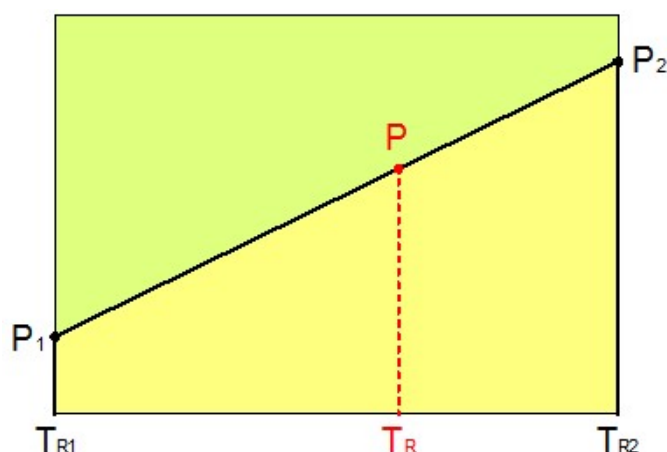


Figura 30: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura seguente.

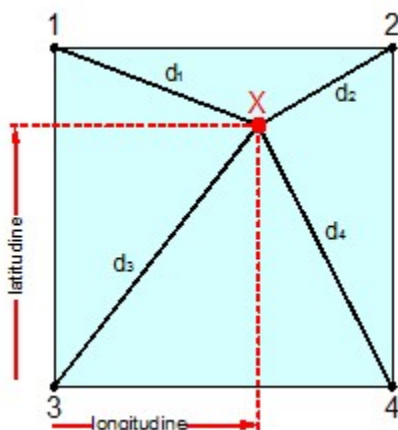


Figura 31: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)]$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $\text{lat}\alpha$, $\text{lon}\alpha$, $\text{lat}\beta$ e $\text{lon}\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

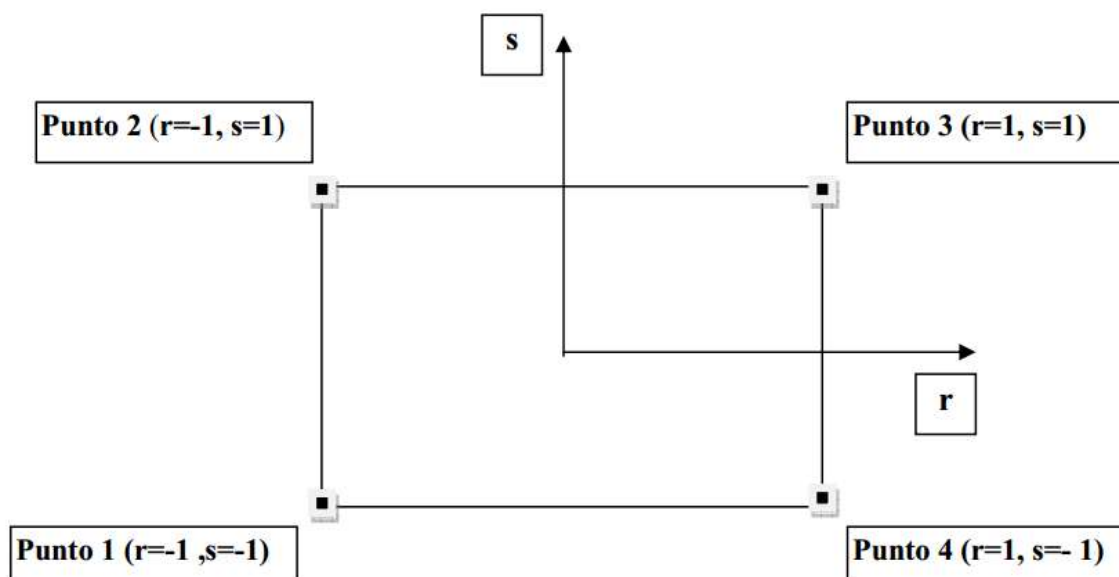


Figura 32: Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4$$

Tra le coordinate x, y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri $ag, F0, Tc^*$ dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4]$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

9.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2 delle NTC 2018).

9.4.1 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

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

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

9.4.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$
$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$ accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella seguente.

	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

Tabella 10: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto a_g/g . S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $S_T = 1.0$; T2: $S_T = 1.20$; T3: $S_T = 1.20$; T4: $S_T = 1.40$.

9.5 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Data: 31/07/2018

Vita nominale (V_n): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (C_u): 1

Periodo di riferimento (V_r): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 45,5231209 [°]

Longitudine (WGS84): 9,4619980 [°]

Latitudine (ED50): 45,5240479 [°]

Longitudine (ED50): 9,4630518 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	12042	45,516590	9,427187	2914,75
2	12043	45,518960	9,498290	2803,02
3	11821	45,568900	9,494999	5573,23
4	11820	45,566530	9,423787	5626,96

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,024	2,519	0,181
SLD	50	0,031	2,521	0,206
	72	0,035	2,550	0,219
	101	0,040	2,571	0,229
	140	0,046	2,529	0,246
	201	0,053	2,551	0,260
SLV	475	0,072	2,556	0,281
SLC	975	0,092	2,556	0,292
	2475	0,127	2,539	0,301

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,026	2,470	0,197
SLD	50	0,033	2,508	0,210
	72	0,038	2,537	0,221
	101	0,045	2,496	0,240
	140	0,052	2,503	0,243
	201	0,059	2,523	0,266
SLV	475	0,083	2,507	0,279
SLC	975	0,110	2,479	0,288
	2475	0,153	2,501	0,294

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,026	2,471	0,196
SLD	50	0,033	2,502	0,210
	72	0,038	2,530	0,221
	101	0,045	2,485	0,239
	140	0,052	2,492	0,243
	201	0,060	2,513	0,265
SLV	475	0,086	2,486	0,277
SLC	975	0,114	2,463	0,285
	2475	0,157	2,500	0,290

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,023	2,524	0,181
SLD	50	0,030	2,515	0,206
	72	0,035	2,545	0,218
	101	0,040	2,566	0,229
	140	0,046	2,521	0,245
	201	0,053	2,542	0,258
SLV	475	0,073	2,543	0,281
SLC	975	0,094	2,537	0,290
	2475	0,131	2,509	0,301

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,025	2,495	0,189
SLD	50	0,032	2,513	0,208
SLV	475	0,078	2,525	0,280
SLC	975	0,102	2,511	0,289

9.6 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo:

C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa c_{u30} compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).

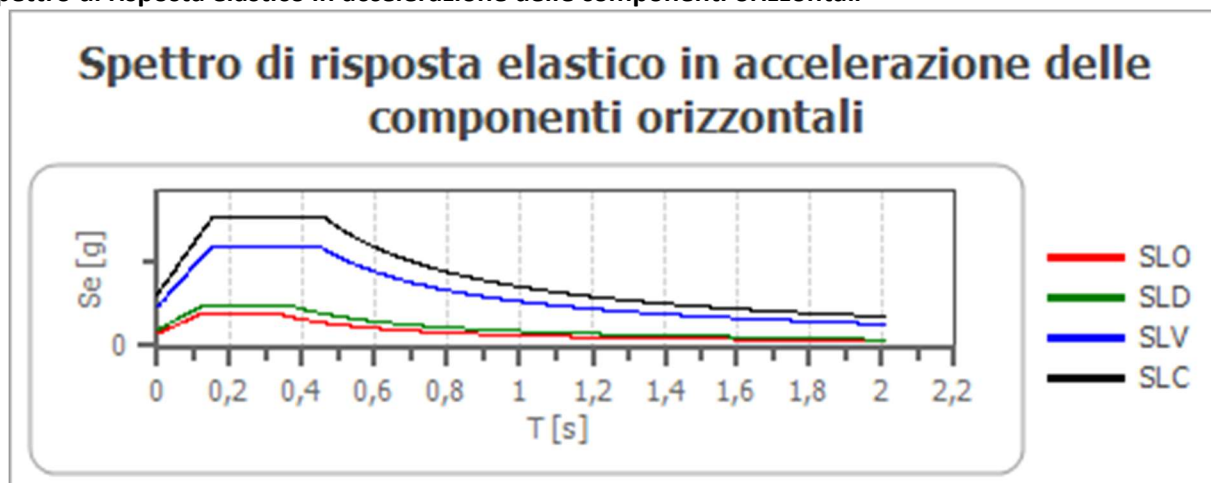
Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,007	0,010	0,023	0,037
kv	0,004	0,005	0,012	0,018
amax [m/s ²]	0,363	0,468	1,149	1,504
Beta	0,200	0,200	0,200	0,240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1,0	0,02 5	2,49 5	0,18 9	1,50 0	1,82 0	1,00 0	1,50 0	1,00 0	0,11 5	0,34 4	1,69 9	0,03 7	0,09 2
SLD	1,0	0,03 2	2,51 3	0,20 8	1,50 0	1,76 0	1,00 0	1,50 0	1,00 0	0,12 2	0,36 6	1,72 7	0,04 8	0,12 0
SLV	1,0	0,07 8	2,52 5	0,28 0	1,50 0	1,60 0	1,00 0	1,50 0	1,00 0	0,14 9	0,44 7	1,91 3	0,11 7	0,29 6

SLC	1,0	0,10 2	2,51 1	0,28 9	1,50 0	1,58 0	1,00 0	1,50 0	1,00 0	0,15 2	0,45 7	2,00 9	0,15 3	0,38 5
-----	-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

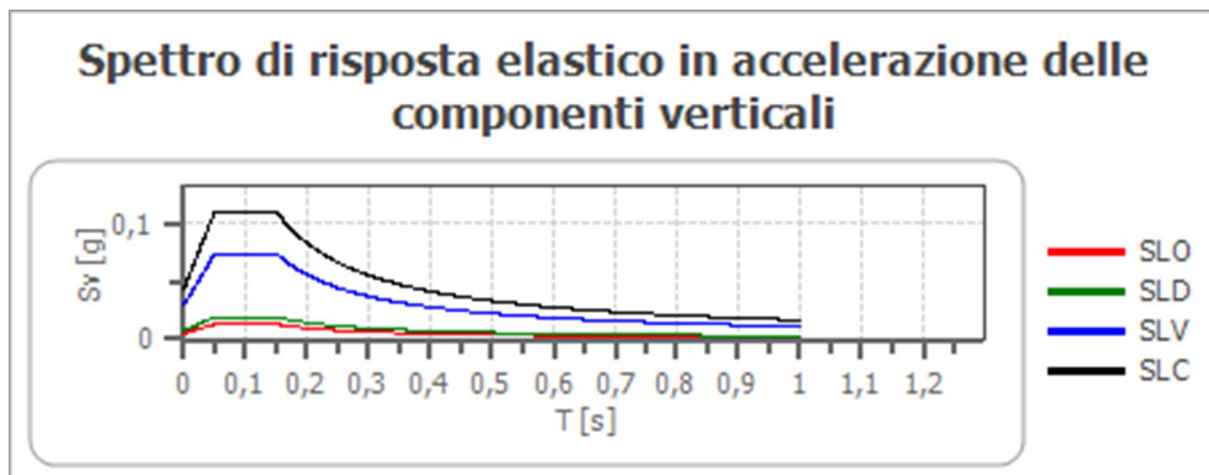
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,025	2,495	0,189	1	1,820	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,005	0,013
SLD	1,0	0,032	2,513	0,208	1	1,760	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,008	0,019
SLV	1,0	0,078	2,525	0,280	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,029	0,074
SLC	1,0	0,102	2,511	0,289	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,044	0,111

Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale q :

1,50

Fattore di struttura spettro verticale q :

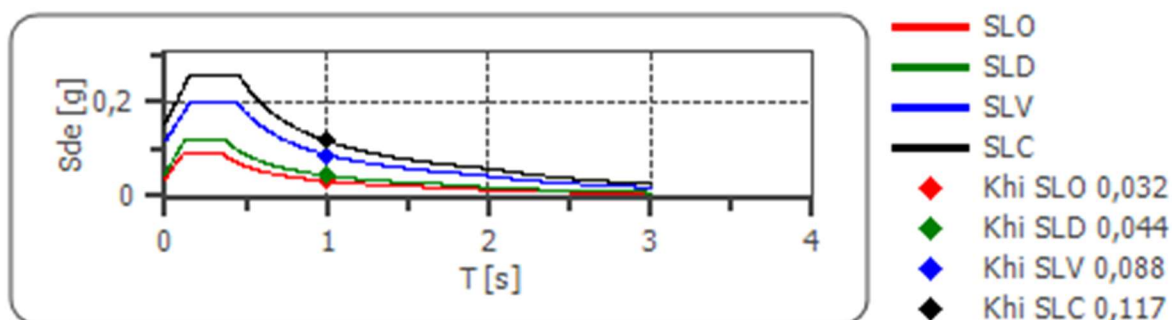
1,50

Periodo fondamentale T :

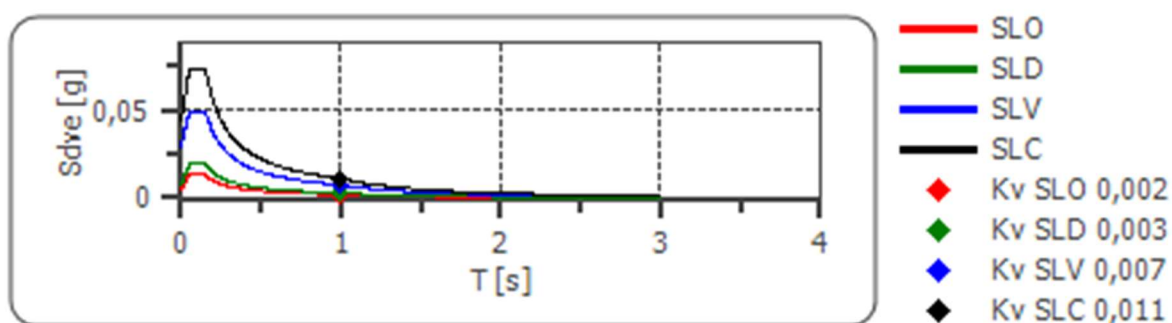
1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
k _{hi} = S _d e(T) Orizzontale [g]	0,032	0,044	0,088	0,117
k _v = S _d v _e (T) Verticale [g]	0,002	0,003	0,007	0,011

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzon tale	1,0	0,025	2,495	0,189	1,500	1,820	1,000	1,500	1,000	0,115	0,344	1,699	0,037	0,092
SLO vertical e	1,0	0,025	2,495	0,189	1,500	1,820	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,005	0,013
SLD orizzon tale	1,0	0,032	2,513	0,208	1,500	1,760	1,000	1,500	1,000	0,122	0,366	1,727	0,048	0,120
SLD vertical e	1,0	0,032	2,513	0,208	1,500	1,760	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,008	0,019
SLV	1,0	0,078	2,525	0,280	1,500	1,600	1,000	1,500	1,500	0,149	0,447	1,913	0,117	0,197

a & t consulting s.r.l.

s u o l o e s o t t o s u o l o

orizzon tale														
SLV vertical e	1,0	0,078	2,525	0,280	1,500	1,600	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,029	0,050
SLC orizzon tale	1,0	0,102	2,511	0,289	1,500	1,580	1,000	1,500	1,500	0,152	0,457	2,009	0,153	0,257
SLC vertical e	1,0	0,102	2,511	0,289	1,500	1,580	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,044	0,074

10 PARAMETRI GEOTECNICI

Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici dei terreni presenti nell'area di studio.

Strato	Profondità (m)	γ [Kn/m ³]	ϕ' [°]	c [Mpa]	E' [Mpa]
Terreno	0 – 0,7	-	-	-	-
Sabbie limose	0,7 – 1,5	18	25	0	2
Ghiaie grossolane sabbioso limose	>1.5	19	34	0	50

Tabella 11.

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo di deformazione

La falda è stata individuata ad una profondità pari a – 4 m da p.c.

11 LIQUEFAZIONE

Secondo le norme NTC 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa nel caso si verifichino una delle seguenti condizioni:

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 $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 33 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 34 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

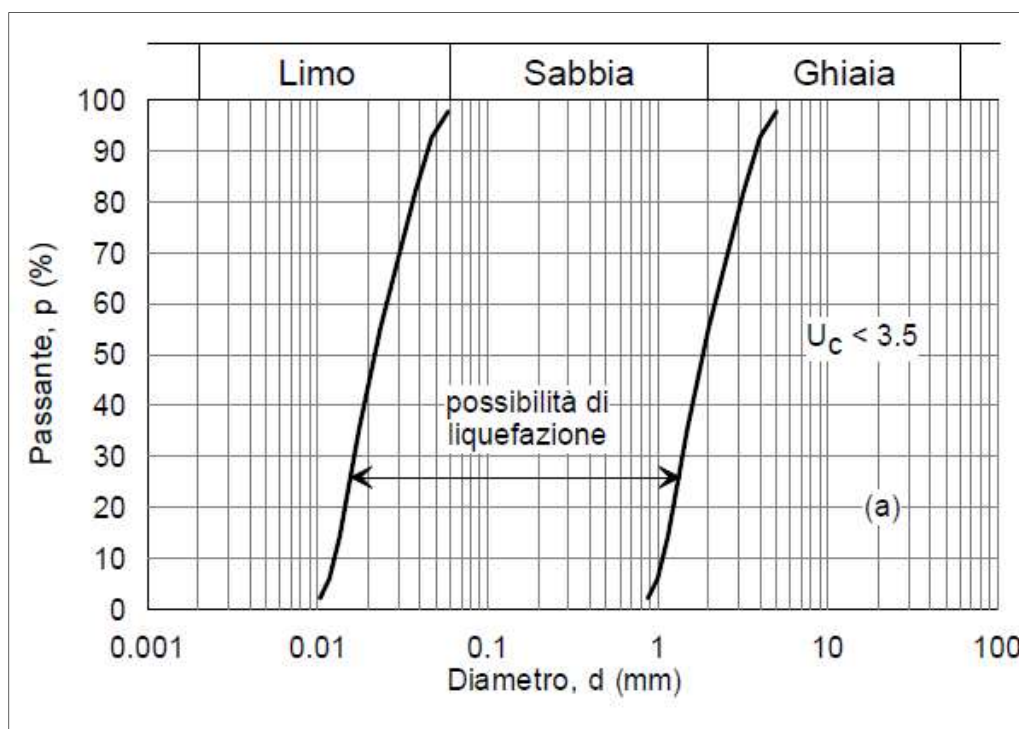


Figura 33: Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

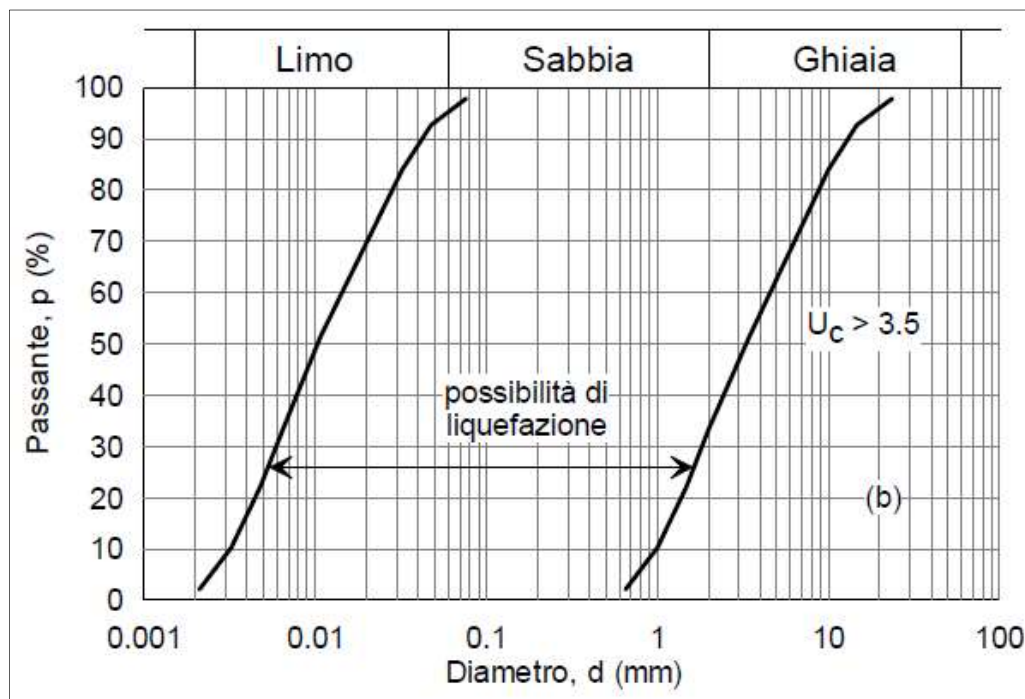


Figura 34: Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

Le accelerazioni massime che fanno riferimento al territorio oggetto di studio sono inferiori a 0,1g. Quindi, la verifica alla liquefazione è stata omessa.

12 CAPACITÀ PORTANTE

12.1 FONDAZIONI SUPERFICIALI

Sulla base dei dati ottenuti dalle prove, è stato eseguito il calcolo della capacità portante per fondazioni superficiali.

La capacità portante di progetto è stata calcolata in accordo con la formula di Brinch-Hansen descritta di seguito (sono stati utilizzati i fattori della capacità portante di Vesic N_c , N_q e N_γ):

$$q_{LIM} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

Per il calcolo della capacità portante ammissibile è stato utilizzato l'Approccio delle NTC2018 : A1+M1+R3.

Il fattore parziale $\gamma_r = 2.3$ (R3).

La capacità portante è stata calcolata per diversi plinti con imposta a -1.5m da p.c. e direttamente poggiati sullo strato ghiaioso.

I plinti considerati sono i seguenti:

- Plinto 2.5m x 2.5m
- Plinto 3.0m x 3.0m
- Plinto 3.5m x 3.5m

Nella tabella seguente i risultati dei calcoli sono riportati.

Tipo di fondazione	PLINTO
--------------------	--------

Inclinazione pendio	0	[°]
---------------------	---	-----

Tipo di terreno	INCOERENTE
-----------------	------------

Caratteristiche terreno	γ	19	[kN/m³]
	ϕ	34	[deg]
	c'	0	[kPa]
	C_u	0	[kPa]

CASO	Dimensione			Qlim	Qd
	B	L	D		
[-]	[m]	[m]	[m]	[kPa]	[kPa]
1	2.5	2.5	1.5	2172.65	944.63
2	3	3	1.5	2245.17	976.16
3	3.5	3.5	1.5	2328.20	1012.26

12.2 CEDIMENTI

I cedimenti dei plinti sono stati valutati considerando la distribuzione della pressione del carico trasferito dalle fondazioni su un semi spazio elastico.

Il contributo degli strati al cedimento totale è stato calcolato fino alla profondità in cui la tensione verticale dovuta al sovraccarico esterno è minore al 10% della tensione geostatica effettiva.

I cedimenti immediati sono stati calcolati con la seguente formula:

$$s = \sum i \frac{1}{E_i} [\Delta\sigma_{zi} - \nu_i(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})] \Delta l_i$$

Dove:

S = Cedimento

E_i = Modulo elastico dello strato i

ν = Modulo di Poisson dello strato i

$\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incremento di sollecitazione nello strato i, rispettivamente in direzione x, y e z.

Δl_i = Spessore dello strato i

Il cedimento di consolidazione atteso, per gli strati coesivi, può essere calcolato con la seguente formula di Skempton:

$$S_c = \mu S_{ed}$$

dove:

$$S_{ed} = \sum \frac{\Delta\sigma_{zi}}{M_i} * \Delta h_i$$

$$\mu = A + \alpha (1 - A)$$

dove:

S_c = Cedimento di consolidazione

μ = coefficiente di correzione

S_{ed} = Cedimento edometrico

$\Delta\sigma_{zi}$ = aumento di tensione nello strato i in direzione z

Δh_i = spessore dello strato i

A = coefficiente di Skempton

α = rapporto tra la tensione orizzontale e quella verticale

I cedimenti sono calcolati al centro della fondazione.

Siccome i calcoli sono riferiti a fondazioni flessibili, i calcoli sovrastimano i cedimenti attesi.

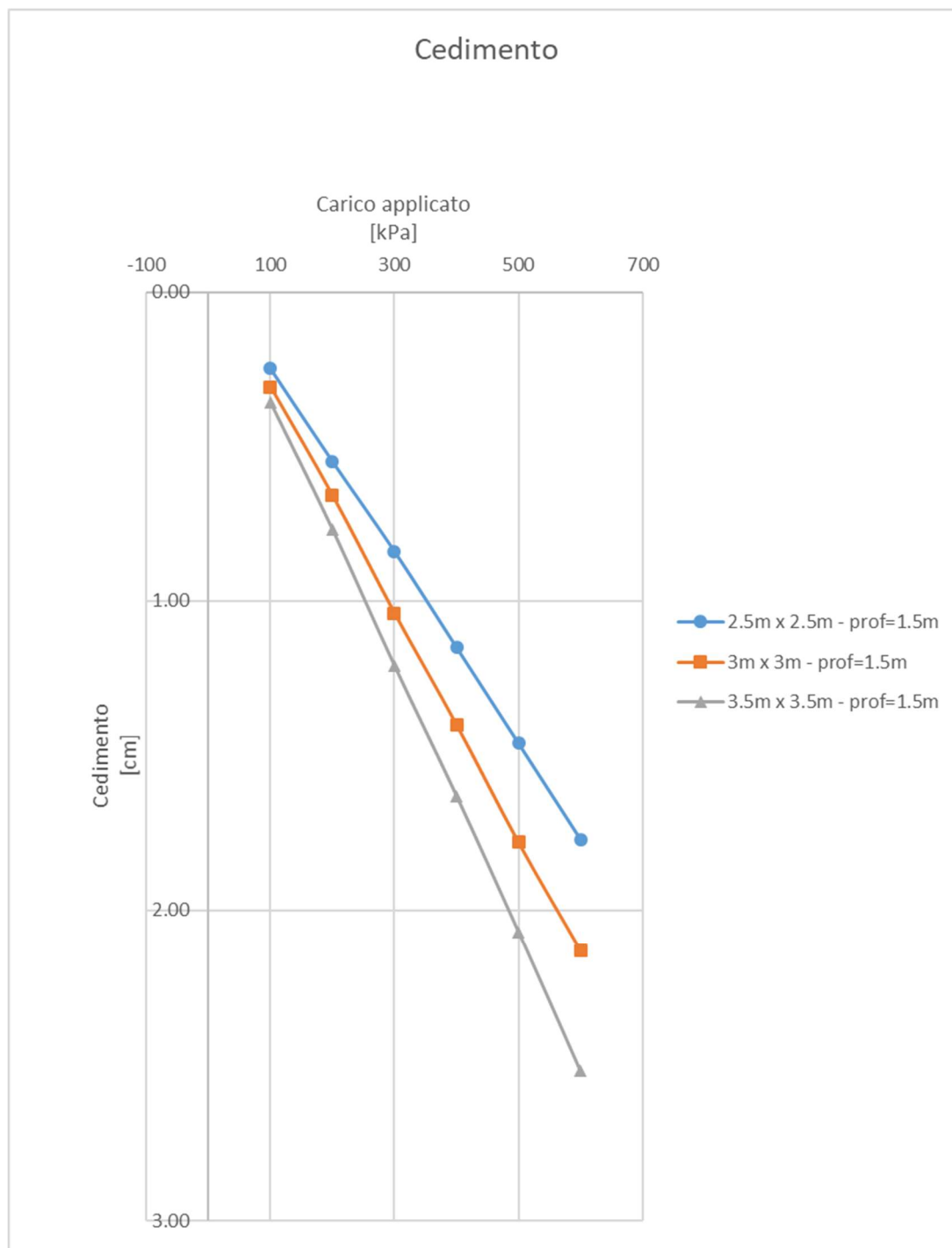
In dettaglio, considerando fondazioni rigide, l'entità dei cedimenti può essere calcolata considerando la seguente formula:

$$S_{rig} = 0,78 * S_{flex}$$

Nelle tabelle seguenti sono riportati i calcoli eseguiti.

Stratigrafia									
Strato	Litologia	Suolo	Spessore [m]	da [m]	a [m]	Modulo Elastico E [kPa]	Modulo Elastico non-drenato Eu [kPa]	M [kPa]	v [-]
1		Incoerente	25	0	25	50000			0.3

Cedimento				
Dimensione		Piano di posa [m da p.c.]	Carico applicato [kPa]	Cedimento [cm]
B [m]	L [m]			
2.5	2.5	1.5	100	0.25
			200	0.55
			300	0.84
			400	1.15
			500	1.46
			600	1.77
3.0	3.0	1.5	100	0.31
			200	0.66
			300	1.04
			400	1.40
			500	1.78
			600	2.13
3.5	3.5	1.5	100	0.36
			200	0.77
			300	1.21
			400	1.63
			500	2.07
			600	2.52

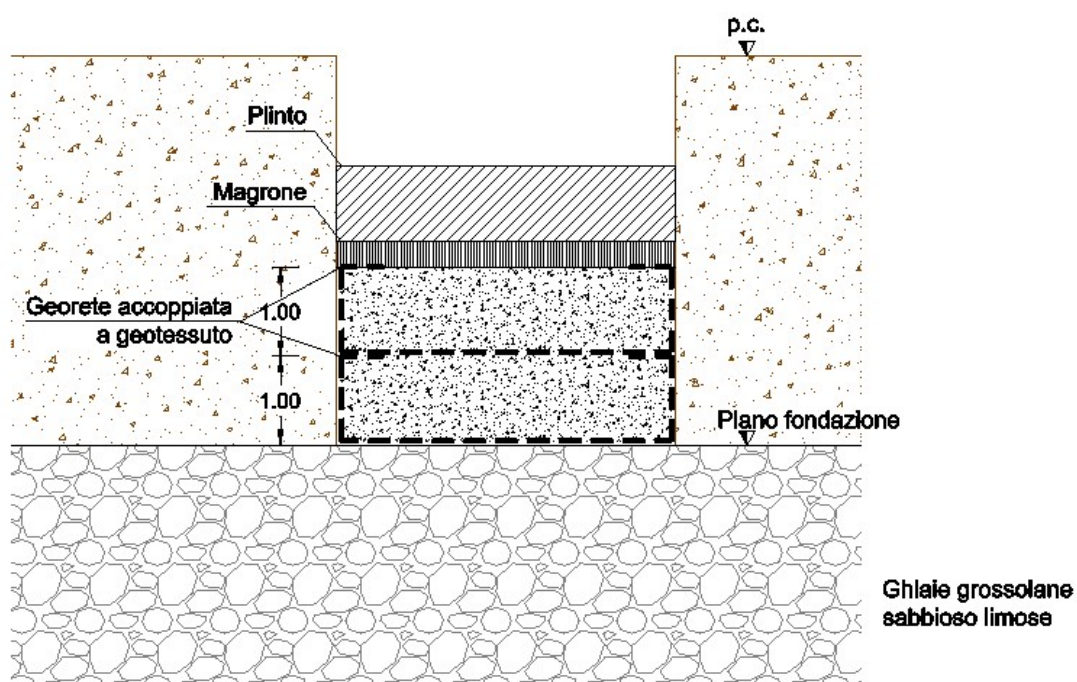


12.3 PIANI DI POSA DELLE FONDAZIONI

I calcoli della capacità portante e dei cedimenti sopra riportati sono stati eseguiti nell'ipotesi che la fondazione venga direttamente poggiata sullo strato formato da ghiaie grossolane sabbioso limose. Vista la variabilità della profondità dello strato nell'area, è necessario eseguire la verifica del fondo scavo per ogni plinto che verrà realizzato e nel caso in cui non sia stato raggiunto, è necessario procedere alla bonifica del

fondo scavo con la rimozione del materiale fino al piano di posa delle fondazioni e riempimento dello stesso con le modalità descritte di seguito:

- Strato di bonifica di spessore inferiore a 80cm: il riempimento avverrà con la posa di magrone dal fondo scavo fino alla quota di intradosso della fondazione
- Strato di bonifica di spessore superiore a 80cm: il riempimento avverrà utilizzando il materiale di classe A1-a o A1-b accoppiato a geogriglia e geotessile con lo schema riportato di seguito.



13 CONCLUSIONI

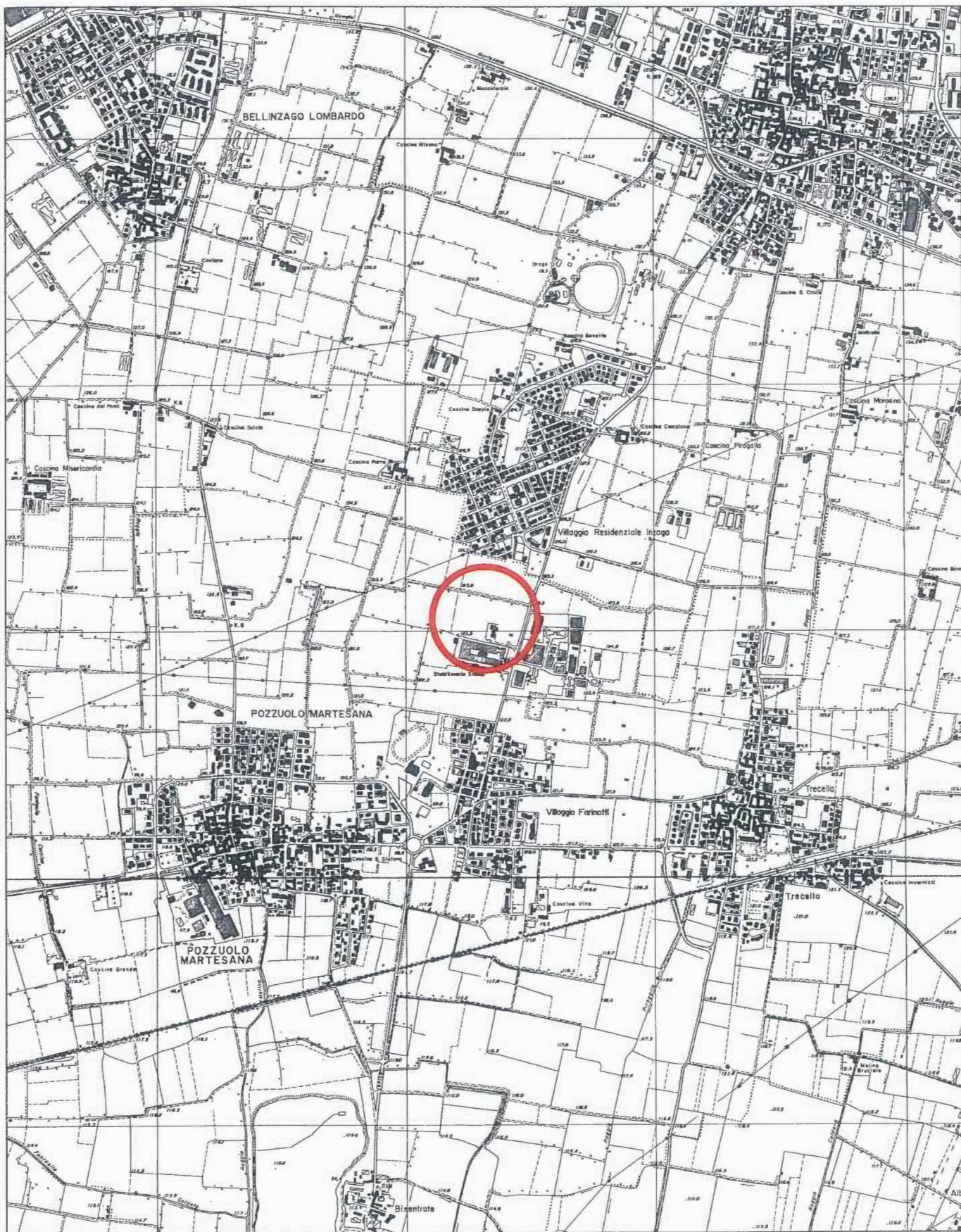
In conclusione, è possibile affermare che:

- Durante la campagna d'indagine eseguita nel 2011 dallo Studio Bottoni, sono stati effettuati n.18 prove penetrometriche dinamiche
- Il terreno indagato presenta valori delle Vs30 riferiti all'attuale piano campagna che permettono di classificarlo in Categoria C.
- L'area oggetto di studio è classificata in zona sismica 3.
- Poiché Le accelerazioni massime che fanno riferimento al territorio oggetto di studio sono inferiori a 0,1g, la verifica per la liquefazione è stata omessa.
- La falda è stata individuata ad una profondità pari a – 4 m da p.c. Dovrà essere tenuta in conto l'innalzamento della falda fino a -0.5m dal p.c. così come indicato nel grafico di Figura 7 dal quale si evince un abbassamento nel periodo estivo autunnale e un innalzamento nel periodo invernale e primaverile.
- È stata eseguito il calcolo della capacità portante e dei cedimenti delle fondazioni dirette. Dal calcolo si consiglia un tasso di lavoro pari a 200kPa e un plinto di dimensione 3x3m per limitare eventuali cedimenti differenziali.
- I calcoli della capacità portante e dei cedimenti sono stati eseguiti nell'ipotesi che la fondazione venga direttamente poggiata sullo strato formato da ghiaie grossolane sabbioso limose. Vista la variabilità della profondità dello strato nell'area, è necessario eseguire la verifica del fondo scavo per ogni plinto che verrà realizzato e nel caso in cui non sia stato raggiunto, è necessario procedere alla bonifica del fondo scavo con la rimozione del materiale fino al piano di posa delle fondazioni e riempimento dello stesso

ALLEGATO 1 – INDAGINI

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it

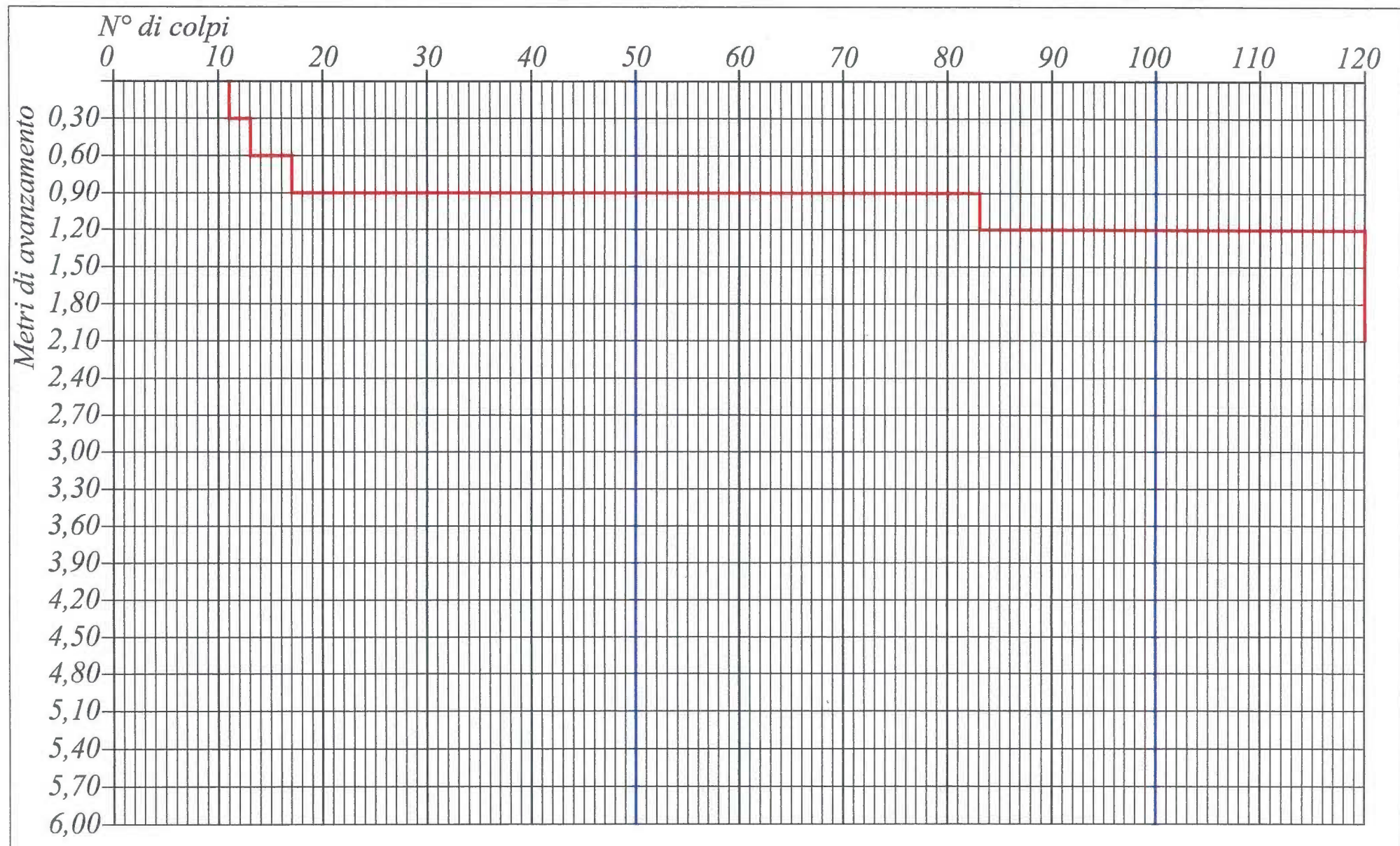
Ubicazione Sito in esame



DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

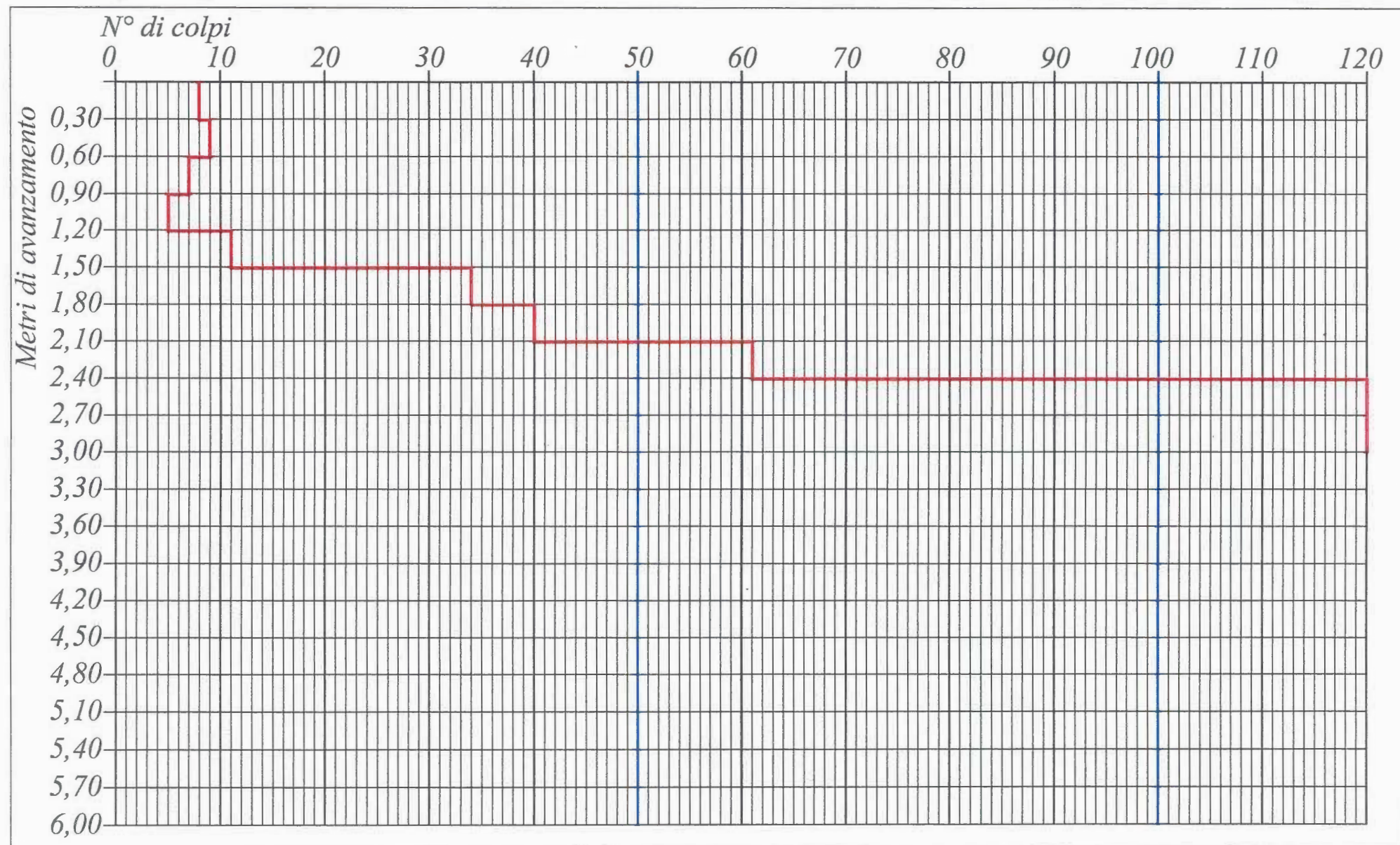
Data :21/09/2010

Prova n° :1

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it

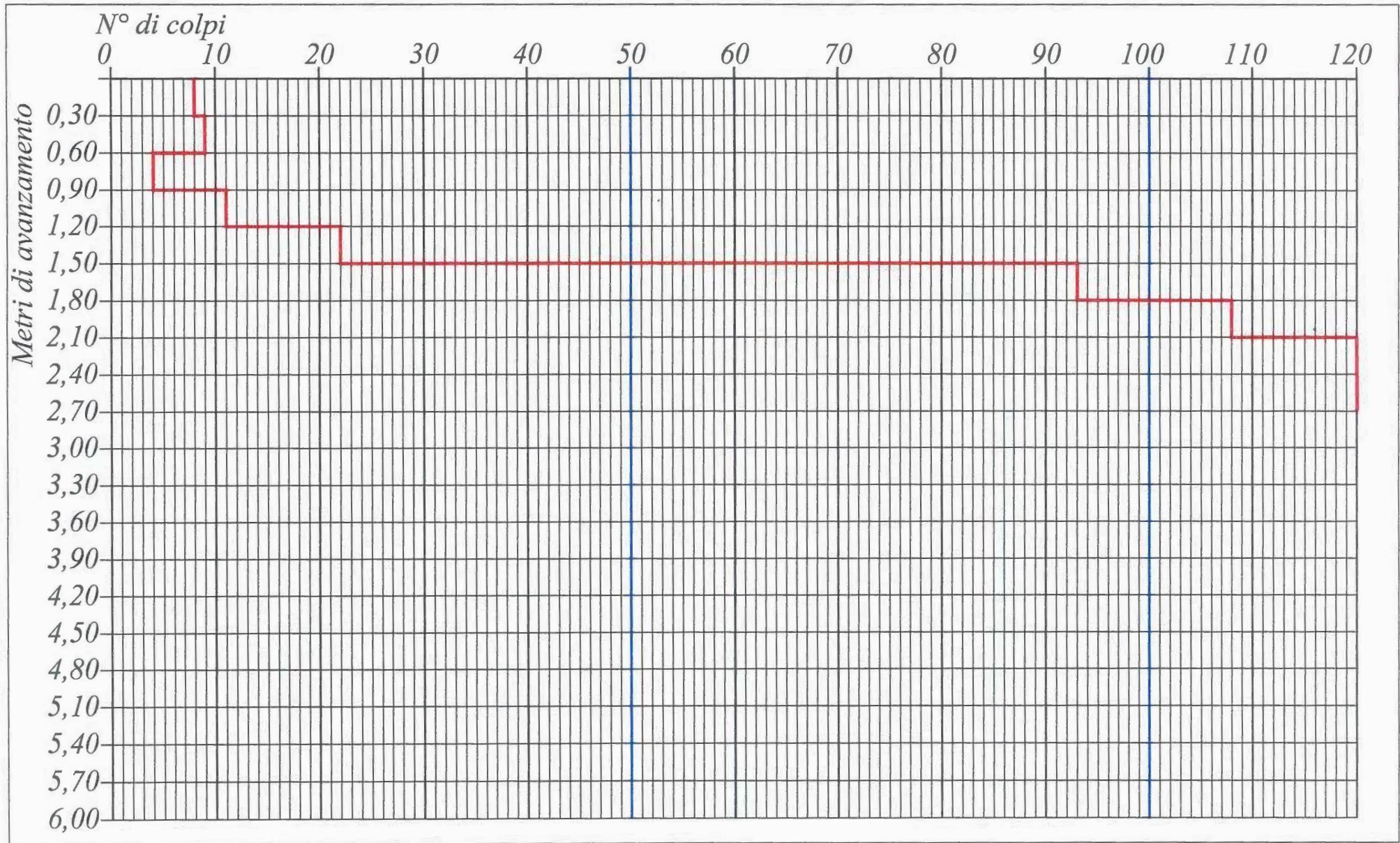


Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

Data :21/09/2010

Prova n° :2

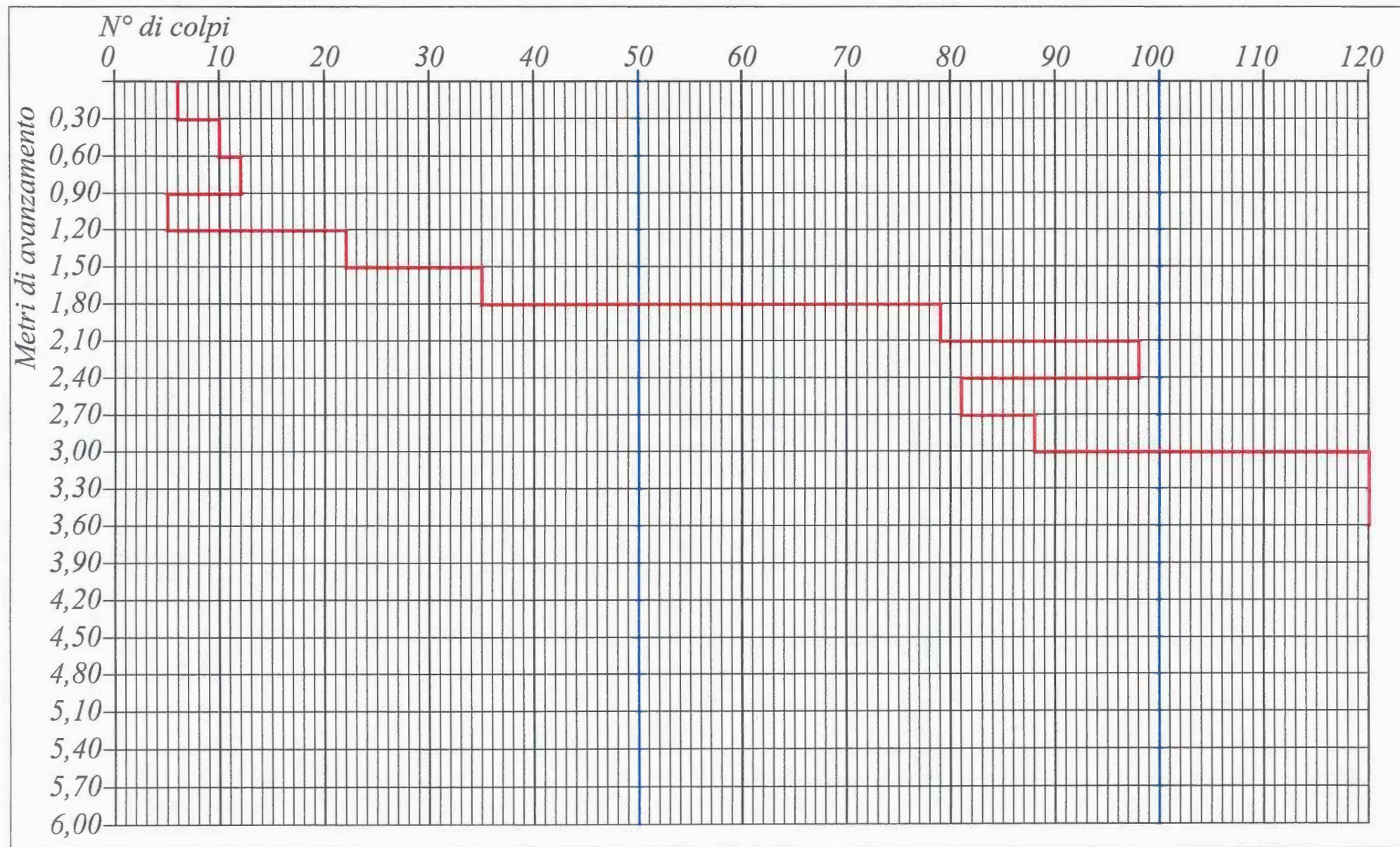
DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75



DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

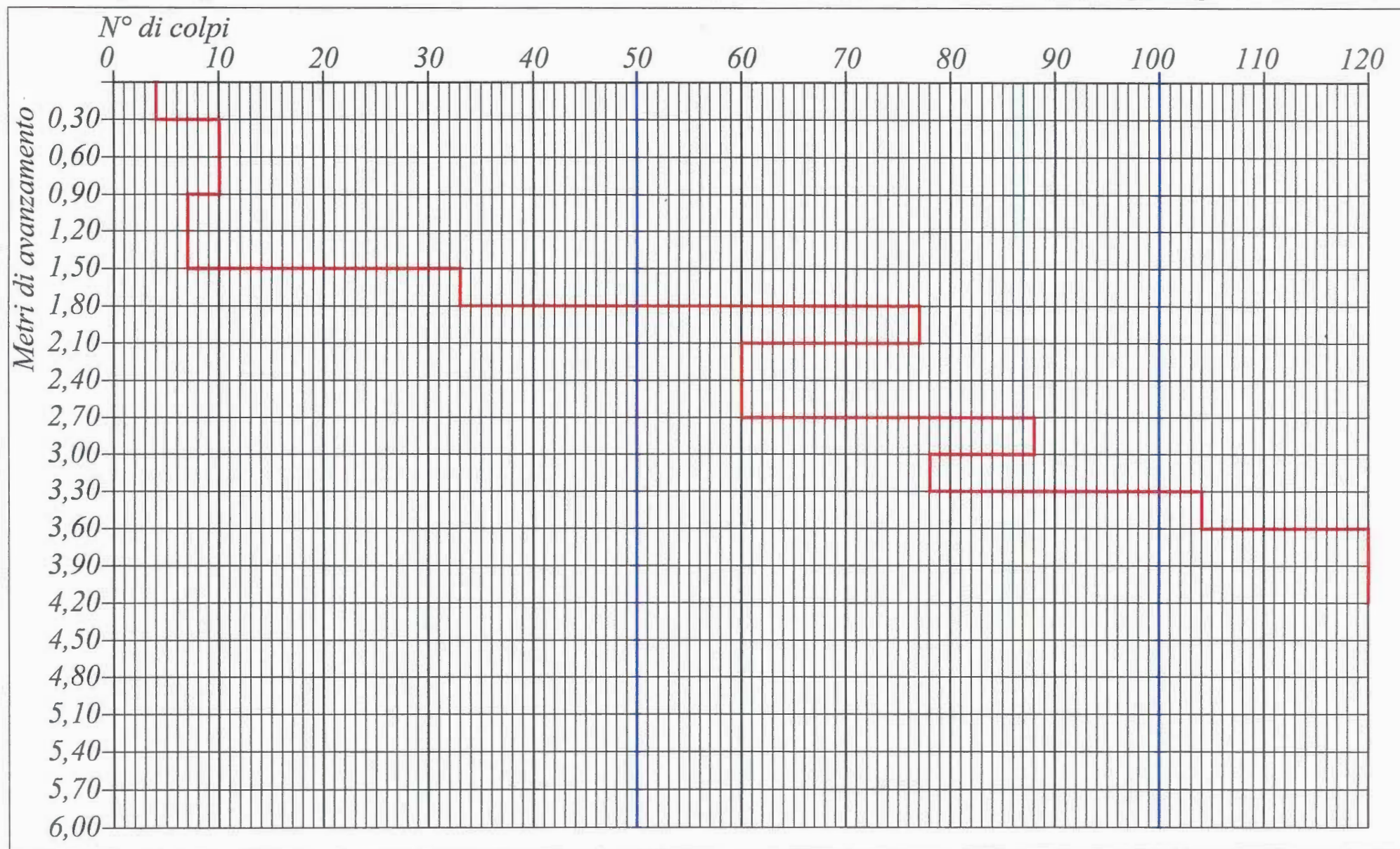
Data :21/09/2010

Prova n° :4

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

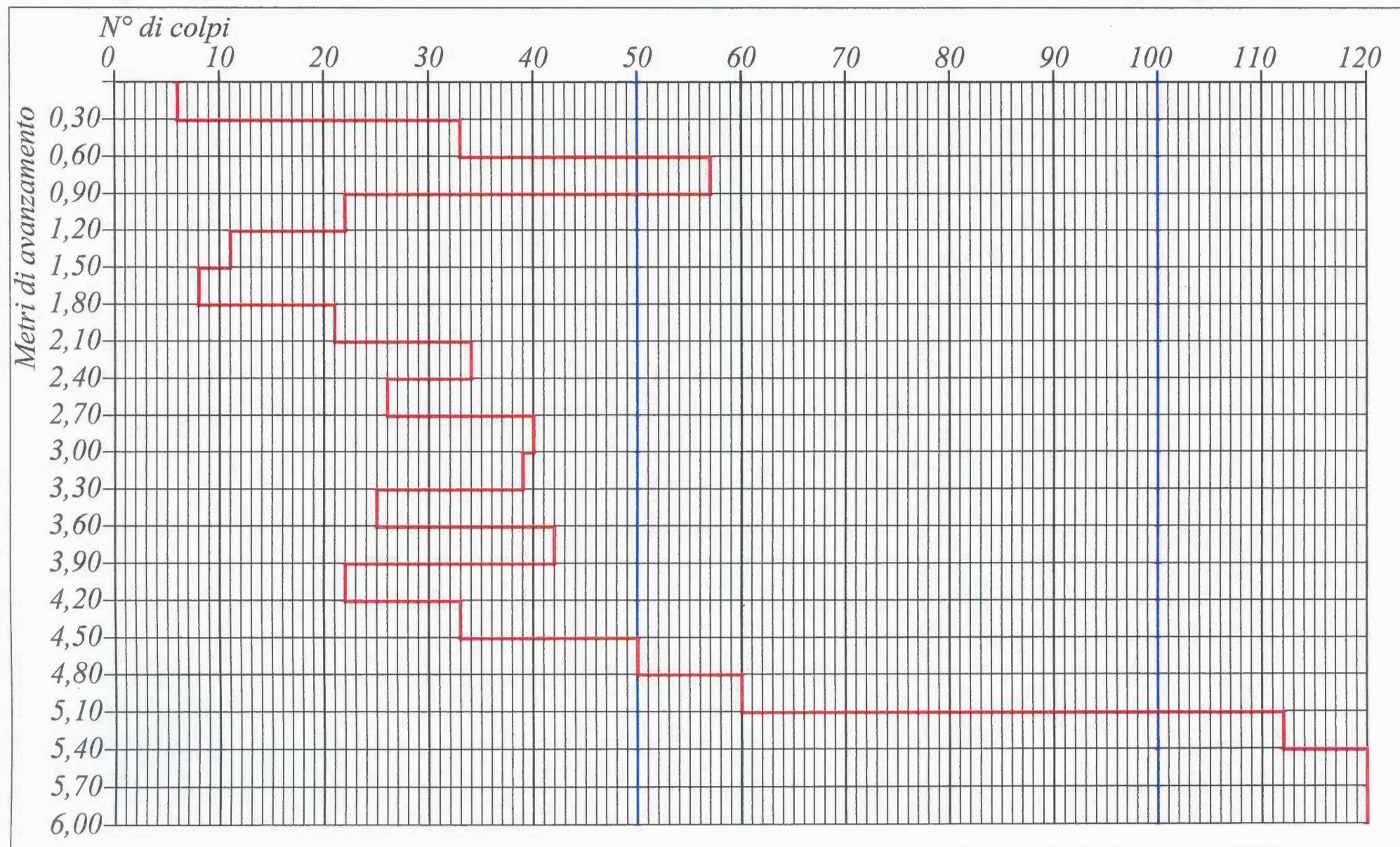
Data :21/09/2010

Prova n° :5

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

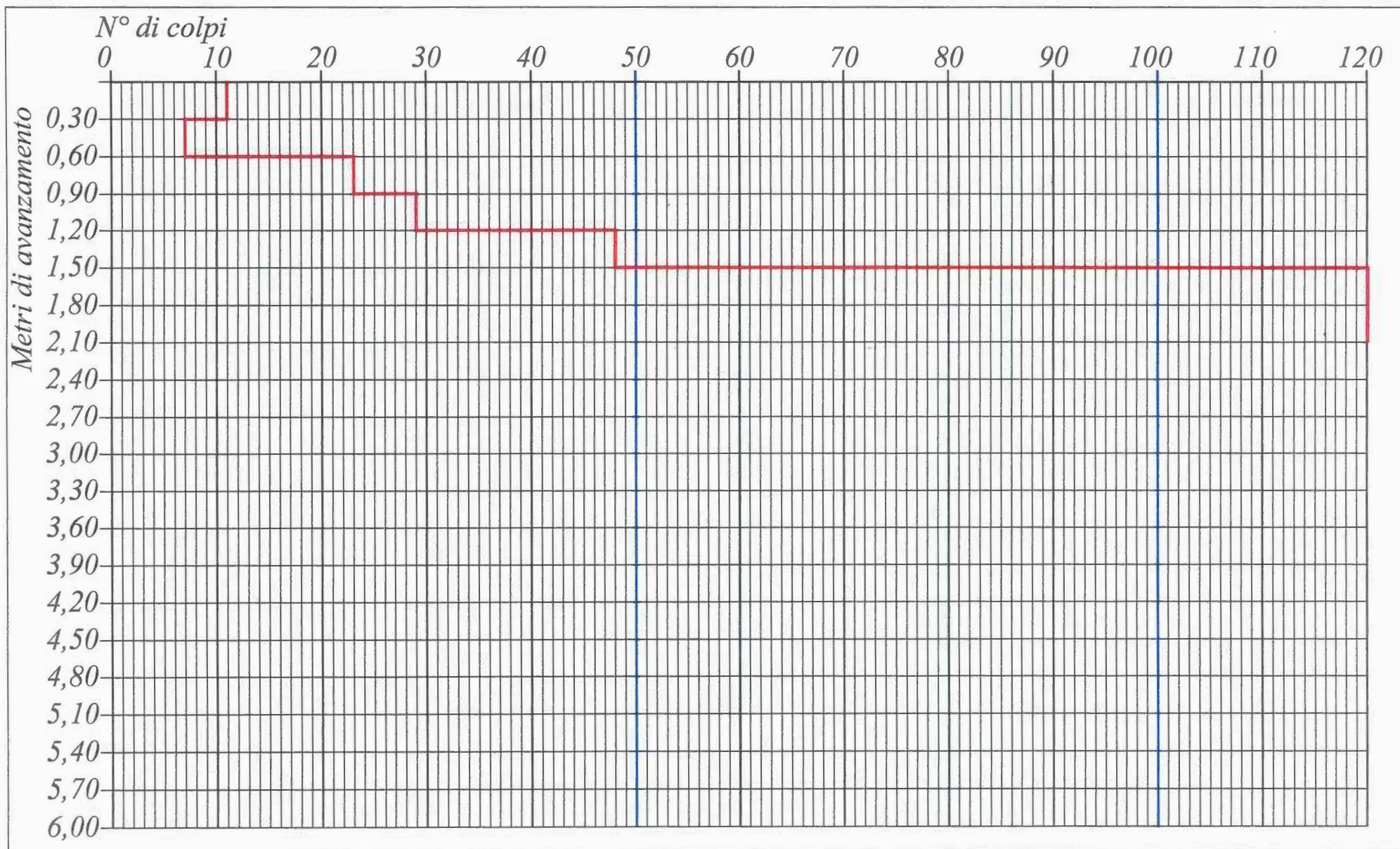
Data :21/09/2010

Prova n° :6

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

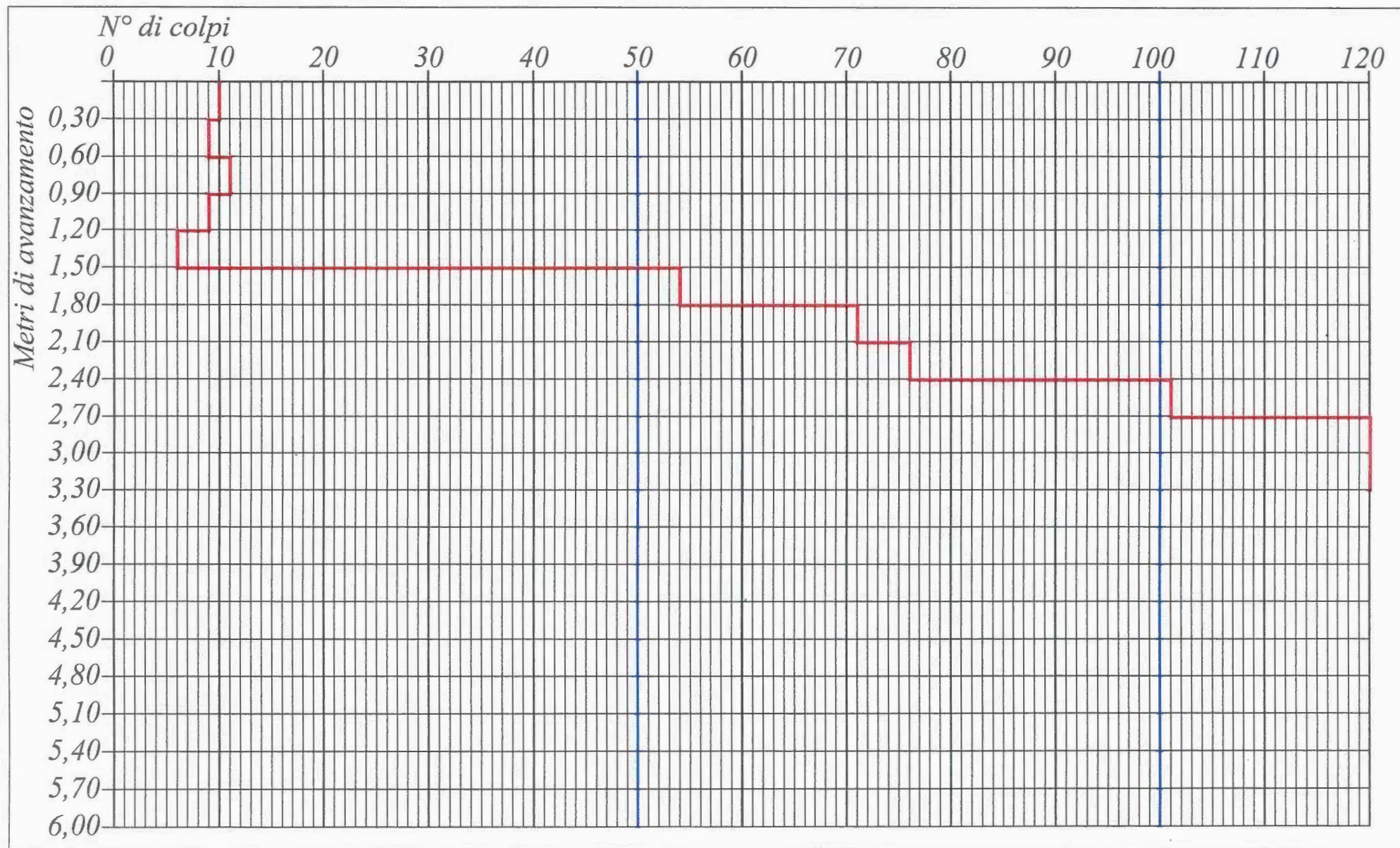
Data :21/09/2010

Prova n° :7

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

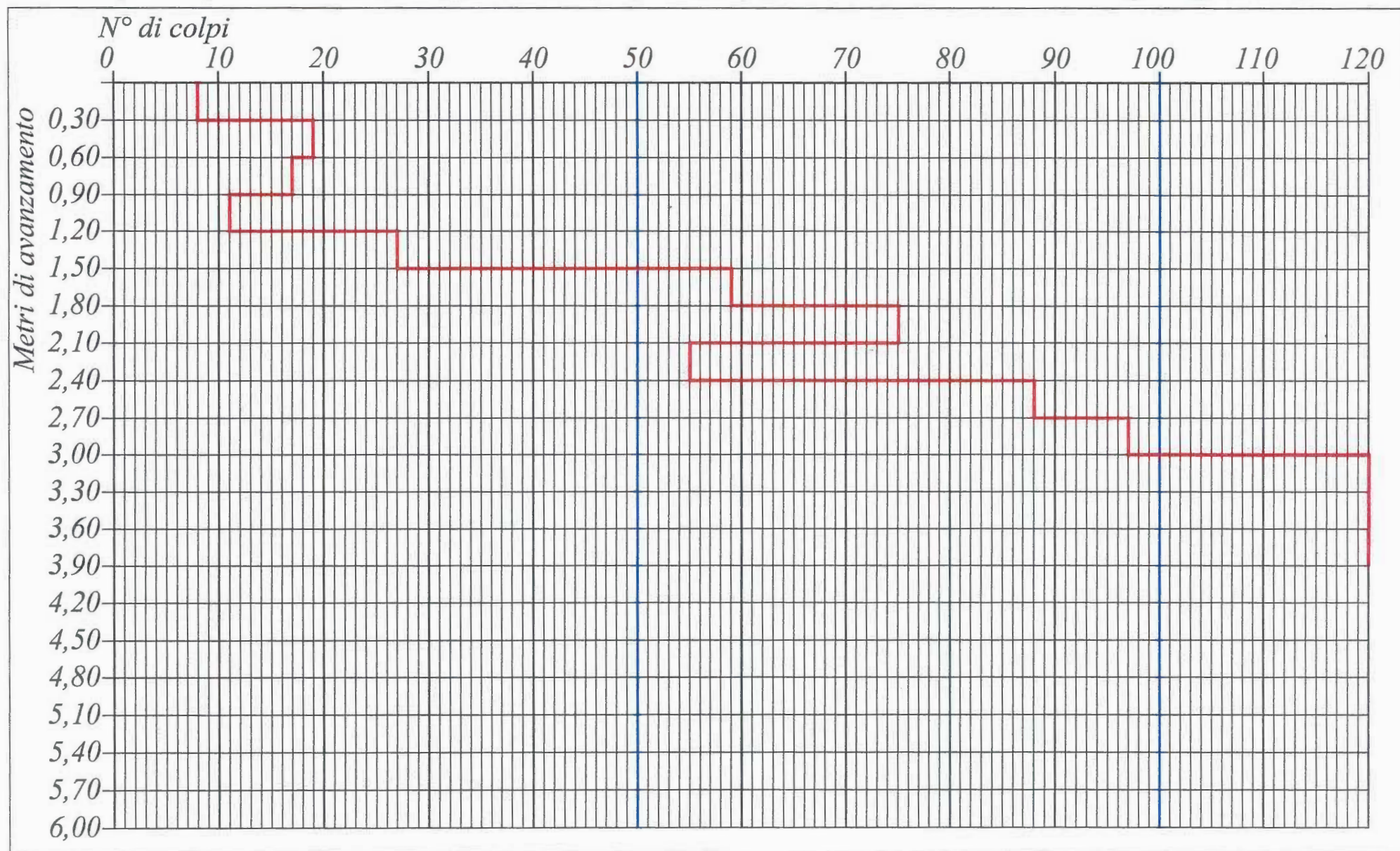
Data :21/09/2010

Prova n° :8

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it

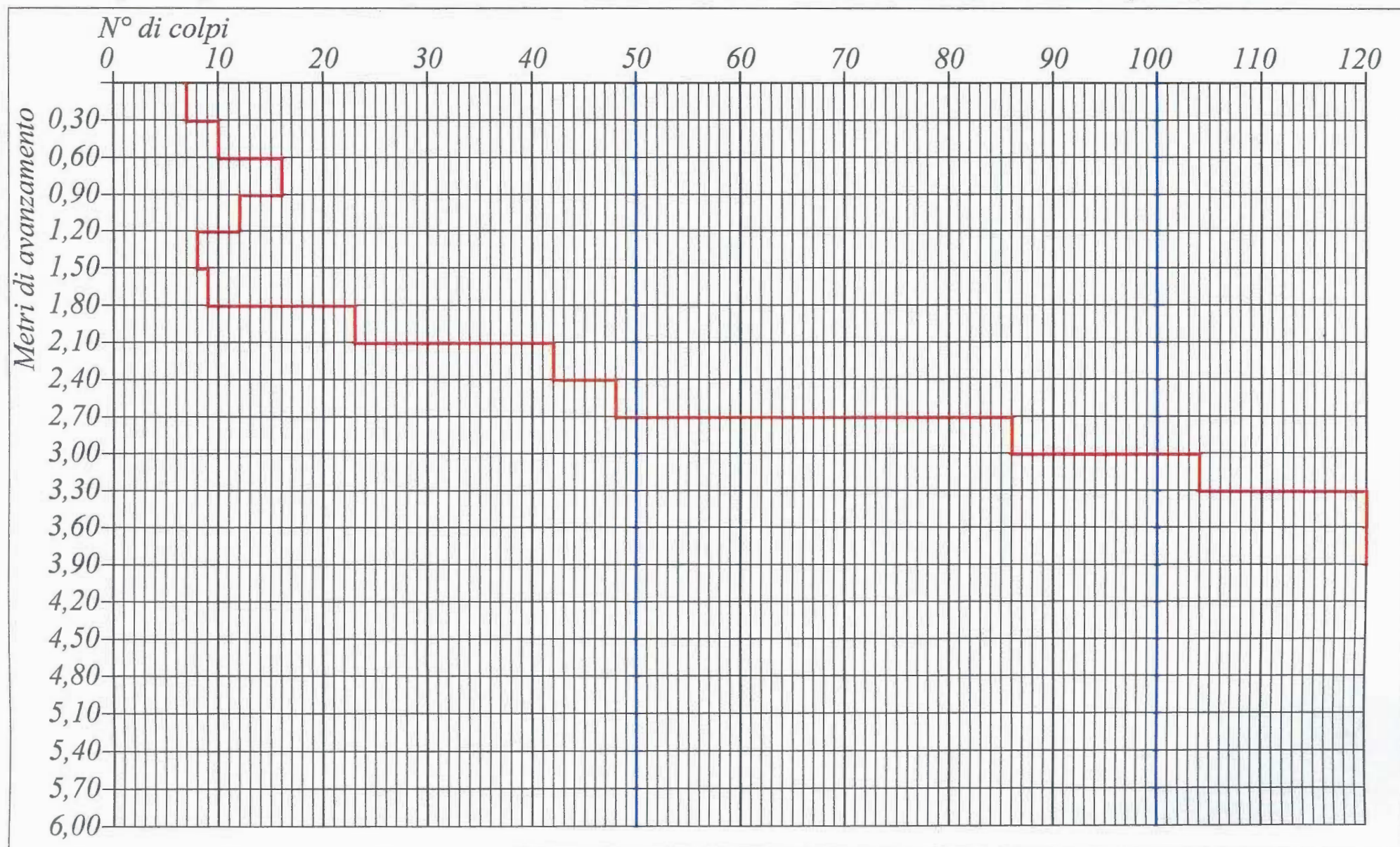


Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

Data :22/09/2010

Prova n° :9

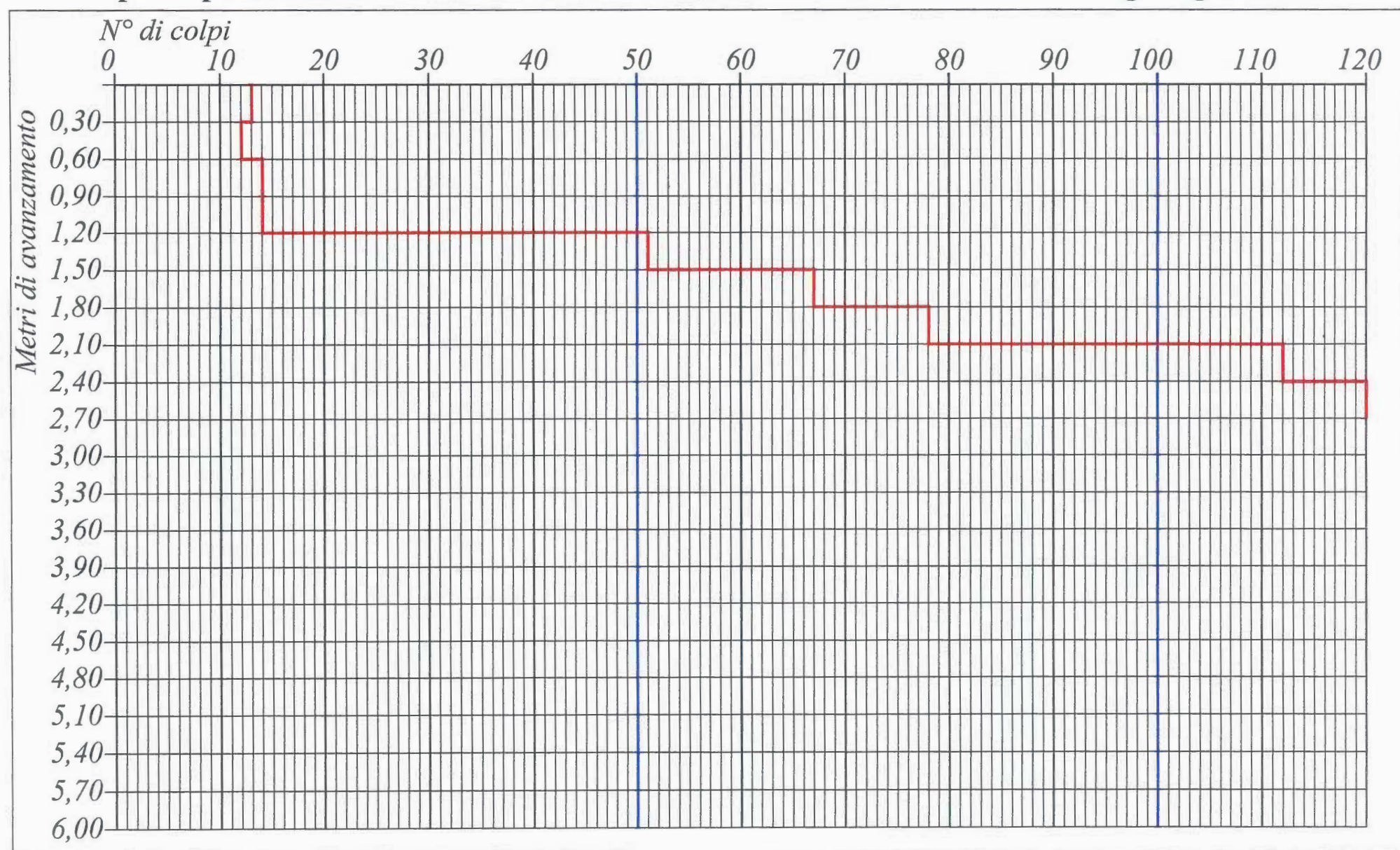
DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75



GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

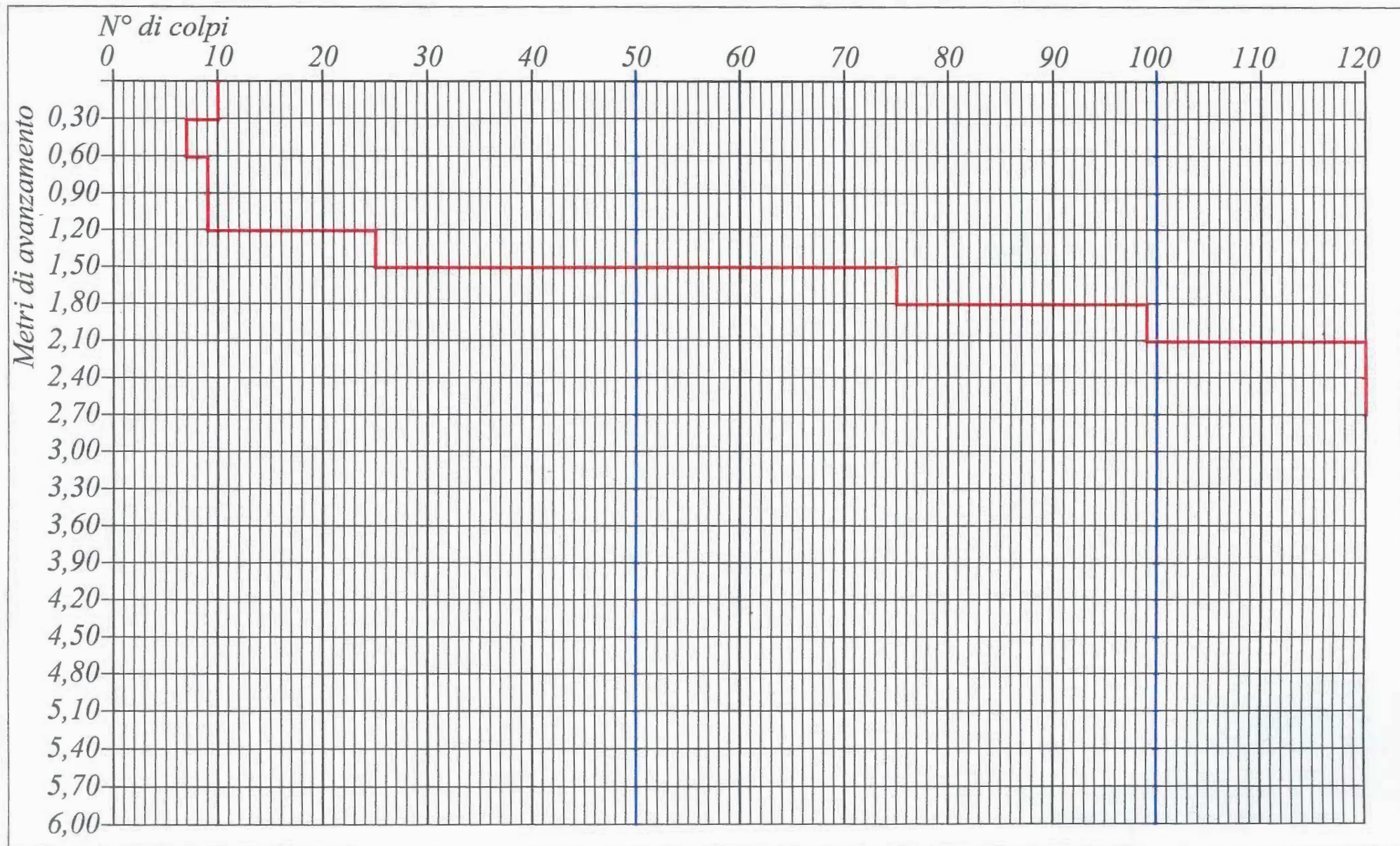
Data :22/09/2010

Prova n° :11

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



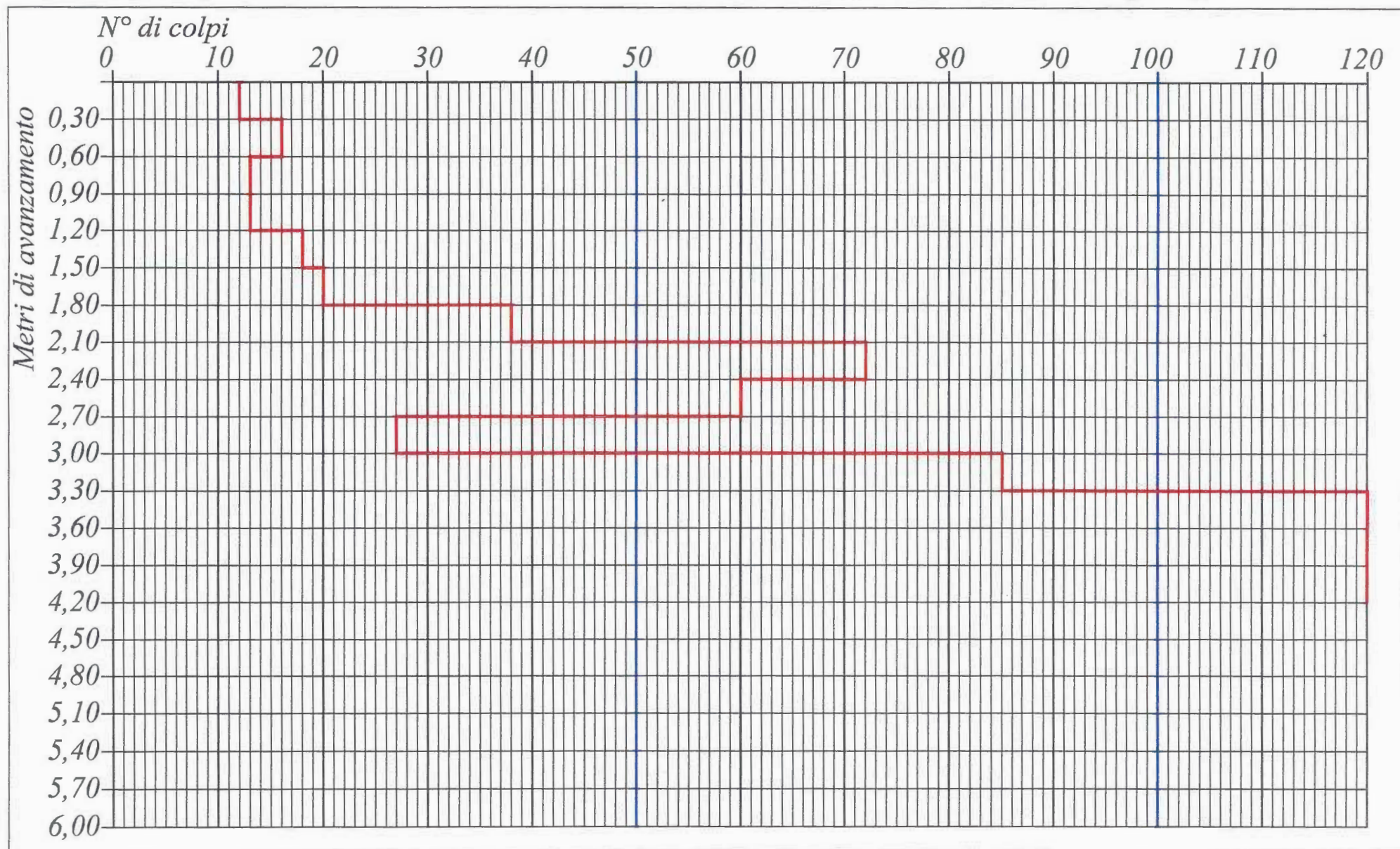
Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

Data :22/09/2010

Prova n° :12

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)
Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

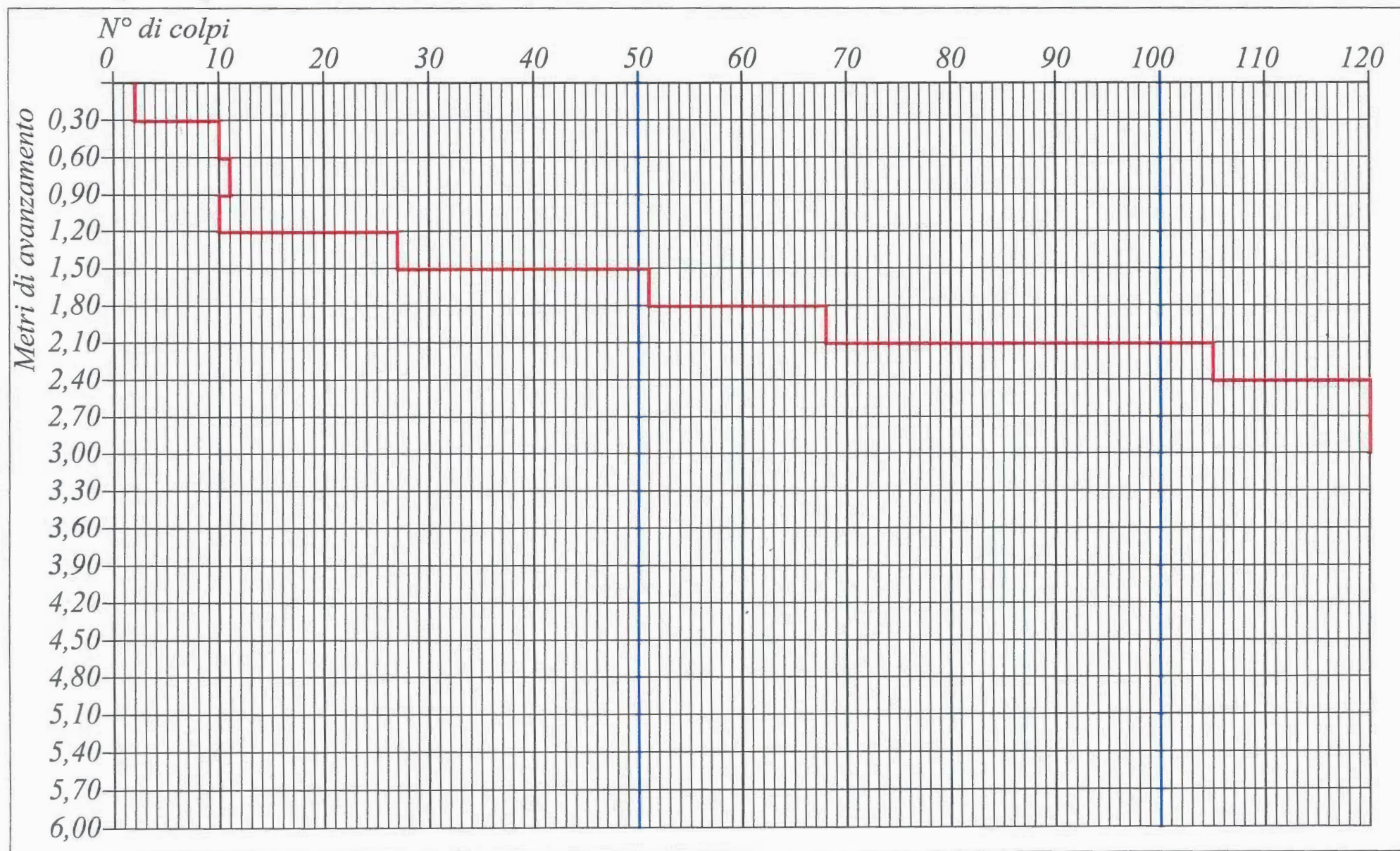
Data :22/09/2010

Prova n° :13

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

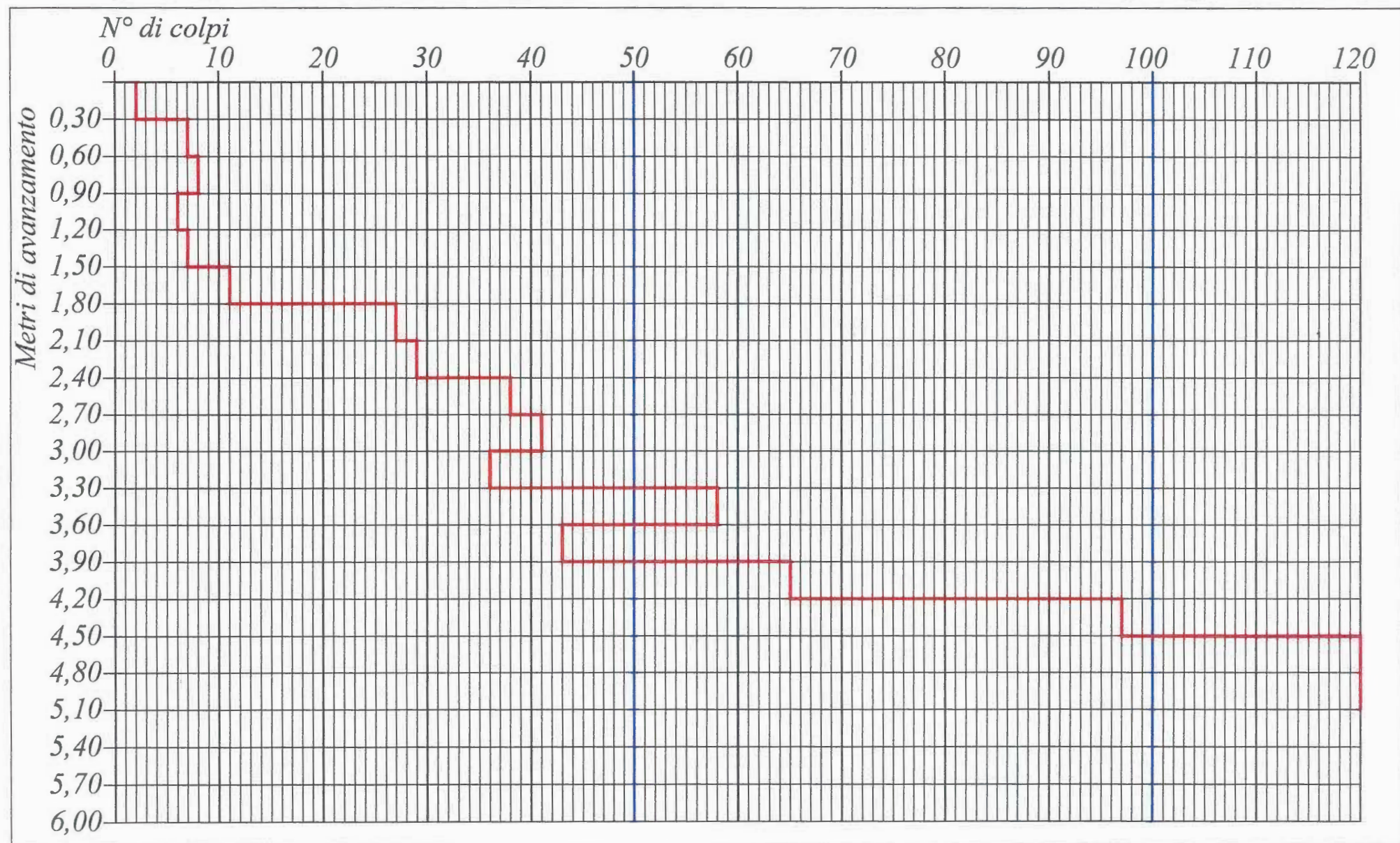
Data :22/09/2010

Prova n° :14

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

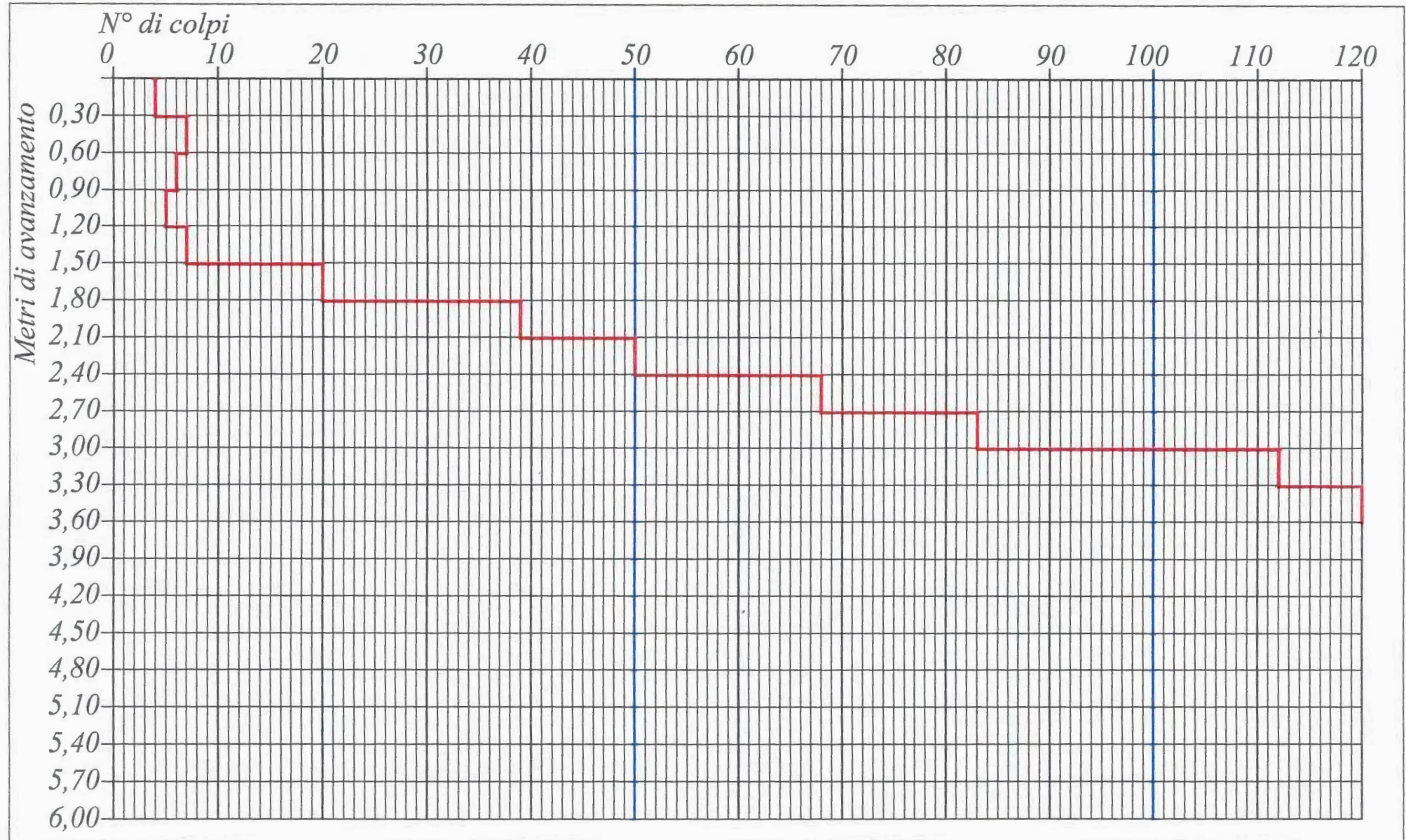


Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

Data :22/09/2010

Prova n° :15

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

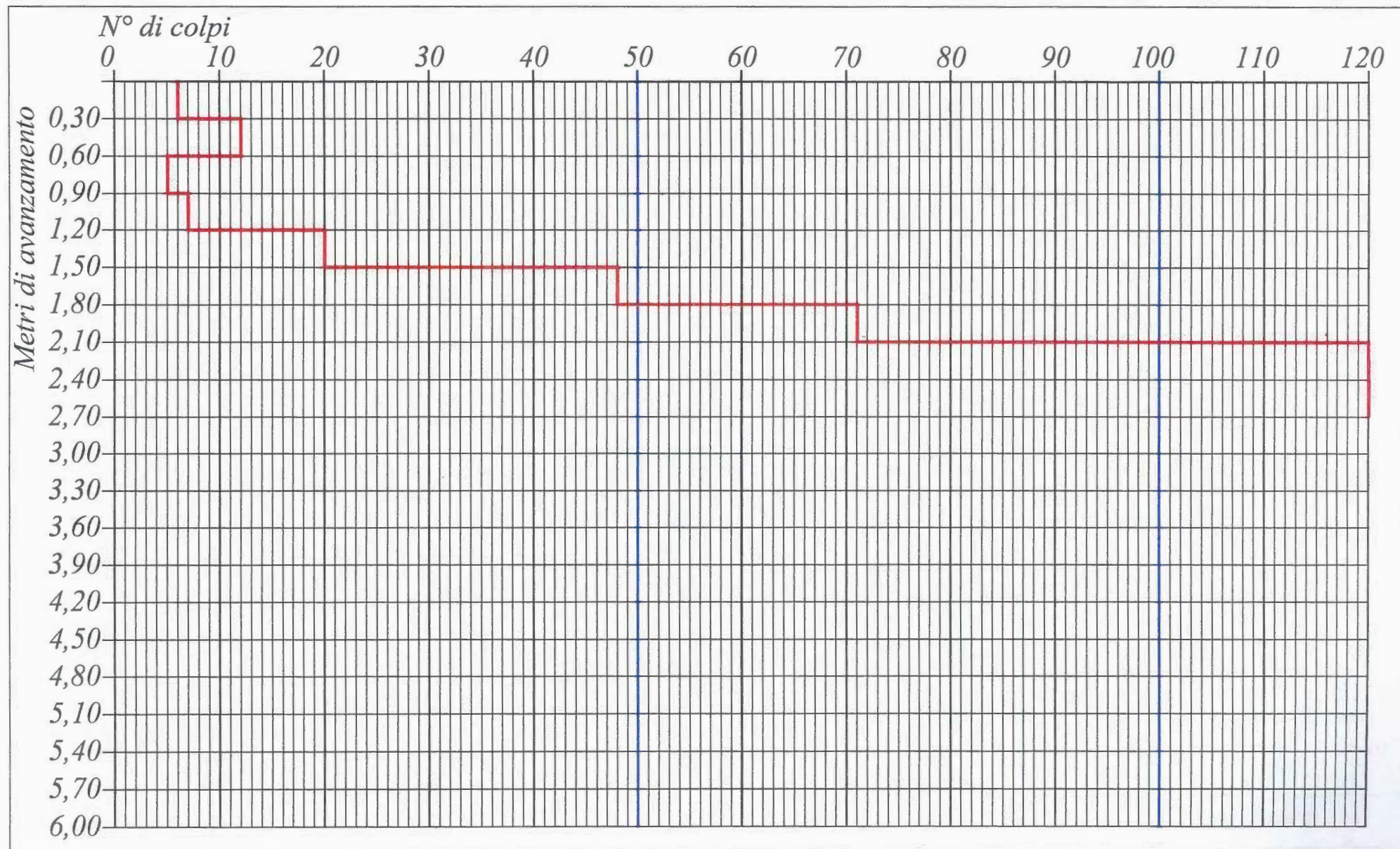
Data :22/09/2010

Prova n° :16

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)

Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



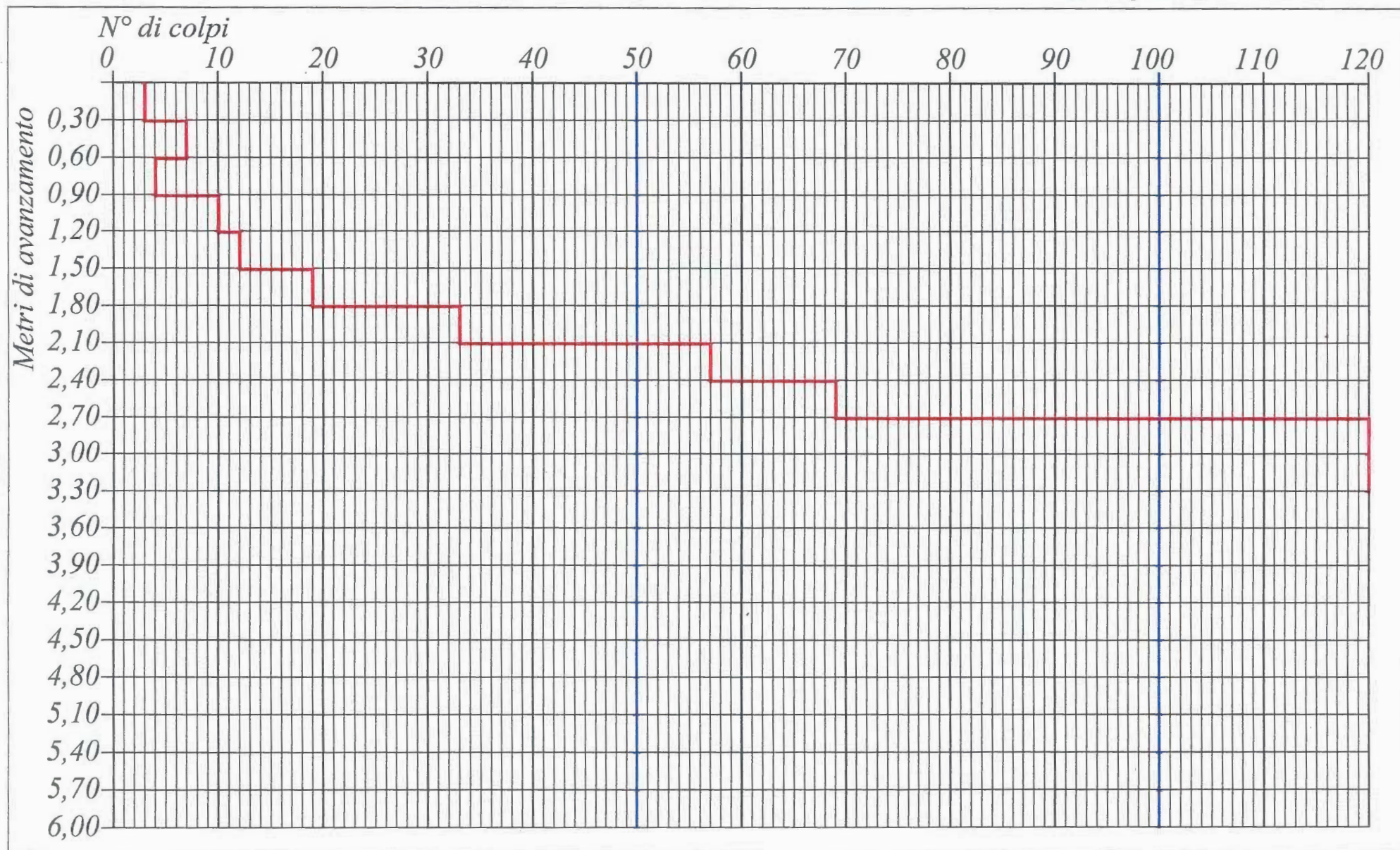
Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

Data :22/09/2010

Prova n° :17

DPSH - prova penetrometrica dinamica 73/75

GEO.TI sas via Malogno 13, 25036 Palazzolo s/O (Bs)
Tel e Fax : 030/7400796 e-mail : geoti@libero.it



Pozzuolo Martesana (Mi) via Livorno - ubicazione allegata su CTR

Data :22/09/2010

Prova n° :18

