



COMUNE DI SAN PIETRO MOZZO (NO)

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA-SISMICA

Dott. Geol. Gabriele Anselmi

Novembre 2021

Dott. Ing. Marco Saleri

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	8
5	CARTA DI SINTESI GEOMORFOLOGICA E IDONEITA' ALL'USO URBANO	13
6	CARTA DEL DISSESTO	15
7	VINCOLO IDROGEOLOGICO	17
8	DIRETTIVA ALLUVIONI	18
9	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	20
	9.1 Caratterizzazione idrogeologica generale	21
10	FONTANILI	23
11	CAMPAGNE D'INDAGINE GENERALE	25
	11.1 Area PEC 2	26
	11.2 Area PEC 3	27
	11.3 Area PEC 4	28
	11.4 Area PEC 5	29
12	MODALITA' DI INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DPSH	30
	12.1 Da DPSH a SPT	30
	12.2 Densità relativa (D_r)	30
	12.3 Modulo di deformazione (E)	31
	12.4 Angolo di attrito (φ')	31
13	AREA PEC 2	32
	13.1 Risultati delle prove penetrometriche DPSH realizzate nell'area PEC 2	32
	13.1.1 Da DPSH a NSPT	32
	13.1.2 Densità relativa (D_r)	36
	13.1.3 Modulo di deformazione (E)	40
	13.1.4 Angolo di attrito (φ)	44
	13.2 Risultati del piezometro realizzato nell'area PEC 2	48
	13.3 Risultati della prova di permeabilità LEFRANC realizzata nell'area PEC 2	48
	13.4 Stratigrafia di riferimento dell'area PEC2	50
	13.5 Risultati delle indagini geofisiche nell'area PEC 2	50
	13.5.1 Risultati della prova MASW	50
	13.5.2 Risultati della prova HVSR	53
	13.5.3 Categoria di sottosuolo e categoria topografica	55
	13.6 Parametri geotecnici medi	57

13.7	Parametri geotecnici caratteristici	58
14	AREA PEC 3	59
14.1	Risultati delle prove penetrometriche DPSH realizzate nell'area PEC 3	59
14.1.1	<i>Da DPSH a NSPT</i>	59
14.1.2	<i>Densità relativa (Dr)</i>	60
14.1.3	<i>Modulo di deformazione (E)</i>	61
14.1.4	<i>Angolo di attrito (φ)</i>	62
14.2	Stratigrafia di riferimento dell'area PEC 3	63
14.2.1	<i>Pozzetti esplorativi</i>	65
14.3	Risultati delle indagini geofisiche nell'area PEC 3	72
14.3.1	<i>Risultati della prova MASW</i>	72
14.3.2	<i>Categoria di sottosuolo e categoria topografica</i>	74
14.4	Parametri geotecnici medi	76
14.5	Parametri geotecnici caratteristici	77
15	AREA PEC 4	78
15.1	Risultati delle prove penetrometriche DPSH realizzate nell'area PEC 4	78
15.1.1	<i>Da DPSH a NSPT</i>	78
15.1.2	<i>Densità relativa (Dr)</i>	82
15.1.3	<i>Modulo di deformazione (E)</i>	86
15.1.4	<i>Angolo di attrito (φ)</i>	90
15.2	Risultati del piezometro realizzato nell'area PEC 4	94
15.3	Risultati della prova di permeabilità LEFRANC realizzata nell'area PEC 4	94
15.4	Stratigrafia di riferimento dell'area PEC 4	96
15.5	Risultati delle indagini geofisiche nell'area PEC 4	96
15.5.1	<i>Risultati della prova MASW</i>	96
15.5.2	<i>Risultati della prova HVSR</i>	99
15.5.3	<i>Categoria di sottosuolo e categoria topografica</i>	102
15.6	Parametri geotecnici medi	104
15.7	Parametri geotecnici caratteristici	105
16	AREA PEC 5	106
16.1	Risultati delle prove penetrometriche DPSH realizzate nell'area PEC 5	106
16.1.1	<i>Da DPSH a NSPT</i>	106
16.1.2	<i>Densità relativa (Dr)</i>	112
16.1.3	<i>Modulo di deformazione (E)</i>	118
16.1.4	<i>Angolo di attrito (φ)</i>	124
16.2	Risultati del piezometro realizzato nell'area PEC 5	130
16.3	Risultati della prova di permeabilità LEFRANC realizzata nell'area PEC 5	130

16.4	Stratigrafia di riferimento dell'area PEC 5	133
16.5	Risultati delle indagini geofisiche nell'area PEC 5	134
16.5.1	Risultati della prova MASW	134
16.5.2	Risultati della prova HVSR	136
16.5.3	Categoria di sottosuolo e categoria topografica	139
16.6	Parametri geotecnici medi	140
16.7	Parametri geotecnici caratteristici	142
17	SISMICITA' GENERALE	143
17.1	Zona sismica	143
17.2	CPTI15-DBMI15 v.2.0	149
17.3	Pericolosità sismica di base	151
17.3.1	Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	152
17.3.2	Stati limite, probabilità di superamento e periodo di ritorno	154
17.3.3	Definizione della pericolosità sismica di base	156
17.3.4	Definizione della pericolosità sismica di sito	160
18	LIQUEFAZIONE	168
19	CONCLUSIONI	170
	ALLEGATO 1: CAMPAGNA D'INDAGINE AREA PEC 3	171

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta al fine di definire le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche delle aree denominate PEC 2, PEC 3, PEC 4 e PEC 5 ubicate nel Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

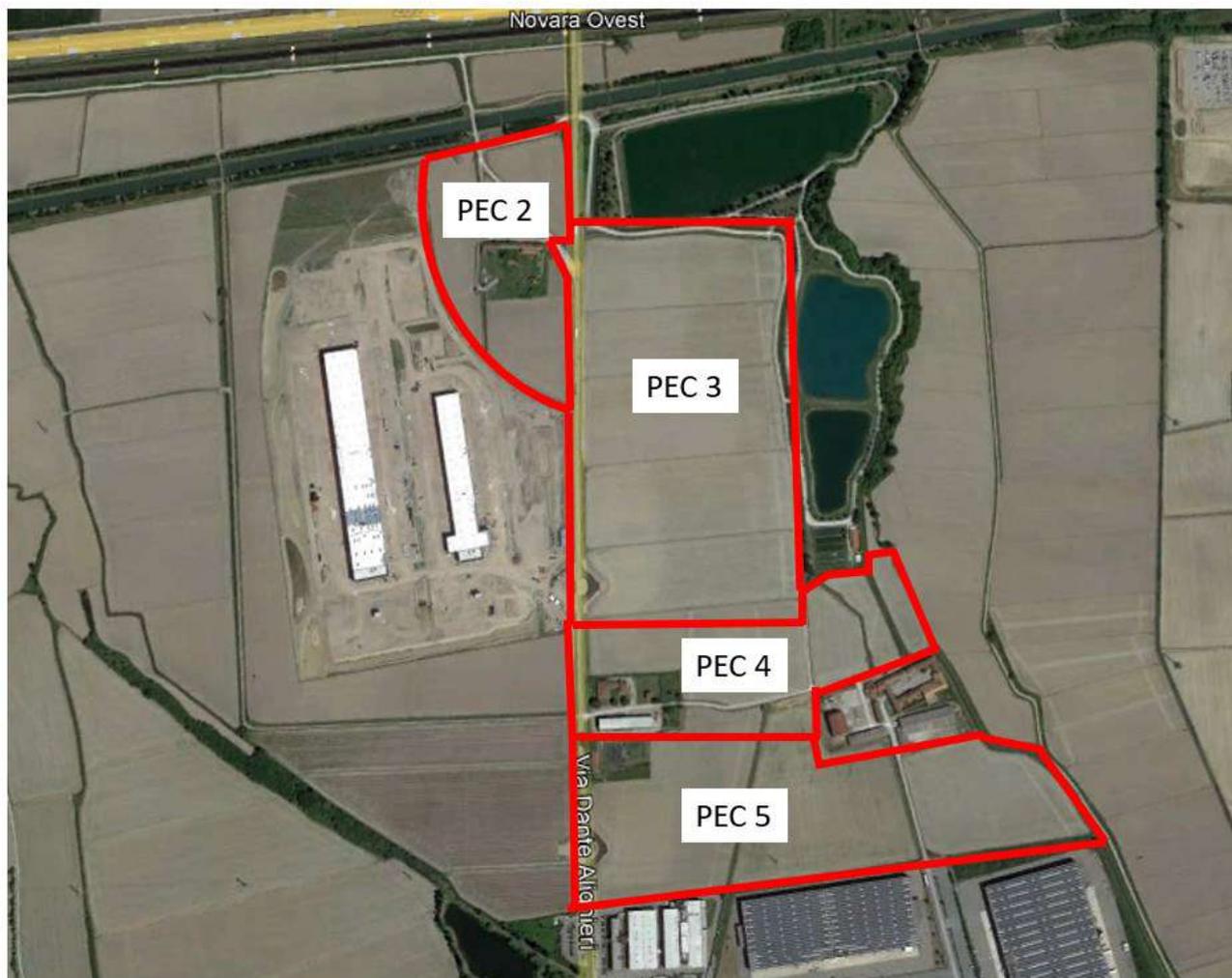


Figura 1: Aree d'interesse in rosso.

Questa relazione ottempera a quanto richiesto dalle norme del D.M. 17-01-2018 "Norme Tecniche delle Costruzioni".

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **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".
- **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.
- **D.M. 17.01.2018**: Norme Tecniche per le Costruzioni.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Comune di San Pietro Mosezzo (NO): Piano Regolatore Generale Comunale (PRGC) vigente (2006).
- Carta Geologica d'Italia, Foglio 44 Novara, in scala 1: 100.000.
- Geoportale della Regione Piemonte

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Nella seguente figura è rappresentata l'area d'interesse nella "Carta Geologica d'Italia", Foglio 44 Novara, in scala 1: 100.000.

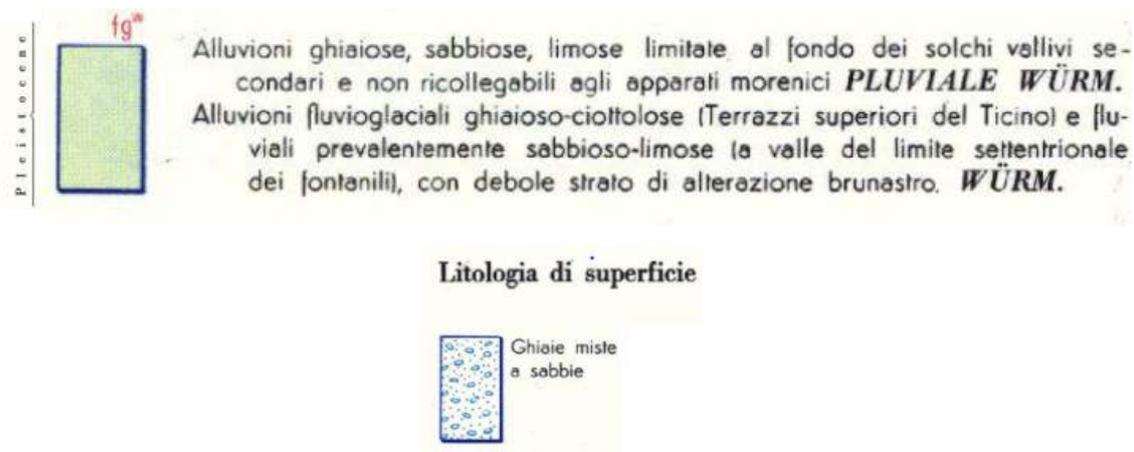
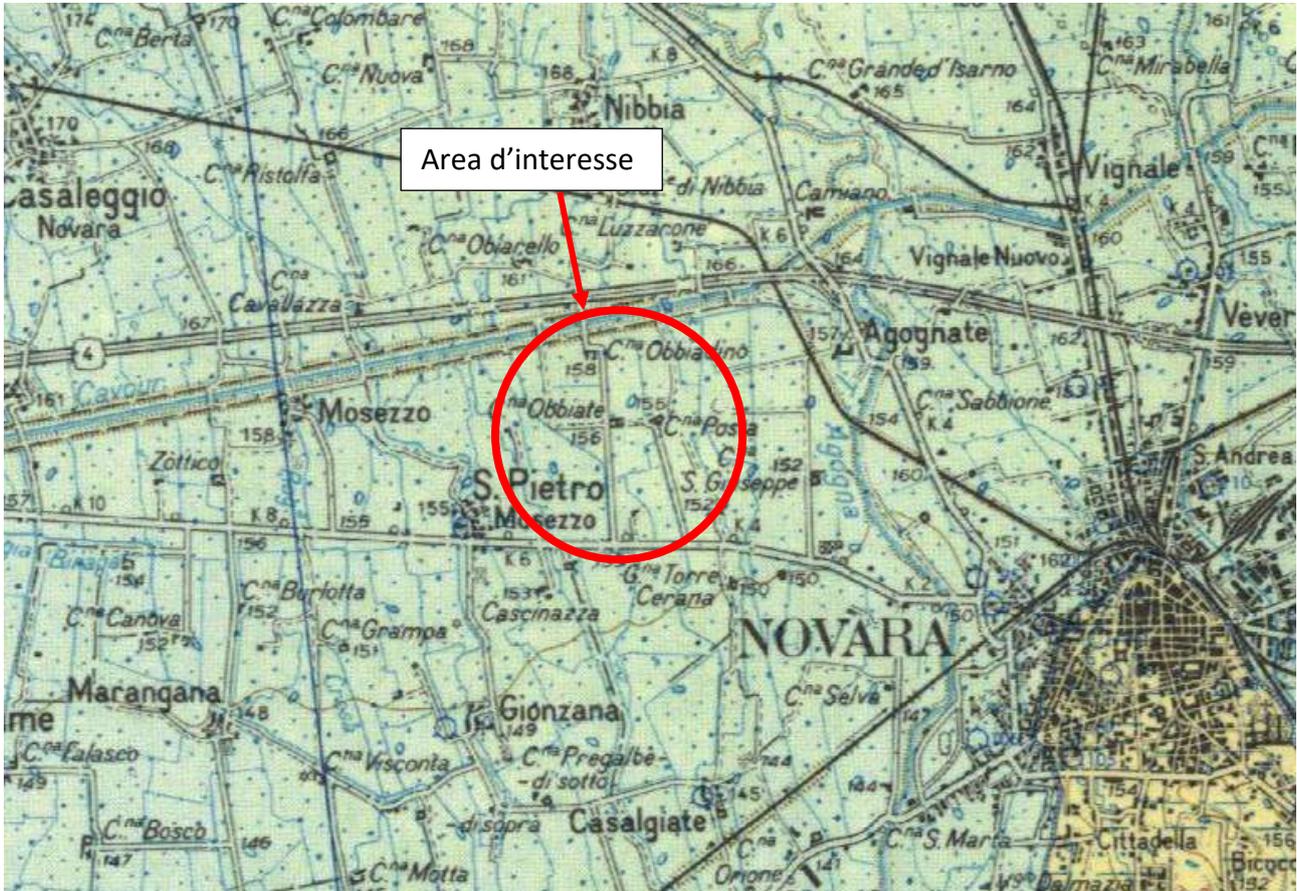


Figura 2: "Carta Geologica d'Italia", Foglio 44 Novara, in scala 1: 100.000 con relativa legenda.

Dal Foglio 44 Novara della "Carta Geologica d'Italia" si deduce che il sito d'interesse è caratterizzato dall'unità "fg^m" (Pleistocene) di cui si riporta la descrizione seguente: "Alluvioni ghiaiose, sabbiose e limitatamente limose al fondo dei solchi vallivi secondari e non ricollegabili agli apparati morenici **Pluviale Würm**. Alluvioni

fluvioglaciali ghiaioso-ciottolose (Terrazzi superiori del Ticino) e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (a valle del limite settentrionale dei fontanili) con debole strato di alterazione brunastro. **Würm**".

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio del Comune di San Pietro Mosezzo (NO) fa parte della pianura novarese caratterizzata dalla presenza di depositi fluvioglaciali e fluviali di età quaternaria (Pleistocene-Olocene). Questi depositi derivano dal rimaneggiamento dei più antichi depositi glaciali, avvenuto durante i periodi interglaciali. La morfologia dell'area è strettamente connessa al fenomeno di deposizione sedimentaria e ai fenomeni di erosione che si sono verificati durante i periodi glaciale e interglaciale.

La figura seguente riporta la Tavola ATG01 "Carta geologica e geomorfologica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

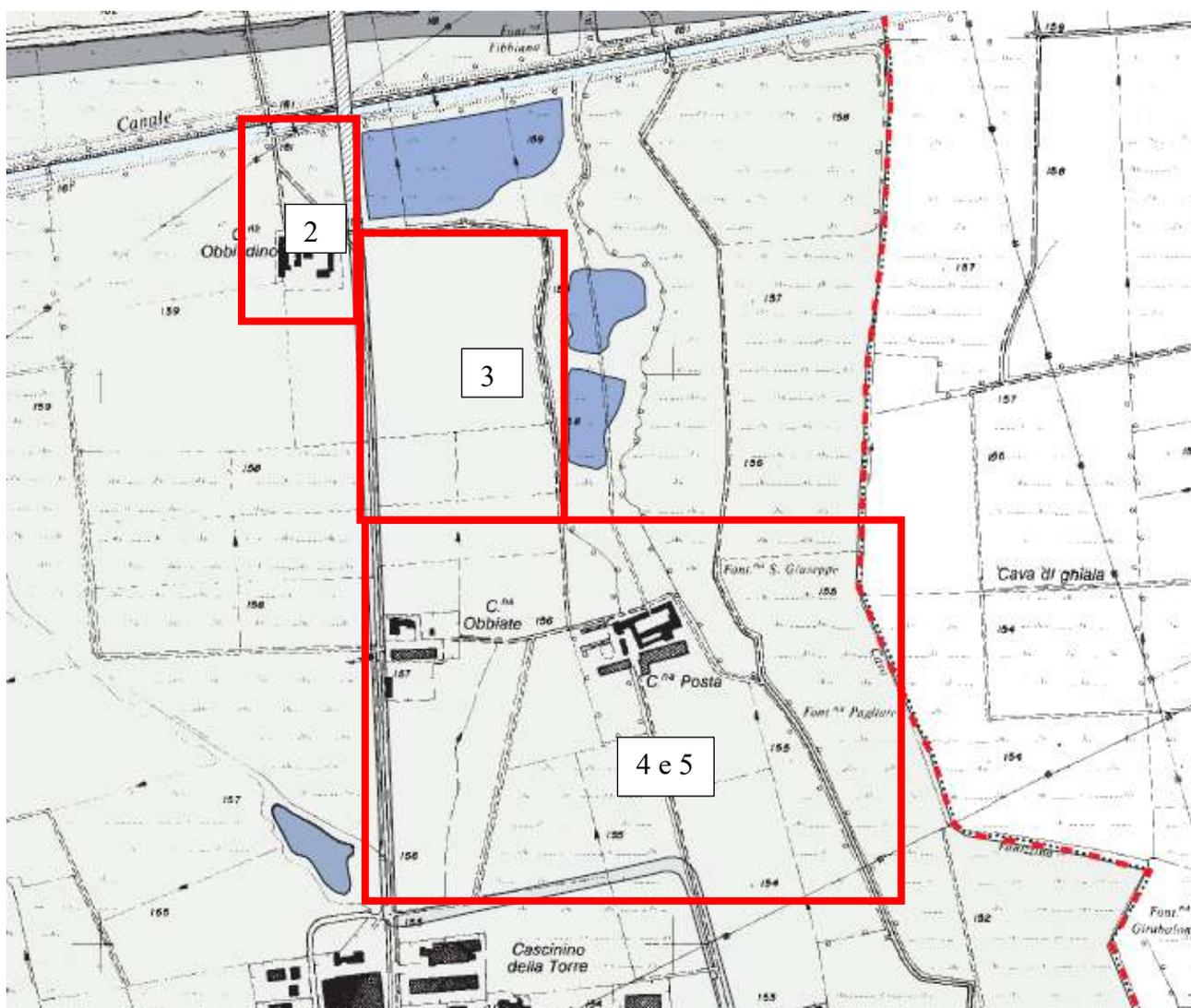


Figura 3: Tavola ATG01 "Carta geologica e geomorfologica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

- 2 PEC 2
- 3 PEC 3
- 4 e 5 PEC 4 e PEC 5

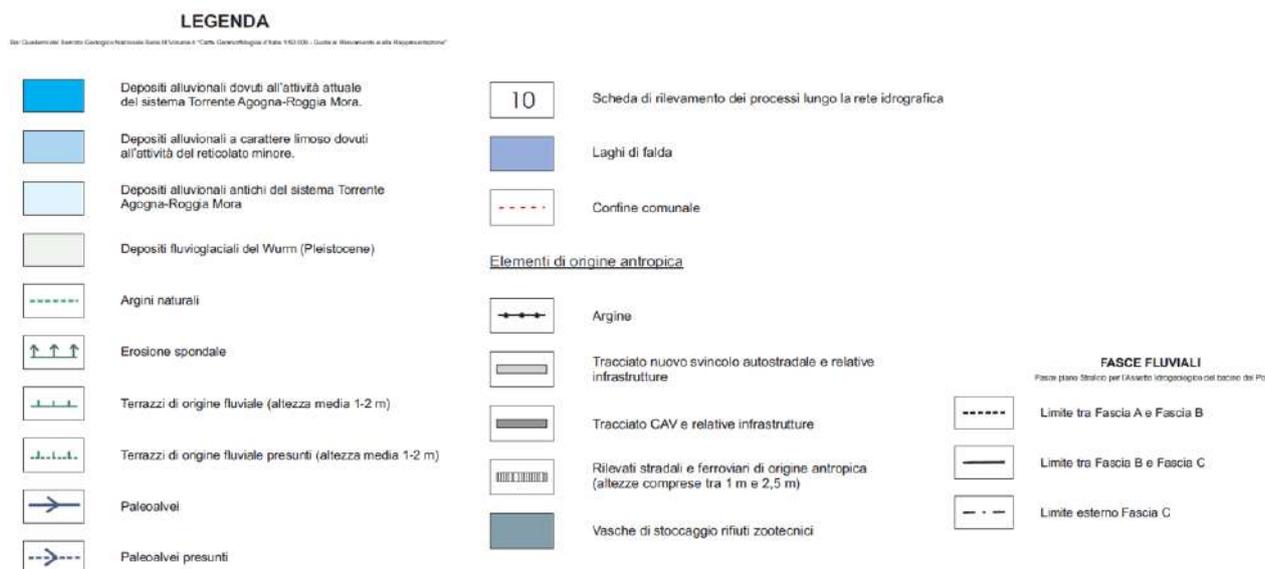
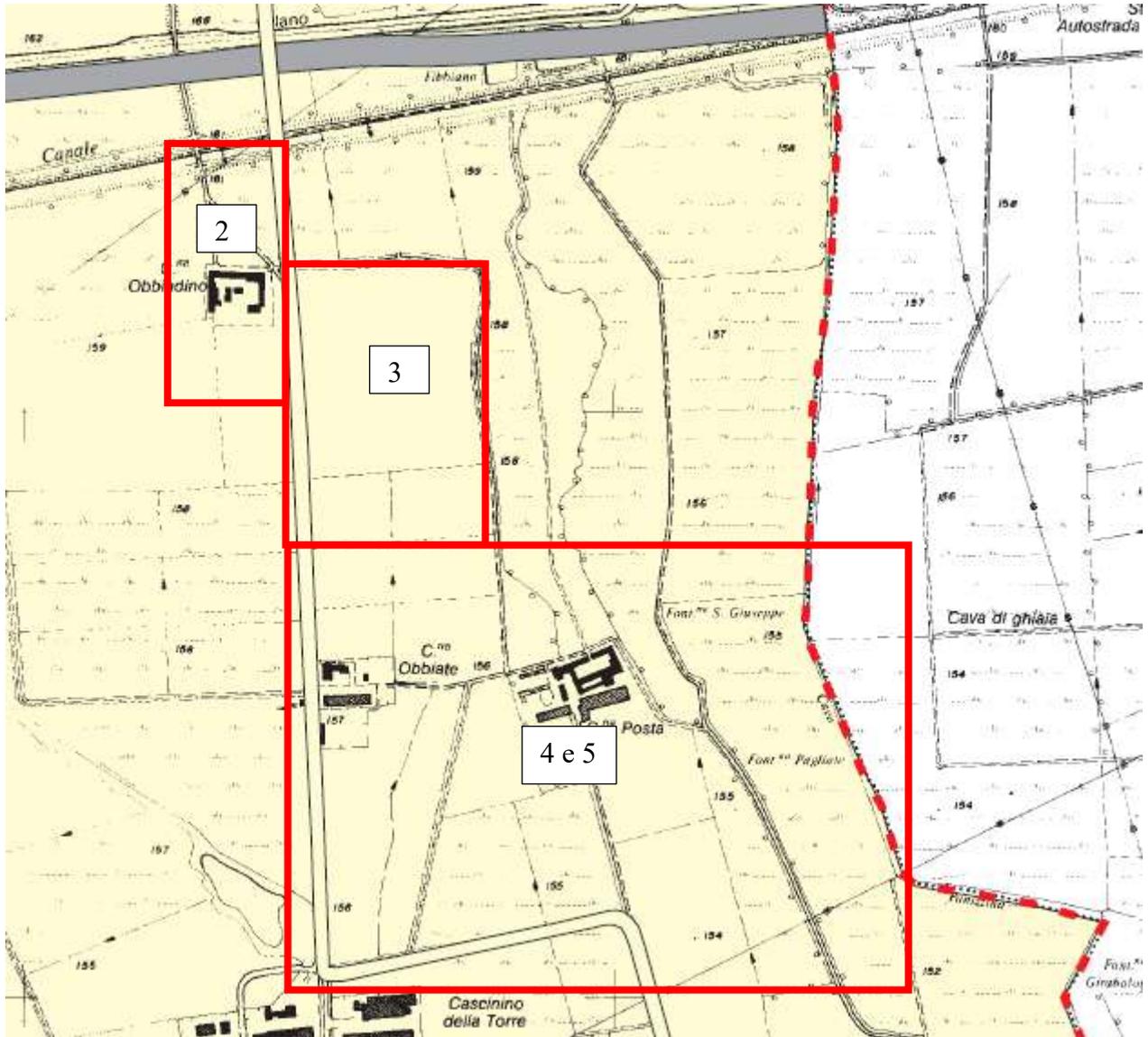


Figura 4:Legenda della Tavola ATG01 "Carta geologica e geomorfologica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

Dalla mappa riportata sopra si può dedurre che l'area è caratterizzata da "depositi fluvioglaciali del Würm (Pleistocene)". Dalla mappa risulta che nell'area non vi è presenza di terrazzi fluviali o antichi fiumi (anche presunti).

Nella figura seguente è riportata la Tavola ATG07 "Carta Litotecnica" (settembre 2006), in scala 1: 20.000 ", contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO), che individua le aree omogenee nell'area comunale per quanto riguarda l'aspetto geologico-tecnico.



2 PEC 2

3 PEC 3

4 e 5 PEC 4 e PEC 5

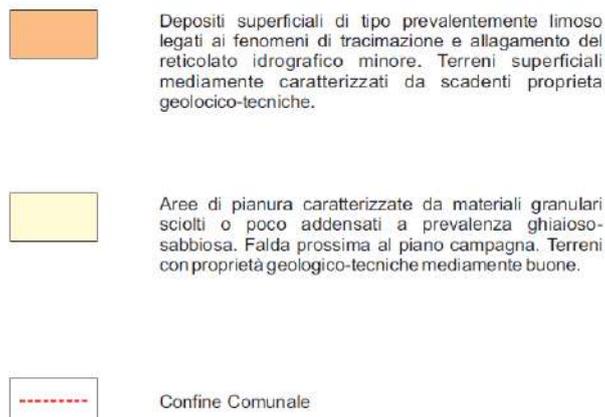


Figura 5: Mappa ATG07 "Carta litotecnica" (settembre 2006), in scala 1: 20.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO) con relativa legenda.

Dalla precedente tavola si evince che l'area di interesse è caratterizzata da materiali granulari sciolti o leggermente ispessiti con prevalenza ghiaiosa-sabbiosa.

L'elevazione delle aree di interesse ha valori che variano da 158-157 m s.l.m. (PEC 2 e 3) a 156-155 m s.l.m (PEC 4 e 5) con una soggiacenza della falda vicina al livello del suolo.

5 CARTA DI SINTESI GEOMORFOLOGICA E IDONEITA' ALL'USO URBANO

Di seguito è riportata la Tavola ATG 06 "Carta di sintesi geomorfologica e idoneità all'uso urbano" (ottobre 2009), in scala 1: 10.000, del PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

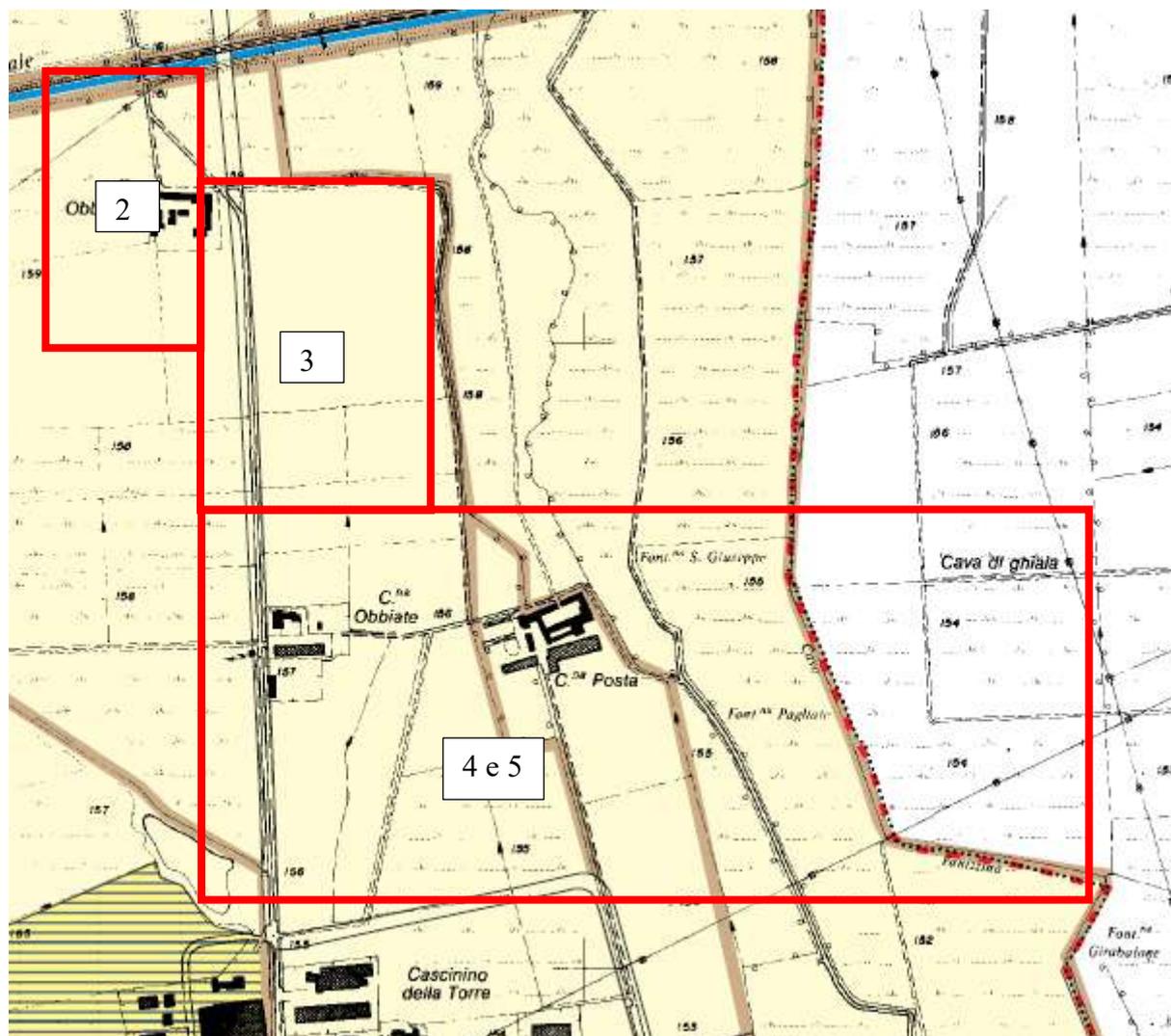


Figura 6: Tavola ATG 06 "Mappa della sintesi geomorfologica e idoneità all'uso urbano" (ottobre 2009), in scala 1: 10.000, del PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO) e l'area di interesse evidenziata

- 2 PEC 2
- 3 PEC 3
- 4 e 5 PEC 4 e PEC 5

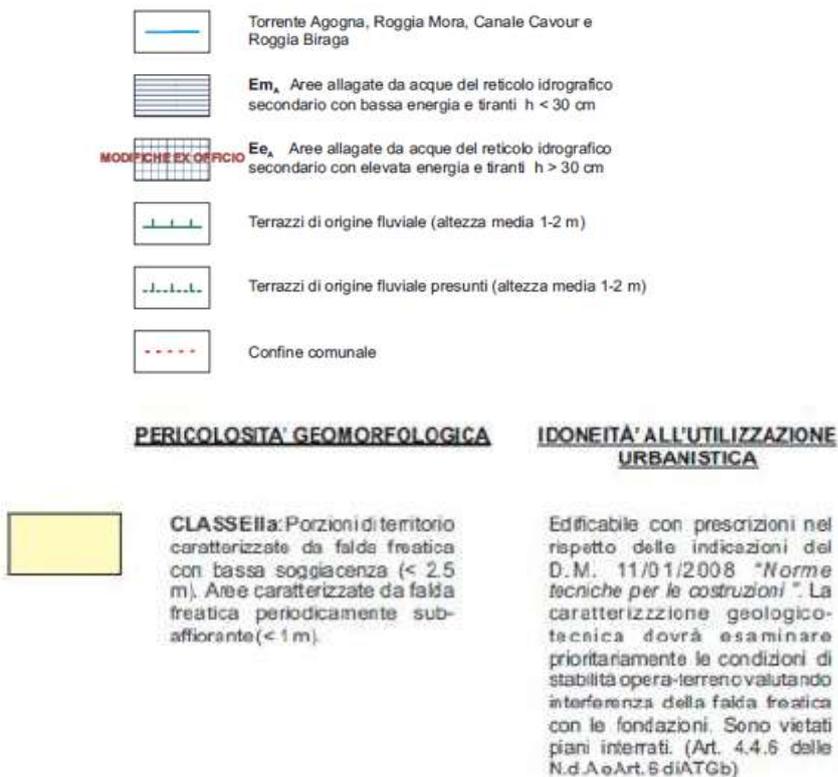


Figura 7: Legenda della mappa ATG 06 "Mappa della sintesi geomorfologica e idoneità all'uso urbano" (ottobre 2009), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

L'area è inclusa in "Classe IIa". Di seguito viene riportata la descrizione in riferimento alla Classe IIa, contenuta nel documento "Norme geologiche di Piano" contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

Art.6- Classe II sottoclasse a

Territorio caratterizzato da una falda freatica con soggiacenza sempre a meno di 2,5 m dal livello del suolo. Aree caratterizzate dallo strato periodicamente saturo (<1 m da p.c). Queste aree, che corrispondono in realtà all'intero territorio comunale, possono essere costruite a condizione che il livello del sottosuolo non sia costruito. Gli interventi devono anche prevedere la caratterizzazione geologico-tecnica, secondo le indicazioni della legislazione vigente, che deve prima esaminare le condizioni di stabilità del terreno e valutare l'interferenza con la falda e con la fondazione.

6 CARTA DEL DISSESTO

Di seguito è riportata la Tavola ATG04 "Carta del dissesto" (ottobre 2009), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO). L'area non è inclusa nelle aree soggette a instabilità.

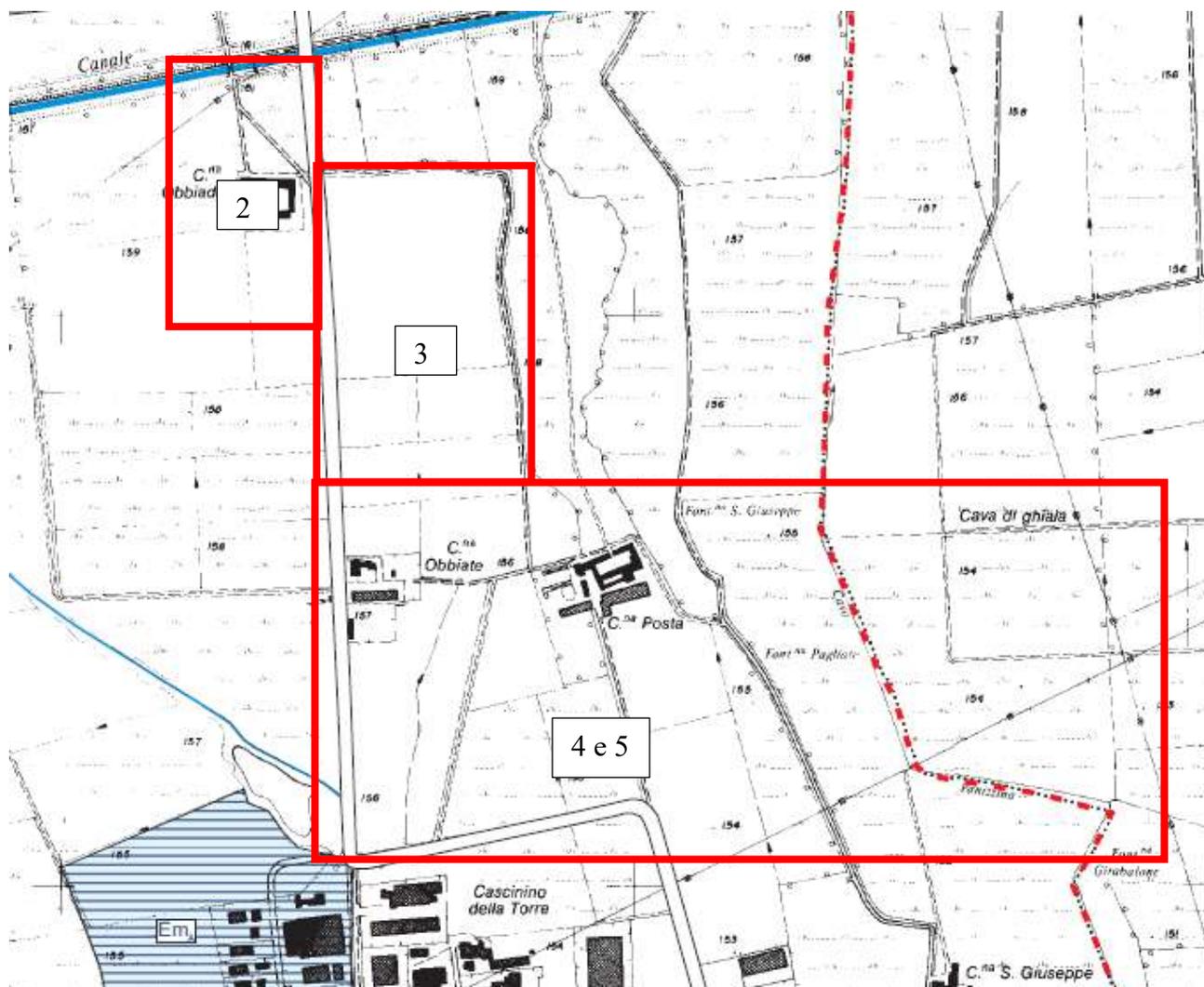


Figura 8: Tavola ATG 04 "Carta del dissesto"(ottobre 2009), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

- 2 PEC 2
- 3 PEC 3
- 4 e 5 PEC 4 e PEC 5

LEGENDA

	Reticolato idrografico
	Em , Aree allagate da acque del reticolo idrografico secondario con bassa energia e tiranti $h < 30$ cm
MODIFICHE EX OFFICIO 	Ee , Aree allagate da acque del reticolo idrografico secondario con elevata energia e tiranti $h > 30$ cm
	Aree allagate in occasione dell'evento del maggio 2002 e di eventi precedenti
	Eventi alluvionali censiti
	Confine comunale

FASCE FLUVIALI

Fasce piano Stralio per l'Assetto Idrologico del bacino del Po

	Limite tra Fascia A e Fascia B
	Limite tra Fascia B e Fascia C
	Limite estemo Fascia C

Figura 9: Legenda della tavola ATG 04 "Carta del dissesto"(ottobre 2009), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

7 VINCOLO IDROGEOLOGICO

Di seguito è riportata la mappa del vincolo idrogeologico (versione 2016), in scala 1: 10.000, disponibile online presso il Geoportale della Regione Piemonte.



Figura 10: mappa del vincolo idrogeologico (versione 2016), in scala 1: 10.000, disponibile online presso il Geoportale della Regione Piemonte, la legenda relativa e l'area di interesse sono evidenziate con un cerchio rosso.

Dalla mappa risulta che l'area di interesse non è soggetta a vincolo idrogeologico.

8 DIRETTIVA ALLUVIONI

Di seguito viene mostrata la mappa del rischio di pericolo e alluvione secondo la Direttiva Alluvione 2007/60 / CE (revisione 2015) dell'area di interesse. Questa mappa è stata presa dal Geoportale della Regione Piemonte, disponibile online.



SCENARI DI ALLUVIONE

- Probabilità di alluvioni elevata (tr. 20/50) (H-Frequente)
- Probabilità di alluvioni media (tr. 100/200) (M-Poco frequente)
- Probabilità di alluvioni scarsa (tr. 500) (L-Rara)
- Limiti comunali

Delimitazione delle fasce fluviali relative al "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)"

- limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B
- limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C
- limite (*) esterno della Fascia C

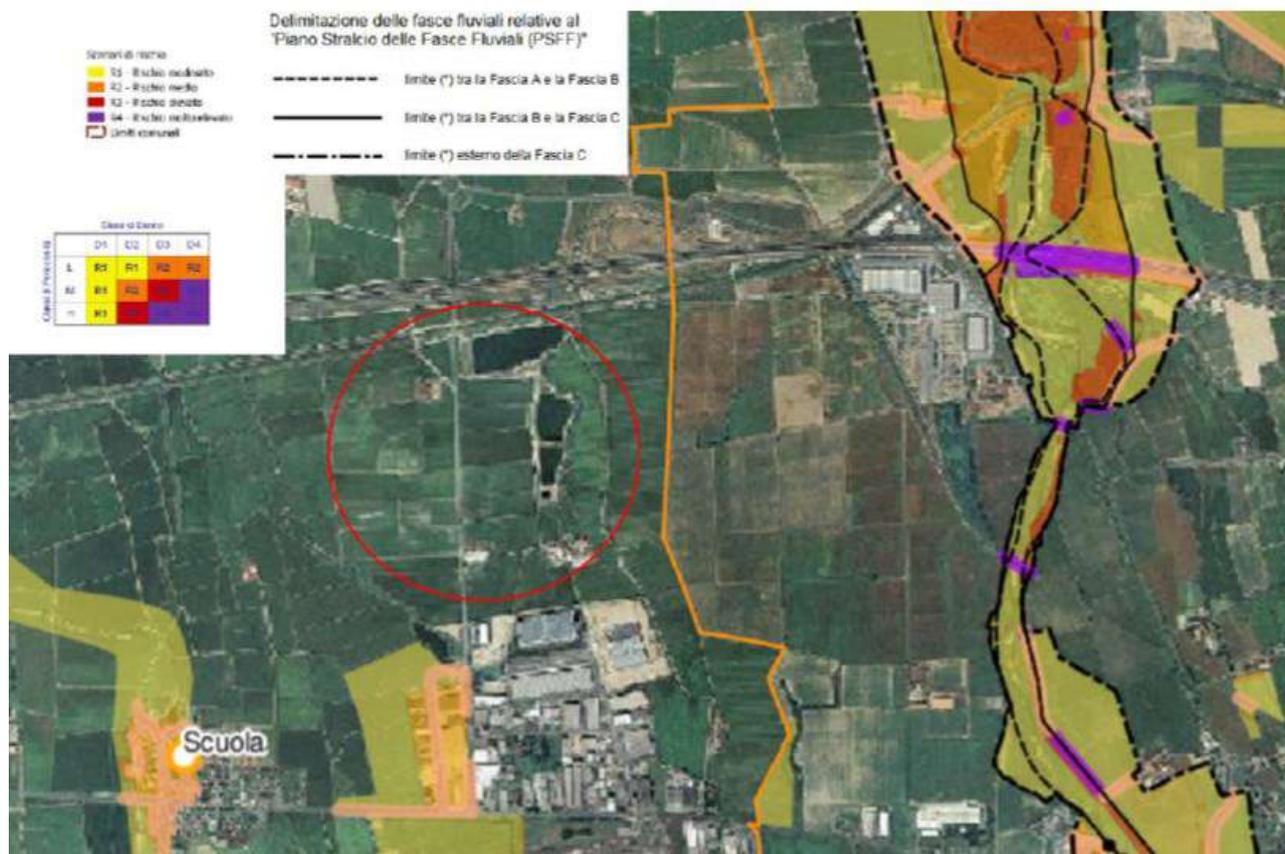


Figura 11: "Mappa del pericolo" e "Mappa del rischio", Direttiva Alluvioni 2007/60 / CE (revisione 2015), in scala 1: 10.000, dal Geoportale della Regione Piemonte, con relativa legenda ed è indicata l'area di interesse

Dalla carta di "pericolosità alluvione" e dalla carta di "rischio alluvione" della Direttiva Alluvioni, il sito di interesse non è soggetto a pericolosità di alluvione e di conseguenza nemmeno di rischio alluvione.

9 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Di seguito è riportata la Mappa ATG05 "Carta Geoidrogeologica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

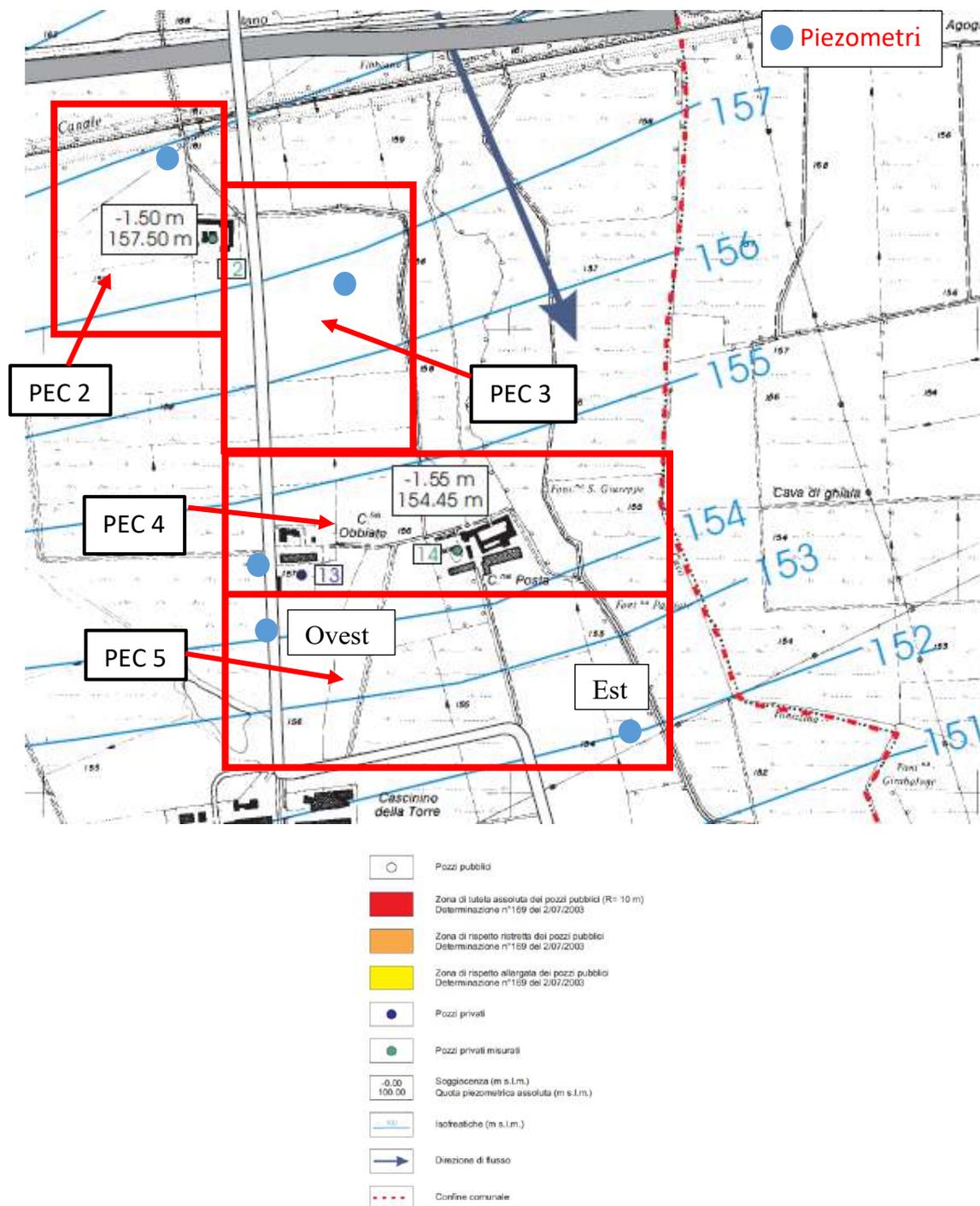


Figura 12: Mappa ATG05 "Carta Geoidrogeologica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO) con relativa legenda e l'area di interesse evidenziata.

Dalla Tavola ATG05 l'area compresa tra l'isopiezometrico 157m s.l.m e 153 m s.l.m. Considerando un'elevazione del terreno passante da 158m slm a 155 m slm e dalle misure isopiezometriche e

piezometriche dei pozzi vicini (mostrati nella "Carta Geoidrogeologica"), si può desumere che il livello di falda nell'area d'interesse si trova approssimativamente -1,5 m e -3 m dal livello del suolo.

Quanto appena definito è confermato dalle indagini geognostiche (piezometri) condotte sul sito.

I piezometri sono stati collocati in ciascuna area (PEC) e sono state rilevate le seguenti misure di soggiacenza:

- PEC 2: -1,96 m da p.c.
- PEC 3: -2 m da p.c.
- PEC 4: -2,59 m da p.c.
- PEC 5 Est: -1,89 m da p.c.
- PEC 5 Ovest: -2,62 m da p.c.

9.1 CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA GENERALE

Di seguito è riportata la sezione Sezione geologica-stratigrafica (2) che attraversa l'area di interesse, contenuta nel "Rapporto geologico-tecnico" del PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

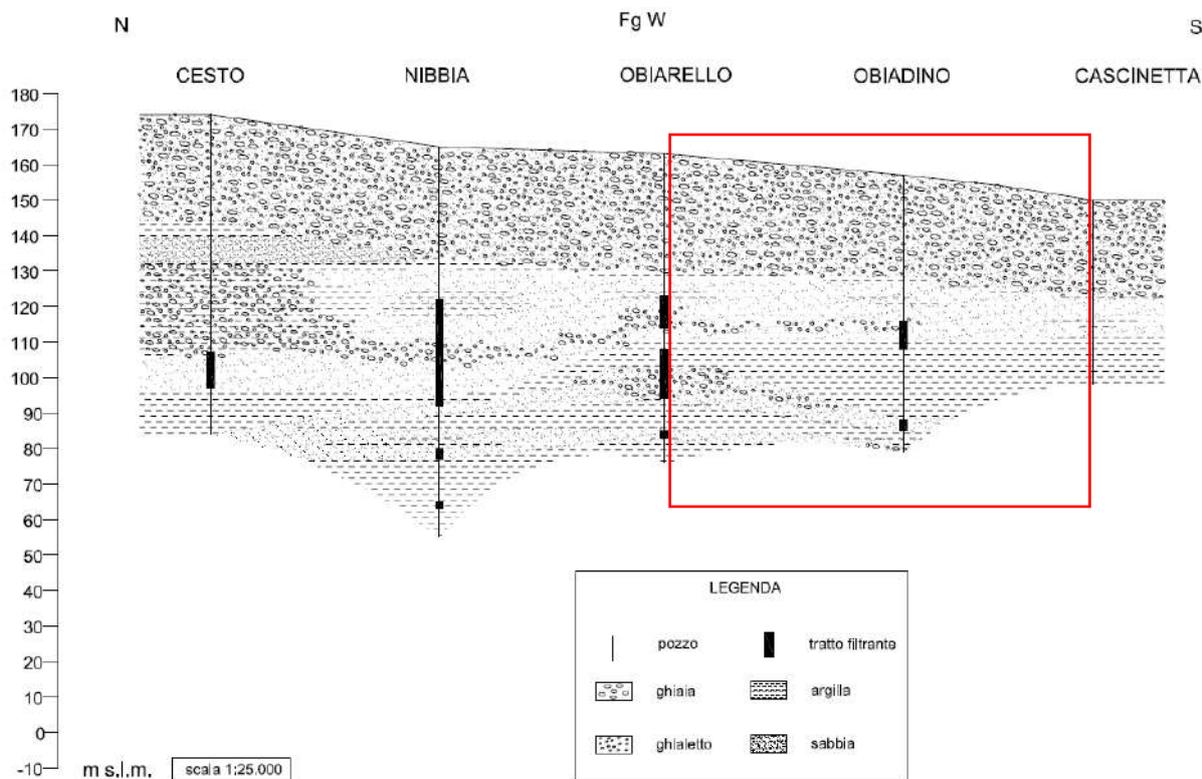


Figura 13: Sezione 2, in scala 1: 25.000, contenuta nel PRG del Comune di San Pietro Mosezzo (NO) e che attraversa l'area di interesse.

Dal punto di vista idrogeologico, la stratigrafia sopra illustrata definisce la presenza di:

- Una falda freatica strettamente legata alla morfologia superficiale e alla comunicazione idraulica con livelli di acquiferi sottostanti. Queste falde acquifere sono in prevalenza nelle unità ghiaiose appartenenti ad antichi depositi quaternari (Fg Riss-Mindel). Questa prima unità idrogeologica risulta essere la più esposta ai possibili fenomeni di contaminazione.
- un secondo complesso con livelli di falda in pressione, mediamente caratterizzato da una minore conducibilità idraulica rispetto ai livelli del primo orizzonte. La particolarità di questo acquifero sarebbe il grado di confinamento, evidenziato anche dal chimismo e dal livello piezometrico.

10 FONTANILI

Il comune di San Pietro Mosezzo (NO) è caratterizzato dalla presenza di sorgenti strettamente correlate all'idrografia di superficie. Di seguito è riportata la Mappa ATG 02 "Dinamica torrenziale e rete idrografica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenuta nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

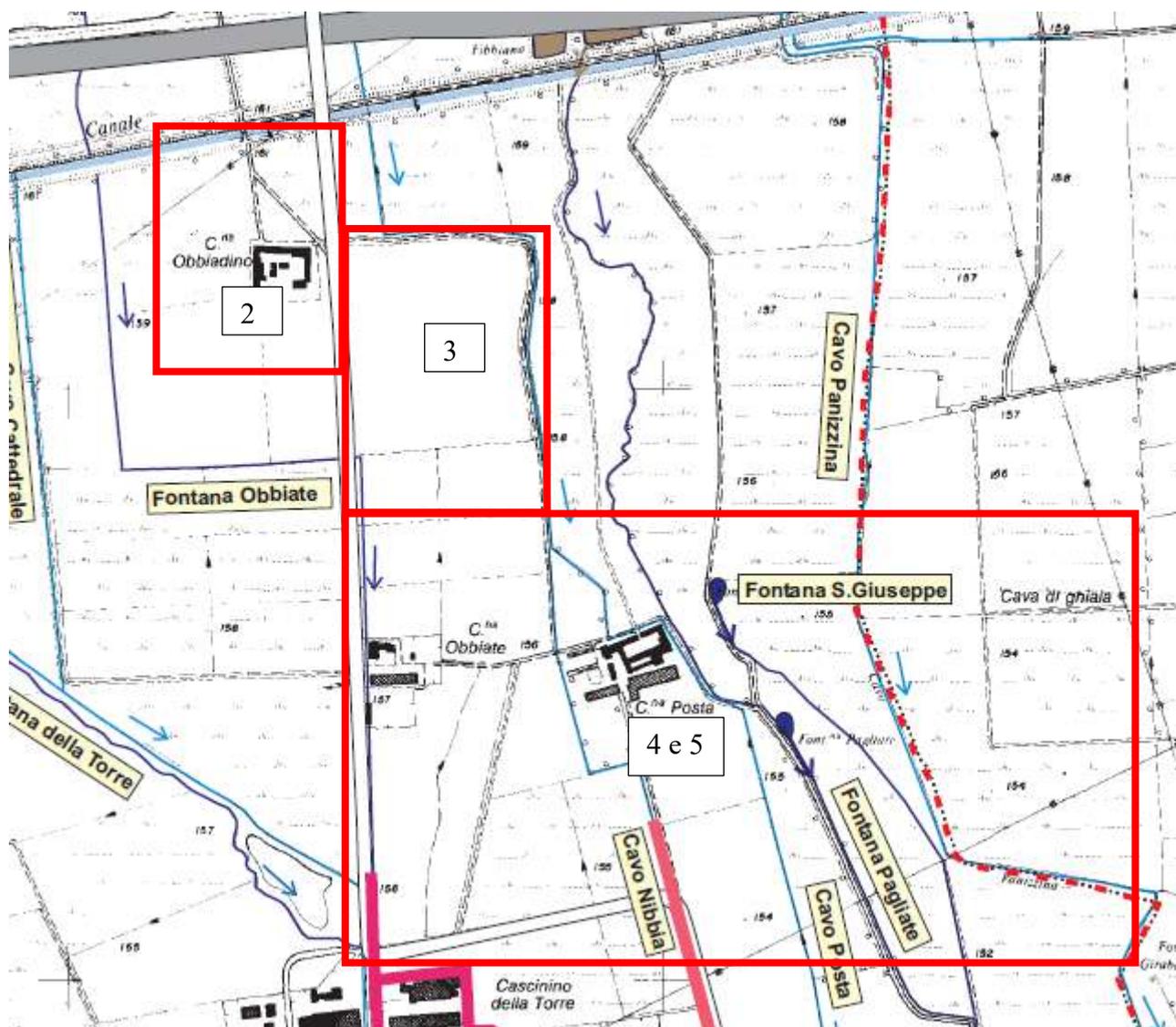


Figura 14: Mappa ATG 02 "Reticolo torrentizio e rete idrografica" (settembre 2006), in scala 1: 10.000, contenute nel PRGC del Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

- 2 PEC 2
- 3 PEC 3
- 4 e 5 PEC 4 e PEC 5

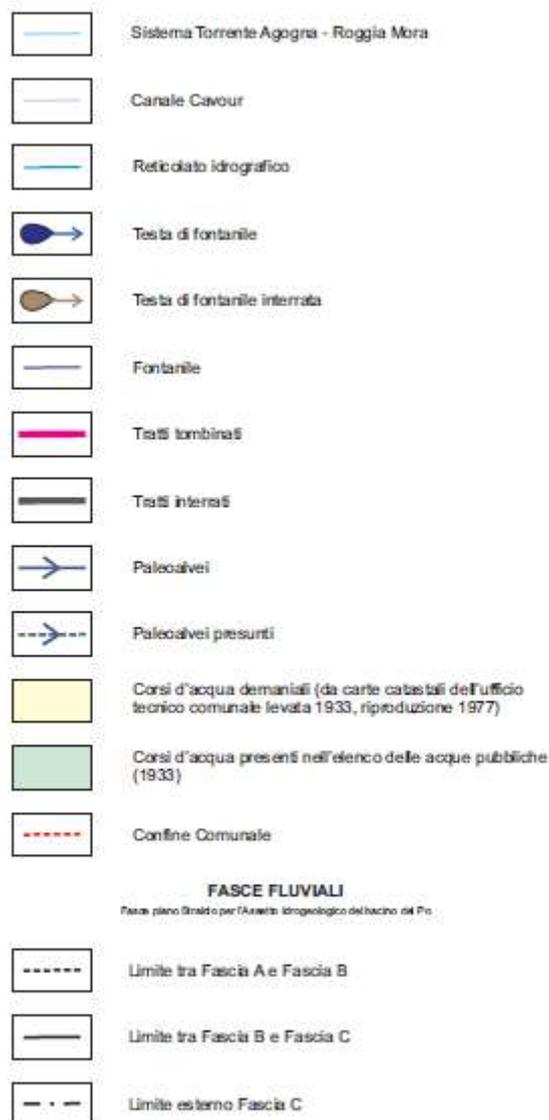


Figura 15: Legenda della tavola ATG 02 "Dinamica torrenziale e rete idrografica" (settembre 2006).

Nella carta sopra riportata sono mappate le sorgenti ("fontanili") di tutto il territorio comunale. Da questa tavola si evince che è presente un fontanile denominato "Fontana Obbiate" vicino al perimetro ovest delle aree e un fontanile denominato "Fontana Pagliate" vicino al perimetro est ma che non risultano inclusi all'interno nell'area di studio.

11 CAMPAGNE D'INDAGINE GENERALE

Per lo studio delle caratteristiche dei terreni presenti sul sito e dei relativi parametri geotecnici, sono state suddivise le campagne d'indagini secondo le 4 aree che sono oggetto del nostro studio:

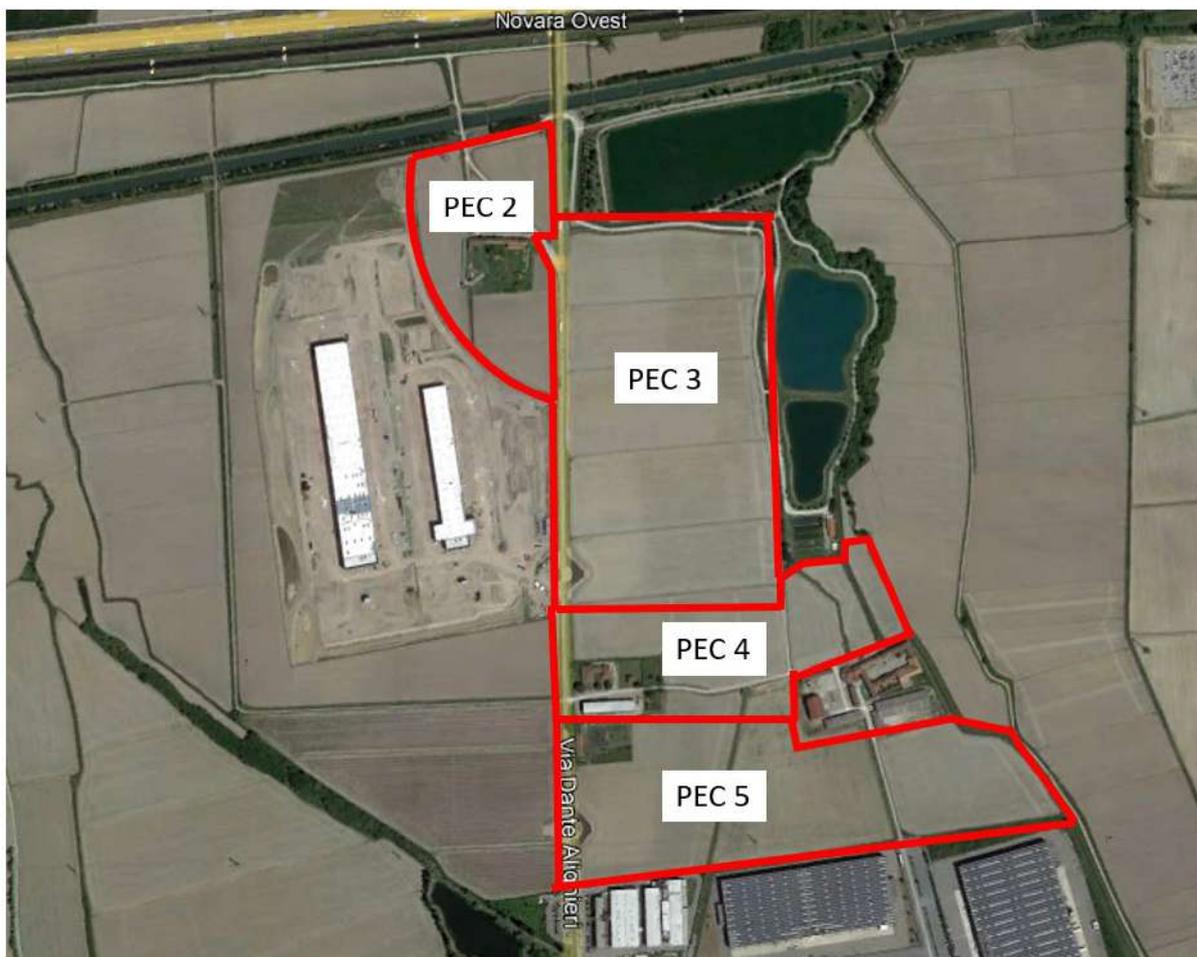


Figura 16 - Planimetria generale

11.1 AREA PEC 2

Durante la campagna di indagine 2021, Sono state eseguite le prove seguenti:

- n.3 prove penetrometriche del tipo Dynamic Penetration Super Heavy (DPSH) denominati (P1-2, P2-2, P3-2)
- n.1 prova piezometrica
- n.1 prova di permeabilità
- n.1 prova sismica MASW
- n.1 prova sismica HVSR

Di seguito sono riportati l'ubicazione delle indagini eseguite presso l'area PEC 2.

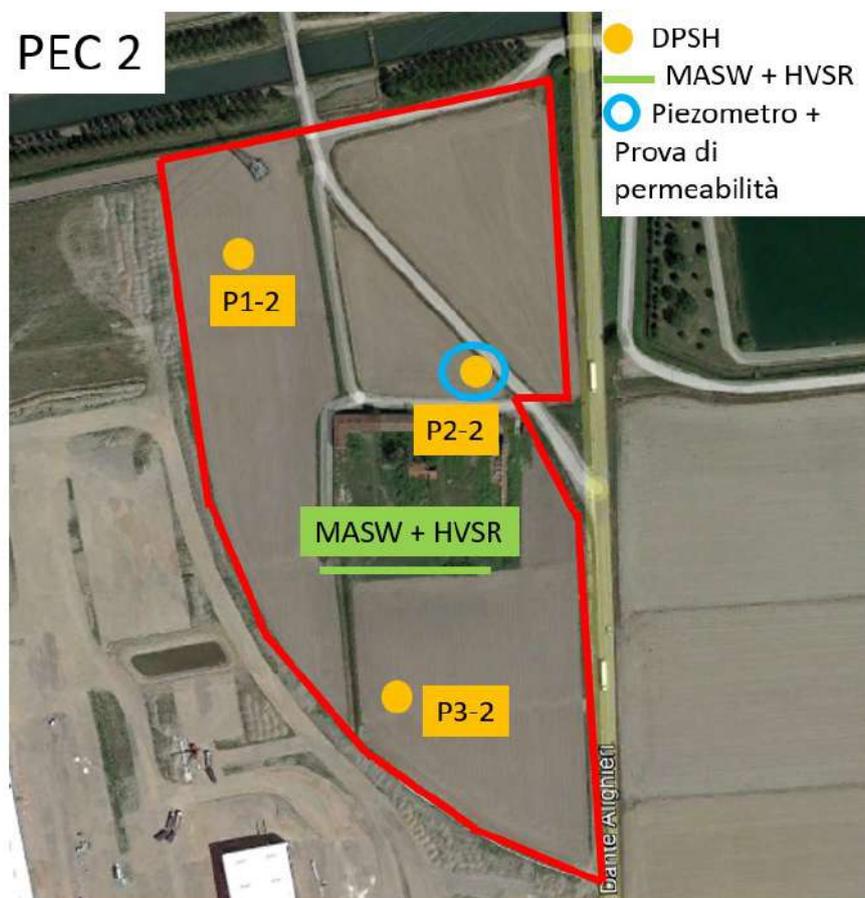


Figura 17: ubicazione indagini.

11.2 AREA PEC 3

Durante la campagna di indagine 2021, Sono state eseguite le prove seguenti:

- n.6 prove penetrometriche del tipo Dynamic Penetration Super Heavy (DPSH)
- n.8 pozzetti esplorativi spinti alla profondità massima di 2,50m da p.c
- n.1 prove sismica MASW di 55 m di lunghezza

Di seguito sono riportati l'ubicazione delle indagini eseguite presso l'area PEC 3.

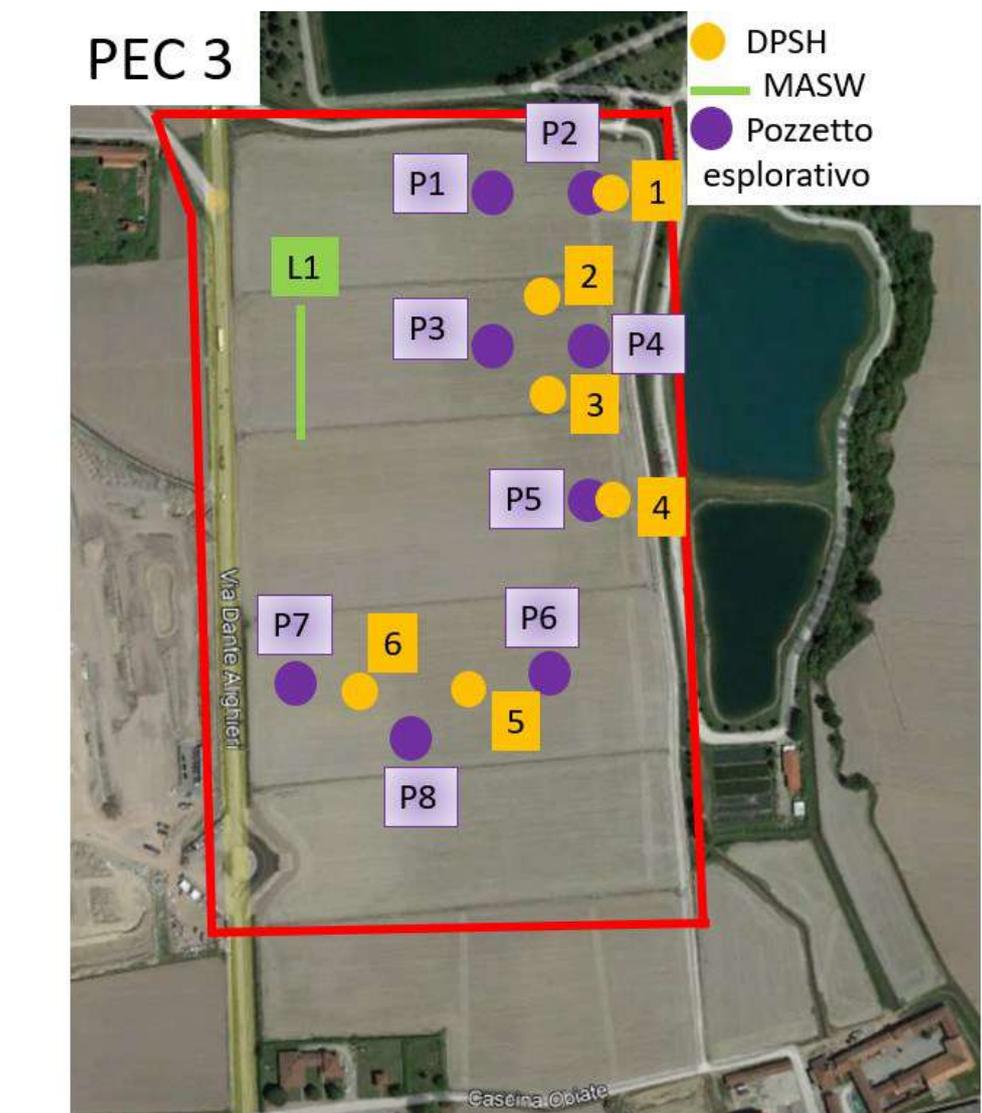


Figura 18: ubicazione indagini

11.3 AREA PEC 4

Durante la campagna di indagine 2021, Sono state eseguite le prove seguenti:

- n.4 prove penetrometriche del tipo Dynamic Penetration Super Heavy (DPSH) denominati (P1-4, P2-4, P3-4, P4-4)
- n.1 prova piezometrica
- n.1 prova di permeabilità
- n.1 prova sismica MASW
- n.1 prova sismica HVSR

Di seguito sono riportati l'ubicazione delle indagini eseguite presso l'area PEC 4.



Figura 19: ubicazione indagini

11.4 AREA PEC 5

Durante la campagna di indagine 2021, Sono state eseguite le prove seguenti:

- n.6 prove penetrometriche del tipo Dynamic Penetration Super Heavy (DPSH) denominati (P1-5, P2-5, P3-5, P4-5, P5-5)
- n.2 prova piezometrica
- n.2 prova di permeabilità
- n.1 prova sismica MASW
- n.1 prova sismica HVSR

Di seguito sono riportati l'ubicazione delle indagini eseguite presso l'area PEC 5.



Figura 20: ubicazione indagini

12 MODALITA' DI INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DPSH

12.1 DA DPSH A SPT

I risultati ottenuti in campo sono stati corretti con le formulazioni di Gibbs e Holtz, che tengono conto degli effetti della pressione, del diametro di perforazione e della lunghezza delle aste di perforazione. La relazione è la seguente:

- Per $N < 15$ $N' = N_{SPT}$
- Per $N \geq 15$ $N' = 15 + 1/2(NSPT - 15)$

È necessario tenere in conto anche dell'efficienza del dispositivo di perforazione, riducendo il valore di NSPT con la seguente correlazione:

- $N_{1(60)} = C_n N_{SPT}$

Dove:

$$C_n = \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{100}}$$

L'efficienza del sistema di battitura è stata assunta pari al 60%.

Di seguito sono riportati i risultati DPSH. I risultati forniti dalle prove in situ sono stati corretti utilizzando la seguente equazione:

$$N_{SPT} = 1.47 N_{(20)}$$

12.2 DENSITÀ RELATIVA (DR)

Partendo dai valori di NSPT è possibile valutare i valori di densità relativa con la seguente formula:

$$D_r = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{SPT}}{60}} \text{ (Skempton, 1986)}$$

12.3 MODULO DI DEFORMAZIONE (E)

Utilizzando i parametri valutati precedentemente, il modulo elastico è stato calcolato utilizzando le seguenti formule:

$$E_{25'} = (10,5 - 3,5 \cdot D_R) \cdot N_{SPT} \rightarrow \text{in kg/cmq} \rightarrow \text{Jamiołkowski et al. 1988}$$

12.4 ANGOLO DI ATTRITO (ϕ')

Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ' è stata utilizzata la seguente formula:

$$\phi' = 15 + [20 \cdot N1(60)]^{0.5}$$

Owasaki and Iwasaki

13 AREA PEC 2

Si riportano di seguito i risultati delle diverse prove eseguite in dettaglio presso l'area PEC 2.

13.1 RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DPSH REALIZZATE NELL'AREA PEC 2

Si riportano di seguito i risultati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area PEC 2.

13.1.1 Da DPSH a NSPT

Prova Nr	Profondità [m]	N ₂₀	N _{SPT}	N'	σ'vo [kPa]	Cn	N ₁₍₆₀₎
P 1-2	0,2	20	29,4	22,2	3,6	1,5	43,3
	0,4	9	13,23	14,115	7,2	1,4	19,2
	0,6	3	4,41	9,705	10,8	1,4	6,3
	0,8	2	2,94	8,97	14,4	1,4	4,1
	1	5	7,35	11,175	18	1,4	10,1
	1,2	7	10,29	12,645	21,6	1,4	13,9
	1,4	9	13,23	14,115	25,2	1,3	17,6
	1,6	10	14,7	14,85	27,8	1,3	19,4
	1,8	13	19,11	17,055	29,4	1,3	25,0
	2	12	17,64	16,32	31	1,3	22,9
	2,2	18	26,46	20,73	32,6	1,3	34,1
	2,4	19	27,93	21,465	34,2	1,3	35,8
	2,6	21	30,87	22,935	35,8	1,3	39,3
	2,8	20	29,4	22,2	37,4	1,3	37,2
	3	19	27,93	21,465	39	1,3	35,1
	3,2	18	26,46	20,73	40,6	1,2	33,0
	3,4	18	26,46	20,73	42,2	1,2	32,8
	3,6	15	22,05	18,525	43,8	1,2	27,1
	3,8	14	20,58	17,79	45,4	1,2	25,2
	4	12	17,64	16,32	47	1,2	21,4
	4,2	12	17,64	16,32	48,6	1,2	21,3
	4,4	13	19,11	17,055	50,2	1,2	22,9
	4,6	12	17,64	16,32	51,8	1,2	21,0
	4,8	13	19,11	17,055	53,4	1,2	22,6
	5	13	19,11	17,055	55	1,2	22,5
	5,2	13	19,11	17,055	56,6	1,2	22,3
	5,4	26	38,22	26,61	58,2	1,2	44,4
	5,6	26	38,22	26,61	59,8	1,2	44,1
	5,8	29	42,63	28,815	61,4	1,1	48,9
	6	37	54,39	34,695	63	1,1	62,0
6,2	31	45,57	30,285	64,6	1,1	51,7	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	6,4	30	44,1	29,55	66,2	1,1	49,7
	6,6	39	57,33	36,165	67,8	1,1	64,2
	6,8	100	147	81	69,4	1,1	163,7
P 2-2	0,2	7	10,29	12,645	3,6	1,5	15,2
	0,4	9	13,23	14,115	7,2	1,4	19,2
	0,6	6	8,82	11,91	10,8	1,4	12,6
	0,8	5	7,35	11,175	14,4	1,4	10,3
	1	6	8,82	11,91	18	1,4	12,1
	1,2	8	11,76	13,38	21,6	1,4	15,9
	1,4	9	13,23	14,115	25,2	1,3	17,6
	1,6	9	13,23	14,115	27,8	1,3	17,4
	1,8	9	13,23	14,115	29,4	1,3	17,3
	2	10	14,7	14,85	31	1,3	19,1
	2,2	10	14,7	14,85	32,6	1,3	19,0
	2,4	10	14,7	14,85	34,2	1,3	18,8
	2,6	12	17,64	16,32	35,8	1,3	22,4
	2,8	10	14,7	14,85	37,4	1,3	18,6
	3	13	19,11	17,055	39	1,3	24,0
	3,2	12	17,64	16,32	40,6	1,2	22,0
	3,4	15	22,05	18,525	42,2	1,2	27,3
	3,6	16	23,52	19,26	43,8	1,2	28,9
	3,8	16	23,52	19,26	45,4	1,2	28,8
	4	16	23,52	19,26	47	1,2	28,6
	4,2	15	22,05	18,525	48,6	1,2	26,6
	4,4	13	19,11	17,055	50,2	1,2	22,9
	4,6	10	14,7	14,85	51,8	1,2	17,5
	4,8	11	16,17	15,585	53,4	1,2	19,1
	5	12	17,64	16,32	55	1,2	20,8
	5,2	10	14,7	14,85	56,6	1,2	17,2
	5,4	11	16,17	15,585	58,2	1,2	18,8
	5,6	16	23,52	19,26	59,8	1,2	27,2
	5,8	18	26,46	20,73	61,4	1,1	30,4
	6	20	29,4	22,2	63	1,1	33,5
	6,2	21	30,87	22,935	64,6	1,1	35,0
	6,4	15	22,05	18,525	66,2	1,1	24,8
	6,6	16	23,52	19,26	67,8	1,1	26,3
6,8	21	30,87	22,935	69,4	1,1	34,4	
7	26	38,22	26,61	71	1,1	42,3	
7,2	29	42,63	28,815	72,6	1,1	46,9	
7,4	30	44,1	29,55	74,2	1,1	48,2	
7,6	31	45,57	30,285	75,8	1,1	49,6	
7,8	32	47,04	31,02	77,4	1,1	50,9	
8	100	147	81	79	1,1	158,1	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

P 3-2	0,2	2	2,94	8,97	3,6	1,5	4,3
	0,4	8	11,76	13,38	7,2	1,4	17,0
	0,6	7	10,29	12,645	10,8	1,4	14,6
	0,8	6	8,82	11,91	14,4	1,4	12,3
	1	4	5,88	10,44	18	1,4	8,1
	1,2	4	5,88	10,44	21,6	1,4	8,0
	1,4	5	7,35	11,175	25,2	1,3	9,8
	1,6	6	8,82	11,91	27,8	1,3	11,6
	1,8	6	8,82	11,91	29,4	1,3	11,5
	2	6	8,82	11,91	31	1,3	11,5
	2,2	9	13,23	14,115	32,6	1,3	17,1
	2,4	19	27,93	21,465	34,2	1,3	35,8
	2,6	12	17,64	16,32	35,8	1,3	22,4
	2,8	16	23,52	19,26	37,4	1,3	29,7
	3	15	22,05	18,525	39	1,3	27,7
	3,2	16	23,52	19,26	40,6	1,2	29,3
	3,4	13	19,11	17,055	42,2	1,2	23,7
	3,6	15	22,05	18,525	43,8	1,2	27,1
	3,8	12	17,64	16,32	45,4	1,2	21,6
	4	13	19,11	17,055	47	1,2	23,2
	4,2	13	19,11	17,055	48,6	1,2	23,1
	4,4	12	17,64	16,32	50,2	1,2	21,2
	4,6	14	20,58	17,79	51,8	1,2	24,5
	4,8	9	13,23	14,115	53,4	1,2	15,7
	5	11	16,17	15,585	55	1,2	19,0
	5,2	19	27,93	21,465	56,6	1,2	32,7
	5,4	24	35,28	25,14	58,2	1,2	41,0
	5,6	27	39,69	27,345	59,8	1,2	45,8
	5,8	16	23,52	19,26	61,4	1,1	27,0
	6	19	27,93	21,465	63	1,1	31,9
	6,2	18	26,46	20,73	64,6	1,1	30,0
	6,4	15	22,05	18,525	66,2	1,1	24,8
	6,6	16	23,52	19,26	67,8	1,1	26,3
	6,8	15	22,05	18,525	69,4	1,1	24,6
7	16	23,52	19,26	71	1,1	26,0	
7,2	22	32,34	23,67	72,6	1,1	35,6	
7,4	23	33,81	24,405	74,2	1,1	37,0	
7,6	26	38,22	26,61	75,8	1,1	41,6	
7,8	23	33,81	24,405	77,4	1,1	36,6	
8	26	38,22	26,61	79	1,1	41,1	

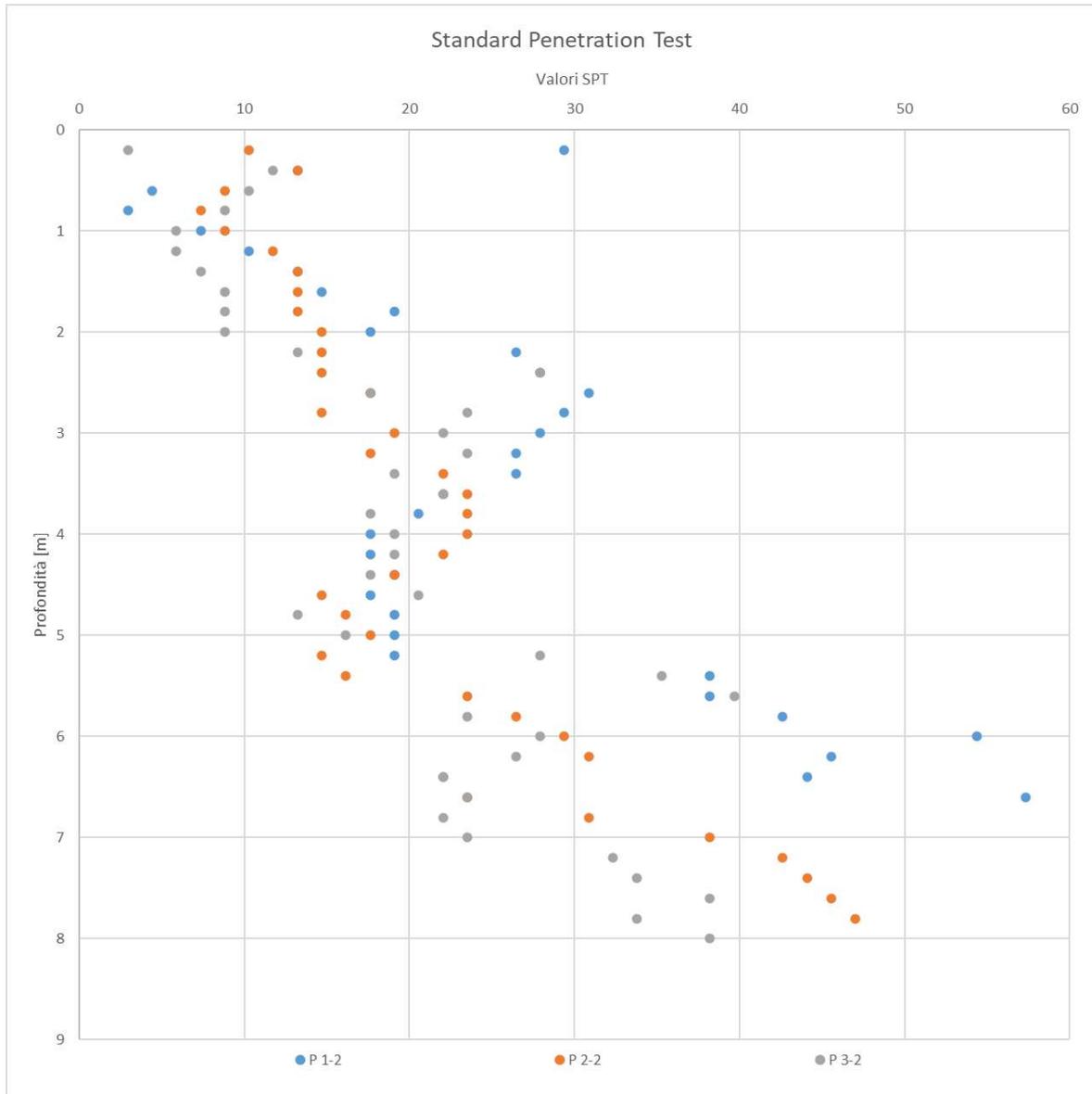


Figura 21 - Grafico di N_{SPT}

13.1.2 Densità relativa (Dr)

Prova Nr	Profondità [m]	N ₁₍₆₀₎	Dr [%]
P 1-2	0,2	43,3	85%
	0,4	19,2	57%
	0,6	6,3	32%
	0,8	4,1	26%
	1	10,1	41%
	1,2	13,9	48%
	1,4	17,6	54%
	1,6	19,4	57%
	1,8	25,0	65%
	2	22,9	62%
	2,2	34,1	75%
	2,4	35,8	77%
	2,6	39,3	81%
	2,8	37,2	79%
	3	35,1	76%
	3,2	33,0	74%
	3,4	32,8	74%
	3,6	27,1	67%
	3,8	25,2	65%
	4	21,4	60%
	4,2	21,3	60%
	4,4	22,9	62%
	4,6	21,0	59%
	4,8	22,6	61%
	5	22,5	61%
	5,2	22,3	61%
	5,4	44,4	86%
	5,6	44,1	86%
	5,8	48,9	90%
	6	62,0	100%
6,2	51,7	93%	
6,4	49,7	91%	
6,6	64,2	100%	
6,8	163,7	100%	
P 2-2	0,2	15,2	50%
	0,4	19,2	57%
	0,6	12,6	46%
	0,8	10,3	41%
	1	12,1	45%

	1,2	15,9	52%
	1,4	17,6	54%
	1,6	17,4	54%
	1,8	17,3	54%
	2	19,1	56%
	2,2	19,0	56%
	2,4	18,8	56%
	2,6	22,4	61%
	2,8	18,6	56%
	3	24,0	63%
	3,2	22,0	61%
	3,4	27,3	67%
	3,6	28,9	69%
	3,8	28,8	69%
	4	28,6	69%
	4,2	26,6	67%
	4,4	22,9	62%
	4,6	17,5	54%
	4,8	19,1	56%
	5	20,8	59%
	5,2	17,2	54%
	5,4	18,8	56%
	5,6	27,2	67%
	5,8	30,4	71%
	6	33,5	75%
	6,2	35,0	76%
	6,4	24,8	64%
	6,6	26,3	66%
	6,8	34,4	76%
	7	42,3	84%
	7,2	46,9	88%
	7,4	48,2	90%
	7,6	49,6	91%
	7,8	50,9	92%
	8	158,1	100%
P 3-2	0,2	4,3	27%
	0,4	17,0	53%
	0,6	14,6	49%
	0,8	12,3	45%
	1	8,1	37%
	1,2	8,0	36%
	1,4	9,8	40%
	1,6	11,6	44%
	1,8	11,5	44%

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	2	11,5	44%
	2,2	17,1	53%
	2,4	35,8	77%
	2,6	22,4	61%
	2,8	29,7	70%
	3	27,7	68%
	3,2	29,3	70%
	3,4	23,7	63%
	3,6	27,1	67%
	3,8	21,6	60%
	4	23,2	62%
	4,2	23,1	62%
	4,4	21,2	59%
	4,6	24,5	64%
	4,8	15,7	51%
	5	19,0	56%
	5,2	32,7	74%
	5,4	41,0	83%
	5,6	45,8	87%
	5,8	27,0	67%
	6	31,9	73%
	6,2	30,0	71%
	6,4	24,8	64%
	6,6	26,3	66%
	6,8	24,6	64%
	7	26,0	66%
	7,2	35,6	77%
	7,4	37,0	79%
	7,6	41,6	83%
	7,8	36,6	78%
	8	41,1	83%

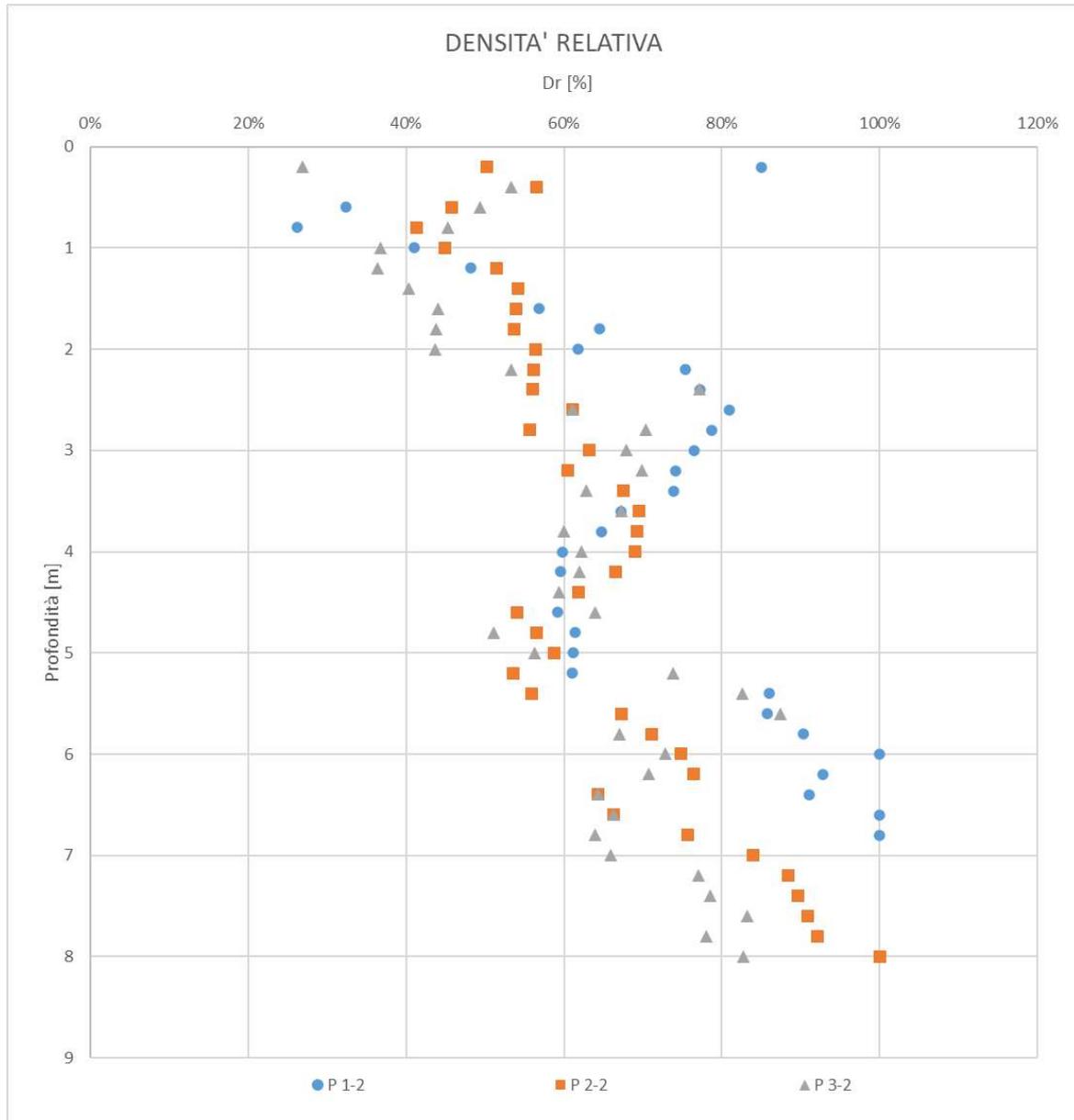


Figura 22 - Grafico di Dr

13.1.3 Modulo di deformazione (E)

Prova Nr	Profondità [m]	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Dr [%]	E' [kPa] (Jamiolkowski)
P 1-2	0,2	20	43,3	85%	20941
	0,4	9	19,2	57%	9432
	0,6	3	6,3	32%	3147
	0,8	2	4,1	26%	2098
	1	5	10,1	41%	5243
	1,2	7	13,9	48%	7338
	1,4	9	17,6	54%	9433
	1,6	10	19,4	57%	10480
	1,8	13	25,0	65%	13621
	2	12	22,9	62%	12574
	2,2	18	34,1	75%	18852
	2,4	19	35,8	77%	19899
	2,6	21	39,3	81%	21991
	2,8	20	37,2	79%	20945
	3	19	35,1	76%	19899
	3,2	18	33,0	74%	18853
	3,4	18	32,8	74%	18853
	3,6	15	27,1	67%	15715
	3,8	14	25,2	65%	14668
	4	12	21,4	60%	12575
	4,2	12	21,3	60%	12575
	4,4	13	22,9	62%	13622
	4,6	12	21,0	59%	12575
	4,8	13	22,6	61%	13622
	5	13	22,5	61%	13622
	5,2	13	22,3	61%	13622
	5,4	26	44,4	86%	27222
	5,6	26	44,1	86%	27222
	5,8	29	48,9	90%	30358
	6	37	62,0	100%	38721
	6,2	31	51,7	93%	32449
	6,4	30	49,7	91%	31404
6,6	39	64,2	100%	40814	
6,8	100	163,7	100%	104650	
P 2-2	0,2	7	15,2	50%	7338
	0,4	9	19,2	57%	9432
	0,6	6	12,6	46%	6290
	0,8	5	10,3	41%	5243

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	1	6	12,1	45%	6291
	1,2	8	15,9	52%	8386
	1,4	9	17,6	54%	9433
	1,6	9	17,4	54%	9433
	1,8	9	17,3	54%	9433
	2	10	19,1	56%	10480
	2,2	10	19,0	56%	10480
	2,4	10	18,8	56%	10480
	2,6	12	22,4	61%	12574
	2,8	10	18,6	56%	10481
	3	13	24,0	63%	13621
	3,2	12	22,0	61%	12575
	3,4	15	27,3	67%	15715
	3,6	16	28,9	69%	16761
	3,8	16	28,8	69%	16761
	4	16	28,6	69%	16761
	4,2	15	26,6	67%	15715
	4,4	13	22,9	62%	13622
	4,6	10	17,5	54%	10481
	4,8	11	19,1	56%	11528
	5	12	20,8	59%	12575
	5,2	10	17,2	54%	10481
	5,4	11	18,8	56%	11528
	5,6	16	27,2	67%	16762
	5,8	18	30,4	71%	18855
	6	20	33,5	75%	20948
	6,2	21	35,0	76%	21994
	6,4	15	24,8	64%	15716
	6,6	16	26,3	66%	16763
	6,8	21	34,4	76%	21994
	7	26	42,3	84%	27224
	7,2	29	46,9	88%	30360
	7,4	30	48,2	90%	31406
	7,6	31	49,6	91%	32451
	7,8	32	50,9	92%	33497
	8	100	158,1	100%	104650
P 3-2	0,2	2	4,3	27%	2098
	0,4	8	17,0	53%	8385
	0,6	7	14,6	49%	7338
	0,8	6	12,3	45%	6290
	1	4	8,1	37%	4195
	1,2	4	8,0	36%	4195
	1,4	5	9,8	40%	5243
	1,6	6	11,6	44%	6291

a & t consulting s.r.l.

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

	1,8	6	11,5	44%	6291
	2	6	11,5	44%	6291
	2,2	9	17,1	53%	9433
	2,4	19	35,8	77%	19899
	2,6	12	22,4	61%	12574
	2,8	16	29,7	70%	16761
	3	15	27,7	68%	15714
	3,2	16	29,3	70%	16761
	3,4	13	23,7	63%	13621
	3,6	15	27,1	67%	15715
	3,8	12	21,6	60%	12575
	4	13	23,2	62%	13622
	4,2	13	23,1	62%	13622
	4,4	12	21,2	59%	12575
	4,6	14	24,5	64%	14669
	4,8	9	15,7	51%	9434
	5	11	19,0	56%	11528
	5,2	19	32,7	74%	19901
	5,4	24	41,0	83%	25131
	5,6	27	45,8	87%	28267
	5,8	16	27,0	67%	16762
	6	19	31,9	73%	19902
	6,2	18	30,0	71%	18855
	6,4	15	24,8	64%	15716
	6,6	16	26,3	66%	16763
	6,8	15	24,6	64%	15716
	7	16	26,0	66%	16763
	7,2	22	35,6	77%	23041
	7,4	23	37,0	79%	24087
	7,6	26	41,6	83%	27224
	7,8	23	36,6	78%	24087
	8	26	41,1	83%	27225

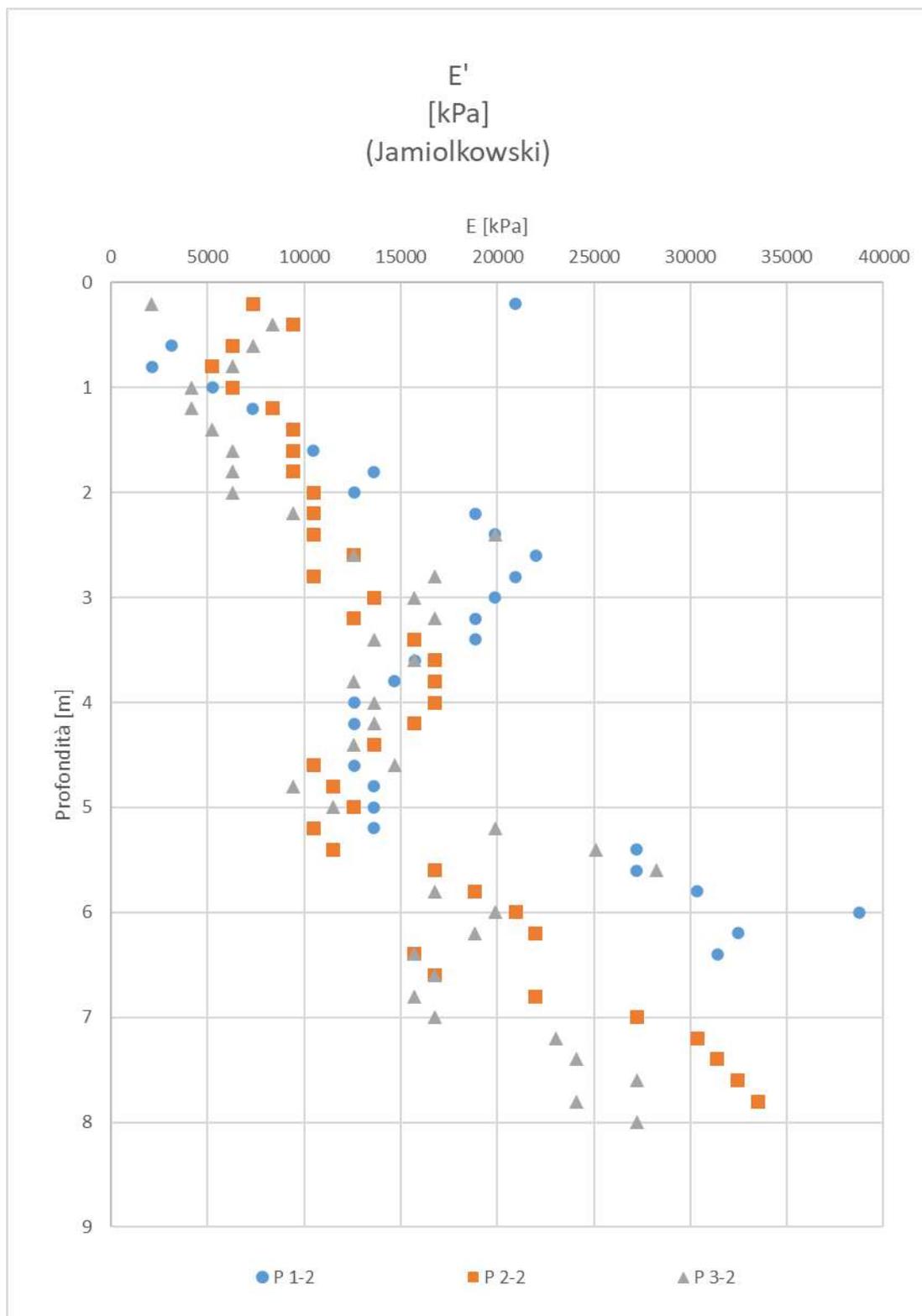


Figura 23 - Grafico di E Jamiolkowski

13.1.4 Angolo di attrito (φ)

Prova Nr	Profondità [m]	$N_{1(60)}$	ϕ' [°]
P 1-2	0,2	43,3	44,43
	0,4	19,2	34,57
	0,6	6,3	26,20
	0,8	4,1	24,07
	1	10,1	29,22
	1,2	13,9	31,69
	1,4	17,6	33,77
	1,6	19,4	34,68
	1,8	25,0	37,36
	2	22,9	36,41
	2,2	34,1	41,13
	2,4	35,8	41,75
	2,6	39,3	43,03
	2,8	37,2	42,26
	3	35,1	41,48
	3,2	33,0	40,69
	3,4	32,8	40,60
	3,6	27,1	38,30
	3,8	25,2	37,43
	4	21,4	35,70
	4,2	21,3	35,63
	4,4	22,9	36,41
	4,6	21,0	35,50
	4,8	22,6	36,27
	5	22,5	36,20
	5,2	22,3	36,14
	5,4	44,4	44,80
	5,6	44,1	44,71
	5,8	48,9	46,28
	6	62,0	50,23
6,2	51,7	47,15	
6,4	49,7	46,53	
6,6	64,2	50,84	
6,8	163,7	72,22	
P 2-2	0,2	15,2	32,41
	0,4	19,2	34,57
	0,6	12,6	30,84
	0,8	10,3	29,34
	1	12,1	30,58

	1,2	15,9	32,84
	1,4	17,6	33,77
	1,6	17,4	33,67
	1,8	17,3	33,60
	2	19,1	34,54
	2,2	19,0	34,47
	2,4	18,8	34,41
	2,6	22,4	36,19
	2,8	18,6	34,27
	3	24,0	36,90
	3,2	22,0	35,97
	3,4	27,3	38,37
	3,6	28,9	39,06
	3,8	28,8	38,98
	4	28,6	38,90
	4,2	26,6	38,07
	4,4	22,9	36,41
	4,6	17,5	33,72
	4,8	19,1	34,57
	5	20,8	35,37
	5,2	17,2	33,54
	5,4	18,8	34,38
	5,6	27,2	38,31
	5,8	30,4	39,64
	6	33,5	40,90
	6,2	35,0	41,46
	6,4	24,8	37,29
	6,6	26,3	37,96
	6,8	34,4	41,22
	7	42,3	44,09
	7,2	46,9	45,63
	7,4	48,2	46,06
	7,6	49,6	46,49
	7,8	50,9	46,90
	8	158,1	71,23
P 3-2	0,2	4,3	24,31
	0,4	17,0	33,45
	0,6	14,6	32,11
	0,8	12,3	30,71
	1	8,1	27,72
	1,2	8,0	27,62
	1,4	9,8	28,99
	1,6	11,6	30,24
	1,8	11,5	30,19

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	2	11,5	30,14
	2,2	17,1	33,47
	2,4	35,8	41,75
	2,6	22,4	36,19
	2,8	29,7	39,38
	3	27,7	38,53
	3,2	29,3	39,22
	3,4	23,7	36,76
	3,6	27,1	38,30
	3,8	21,6	35,77
	4	23,2	36,55
	4,2	23,1	36,48
	4,4	21,2	35,57
	4,6	24,5	37,14
	4,8	15,7	32,70
	5	19,0	34,51
	5,2	32,7	40,56
	5,4	41,0	43,63
	5,6	45,8	45,28
	5,8	27,0	38,23
	6	31,9	40,24
	6,2	30,0	39,49
	6,4	24,8	37,29
	6,6	26,3	37,96
	6,8	24,6	37,16
	7	26,0	37,82
	7,2	35,6	41,68
	7,4	37,0	42,20
	7,6	41,6	43,84
	7,8	36,6	42,04
	8	41,1	43,67

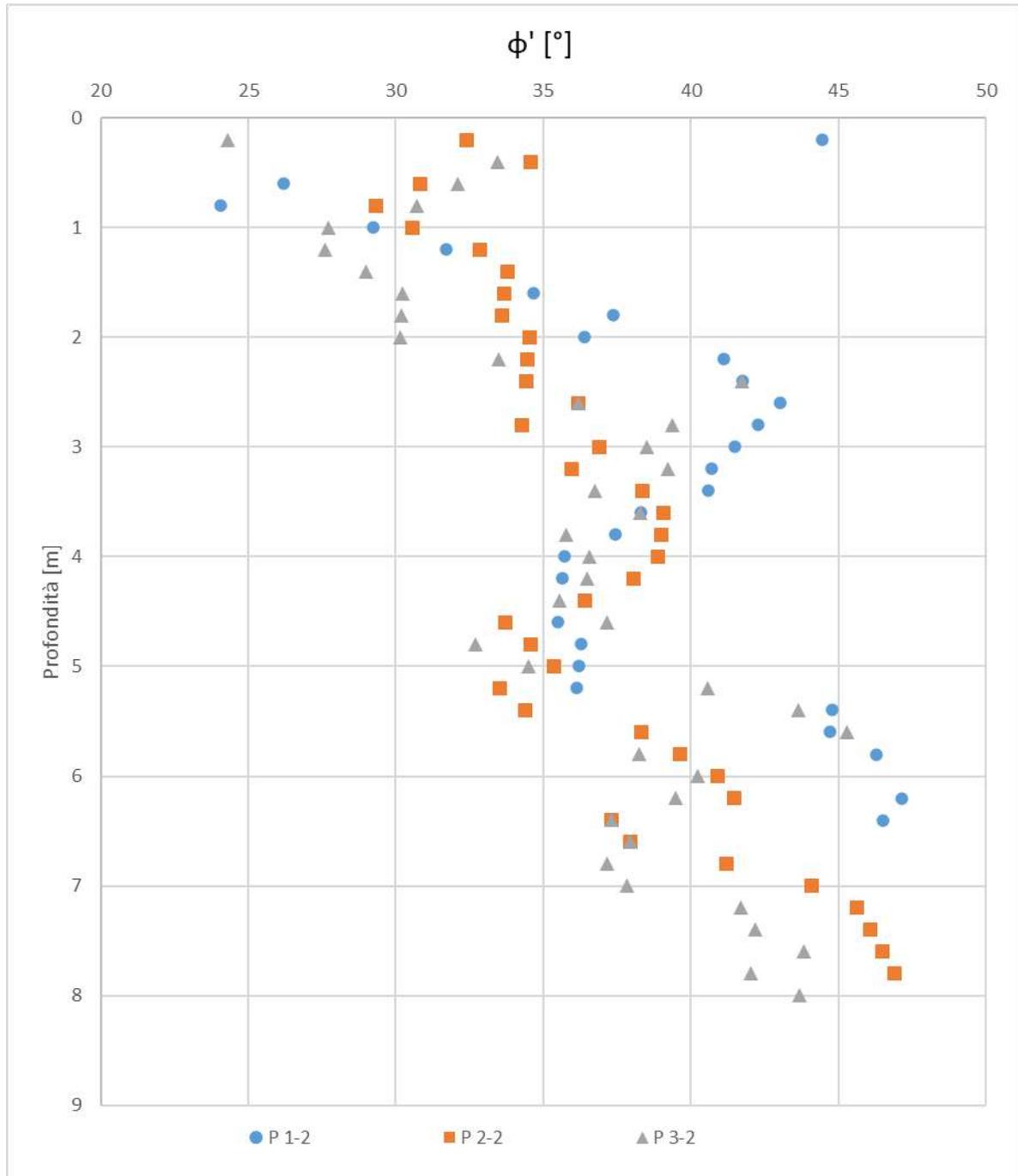


Figura 24 - Grafico di ϕ

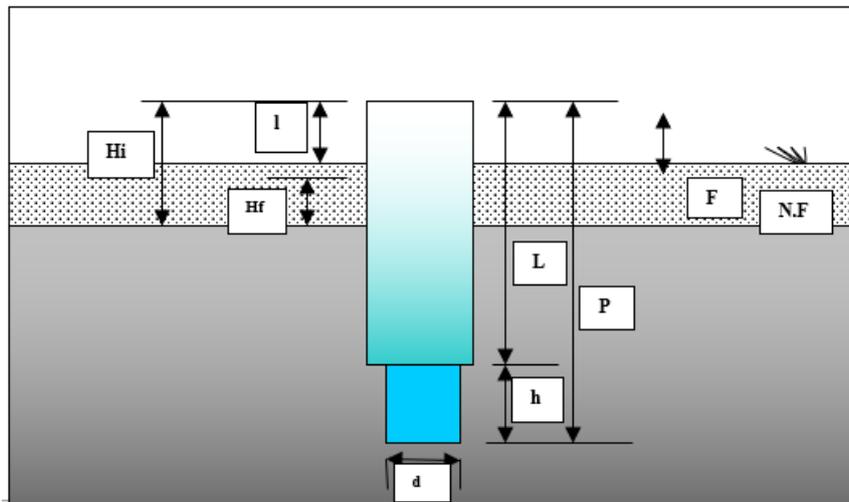
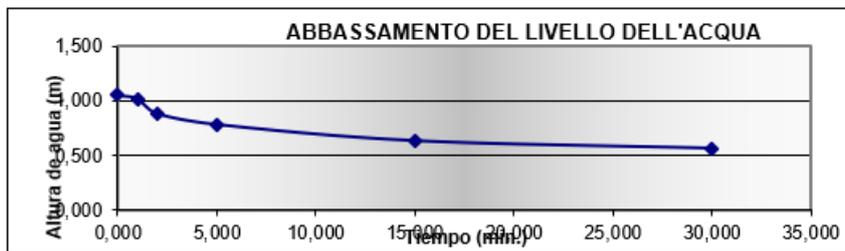
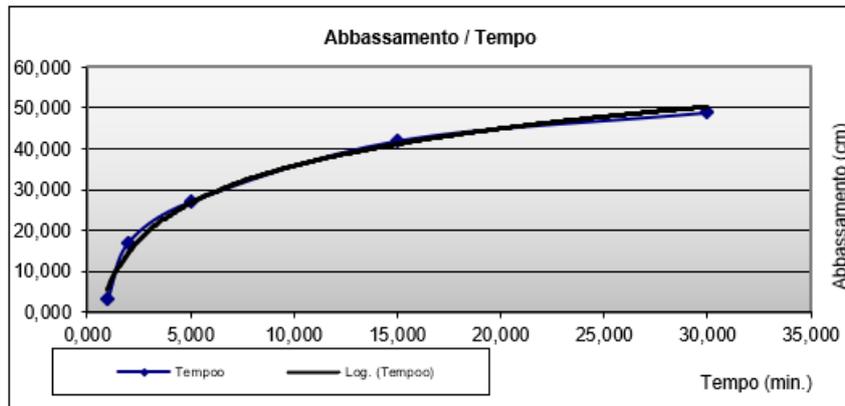
13.2 RISULTATI DEL PIEZOMETRO REALIZZATO NELL'AREA PEC 2

Durante la campagna d'indagine nell'area PEC 2, risulta che la falda è stata trovata alla quota – 1,96 m dal piano campagna.

13.3 RISULTATI DELLA PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC REALIZZATA NELL'AREA PEC 2

Si riporta il risultato della prova di permeabilità eseguita nell'area PEC 2.

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE				
PL - PEC 2				
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (mm): d		100		
LIVELLO FREATICO (m): F		2,50		
PIANO CAMPAGNA (m): I		0,00		
TRATTO INDAGATO				
Superiore (m): L	0,80	Lunghezza interessata (m): h	0,25	
Inferiore (m): P	1,05			
DATI				
Tempo (min.): t	30,0	Tempo (s):	1800	
Profondità iniziale (m.): Hi		1,05		
Profondità finale (m.): Hf		0,56		
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (m):		0,1		
Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,000	0,000	0,000	0,000	1,050
1,000	1,000	3,200	3,200	1,018
2,000	1,000	17,000	13,800	0,880
5,000	3,000	27,000	10,000	0,780
15,000	10,000	42,000	15,000	0,630
30,000	15,000	49,000	7,000	0,560



RISULTATI

PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	2,8103E-06
-----------------------	-----------	------------

Jiménez Salas (1981).

per $h/d > 4$:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot \text{Ln} \left(\frac{2h}{d} \right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \text{Ln} \frac{H_i}{H_f}$$

13.4 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO DELL'AREA PEC2

Sulla base dei risultati delle indagini condotte in sito è stata dedotta la seguente stratigrafia dell'area PEC 2:

Strato	Profondità[m]	Litologia
1	0,0 – 0,2	Terreno di coltivo o di riporto
2	0,2 – 2,0	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli
3	2,0 – 5,0	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.
4	>5,0	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante

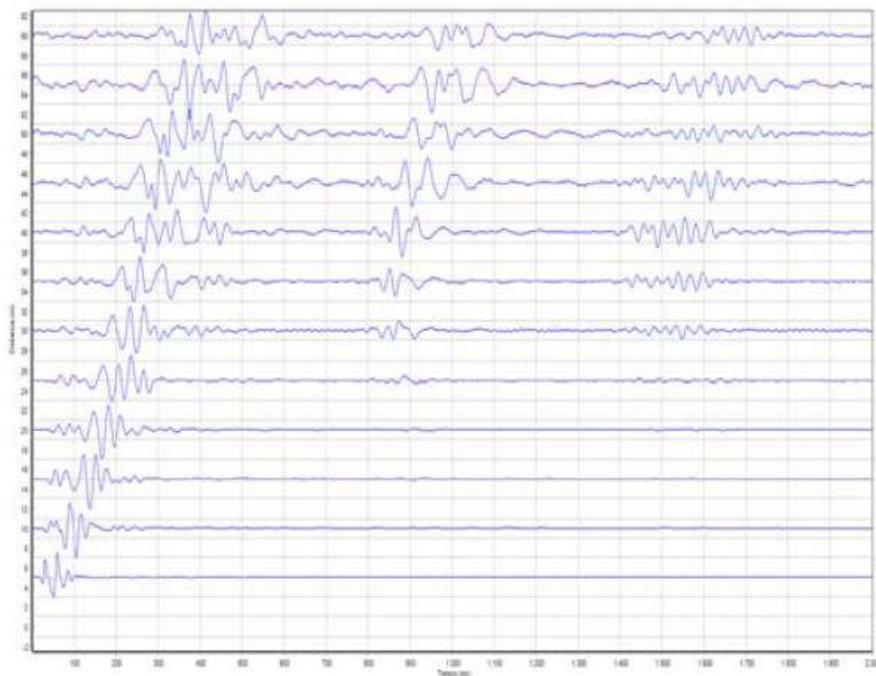
Tabella 1: Stratigrafia area d'interesse.

Falda presente a – 1,96 m da p.c. attuale

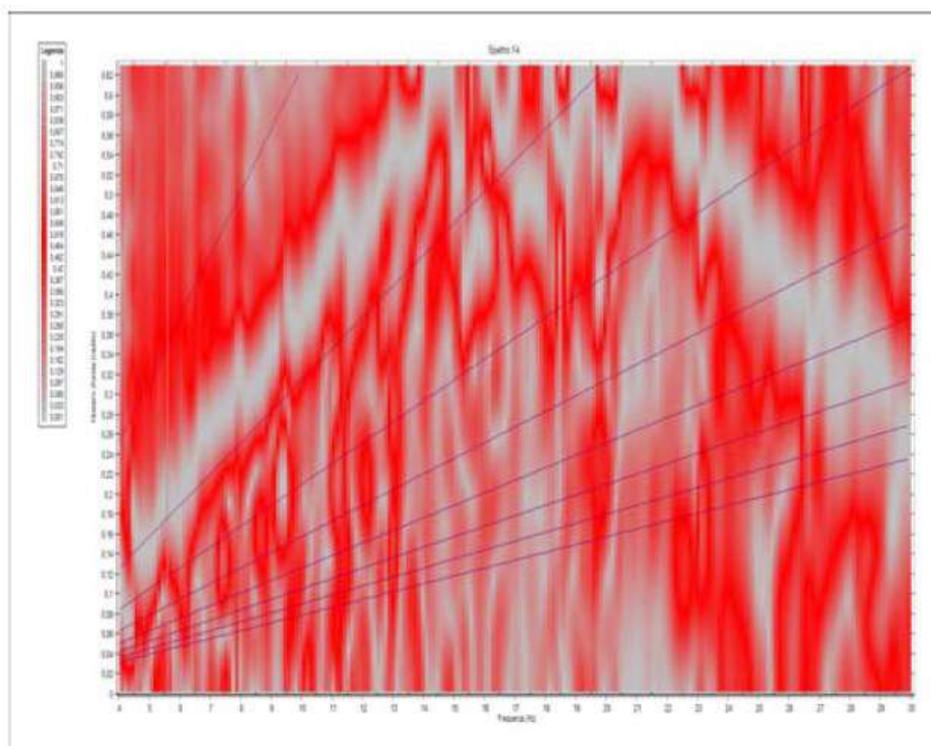
13.5 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE NELL'AREA PEC 2

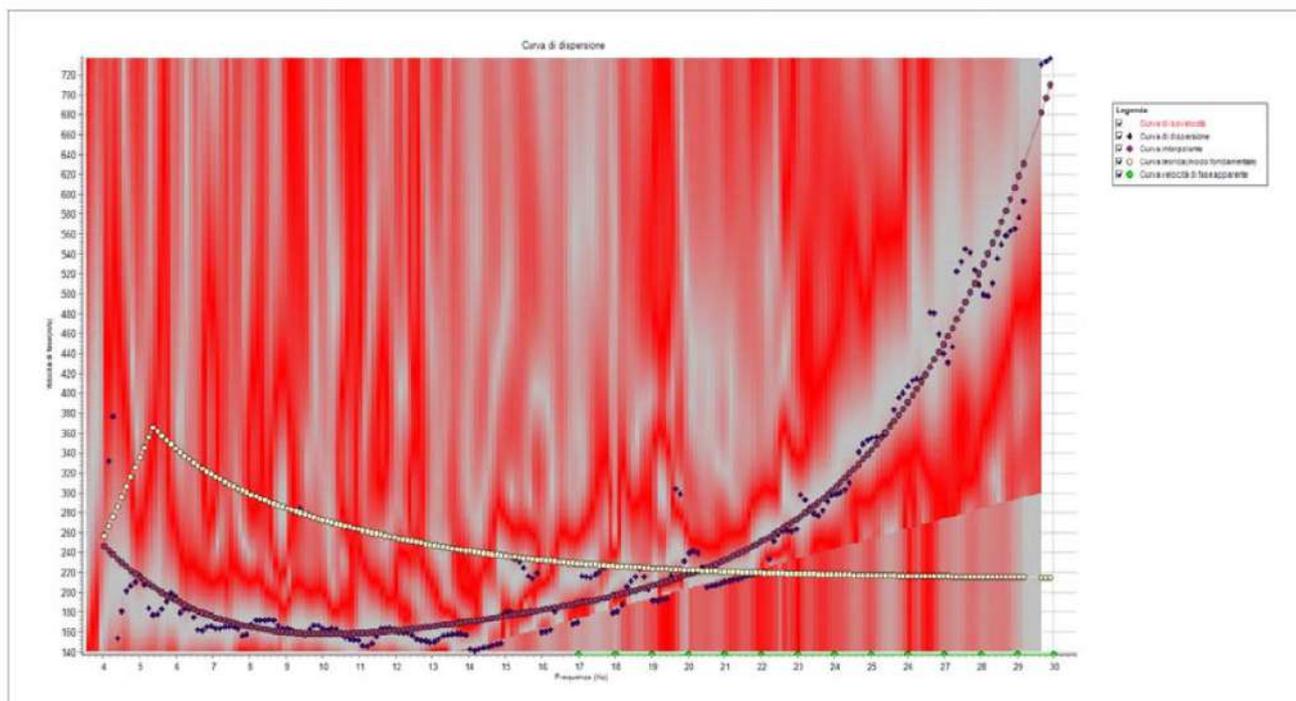
13.5.1 Risultati della prova MASW

Al fine di fornire i valori delle V_s , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica, di lunghezza 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 (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione:



L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consenta di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.





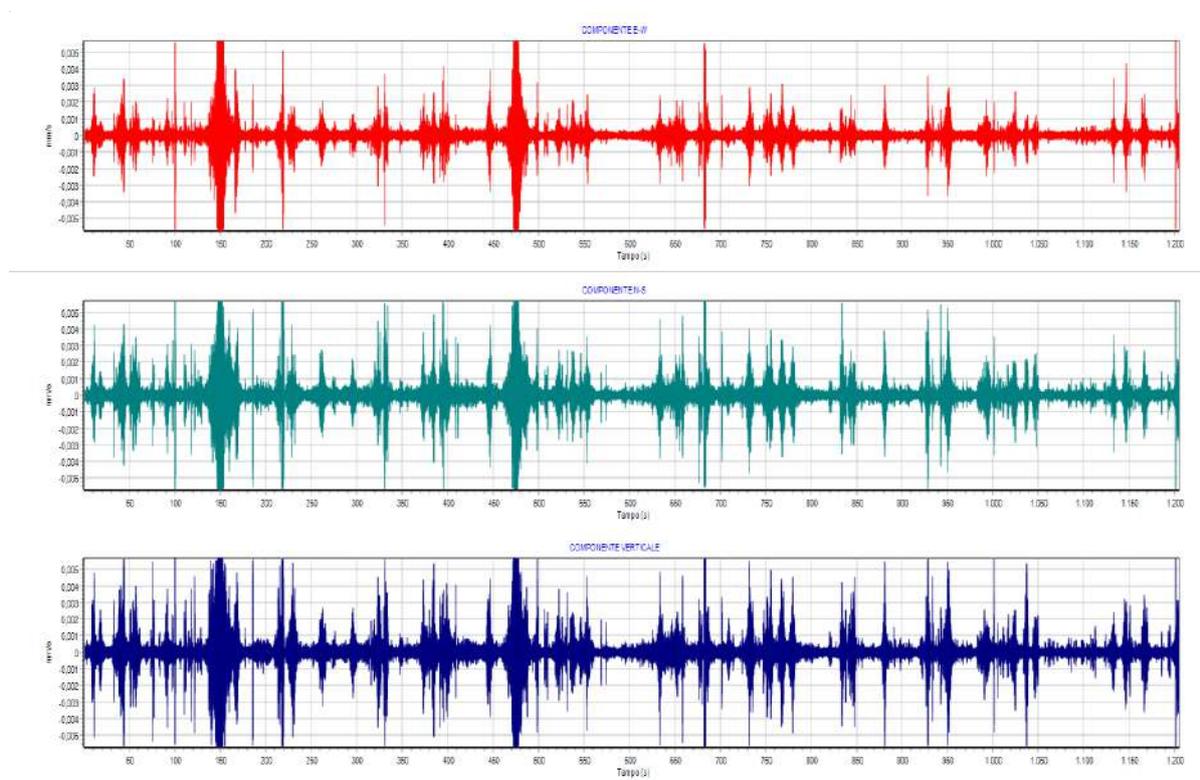
Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

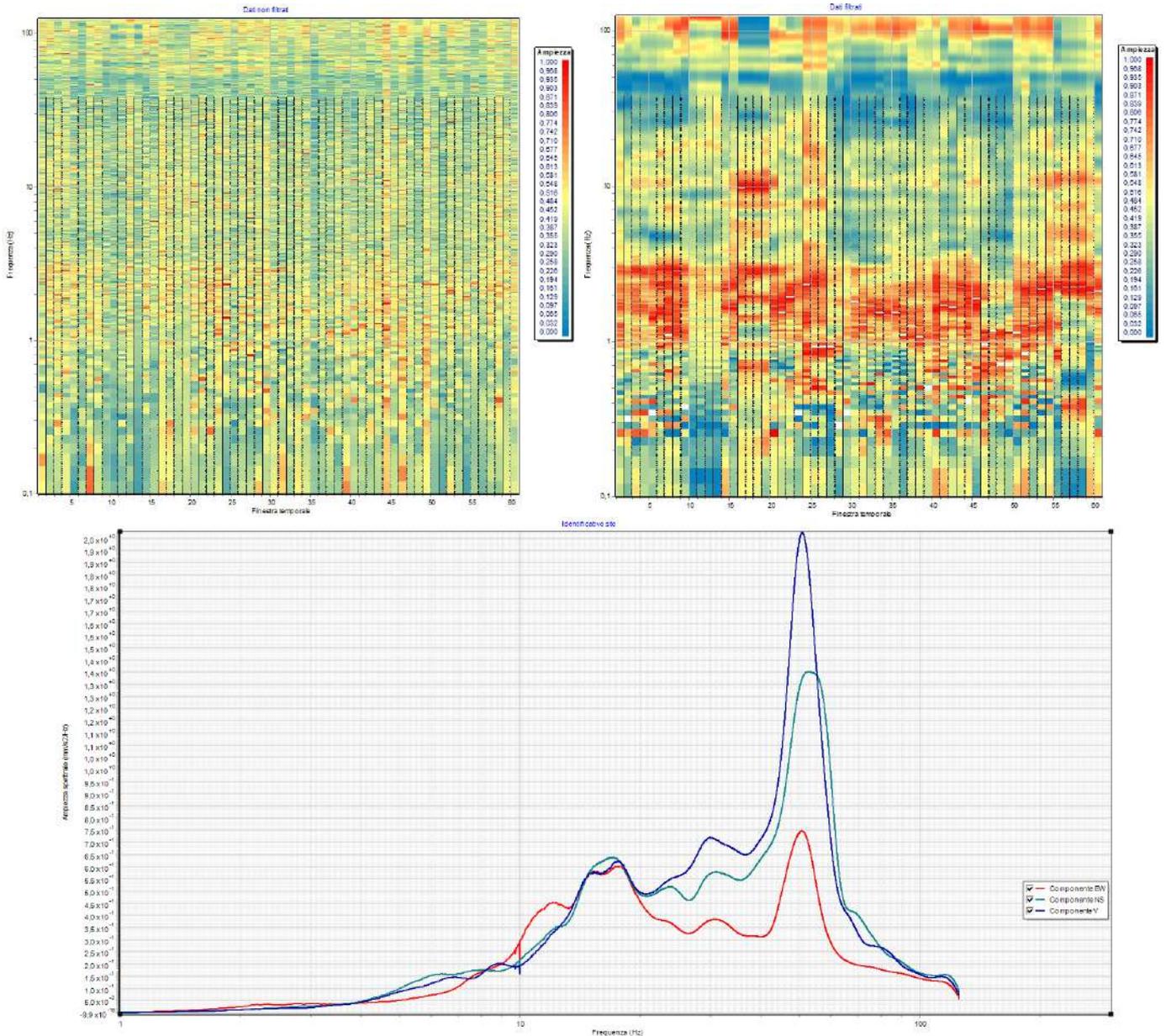


13.5.2 Risultati della prova HVSR

L'indagine HVSR è una tecnica di indagine sismica passiva, non invasiva, di rapida esecuzione utilizzata per stimare le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. La restituzione dei dati permette di elaborare una ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, di verificare la mono-dimensionalità degli strati e di calcolare il parametro $V_{s,30}$ per valorizzare la categoria di sottosuolo.

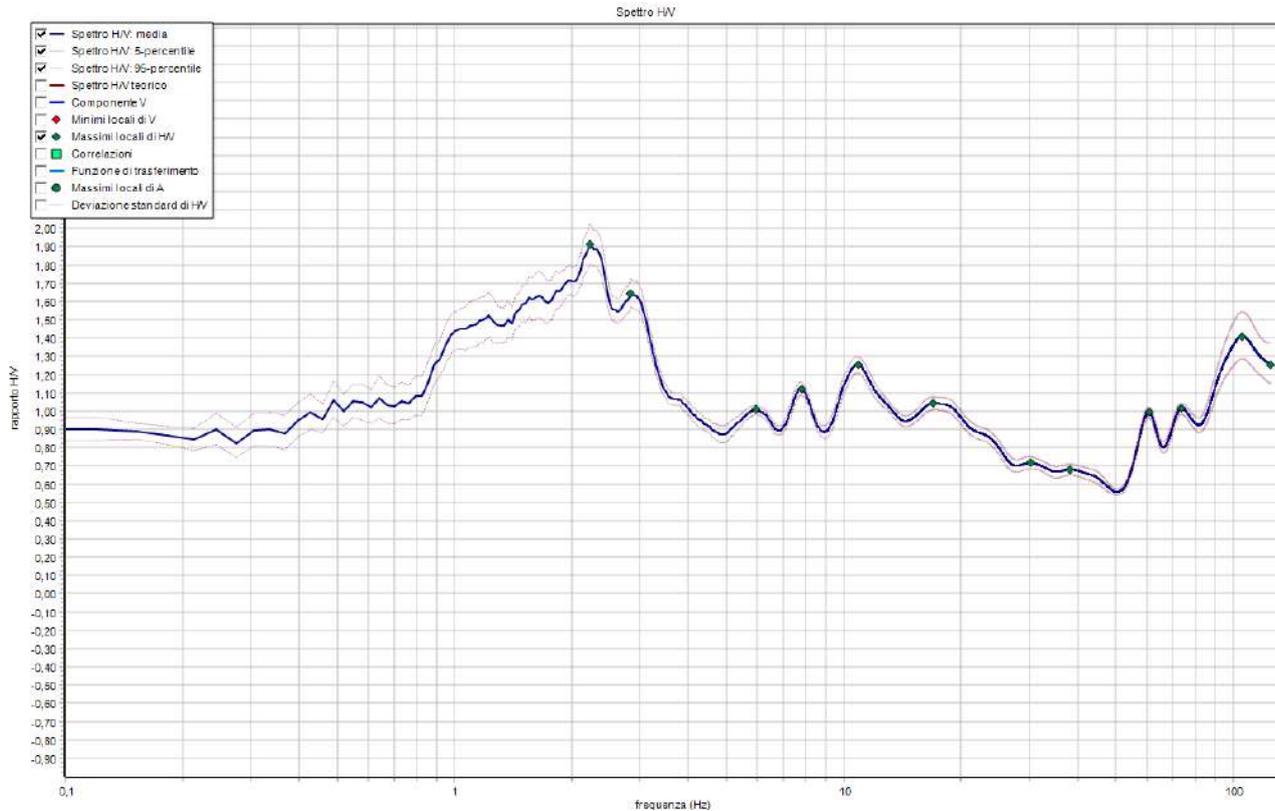




Criteri SESAME (2005) per una curva HV attendibile S1: $f_p > 10/L_w$ - S2: $L_w \times N_w \times f_p > 200$ - S3: $s_a < 2$ per $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA: L_w = lunghezza della finestra (s) - N_w = n. finestre - f_p (Hz) = frequenza del picco stratigrafico - s_a = deviazione standard

N.	f_z (Hz)	HV	Kg	H1 (m)	H2 (m)	H3 (m)	S1	S2	S3
1	125,0	1,25	0,01	0,09	0,05	0,04	SI	SI	SI
2	17,03	1,04	0,06	1,24	0,72	0,61	SI	SI	SI
3	10,89	1,25	0,14	2,25	1,31	1,11	SI	SI	SI
4	7,78	1,12	0,16	3,52	2,05	1,73	SI	SI	SI
5	2,84	1,65	0,95	13,5	7,86	6,66	SI	SI	SI



13.5.3 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

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 3.2.11 (fig. 11) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800$ m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valore delle $V_{s,eq}$ corrispondenti alle $V_{s,30}$ pari a **322,8 m/s** riferito all'attuale piano campagna ed esso risulta pertanto classificabile in **categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

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>

La categoria topografica è **T1**

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

13.6 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o di riporto	0,0 – 0,2	/	/	/	/
2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli	0,2 – 2,0	18	20-25	26-30	10-20
3	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.	2,0 – 5,0	19	0	37-40	35-40
4	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante	>5,0	19	0	39-45	38-45

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda si trova a profondità 1,96 m.

13.7 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o di riporto	0,0 – 0,2	/	/	/	/
2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli	0,2 – 2,0	18	20	26	10
3	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.	2,0 – 5,0	19	0	37	35
4	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante	>5,0	19	0	39	38

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda si trova a profondità 1,96 m dal p.c

14 AREA PEC 3

Si riportano di seguito i risultati delle diverse prove eseguite in dettaglio presso l'area PEC 3.

14.1 RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DPSH REALIZZATE NELL'AREA PEC 3

Si riportano di seguito i risultati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area PEC 3.

14.1.1 Da DPSH a NSPT

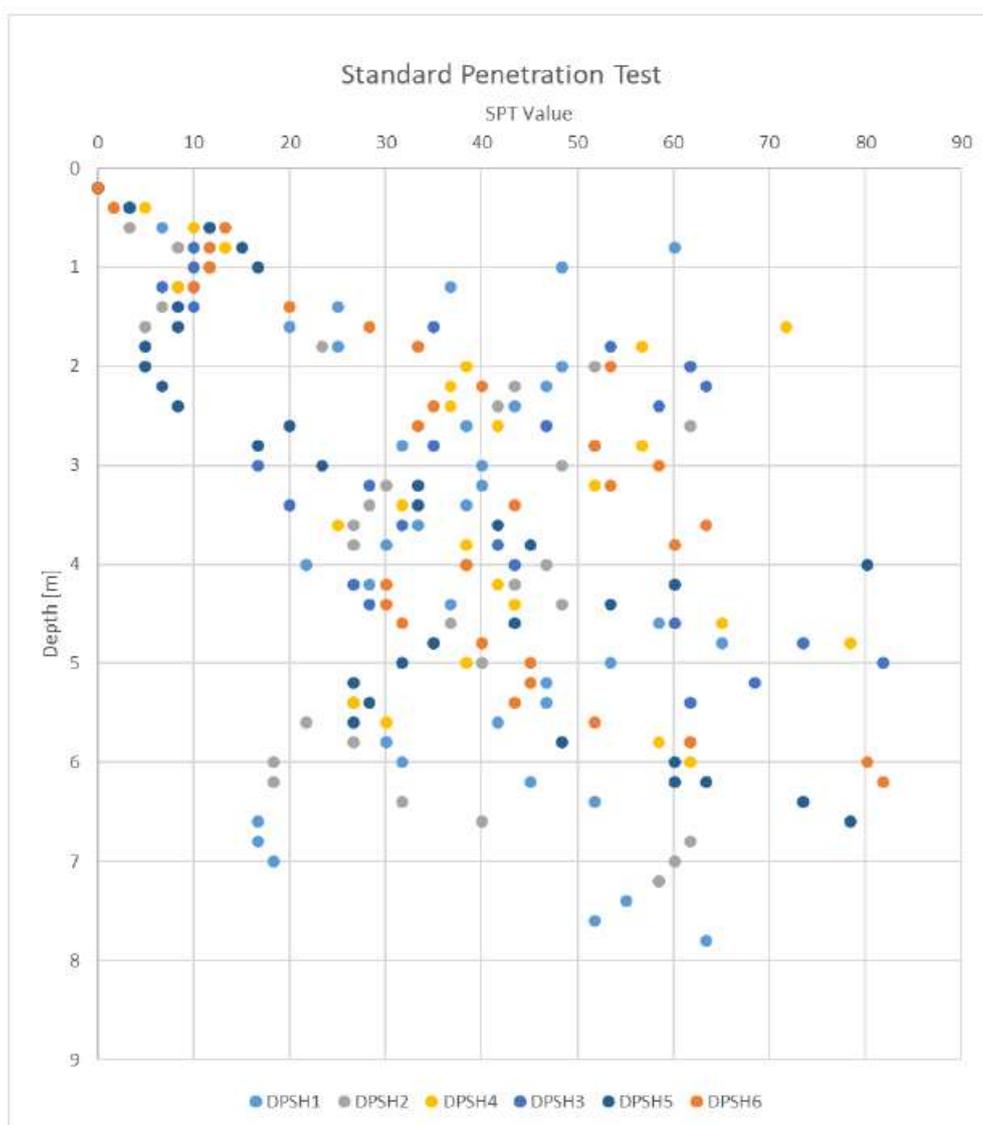


Figura 25 - Grafico di N_{SPT}

14.1.2 Densità relativa (D_r)

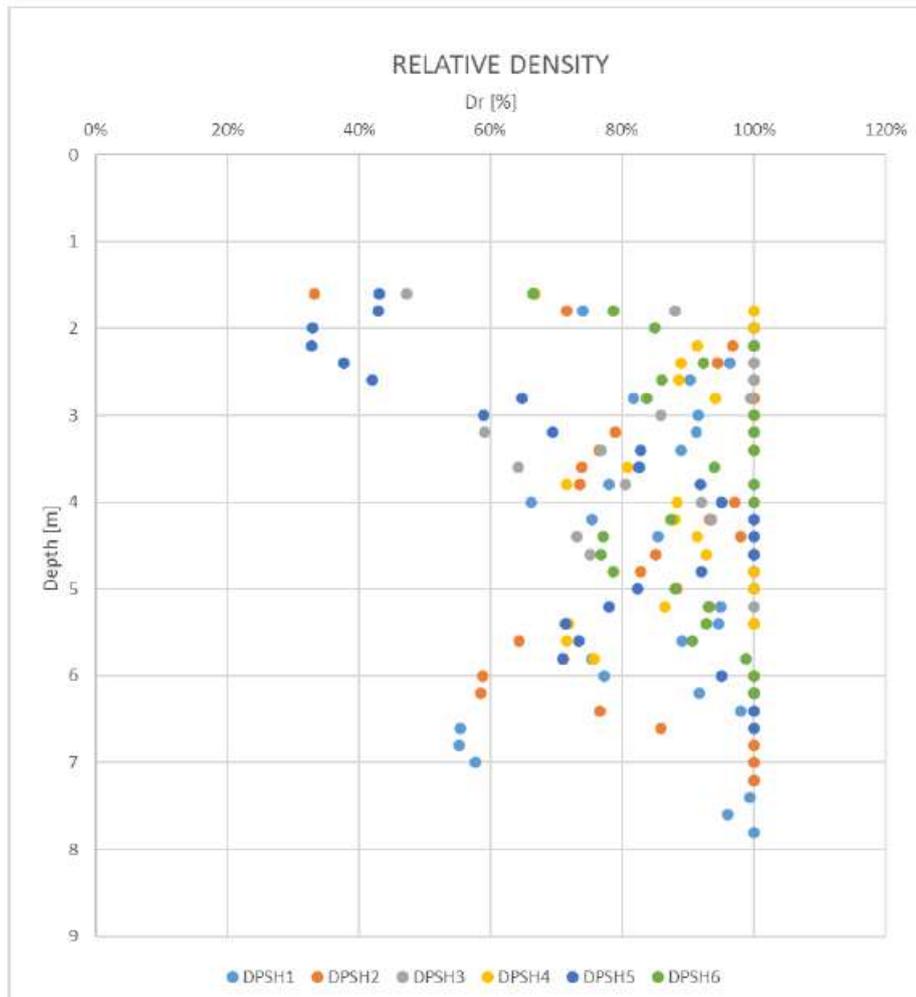


Figura 26 - Grafico di D_r

14.1.3 Modulo di deformazione (E)

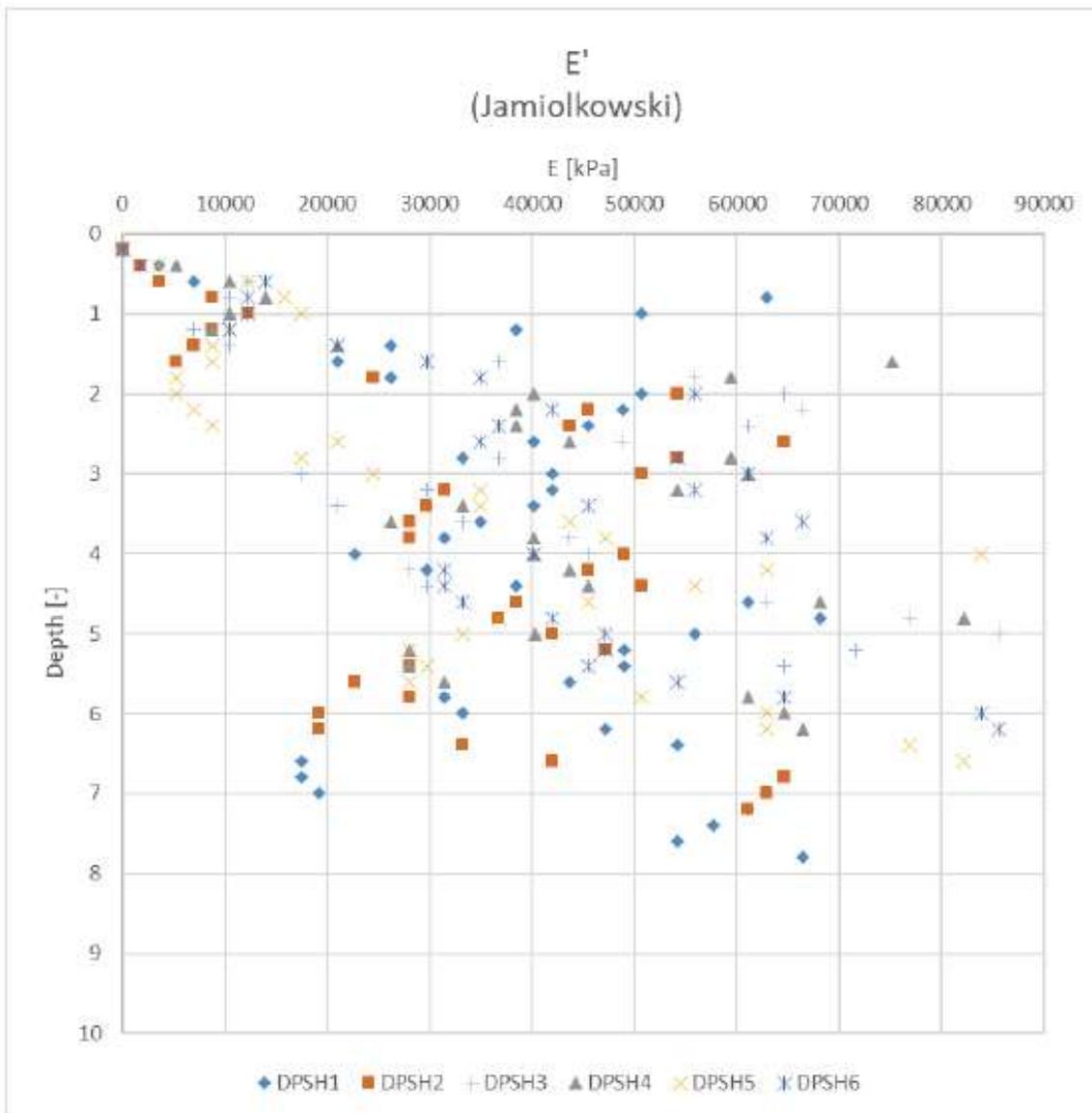


Figura 27 - Grafico di E Jamiolkowski

14.1.4 Angolo di attrito (φ)

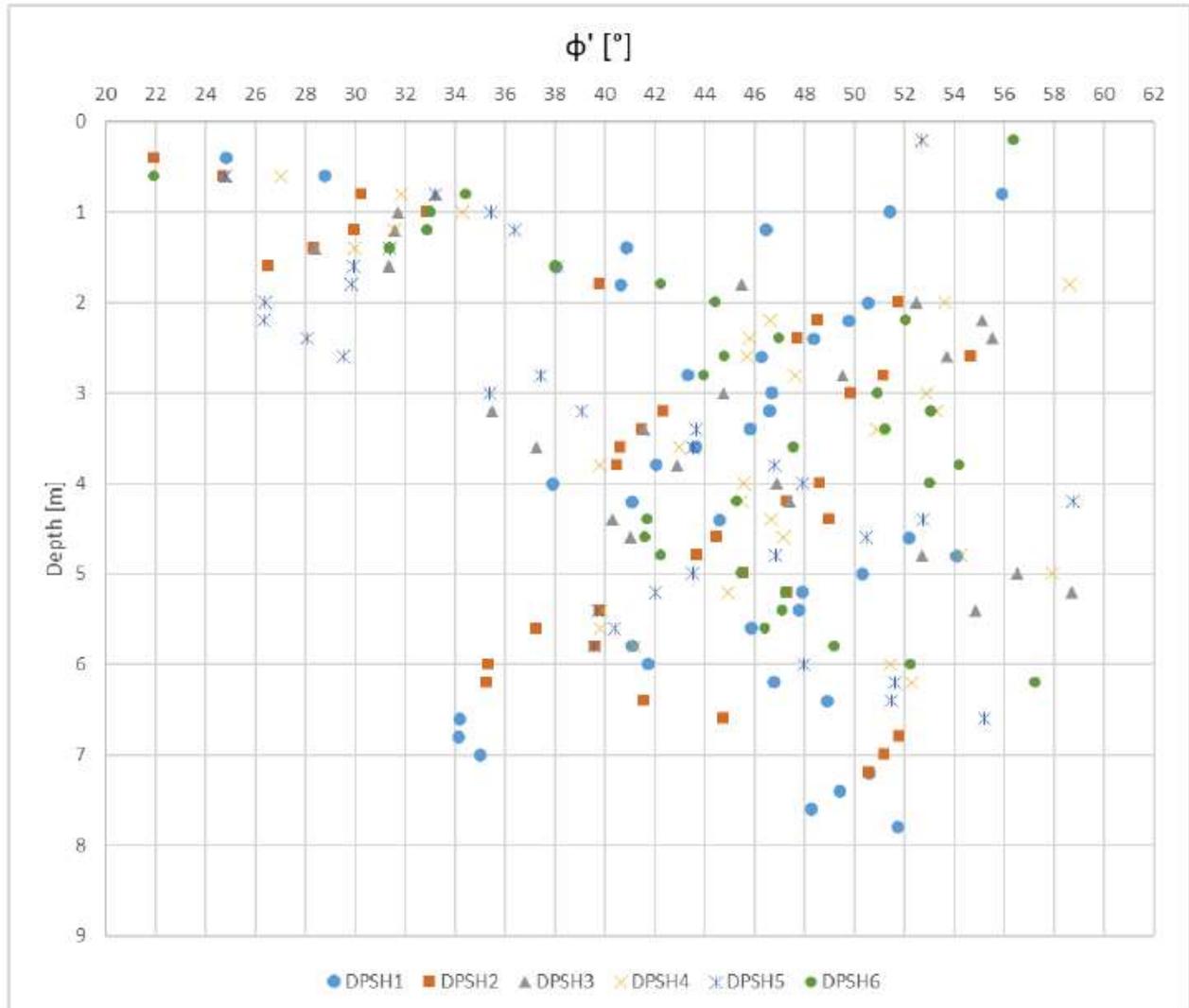


Figura 28 - Grafico di ϕ

14.2 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO DELL'AREA PEC 3

Sulla base dei risultati delle indagini condotte in sito è stata dedotta la seguente stratigrafia dell'area PEC 3:

Strato	Profondità[m]	Litologia
1	0-0.40	Terreno di coltivo o di riporto
2	0.40-1.70	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
3	>1.70	Ghiaie e sabbie con ciottoli poligenici ed eterogenei subarrotondati (diam.max. 10 cm) in materiale di intasamento fine argilloso-limoso di colore marrone e marrone grigiastro più o meno abbondante.

Tabella 2: Stratigrafia area d'interesse.

Dalle stratigrafie dei pozzetti esplorativi eseguiti e dalle risultanze delle indagini DPSH si evince inoltre che:

- Lo strato 2 continuo di limo argilloso va da uno spessore minimi di 0.3m a un massimo di 1.60m.
- Lo strato 3 presenta una granulometria della sabbia maggiormente grossolana con la profondità
- Alla base dello strato 2 nei pozzetti P3 e P6 è presente uno strato di limo sabbioso di spessore pari a 20 cm

La falda rilevata durante la campagna di indagine è a quota di circa 2m da p.c.

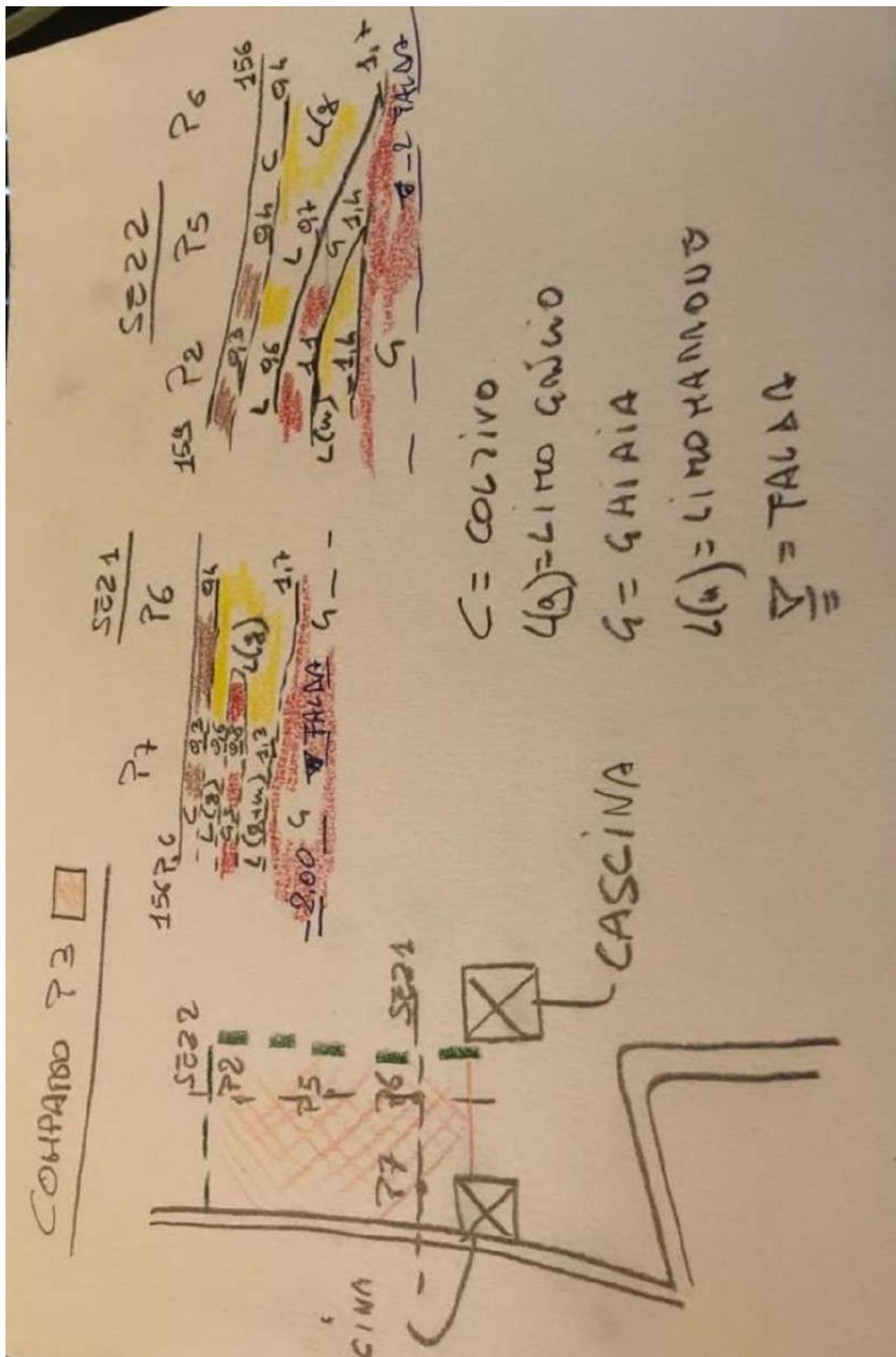


Figura 29 - schema stratigrafico generale dell'area d'indagine

14.2.1 Pozzetti esplorativi

Per definire le caratteristiche geotecniche dell'area sono state realizzate n. 8 trincee esplorative. Nella tabella seguente sono riportate le stratigrafie dei pozzetti.

Trincea P1

P1	
Profondità [m]	Stratigrafia
0.0-0.40	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone e marrone-grigiastro.
0.40-1.10	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con locali frammenti di laterizi e, verso la base, ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam.max. 4-6cm.
1.10-2.00	Limo argilloso-sabbioso di colore marrone- grigiastro passante a grigio-bluastro verso la base, con locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.
2.00-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max.15-18cm.

Trincea P2

P2	
Profondità [m]	Stratigrafia
0.0-0.30	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.30-0.60	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
0.60-1.10	Ghiaie e sabbie da fini a medie in abbondante matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro (loc. marrone chiaro) con ciottoli
	arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.
1.10-1.40	Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.
1.40-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.

Trincea P3

P3	
Profondità [m]	Stratigrafia
0-0.40	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.40-0.80	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, abbondanti ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
0.80-1.50	Ghiaie e sabbie da fini a medie in abbondante matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro e grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 10-12cm. Presenza di una locale intercalazione di sabbie debolmente limose da medie a grossolane.
1.50-1.60	Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro
1.60-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.

Trincea P4

P4	
Profondità [m]	Stratigrafia
0-0.40	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.40-0.90	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, abbondanti ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
0.80-1.60	Ghiaie e sabbie grossolane con ciottoli e blocchi arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 25-30cm.
1.60-1.80	Ghiaie e sabbie grossolane in matrice fine limosa di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15
1.60-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm

Trincea P5

P5	
Profondità [m]	Stratigrafia
0.0-0.40	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.40-0.70	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
0.70-1.40	Ghiaie e sabbie da fini a medie in abbondante matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro e grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 8-12cm.
1.40-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.

Trincea P6

P6	
Profondità [m]	Stratigrafia
0.0-0.40	Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.40-1.70	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
1.70-1.85	Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro
1.85-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.

Trincea P7

P7	
Profondità [m]	Stratigrafia
0.-0.30	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.30-0.60	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
0.60-0.80	Ghiaie e sabbie da fini a medie in abbondante matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.
0.80-1.30	Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro con locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.
1.30-1.70	Ghiaie e sabbie da fini a medie in abbondante matrice fine argilloso-limosa di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 8-12cm.
1.70-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm

Trincea P8

P8	
Profondità [m]	Stratigrafia
0.-0.40	Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.
0.40-0.80	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm
0.80-1.30	Ghiaie e sabbie da fini a medie in abbondante matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.
1.30-2.50	Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm. da -2.0m a -2.10m intercalazione di ghiaietto.

14.3 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE NELL'AREA PEC 3

14.3.1 *Risultati della prova MASW*

Al fine di fornire i valori delle V_s , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica, di lunghezza 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 (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si riporta

di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione:

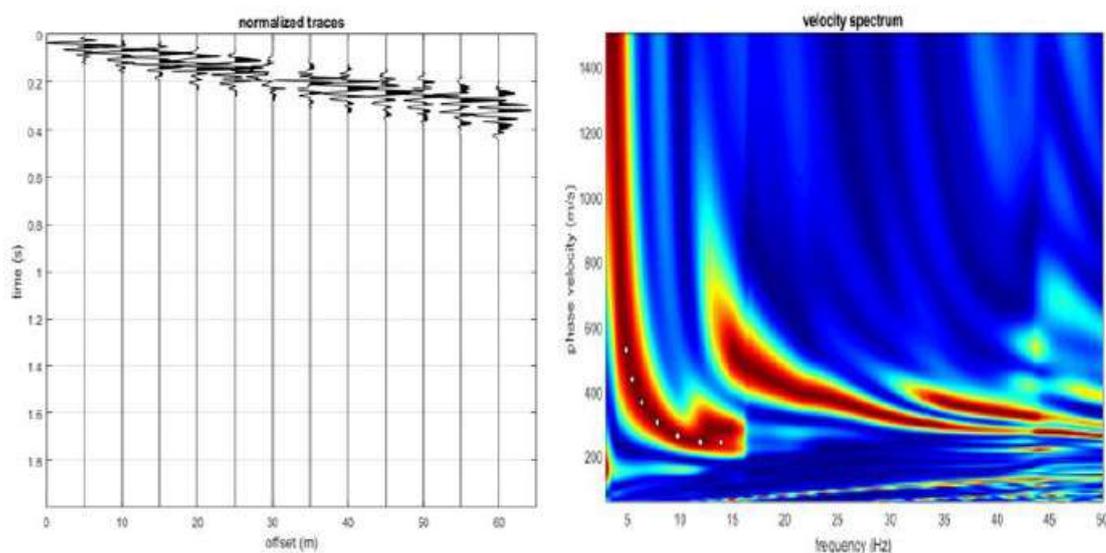


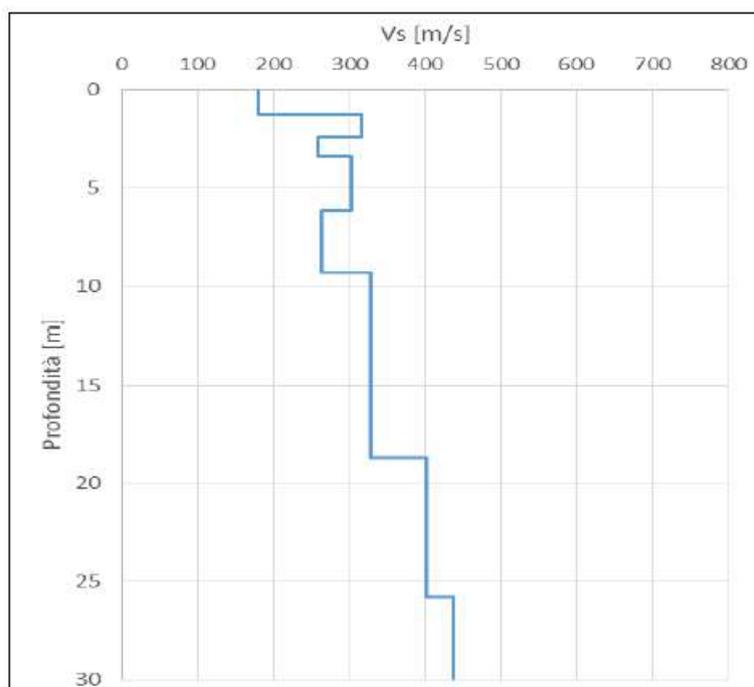
Figura 30 - sismogrammi e spettri di velocità ZVF (Rayleigh wave) e THF (Love wave) L1.

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consenta di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

L 1		
Spessore di strato (m)	Profondità (m)	V_s (m/sec)
1.2	0.0-1.2	180
1.2	1.2-2.4	317
1.0	2.4-3.4	259
2.7	3.4-6.1	303
3.2	6.1-9.3	264
9.4	9.3-18.7	329

7.1	18.7-25.8	401
4.2	25.8-30.0	438



14.3.2 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

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 (fig. 11) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800 \text{ m/s}$

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valore delle $V_{s,eq}$ corrispondenti alle $V_{s,30}$ pari a **322,8 m/s** riferito all'attuale piano campagna ed esso risulta pertanto classificabile in **categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
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.
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.
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.

La categoria topografica è **T1**

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

14.4 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o riporto	0,0 – 0,40	/	/	/	/
2	Limo argilloso	0,40 – 1,70	18	20-25	26-30	10-20
3	Ghiaia con sabbia	> 1,70	19	0	37-40	35-40

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda si trova a profondità 2,0 m.

14.5 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o riporto	0,0 – 0,40	/	/	/	/
2	Limo argilloso	0,40 – 1,70	18	20	26	10
3	Ghiaia con sabbia	> 1,70	19	0	37	35

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda si trova a profondità 2,0 m

15 AREA PEC 4

15.1 RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DPSH REALIZZATE NELL'AREA PEC 4

Si riportano di seguito i risultati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area PEC 4.

15.1.1 Da DPSH a NSPT

Prova Nr	Profondità [m]	N ₂₀	N _{SPT}	N'	σ'vo [kPa]	Cn	N ₁₍₆₀₎
P 1-4	0,2	9	13,23	14,115	3,6	1,5	19,5
	0,4	8	11,76	13,38	7,2	1,4	17,0
	0,6	9	13,23	14,115	10,8	1,4	18,8
	0,8	8	11,76	13,38	14,4	1,4	16,5
	1	9	13,23	14,115	18	1,4	18,2
	1,2	7	10,29	12,645	21,6	1,4	13,9
	1,4	8	11,76	13,38	25,2	1,3	15,7
	1,6	7	10,29	12,645	27,8	1,3	13,6
	1,8	8	11,76	13,38	29,4	1,3	15,4
	2	7	10,29	12,645	31	1,3	13,4
	2,2	7	10,29	12,645	32,6	1,3	13,3
	2,4	13	19,11	17,055	34,2	1,3	24,5
	2,6	9	13,23	14,115	35,8	1,3	16,8
	2,8	13	19,11	17,055	37,4	1,3	24,1
	3	7	10,29	12,645	39	1,3	12,9
	3,2	12	17,64	16,32	40,6	1,2	22,0
	3,4	13	19,11	17,055	42,2	1,2	23,7
	3,6	16	23,52	19,26	43,8	1,2	28,9
	3,8	19	27,93	21,465	45,4	1,2	34,1
	4	2	2,94	8,97	47	1,2	3,6
4,2	27	39,69	27,345	48,6	1,2	47,9	
4,4	27	39,69	27,345	50,2	1,2	47,6	
4,6	35	51,45	33,225	51,8	1,2	61,3	
4,8	35	51,45	33,225	53,4	1,2	60,9	
5	100	147	81	55	1,2	172,9	
P 2-4	0,2	9	13,23	14,115	3,6	1,5	19,5
	0,4	8	11,76	13,38	7,2	1,4	17,0
	0,6	7	10,29	12,645	10,8	1,4	14,6
	0,8	4	5,88	10,44	14,4	1,4	8,2
	1	12	17,64	16,32	18	1,4	24,3
	1,2	13	19,11	17,055	21,6	1,4	25,9
	1,4	6	8,82	11,91	25,2	1,3	11,7

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	1,6	5	7,35	11,175	27,8	1,3	9,7
	1,8	10	14,7	14,85	29,4	1,3	19,2
	2	10	14,7	14,85	31	1,3	19,1
	2,2	9	13,23	14,115	32,6	1,3	17,1
	2,4	8	11,76	13,38	34,2	1,3	15,1
	2,6	9	13,23	14,115	35,8	1,3	16,8
	2,8	21	30,87	22,935	37,4	1,3	39,0
	3	19	27,93	21,465	39	1,3	35,1
	3,2	14	20,58	17,79	40,6	1,2	25,7
	3,4	9	13,23	14,115	42,2	1,2	16,4
	3,6	7	10,29	12,645	43,8	1,2	12,7
	3,8	13	19,11	17,055	45,4	1,2	23,4
	4	16	23,52	19,26	47	1,2	28,6
	4,2	19	27,93	21,465	48,6	1,2	33,7
	4,4	20	29,4	22,2	50,2	1,2	35,3
	4,6	16	23,52	19,26	51,8	1,2	28,0
	4,8	15	22,05	18,525	53,4	1,2	26,1
	5	26	38,22	26,61	55	1,2	45,0
	5,2	29	42,63	28,815	56,6	1,2	49,8
	5,4	29	42,63	28,815	58,2	1,2	49,5
	5,6	10	14,7	14,85	59,8	1,2	17,0
	5,8	12	17,64	16,32	61,4	1,1	20,2
	6	100	147	81	63	1,1	167,7
P 3-4	0,2	8	11,76	13,38	3,6	1,5	17,3
	0,4	7	10,29	12,645	7,2	1,4	14,9
	0,6	9	13,23	14,115	10,8	1,4	18,8
	0,8	4	5,88	10,44	14,4	1,4	8,2
	1	5	7,35	11,175	18	1,4	10,1
	1,2	4	5,88	10,44	21,6	1,4	8,0
	1,4	5	7,35	11,175	25,2	1,3	9,8
	1,6	6	8,82	11,91	27,8	1,3	11,6
	1,8	9	13,23	14,115	29,4	1,3	17,3
	2	10	14,7	14,85	31	1,3	19,1
	2,2	11	16,17	15,585	32,6	1,3	20,9
	2,4	10	14,7	14,85	34,2	1,3	18,8
	2,6	13	19,11	17,055	35,8	1,3	24,3
	2,8	12	17,64	16,32	37,4	1,3	22,3
	3	13	19,11	17,055	39	1,3	24,0
	3,2	15	22,05	18,525	40,6	1,2	27,5
	3,4	12	17,64	16,32	42,2	1,2	21,8
	3,6	19	27,93	21,465	43,8	1,2	34,4
	3,8	18	26,46	20,73	45,4	1,2	32,3
	4	17	24,99	19,995	47	1,2	30,4
4,2	21	30,87	22,935	48,6	1,2	37,3	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	4,4	26	38,22	26,61	50,2	1,2	45,8
	4,6	29	42,63	28,815	51,8	1,2	50,8
	4,8	28	41,16	28,08	53,4	1,2	48,7
	5	33	48,51	31,755	55	1,2	57,1
	5,2	33	48,51	31,755	56,6	1,2	56,7
	5,4	100	147	81	58,2	1,2	170,8
P 4-4	0,2	4	5,88	10,44	3,6	1,5	8,7
	0,4	9	13,23	14,115	7,2	1,4	19,2
	0,6	3	4,41	9,705	10,8	1,4	6,3
	0,8	2	2,94	8,97	14,4	1,4	4,1
	1	3	4,41	9,705	18	1,4	6,1
	1,2	12	17,64	16,32	21,6	1,4	23,9
	1,4	9	13,23	14,115	25,2	1,3	17,6
	1,6	8	11,76	13,38	27,8	1,3	15,5
	1,8	9	13,23	14,115	29,4	1,3	17,3
	2	12	17,64	16,32	31	1,3	22,9
	2,2	13	19,11	17,055	32,6	1,3	24,6
	2,4	16	23,52	19,26	34,2	1,3	30,1
	2,6	15	22,05	18,525	35,8	1,3	28,1
	2,8	15	22,05	18,525	37,4	1,3	27,9
	3	15	22,05	18,525	39	1,3	27,7
	3,2	16	23,52	19,26	40,6	1,2	29,3
	3,4	15	22,05	18,525	42,2	1,2	27,3
	3,6	20	29,4	22,2	43,8	1,2	36,2
	3,8	21	30,87	22,935	45,4	1,2	37,7
	4	24	35,28	25,14	47	1,2	42,9
	4,2	21	30,87	22,935	48,6	1,2	37,3
	4,4	20	29,4	22,2	50,2	1,2	35,3
	4,6	17	24,99	19,995	51,8	1,2	29,8
	4,8	18	26,46	20,73	53,4	1,2	31,3
	5	13	19,11	17,055	55	1,2	22,5
	5,2	12	17,64	16,32	56,6	1,2	20,6
	5,4	12	17,64	16,32	58,2	1,2	20,5
	5,6	16	23,52	19,26	59,8	1,2	27,2
	5,8	18	26,46	20,73	61,4	1,1	30,4
	6	13	19,11	17,055	63	1,1	21,8
	6,2	15	22,05	18,525	64,6	1,1	25,0
	6,4	15	22,05	18,525	66,2	1,1	24,8
6,6	16	23,52	19,26	67,8	1,1	26,3	
6,8	15	22,05	18,525	69,4	1,1	24,6	
7	100	147	81	71	1,1	162,7	

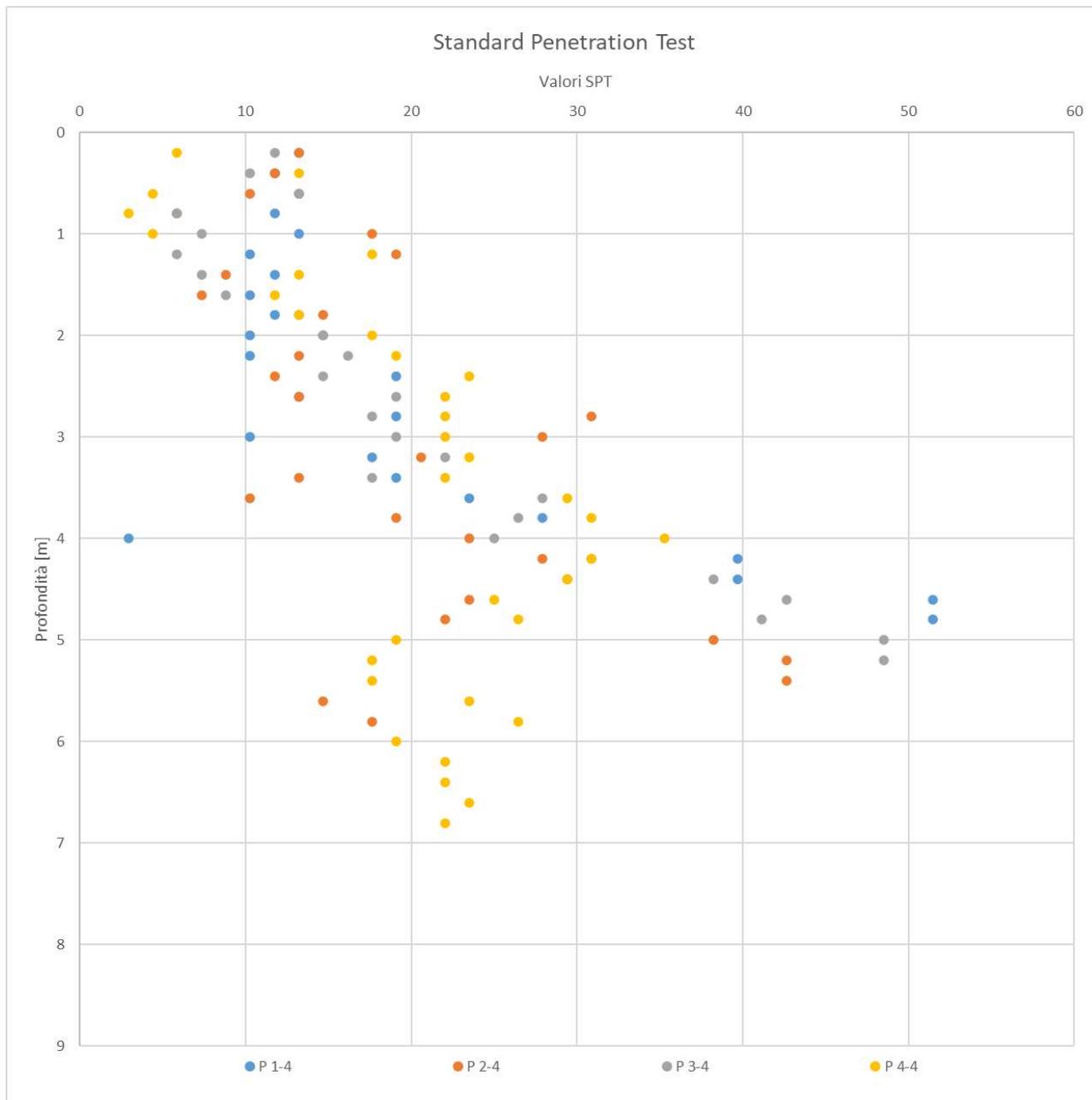


Figura 31 - Grafico di N_{SPT}

15.1.2 *Densità relativa (Dr)*

Prova Nr	Profondità [m]	N ₁₍₆₀₎	Dr [%]
P 1-4	0,2	19,5	57%
	0,4	17,0	53%
	0,6	18,8	56%
	0,8	16,5	52%
	1	18,2	55%
	1,2	13,9	48%
	1,4	15,7	51%
	1,6	13,6	48%
	1,8	15,4	51%
	2	13,4	47%
	2,2	13,3	47%
	2,4	24,5	64%
	2,6	16,8	53%
	2,8	24,1	63%
	3	12,9	46%
	3,2	22,0	61%
	3,4	23,7	63%
	3,6	28,9	69%
	3,8	34,1	75%
	4	3,6	24%
4,2	47,9	89%	
4,4	47,6	89%	
4,6	61,3	100%	
4,8	60,9	100%	
5	172,9	100%	
P 2-4	0,2	19,5	57%
	0,4	17,0	53%
	0,6	14,6	49%
	0,8	8,2	37%
	1	24,3	64%
	1,2	25,9	66%
	1,4	11,7	44%
	1,6	9,7	40%
	1,8	19,2	57%
	2	19,1	56%
	2,2	17,1	53%
	2,4	15,1	50%
	2,6	16,8	53%
	2,8	39,0	81%

	3	35,1	76%
	3,2	25,7	65%
	3,4	16,4	52%
	3,6	12,7	46%
	3,8	23,4	62%
	4	28,6	69%
	4,2	33,7	75%
	4,4	35,3	77%
	4,6	28,0	68%
	4,8	26,1	66%
	5	45,0	87%
	5,2	49,8	91%
	5,4	49,5	91%
	5,6	17,0	53%
	5,8	20,2	58%
	6	167,7	100%
P 3-4	0,2	17,3	54%
	0,4	14,9	50%
	0,6	18,8	56%
	0,8	8,2	37%
	1	10,1	41%
	1,2	8,0	36%
	1,4	9,8	40%
	1,6	11,6	44%
	1,8	17,3	54%
	2	19,1	56%
	2,2	20,9	59%
	2,4	18,8	56%
	2,6	24,3	64%
	2,8	22,3	61%
	3	24,0	63%
	3,2	27,5	68%
	3,4	21,8	60%
	3,6	34,4	76%
	3,8	32,3	73%
	4	30,4	71%
	4,2	37,3	79%
	4,4	45,8	87%
	4,6	50,8	92%
4,8	48,7	90%	
5	57,1	98%	
5,2	56,7	97%	
5,4	170,8	100%	
P 4-4	0,2	8,7	38%

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	0,4	19,2	57%
	0,6	6,3	32%
	0,8	4,1	26%
	1	6,1	32%
	1,2	23,9	63%
	1,4	17,6	54%
	1,6	15,5	51%
	1,8	17,3	54%
	2	22,9	62%
	2,2	24,6	64%
	2,4	30,1	71%
	2,6	28,1	68%
	2,8	27,9	68%
	3	27,7	68%
	3,2	29,3	70%
	3,4	27,3	67%
	3,6	36,2	78%
	3,8	37,7	79%
	4	42,9	85%
	4,2	37,3	79%
	4,4	35,3	77%
	4,6	29,8	70%
	4,8	31,3	72%
	5	22,5	61%
	5,2	20,6	59%
	5,4	20,5	58%
	5,6	27,2	67%
	5,8	30,4	71%
	6	21,8	60%
	6,2	25,0	65%
	6,4	24,8	64%
	6,6	26,3	66%
	6,8	24,6	64%
	7	162,7	100%

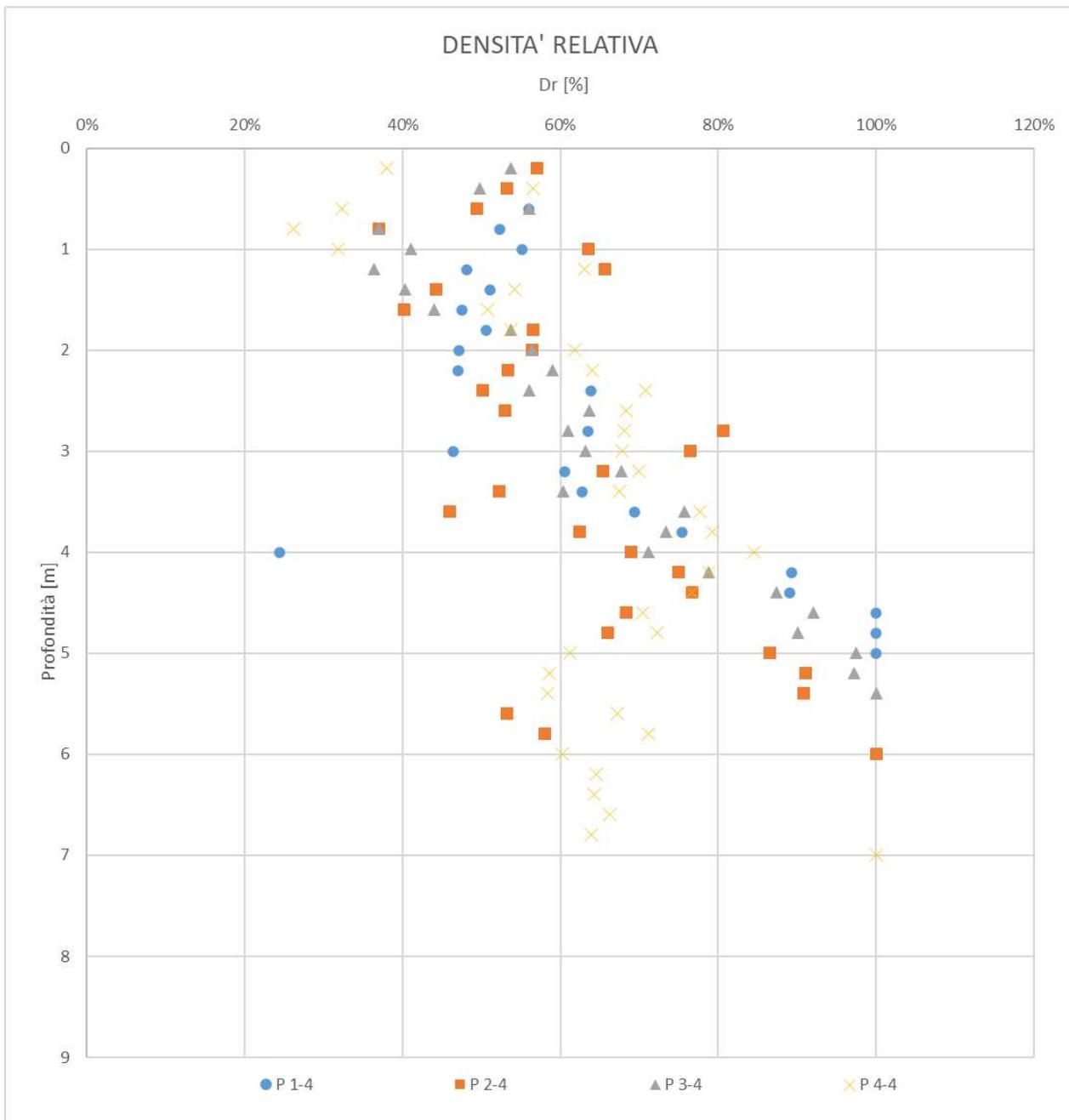


Figura 32 - Grafico di Dr

15.1.3 *Modulo di deformazione (E)*

Prova Nr	Profondità [m]	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Dr [%]	E' [kPa] (Jamiolkowski)
P 1-4	0,2	9	19,5	57%	9432
	0,4	8	17,0	53%	8385
	0,6	9	18,8	56%	9432
	0,8	8	16,5	52%	8385
	1	9	18,2	55%	9433
	1,2	7	13,9	48%	7338
	1,4	8	15,7	51%	8386
	1,6	7	13,6	48%	7338
	1,8	8	15,4	51%	8386
	2	7	13,4	47%	7338
	2,2	7	13,3	47%	7338
	2,4	13	24,5	64%	13621
	2,6	9	16,8	53%	9433
	2,8	13	24,1	63%	13621
	3	7	12,9	46%	7339
	3,2	12	22,0	61%	12575
	3,4	13	23,7	63%	13621
	3,6	16	28,9	69%	16761
	3,8	19	34,1	75%	19900
	4	2	3,6	24%	2098
4,2	27	47,9	89%	28266	
4,4	27	47,6	89%	28266	
4,6	35	61,3	100%	36628	
4,8	35	60,9	100%	36628	
5	100	172,9	100%	104650	
P 2-4	0,2	9	19,5	57%	9432
	0,4	8	17,0	53%	8385
	0,6	7	14,6	49%	7338
	0,8	4	8,2	37%	4195
	1	12	24,3	64%	12573
	1,2	13	25,9	66%	13620
	1,4	6	11,7	44%	6291
	1,6	5	9,7	40%	5243
	1,8	10	19,2	57%	10480
	2	10	19,1	56%	10480
	2,2	9	17,1	53%	9433
	2,4	8	15,1	50%	8386
	2,6	9	16,8	53%	9433

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	2,8	21	39,0	81%	21991
	3	19	35,1	76%	19899
	3,2	14	25,7	65%	14668
	3,4	9	16,4	52%	9434
	3,6	7	12,7	46%	7339
	3,8	13	23,4	62%	13622
	4	16	28,6	69%	16761
	4,2	19	33,7	75%	19900
	4,4	20	35,3	77%	20946
	4,6	16	28,0	68%	16762
	4,8	15	26,1	66%	15715
	5	26	45,0	87%	27221
	5,2	29	49,8	91%	30357
	5,4	29	49,5	91%	30358
	5,6	10	17,0	53%	10481
	5,8	12	20,2	58%	12576
	6	100	167,7	100%	104650
P 3-4	0,2	8	17,3	54%	8385
	0,4	7	14,9	50%	7338
	0,6	9	18,8	56%	9432
	0,8	4	8,2	37%	4195
	1	5	10,1	41%	5243
	1,2	4	8,0	36%	4195
	1,4	5	9,8	40%	5243
	1,6	6	11,6	44%	6291
	1,8	9	17,3	54%	9433
	2	10	19,1	56%	10480
	2,2	11	20,9	59%	11527
	2,4	10	18,8	56%	10480
	2,6	13	24,3	64%	13621
	2,8	12	22,3	61%	12574
	3	13	24,0	63%	13621
	3,2	15	27,5	68%	15714
	3,4	12	21,8	60%	12575
	3,6	19	34,4	76%	19900
	3,8	18	32,3	73%	18854
	4	17	30,4	71%	17808
	4,2	21	37,3	79%	21992
	4,4	26	45,8	87%	27220
	4,6	29	50,8	92%	30357
	4,8	28	48,7	90%	29312
5	33	57,1	98%	34537	
5,2	33	56,7	97%	34538	
5,4	100	170,8	100%	104650	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

P 4-4	0,2	4	8,7	38%	4195
	0,4	9	19,2	57%	9432
	0,6	3	6,3	32%	3147
	0,8	2	4,1	26%	2098
	1	3	6,1	32%	3147
	1,2	12	23,9	63%	12574
	1,4	9	17,6	54%	9433
	1,6	8	15,5	51%	8386
	1,8	9	17,3	54%	9433
	2	12	22,9	62%	12574
	2,2	13	24,6	64%	13621
	2,4	16	30,1	71%	16760
	2,6	15	28,1	68%	15714
	2,8	15	27,9	68%	15714
	3	15	27,7	68%	15714
	3,2	16	29,3	70%	16761
	3,4	15	27,3	67%	15715
	3,6	20	36,2	78%	20946
	3,8	21	37,7	79%	21992
	4	24	42,9	85%	25129
	4,2	21	37,3	79%	21992
	4,4	20	35,3	77%	20946
	4,6	17	29,8	70%	17808
	4,8	18	31,3	72%	18854
	5	13	22,5	61%	13622
	5,2	12	20,6	59%	12575
	5,4	12	20,5	58%	12575
	5,6	16	27,2	67%	16762
	5,8	18	30,4	71%	18855
	6	13	21,8	60%	13623
6,2	15	25,0	65%	15716	
6,4	15	24,8	64%	15716	
6,6	16	26,3	66%	16763	
6,8	15	24,6	64%	15716	
7	100	162,7	100%	104650	

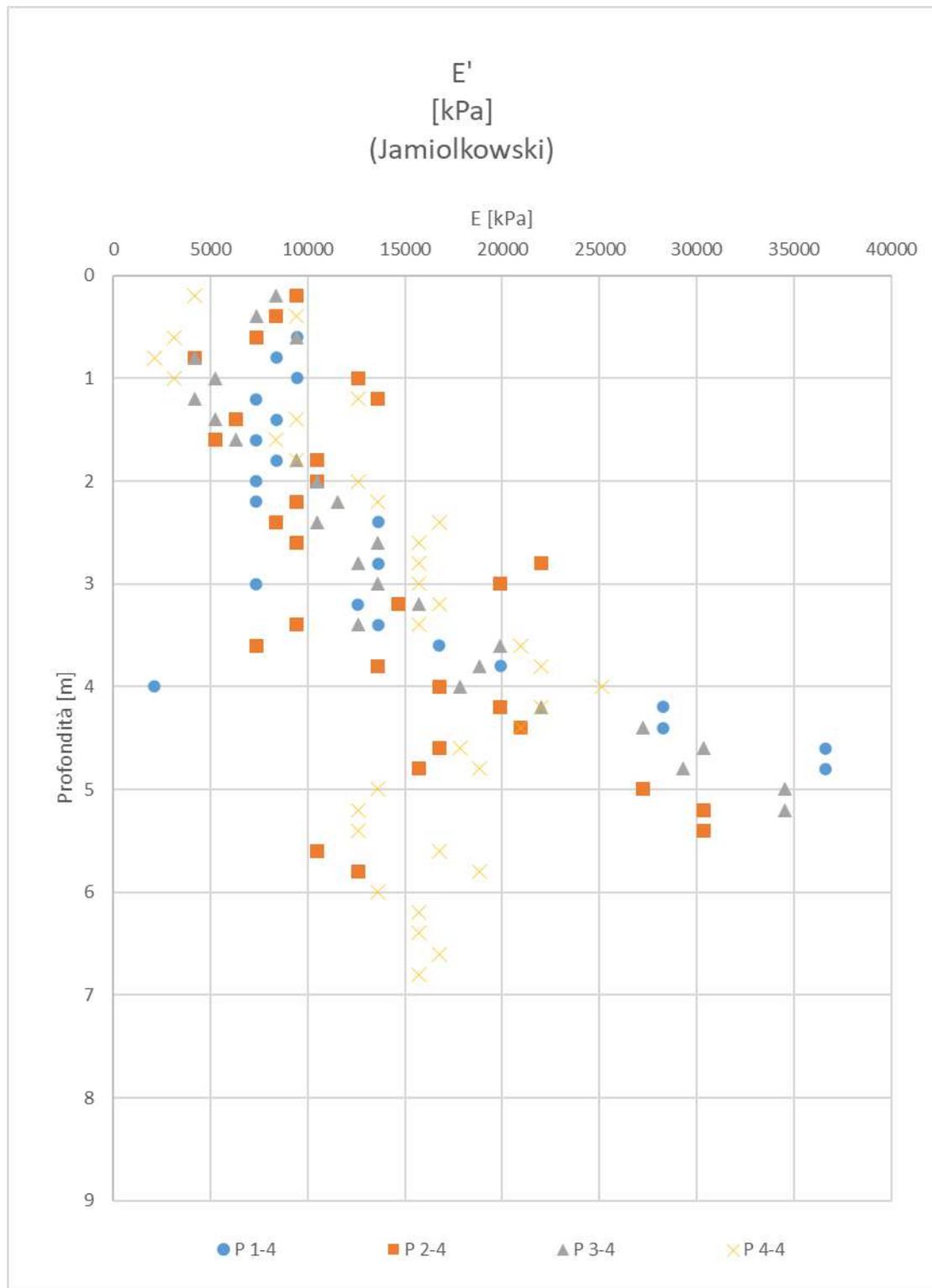


Figura 33 - Grafico di E Jamiolkowski

15.1.4 Angolo di attrito (φ)

Prova Nr	Profondità [m]	$N_{1(60)}$	ϕ' [°]
P 1-4	0,2	19,5	34,75
	0,4	17,0	33,45
	0,6	18,8	34,41
	0,8	16,5	33,14
	1	18,2	34,08
	1,2	13,9	31,69
	1,4	15,7	32,70
	1,6	13,6	31,46
	1,8	15,4	32,54
	2	13,4	31,35
	2,2	13,3	31,29
	2,4	24,5	37,13
	2,6	16,8	33,35
	2,8	24,1	36,98
	3	12,9	31,07
	3,2	22,0	35,97
	3,4	23,7	36,76
	3,6	28,9	39,06
	3,8	34,1	41,13
	4	3,6	23,45
4,2	47,9	45,95	
4,4	47,6	45,85	
4,6	61,3	50,01	
4,8	60,9	49,90	
5	172,9	73,81	
P 2-4	0,2	19,5	34,75
	0,4	17,0	33,45
	0,6	14,6	32,11
	0,8	8,2	27,83
	1	24,3	37,03
	1,2	25,9	37,75
	1,4	11,7	30,33
	1,6	9,7	28,91
	1,8	19,2	34,61
	2	19,1	34,54
	2,2	17,1	33,47
	2,4	15,1	32,36
	2,6	16,8	33,35
	2,8	39,0	42,93

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	3	35,1	41,48
	3,2	25,7	37,65
	3,4	16,4	33,10
	3,6	12,7	30,91
	3,8	23,4	36,62
	4	28,6	38,90
	4,2	33,7	40,96
	4,4	35,3	41,55
	4,6	28,0	38,67
	4,8	26,1	37,85
	5	45,0	44,99
	5,2	49,8	46,57
	5,4	49,5	46,47
	5,6	17,0	33,43
	5,8	20,2	35,12
	6	167,7	72,91
P 3-4	0,2	17,3	33,62
	0,4	14,9	32,26
	0,6	18,8	34,41
	0,8	8,2	27,83
	1	10,1	29,22
	1,2	8,0	27,62
	1,4	9,8	28,99
	1,6	11,6	30,24
	1,8	17,3	33,60
	2	19,1	34,54
	2,2	20,9	35,42
	2,4	18,8	34,41
	2,6	24,3	37,05
	2,8	22,3	36,11
	3	24,0	36,90
	3,2	27,5	38,45
	3,4	21,8	35,90
	3,6	34,4	41,22
	3,8	32,3	40,44
	4	30,4	39,64
	4,2	37,3	42,30
	4,4	45,8	45,27
	4,6	50,8	46,87
4,8	48,7	46,22	
	5	57,1	48,78
	5,2	56,7	48,68
	5,4	170,8	73,45
P 4-4	0,2	8,7	28,16

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	0,4	19,2	34,57
	0,6	6,3	26,20
	0,8	4,1	24,07
	1	6,1	26,02
	1,2	23,9	36,85
	1,4	17,6	33,77
	1,6	15,5	32,60
	1,8	17,3	33,60
	2	22,9	36,41
	2,2	24,6	37,20
	2,4	30,1	39,55
	2,6	28,1	38,69
	2,8	27,9	38,61
	3	27,7	38,53
	3,2	29,3	39,22
	3,4	27,3	38,37
	3,6	36,2	41,90
	3,8	37,7	42,47
	4	42,9	44,27
	4,2	37,3	42,30
	4,4	35,3	41,55
	4,6	29,8	39,40
	4,8	31,3	40,03
	5	22,5	36,20
	5,2	20,6	35,31
	5,4	20,5	35,25
	5,6	27,2	38,31
	5,8	30,4	39,64
	6	21,8	35,88
	6,2	25,0	37,36
	6,4	24,8	37,29
	6,6	26,3	37,96
	6,8	24,6	37,16
	7	162,7	72,05

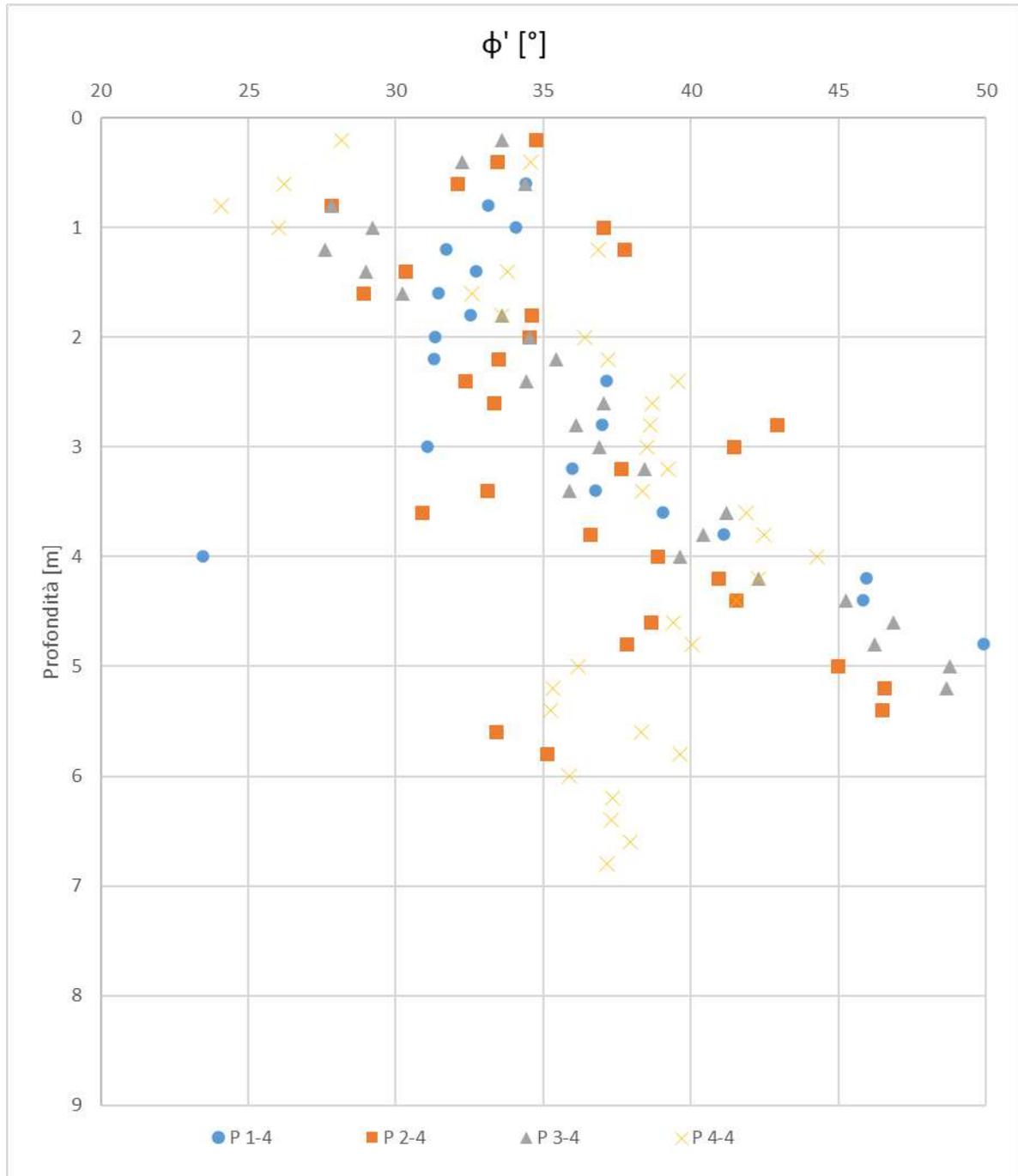


Figura 34 - Grafico di ϕ

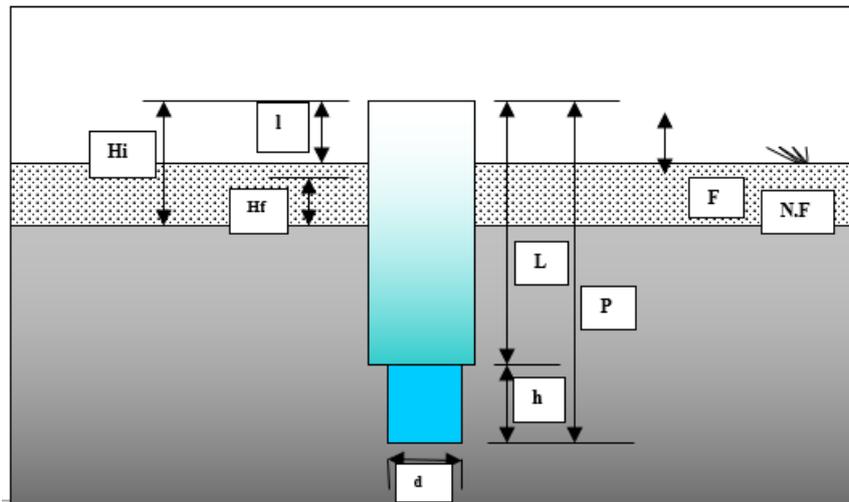
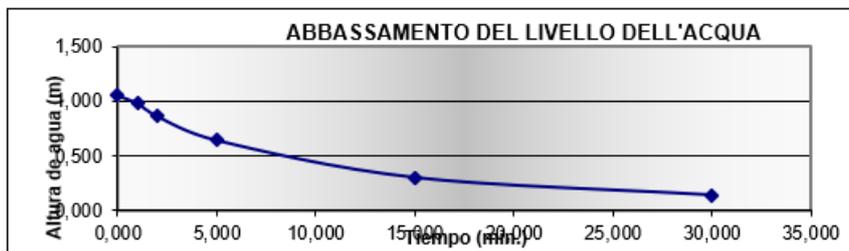
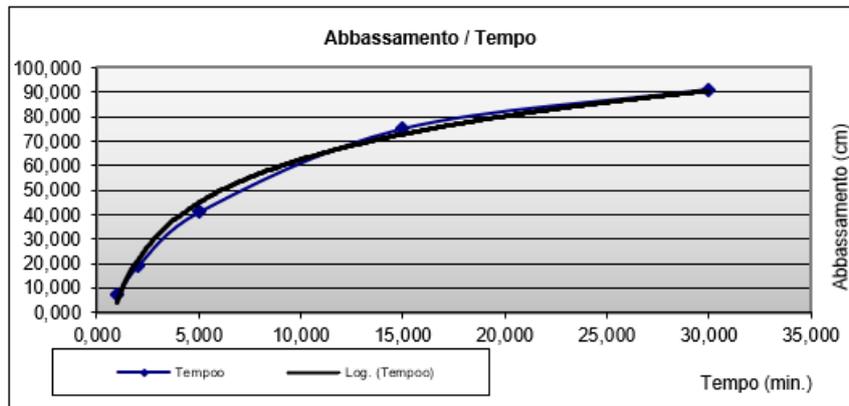
15.2 RISULTATI DEL PIEZOMETRO REALIZZATO NELL'AREA PEC 4

Durante la campagna d'indagine nell'area PEC 4, risulta che la falda è stata trovata alla quota – 2,59 m dal piano campagna.

15.3 RISULTATI DELLA PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC REALIZZATA NELL'AREA PEC 4

Si riporta il risultato della prova di permeabilità eseguita nell'area PEC 4.

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE				
PL - PEC 4				
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (mm): d				100
LIVELLO FREATICO (m): F				2,70
PIANO CAMPAGNA (m): I				0,00
TRATTO INDAGATO				
Superiore (m): L	0,90	Lunghezza interessata (m): h		0,15
Inferiore (m): P	1,05			
DATI				
Tempo (min.): t	30,0	Tempo (s):	1800	
Profondità iniziale (m.): Hi				1,05
Profondità finale (m.): Hf				0,14
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (m):				0,1
Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,000	0,000	0,000	0,000	1,050
1,000	1,000	7,200	7,200	0,978
2,000	1,000	19,000	11,800	0,860
5,000	3,000	41,000	22,000	0,640
15,000	10,000	75,000	34,000	0,300
30,000	15,000	91,000	16,000	0,140



RISULTATI

PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	1,0248E-05
-----------------------	-----------	------------

Jiménez Salas (1981).

per $h/d > 4$:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot \text{Ln} \left(\frac{2h}{d} \right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \text{Ln} \frac{Hi}{Hf}$$

15.4 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO DELL'AREA PEC 4

Sulla base dei risultati delle indagini condotte in sito è stata dedotta la seguente stratigrafia Dell'area PEC 4:

Strato	Profondità[m]	Litologia
1	0,0 – 0,3	Terreno di coltivo o di riporto
2	0,3 – 2,0	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli
3	2,0 – 4,0	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.
4	>4,0	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante

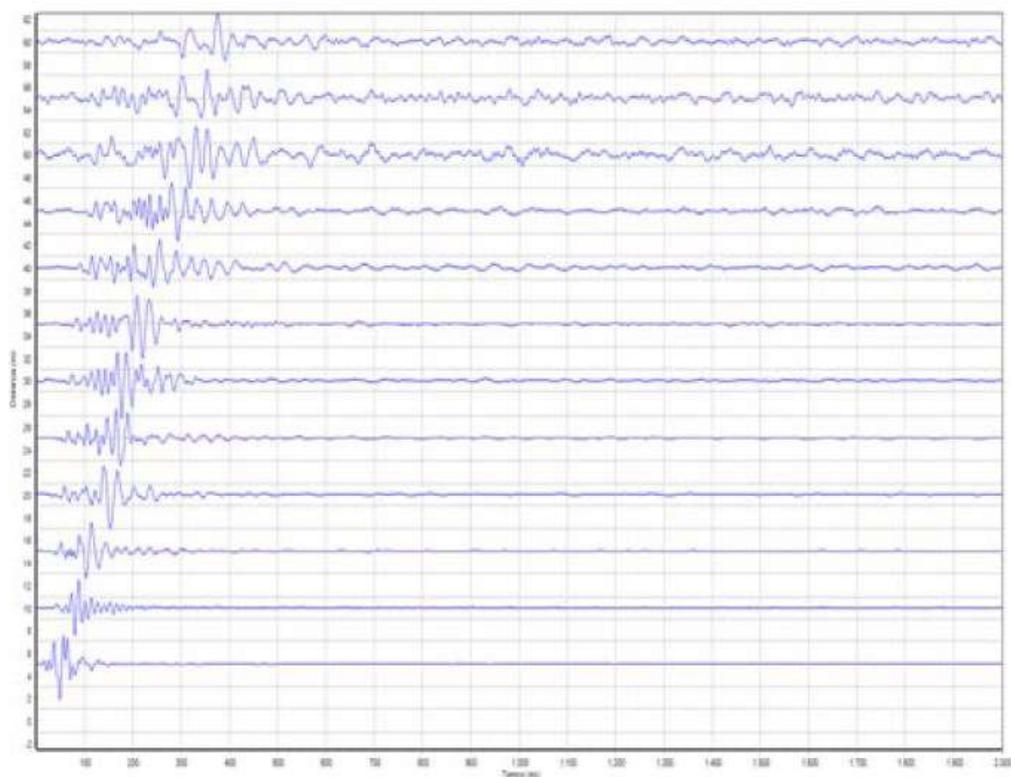
Tabella 3: Stratigrafia area d'interesse.

Falda presente a – 2,59 m dal p.c. attuale

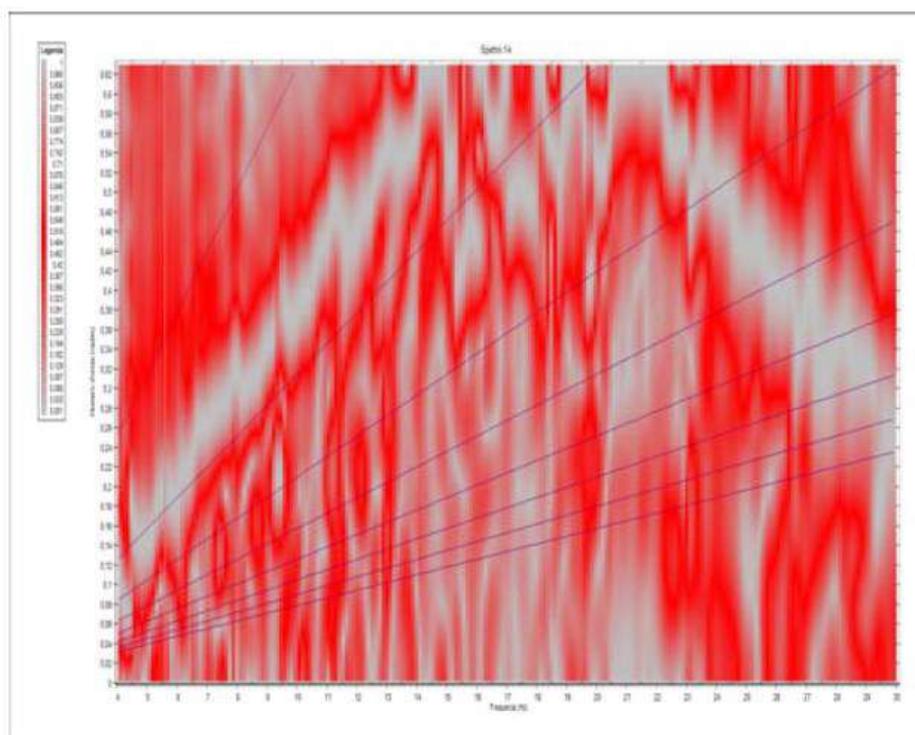
15.5 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE NELL'AREA PEC 4

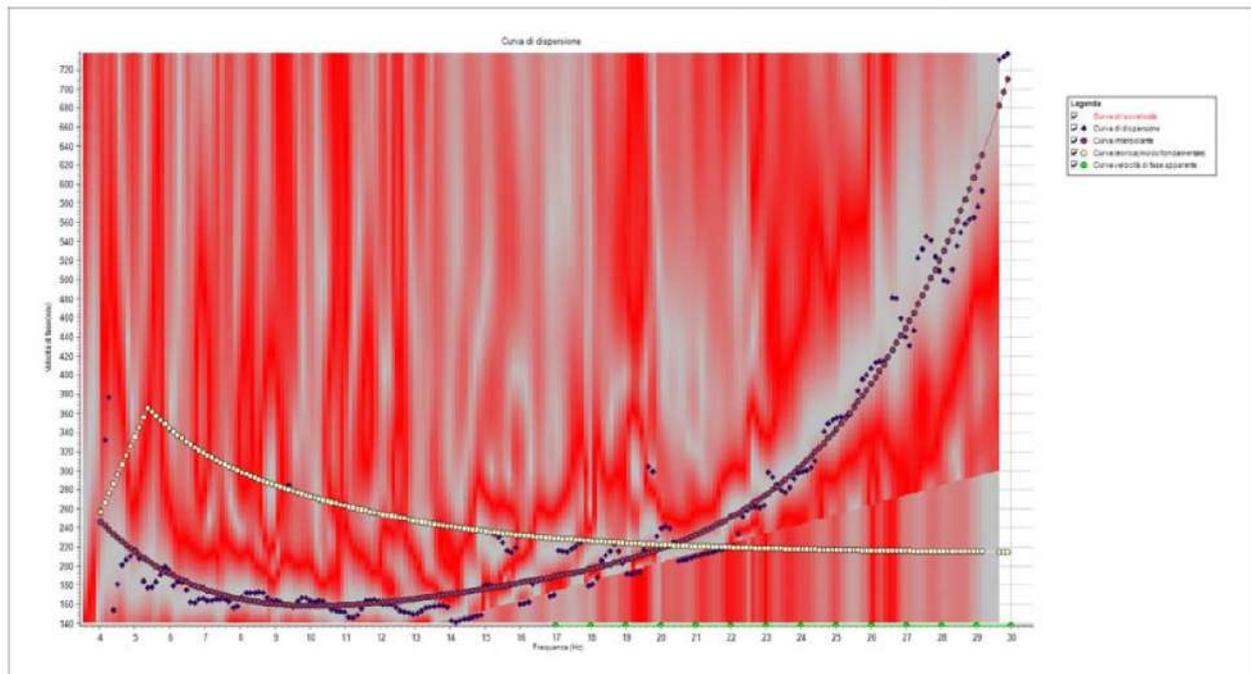
15.5.1 Risultati della prova MASW

Al fine di fornire i valori delle V_s , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica, di lunghezza 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 (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione:



L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consenta di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.





Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:



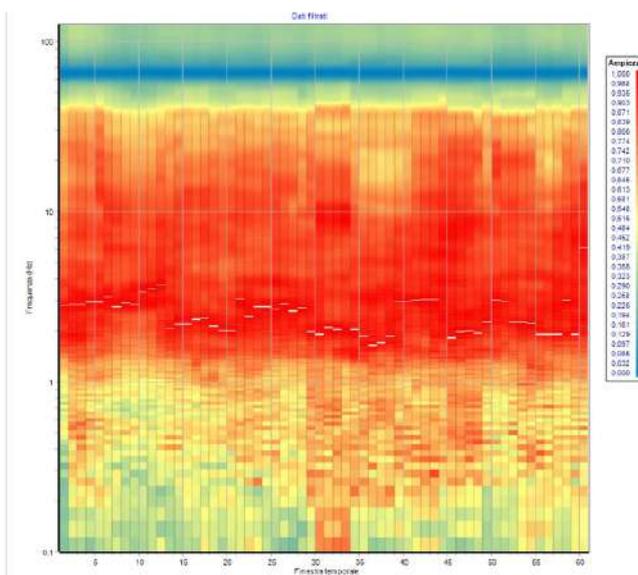
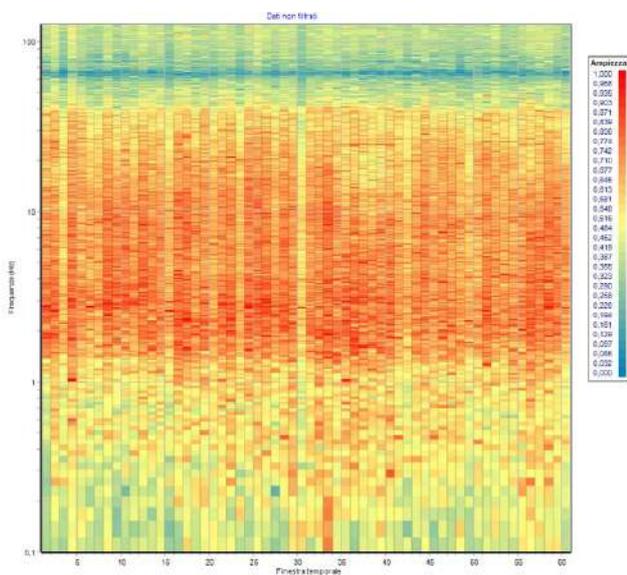
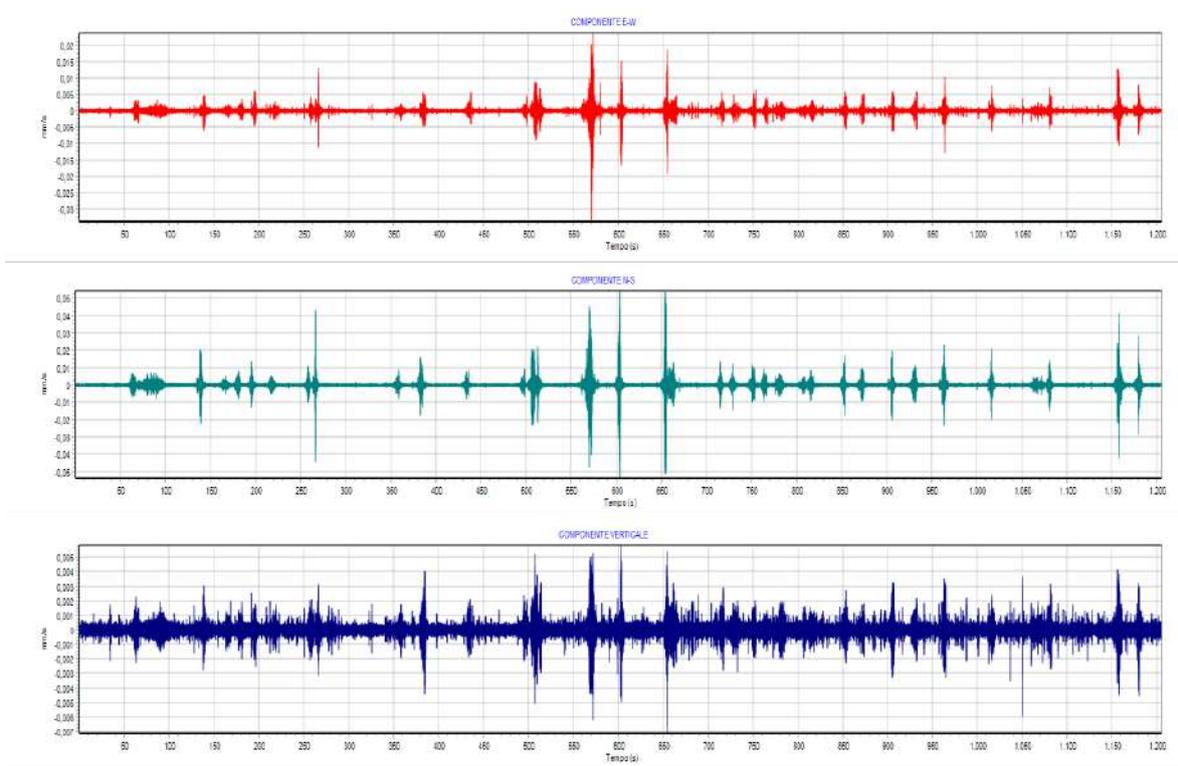
15.5.2 Risultati della prova HVSR

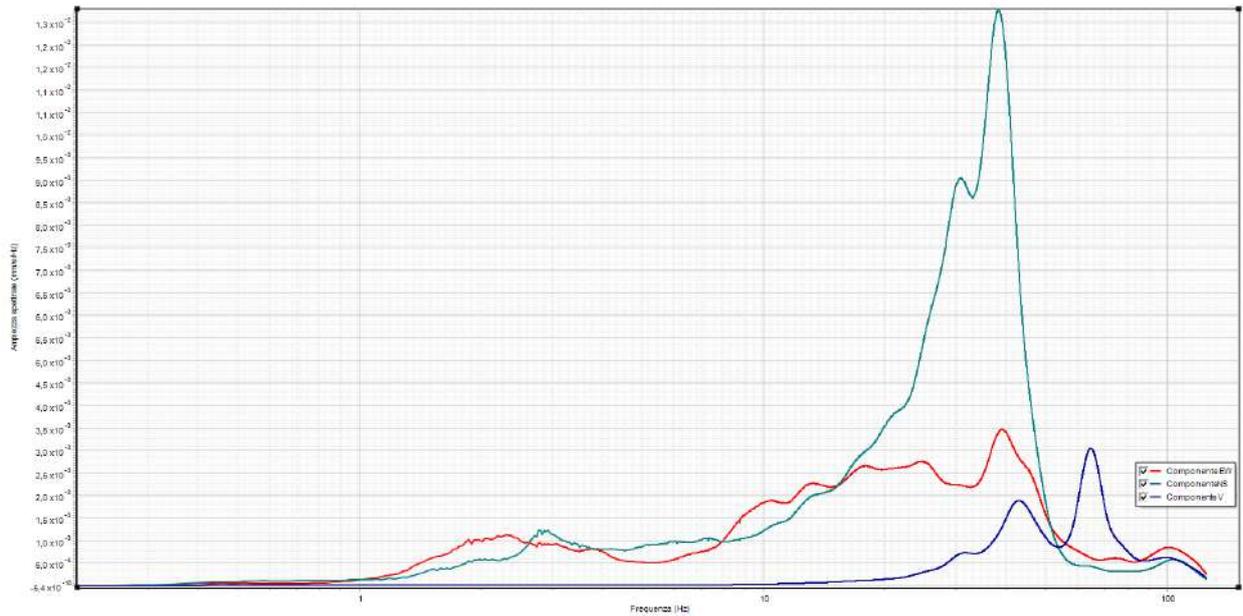
L'indagine HVSR è una tecnica di indagine sismica passiva, non invasiva, di rapida esecuzione utilizzata per stimare le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. La restituzione dei dati permette di elaborare una ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, di verificare la mono-dimensionalità degli strati e di calcolare il parametro Vs,30 per valorizzare la categoria di sottosuolo.

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

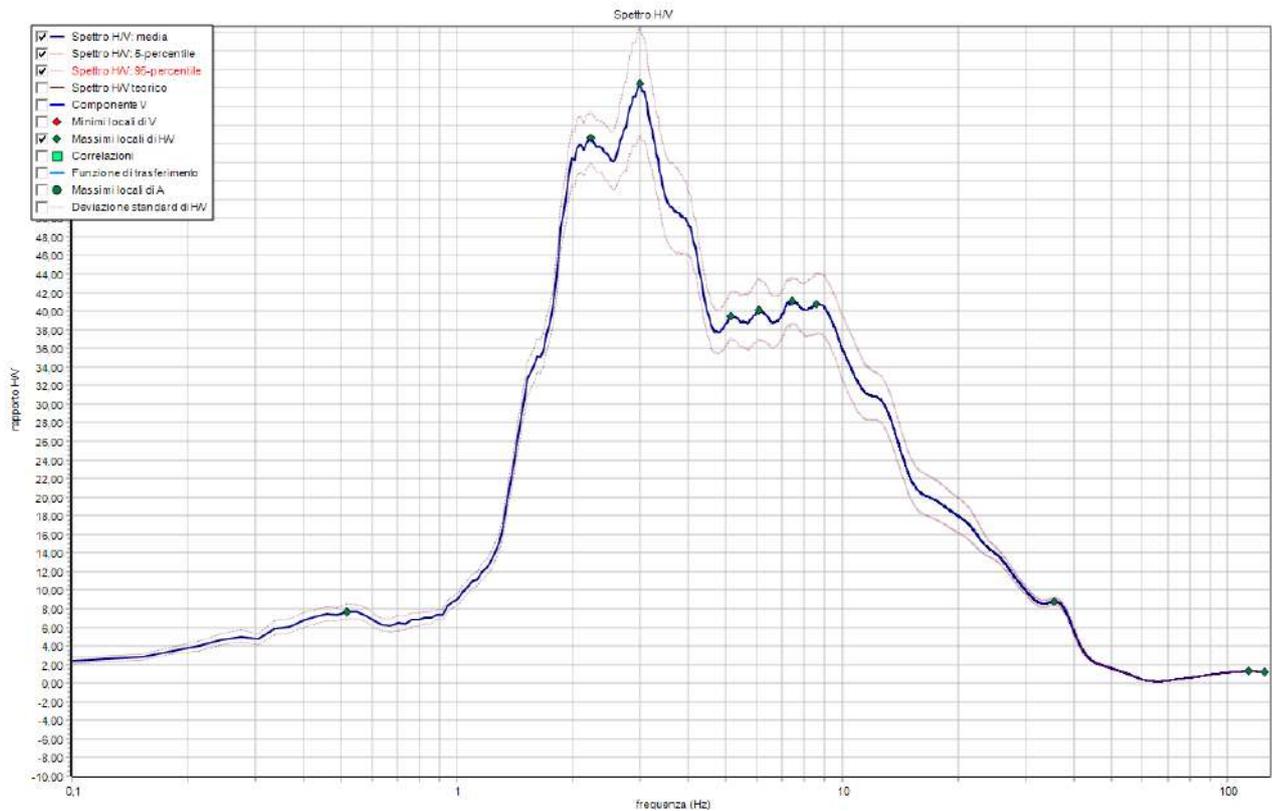




Criteri SESAME (2005) per una curva HVV attendibile S1: $f_p > 10/Lw$ - S2: $Lw \times Nw \times f_p > 200$ - S3: $sa < 2$ per $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA: Lw = lunghezza della finestra (s) - Nw = n. finestre - fp(Hz) = frequenza del picco stratigrafico - sa = deviazione standard

N.	fz(Hz)	HV	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	125,0	1,25	0,01	0,09	0,05	0,04	Si	Si	Si
2	113,74	1,28	0,01	0,1	0,06	0,05	Si	Si	Si
3	35,55	8,8	2,18	0,46	0,27	0,23	Si	Si	Si
4	5,13	39,52	304,56	6,14	3,58	3,03	Si	Si	Si
5	2,99	64,48	1390,04	12,59	7,33	6,21	Si	Si	Si



15.5.3 *Categoria di sottosuolo e categoria topografica*

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 (fig. 11) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800$ m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valore delle $V_{s,eq}$ corrispondenti alle $V_{s,30}$ pari a **352,5 m/s** riferito all'attuale piano campagna ed esso risulta pertanto classificabile in **categoria C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
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.
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.
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.

La categoria topografica è **T1**

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

15.6 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o di riporto	0,0 – 0,3	/	/	/	/
2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli	0,3 – 2,0	18	20-25	26-30	10-20
3	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.	2,0 – 4,0	19	0	37-40	35-40
4	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante	>4,0	19	0	39-45	38-45

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda si trova a profondità 2,59m dal p.c.

15.7 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o di riporto	0,0 – 0,3	/	/	/	/
2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli	0,3 – 2,0	18	20	26	10
3	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.	2,0 – 4,0	19	0	37	35
4	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante	>4,0	19	0	39	38

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda si trova a profondità 2,59 m

16 AREA PEC 5

16.1 RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE DPSH REALIZZATE NELL'AREA PEC 5

Si riportano di seguito i risultati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area PEC 5.

16.1.1 Da DPSH a NSPT

Prova Nr	Profondità [m]	N ₂₀	N _{SPT}	N'	σ'vo [kPa]	Cn	N ₁₍₆₀₎
P1-5	0,2	9	13,23	14,115	3,6	1,5	19,5
	0,4	11	16,17	15,585	7,2	1,4	23,4
	0,6	7	10,29	12,645	10,8	1,4	14,6
	0,8	7	10,29	12,645	14,4	1,4	14,4
	1	7	10,29	12,645	18	1,4	14,2
	1,2	8	11,76	13,38	21,6	1,4	15,9
	1,4	5	7,35	11,175	25,2	1,3	9,8
	1,6	4	5,88	10,44	27,8	1,3	7,7
	1,8	7	10,29	12,645	29,4	1,3	13,5
	2	11	16,17	15,585	31	1,3	21,0
	2,2	10	14,7	14,85	32,6	1,3	19,0
	2,4	9	13,23	14,115	34,2	1,3	16,9
	2,6	8	11,76	13,38	35,8	1,3	15,0
	2,8	9	13,23	14,115	37,4	1,3	16,7
	3	10	14,7	14,85	39	1,3	18,5
	3,2	10	14,7	14,85	40,6	1,2	18,3
	3,4	12	17,64	16,32	42,2	1,2	21,8
	3,6	13	19,11	17,055	43,8	1,2	23,5
	3,8	10	14,7	14,85	45,4	1,2	18,0
	4	10	14,7	14,85	47	1,2	17,9
	4,2	16	23,52	19,26	48,6	1,2	28,4
	4,4	15	22,05	18,525	50,2	1,2	26,4
	4,6	18	26,46	20,73	51,8	1,2	31,5
	4,8	19	27,93	21,465	53,4	1,2	33,1
	5	17	24,99	19,995	55	1,2	29,4
	5,2	17	24,99	19,995	56,6	1,2	29,2
	5,4	17	24,99	19,995	58,2	1,2	29,0
	5,6	17	24,99	19,995	59,8	1,2	28,9
	5,8	12	17,64	16,32	61,4	1,1	20,2
	6	13	19,11	17,055	63	1,1	21,8
6,2	24	35,28	25,14	64,6	1,1	40,0	
6,4	22	32,34	23,67	66,2	1,1	36,4	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	6,6	18	26,46	20,73	67,8	1,1	29,6
	6,8	18	26,46	20,73	69,4	1,1	29,5
	7	12	17,64	16,32	71	1,1	19,5
	7,2	16	23,52	19,26	72,6	1,1	25,9
	7,4	15	22,05	18,525	74,2	1,1	24,1
	7,6	16	23,52	19,26	75,8	1,1	25,6
	7,8	19	27,93	21,465	77,4	1,1	30,2
	8	17	24,99	19,995	79	1,1	26,9
P2-5	0,2	6	8,82	11,91	3,6	1,5	13,0
	0,4	9	13,23	14,115	7,2	1,4	19,2
	0,6	6	8,82	11,91	10,8	1,4	12,6
	0,8	8	11,76	13,38	14,4	1,4	16,5
	1	19	27,93	21,465	18	1,4	38,4
	1,2	20	29,4	22,2	21,6	1,4	39,8
	1,4	12	17,64	16,32	25,2	1,3	23,5
	1,6	13	19,11	17,055	27,8	1,3	25,2
	1,8	14	20,58	17,79	29,4	1,3	26,9
	2	12	17,64	16,32	31	1,3	22,9
	2,2	9	13,23	14,115	32,6	1,3	17,1
	2,4	8	11,76	13,38	34,2	1,3	15,1
	2,6	9	13,23	14,115	35,8	1,3	16,8
	2,8	13	19,11	17,055	37,4	1,3	24,1
	3	12	17,64	16,32	39	1,3	22,1
	3,2	10	14,7	14,85	40,6	1,2	18,3
	3,4	13	19,11	17,055	42,2	1,2	23,7
	3,6	12	17,64	16,32	43,8	1,2	21,7
	3,8	13	19,11	17,055	45,4	1,2	23,4
	4	13	19,11	17,055	47	1,2	23,2
	4,2	13	19,11	17,055	48,6	1,2	23,1
	4,4	15	22,05	18,525	50,2	1,2	26,4
	4,6	12	17,64	16,32	51,8	1,2	21,0
	4,8	12	17,64	16,32	53,4	1,2	20,9
	5	13	19,11	17,055	55	1,2	22,5
	5,2	21	30,87	22,935	56,6	1,2	36,1
	5,4	21	30,87	22,935	58,2	1,2	35,9
	5,6	26	38,22	26,61	59,8	1,2	44,1
	5,8	22	32,34	23,67	61,4	1,1	37,1
	6	22	32,34	23,67	63	1,1	36,9
6,2	27	39,69	27,345	64,6	1,1	45,0	
6,4	21	30,87	22,935	66,2	1,1	34,8	
6,6	20	29,4	22,2	67,8	1,1	32,9	
6,8	100	147	81	69,4	1,1	163,7	
P3-5	0,2	8	11,76	13,38	3,6	1,5	17,3

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	0,4	2	2,94	8,97	7,2	1,4	4,3
	0,6	2	2,94	8,97	10,8	1,4	4,2
	0,8	2	2,94	8,97	14,4	1,4	4,1
	1	4	5,88	10,44	18	1,4	8,1
	1,2	13	19,11	17,055	21,6	1,4	25,9
	1,4	15	22,05	18,525	25,2	1,3	29,4
	1,6	16	23,52	19,26	27,8	1,3	31,0
	1,8	10	14,7	14,85	29,4	1,3	19,2
	2	10	14,7	14,85	31	1,3	19,1
	2,2	10	14,7	14,85	32,6	1,3	19,0
	2,4	13	19,11	17,055	34,2	1,3	24,5
	2,6	12	17,64	16,32	35,8	1,3	22,4
	2,8	12	17,64	16,32	37,4	1,3	22,3
	3	16	23,52	19,26	39	1,3	29,5
	3,2	15	22,05	18,525	40,6	1,2	27,5
	3,4	13	19,11	17,055	42,2	1,2	23,7
	3,6	18	26,46	20,73	43,8	1,2	32,6
	3,8	17	24,99	19,995	45,4	1,2	30,6
	4	21	30,87	22,935	47	1,2	37,5
	4,2	24	35,28	25,14	48,6	1,2	42,6
	4,4	100	147	81	50,2	1,2	176,3
P4-5	0,2	2	2,94	8,97	3,6	1,5	4,3
	0,4	2	2,94	8,97	7,2	1,4	4,3
	0,6	3	4,41	9,705	10,8	1,4	6,3
	0,8	7	10,29	12,645	14,4	1,4	14,4
	1	8	11,76	13,38	18	1,4	16,2
	1,2	3	4,41	9,705	21,6	1,4	6,0
	1,4	2	2,94	8,97	25,2	1,3	3,9
	1,6	2	2,94	8,97	27,8	1,3	3,9
	1,8	5	7,35	11,175	29,4	1,3	9,6
	2	9	13,23	14,115	31	1,3	17,2
	2,2	8	11,76	13,38	32,6	1,3	15,2
	2,4	8	11,76	13,38	34,2	1,3	15,1
	2,6	11	16,17	15,585	35,8	1,3	20,6
	2,8	10	14,7	14,85	37,4	1,3	18,6
	3	11	16,17	15,585	39	1,3	20,3
	3,2	10	14,7	14,85	40,6	1,2	18,3
	3,4	13	19,11	17,055	42,2	1,2	23,7
	3,6	12	17,64	16,32	43,8	1,2	21,7
	3,8	10	14,7	14,85	45,4	1,2	18,0
	4	11	16,17	15,585	47	1,2	19,6
4,2	8	11,76	13,38	48,6	1,2	14,2	
4,4	9	13,23	14,115	50,2	1,2	15,9	
4,6	11	16,17	15,585	51,8	1,2	19,3	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	4,8	11	16,17	15,585	53,4	1,2	19,1
	5	13	19,11	17,055	55	1,2	22,5
	5,2	12	17,64	16,32	56,6	1,2	20,6
	5,4	12	17,64	16,32	58,2	1,2	20,5
	5,6	12	17,64	16,32	59,8	1,2	20,4
	5,8	10	14,7	14,85	61,4	1,1	16,9
	6	10	14,7	14,85	63	1,1	16,8
	6,2	13	19,11	17,055	64,6	1,1	21,7
	6,4	12	17,64	16,32	66,2	1,1	19,9
	6,6	13	19,11	17,055	67,8	1,1	21,4
	6,8	15	22,05	18,525	69,4	1,1	24,6
	7	15	22,05	18,525	71	1,1	24,4
	7,2	9	13,23	14,115	72,6	1,1	14,6
	7,4	9	13,23	14,115	74,2	1,1	14,5
	7,6	9	13,23	14,115	75,8	1,1	14,4
	7,8	9	13,23	14,115	77,4	1,1	14,3
	8	13	19,11	17,055	79	1,1	20,5
P5-5	0,2	4	5,88	10,44	3,6	1,5	8,7
	0,4	4	5,88	10,44	7,2	1,4	8,5
	0,6	4	5,88	10,44	10,8	1,4	8,4
	0,8	7	10,29	12,645	14,4	1,4	14,4
	1	7	10,29	12,645	18	1,4	14,2
	1,2	7	10,29	12,645	21,6	1,4	13,9
	1,4	9	13,23	14,115	25,2	1,3	17,6
	1,6	4	5,88	10,44	27,8	1,3	7,7
	1,8	6	8,82	11,91	29,4	1,3	11,5
	2	9	13,23	14,115	31	1,3	17,2
	2,2	8	11,76	13,38	32,6	1,3	15,2
	2,4	10	14,7	14,85	34,2	1,3	18,8
	2,6	9	13,23	14,115	35,8	1,3	16,8
	2,8	9	13,23	14,115	37,4	1,3	16,7
	3	12	17,64	16,32	39	1,3	22,1
	3,2	13	19,11	17,055	40,6	1,2	23,8
	3,4	12	17,64	16,32	42,2	1,2	21,8
	3,6	12	17,64	16,32	43,8	1,2	21,7
	3,8	13	19,11	17,055	45,4	1,2	23,4
	4	13	19,11	17,055	47	1,2	23,2
	4,2	15	22,05	18,525	48,6	1,2	26,6
	4,4	19	27,93	21,465	50,2	1,2	33,5
4,6	13	19,11	17,055	51,8	1,2	22,8	
4,8	12	17,64	16,32	53,4	1,2	20,9	
5	10	14,7	14,85	55	1,2	17,3	
5,2	12	17,64	16,32	56,6	1,2	20,6	
5,4	13	19,11	17,055	58,2	1,2	22,2	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	5,6	15	22,05	18,525	59,8	1,2	25,5
	5,8	13	19,11	17,055	61,4	1,1	21,9
	6	16	23,52	19,26	63	1,1	26,8
	6,2	19	27,93	21,465	64,6	1,1	31,7
	6,4	26	38,22	26,61	66,2	1,1	43,1
	6,6	29	42,63	28,815	67,8	1,1	47,8
	6,8	100	147	81	69,4	1,1	163,7
P6-5	0,2	3	4,41	9,705	3,6	1,5	6,5
	0,4	2	2,94	8,97	7,2	1,4	4,3
	0,6	3	4,41	9,705	10,8	1,4	6,3
	0,8	3	4,41	9,705	14,4	1,4	6,2
	1,0	16	23,52	19,26	18	1,4	32,4
	1,2	9	13,23	14,115	21,6	1,4	17,9
	1,4	8	11,76	13,38	25,2	1,3	15,7
	1,6	7	10,29	12,645	27,8	1,3	13,6
	1,8	8	11,76	13,38	29,4	1,3	15,4
	2,0	11	16,17	15,585	31	1,3	21,0
	2,2	10	14,7	14,85	32,6	1,3	19,0
	2,4	13	19,11	17,055	34,2	1,3	24,5
	2,6	16	23,52	19,26	35,8	1,3	29,9
	2,8	18	26,46	20,73	37,4	1,3	33,4
	3,0	16	23,52	19,26	39	1,3	29,5
	3,2	13	19,11	17,055	40,6	1,2	23,8
	3,4	12	17,64	16,32	42,2	1,2	21,8
	3,6	10	14,7	14,85	43,8	1,2	18,1
	3,8	10	14,7	14,85	45,4	1,2	18,0
	4,0	10	14,7	14,85	47	1,2	17,9
	4,2	8	11,76	13,38	48,6	1,2	14,2
	4,4	9	13,23	14,115	50,2	1,2	15,9
	4,6	9	13,23	14,115	51,8	1,2	15,8
	4,8	9	13,23	14,115	53,4	1,2	15,7
	5,0	8	11,76	13,38	55	1,2	13,8
	5,2	9	13,23	14,115	56,6	1,2	15,5
	5,4	10	14,7	14,85	58,2	1,2	17,1
	5,6	10	14,7	14,85	59,8	1,2	17,0
	5,8	12	17,64	16,32	61,4	1,1	20,2
	6,0	13	19,11	17,055	63	1,1	21,8
	6,2	12	17,64	16,32	64,6	1,1	20,0
	6,4	12	17,64	16,32	66,2	1,1	19,9
6,6	12	17,64	16,32	67,8	1,1	19,8	
6,8	12	17,64	16,32	69,4	1,1	19,6	
7,0	16	23,52	19,26	71	1,1	26,0	
7,2	19	27,93	21,465	72,6	1,1	30,7	
7,4	26	38,22	26,61	74,2	1,1	41,8	

	7,6	25	36,75	25,875	75,8	1,1	40,0
	7,8	26	38,22	26,61	77,4	1,1	41,3
	8,0	22	32,34	23,67	79	1,1	34,8

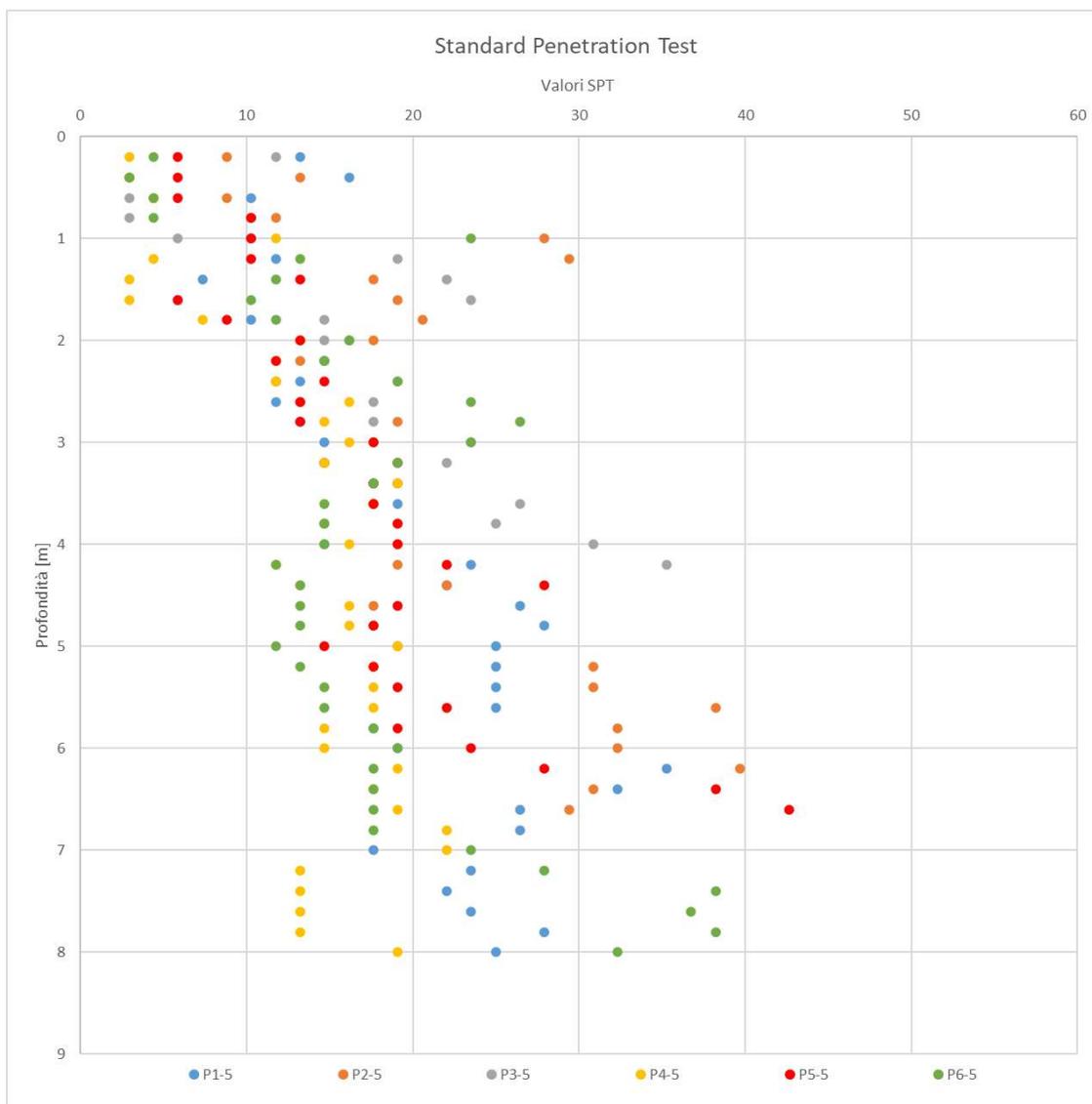


Figura 35 - Grafico di N_{SPT}

16.1.2 *Densità relativa (Dr)*

Prova Nr	Profondità [m]	N ₁₍₆₀₎	Dr [%]
P1-5	0,2	19,5	57%
	0,4	23,4	62%
	0,6	14,6	49%
	0,8	14,4	49%
	1	14,2	49%
	1,2	15,9	52%
	1,4	9,8	40%
	1,6	7,7	36%
	1,8	13,5	47%
	2	21,0	59%
	2,2	19,0	56%
	2,4	16,9	53%
	2,6	15,0	50%
	2,8	16,7	53%
	3	18,5	55%
	3,2	18,3	55%
	3,4	21,8	60%
	3,6	23,5	63%
	3,8	18,0	55%
	4	17,9	55%
	4,2	28,4	69%
	4,4	26,4	66%
	4,6	31,5	72%
	4,8	33,1	74%
	5	29,4	70%
	5,2	29,2	70%
	5,4	29,0	70%
	5,6	28,9	69%
	5,8	20,2	58%
	6	21,8	60%
	6,2	40,0	82%
	6,4	36,4	78%
6,6	29,6	70%	
6,8	29,5	70%	
7	19,5	57%	
7,2	25,9	66%	
7,4	24,1	63%	
7,6	25,6	65%	
7,8	30,2	71%	

	8	26,9	67%
P2-5	0,2	13,0	47%
	0,4	19,2	57%
	0,6	12,6	46%
	0,8	16,5	52%
	1	38,4	80%
	1,2	39,8	81%
	1,4	23,5	63%
	1,6	25,2	65%
	1,8	26,9	67%
	2	22,9	62%
	2,2	17,1	53%
	2,4	15,1	50%
	2,6	16,8	53%
	2,8	24,1	63%
	3	22,1	61%
	3,2	18,3	55%
	3,4	23,7	63%
	3,6	21,7	60%
	3,8	23,4	62%
	4	23,2	62%
	4,2	23,1	62%
	4,4	26,4	66%
	4,6	21,0	59%
	4,8	20,9	59%
	5	22,5	61%
	5,2	36,1	78%
	5,4	35,9	77%
	5,6	44,1	86%
5,8	37,1	79%	
6	36,9	78%	
6,2	45,0	87%	
6,4	34,8	76%	
6,6	32,9	74%	
6,8	163,7	100%	
P3-5	0,2	17,3	54%
	0,4	4,3	27%
	0,6	4,2	26%
	0,8	4,1	26%
	1	8,1	37%
	1,2	25,9	66%
	1,4	29,4	70%
	1,6	31,0	72%

	1,8	19,2	57%
	2	19,1	56%
	2,2	19,0	56%
	2,4	24,5	64%
	2,6	22,4	61%
	2,8	22,3	61%
	3	29,5	70%
	3,2	27,5	68%
	3,4	23,7	63%
	3,6	32,6	74%
	3,8	30,6	71%
	4	37,5	79%
	4,2	42,6	84%
	4,4	176,3	100%
P4-5	0,2	4,3	27%
	0,4	4,3	27%
	0,6	6,3	32%
	0,8	14,4	49%
	1	16,2	52%
	1,2	6,0	32%
	1,4	3,9	26%
	1,6	3,9	25%
	1,8	9,6	40%
	2	17,2	54%
	2,2	15,2	50%
	2,4	15,1	50%
	2,6	20,6	59%
	2,8	18,6	56%
	3	20,3	58%
	3,2	18,3	55%
	3,4	23,7	63%
	3,6	21,7	60%
	3,8	18,0	55%
	4	19,6	57%
	4,2	14,2	49%
	4,4	15,9	51%
	4,6	19,3	57%
	4,8	19,1	56%
5	22,5	61%	
5,2	20,6	59%	
5,4	20,5	58%	
5,6	20,4	58%	
5,8	16,9	53%	
6	16,8	53%	

	6,2	21,7	60%
	6,4	19,9	58%
	6,6	21,4	60%
	6,8	24,6	64%
	7	24,4	64%
	7,2	14,6	49%
	7,4	14,5	49%
	7,6	14,4	49%
	7,8	14,3	49%
	8	20,5	59%
P5-5	0,2	8,7	38%
	0,4	8,5	38%
	0,6	8,4	37%
	0,8	14,4	49%
	1	14,2	49%
	1,2	13,9	48%
	1,4	17,6	54%
	1,6	7,7	36%
	1,8	11,5	44%
	2	17,2	54%
	2,2	15,2	50%
	2,4	18,8	56%
	2,6	16,8	53%
	2,8	16,7	53%
	3	22,1	61%
	3,2	23,8	63%
	3,4	21,8	60%
	3,6	21,7	60%
	3,8	23,4	62%
	4	23,2	62%
	4,2	26,6	67%
	4,4	33,5	75%
	4,6	22,8	62%
	4,8	20,9	59%
	5	17,3	54%
	5,2	20,6	59%
5,4	22,2	61%	
5,6	25,5	65%	
5,8	21,9	60%	
6	26,8	67%	
6,2	31,7	73%	
6,4	43,1	85%	
6,6	47,8	89%	

	6,8	163,7	100%
P6-5	0,2	6,5	33%
	0,4	4,3	27%
	0,6	6,3	32%
	0,8	6,2	32%
	1,0	32,4	73%
	1,2	17,9	55%
	1,4	15,7	51%
	1,6	13,6	48%
	1,8	15,4	51%
	2,0	21,0	59%
	2,2	19,0	56%
	2,4	24,5	64%
	2,6	29,9	71%
	2,8	33,4	75%
	3,0	29,5	70%
	3,2	23,8	63%
	3,4	21,8	60%
	3,6	18,1	55%
	3,8	18,0	55%
	4,0	17,9	55%
	4,2	14,2	49%
	4,4	15,9	51%
	4,6	15,8	51%
	4,8	15,7	51%
	5,0	13,8	48%
	5,2	15,5	51%
	5,4	17,1	53%
	5,6	17,0	53%
	5,8	20,2	58%
	6,0	21,8	60%
	6,2	20,0	58%
	6,4	19,9	58%
6,6	19,8	57%	
6,8	19,6	57%	
7,0	26,0	66%	
7,2	30,7	72%	
7,4	41,8	83%	
7,6	40,0	82%	
7,8	41,3	83%	
8,0	34,8	76%	

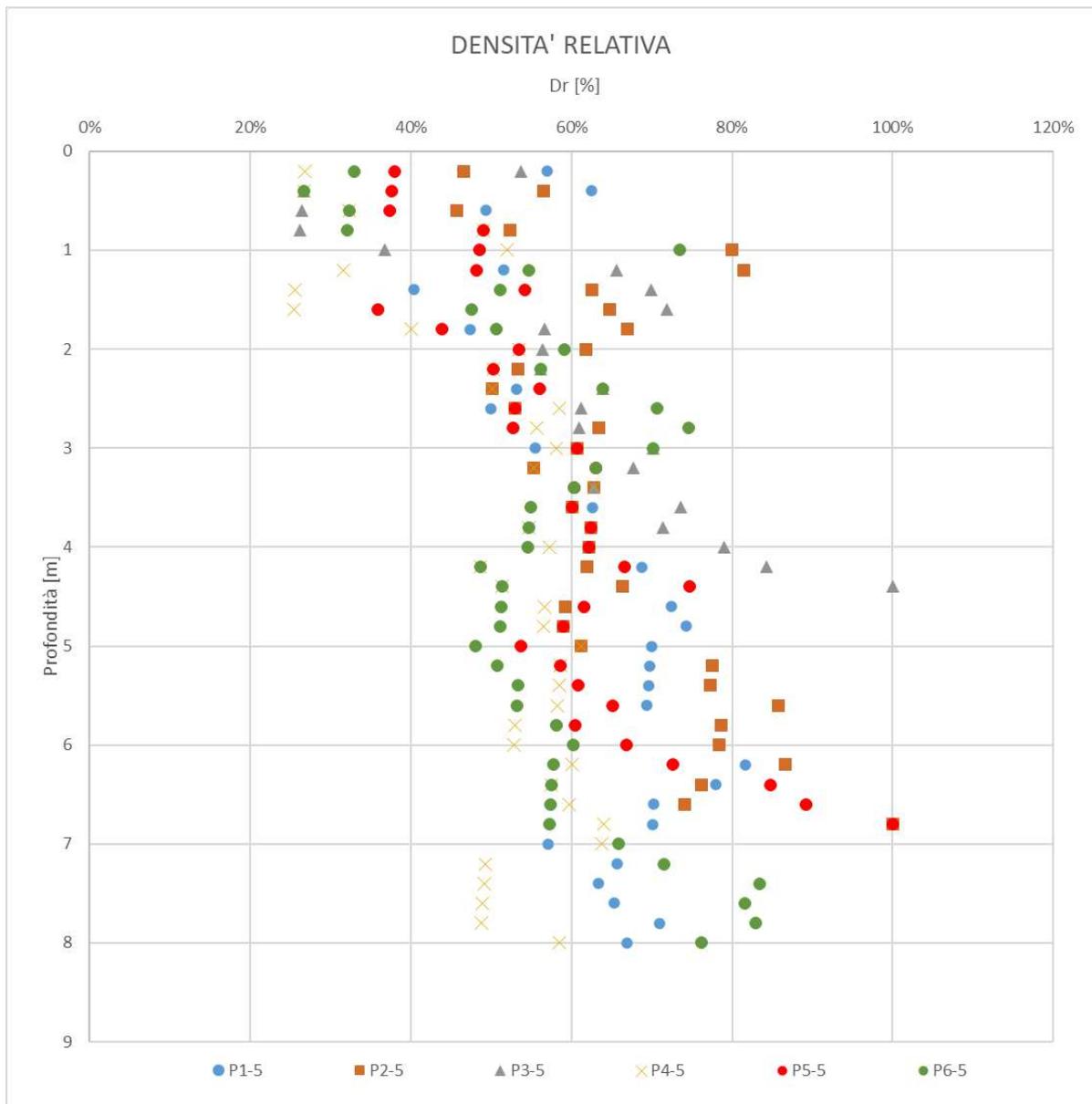


Figura 36 - Grafico di Dr

16.1.3 Modulo di deformazione (E)

Prova Nr	Profondità [m]	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Dr [%]	E' [kPa] (Jamiolkowski)
P1-5	0,2	9	19,5	57%	9432
	0,4	11	23,4	62%	11526
	0,6	7	14,6	49%	7338
	0,8	7	14,4	49%	7338
	1	7	14,2	49%	7338
	1,2	8	15,9	52%	8386
	1,4	5	9,8	40%	5243
	1,6	4	7,7	36%	4195
	1,8	7	13,5	47%	7338
	2	11	21,0	59%	11527
	2,2	10	19,0	56%	10480
	2,4	9	16,9	53%	9433
	2,6	8	15,0	50%	8386
	2,8	9	16,7	53%	9433
	3	10	18,5	55%	10481
	3,2	10	18,3	55%	10481
	3,4	12	21,8	60%	12575
	3,6	13	23,5	63%	13622
	3,8	10	18,0	55%	10481
	4	10	17,9	55%	10481
	4,2	16	28,4	69%	16761
	4,4	15	26,4	66%	15715
	4,6	18	31,5	72%	18854
	4,8	19	33,1	74%	19901
	5	17	29,4	70%	17808
	5,2	17	29,2	70%	17808
	5,4	17	29,0	70%	17809
	5,6	17	28,9	69%	17809
	5,8	12	20,2	58%	12576
	6	13	21,8	60%	13623
	6,2	24	40,0	82%	25131
	6,4	22	36,4	78%	23040
	6,6	18	29,6	70%	18856
6,8	18	29,5	70%	18856	
7	12	19,5	57%	12576	
7,2	16	25,9	66%	16763	
7,4	15	24,1	63%	15717	
7,6	16	25,6	65%	16763	
7,8	19	30,2	71%	19903	

	8	17	26,9	67%	17810
P2-5	0,2	6	13,0	47%	6290
	0,4	9	19,2	57%	9432
	0,6	6	12,6	46%	6290
	0,8	8	16,5	52%	8385
	1	19	38,4	80%	19897
	1,2	20	39,8	81%	20943
	1,4	12	23,5	63%	12574
	1,6	13	25,2	65%	13621
	1,8	14	26,9	67%	14667
	2	12	22,9	62%	12574
	2,2	9	17,1	53%	9433
	2,4	8	15,1	50%	8386
	2,6	9	16,8	53%	9433
	2,8	13	24,1	63%	13621
	3	12	22,1	61%	12574
	3,2	10	18,3	55%	10481
	3,4	13	23,7	63%	13621
	3,6	12	21,7	60%	12575
	3,8	13	23,4	62%	13622
	4	13	23,2	62%	13622
	4,2	13	23,1	62%	13622
	4,4	15	26,4	66%	15715
	4,6	12	21,0	59%	12575
	4,8	12	20,9	59%	12575
	5	13	22,5	61%	13622
	5,2	21	36,1	78%	21993
	5,4	21	35,9	77%	21993
	5,6	26	44,1	86%	27222
5,8	22	37,1	79%	23039	
6	22	36,9	78%	23040	
6,2	27	45,0	87%	28268	
6,4	21	34,8	76%	21994	
6,6	20	32,9	74%	20948	
6,8	100	163,7	100%	104650	
P3-5	0,2	8	17,3	54%	8385
	0,4	2	4,3	27%	2098
	0,6	2	4,2	26%	2098
	0,8	2	4,1	26%	2098
	1	4	8,1	37%	4195
	1,2	13	25,9	66%	13620
	1,4	15	29,4	70%	15713
	1,6	16	31,0	72%	16760

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	1,8	10	19,2	57%	10480
	2	10	19,1	56%	10480
	2,2	10	19,0	56%	10480
	2,4	13	24,5	64%	13621
	2,6	12	22,4	61%	12574
	2,8	12	22,3	61%	12574
	3	16	29,5	70%	16761
	3,2	15	27,5	68%	15714
	3,4	13	23,7	63%	13621
	3,6	18	32,6	74%	18854
	3,8	17	30,6	71%	17808
	4	21	37,5	79%	21992
	4,2	24	42,6	84%	25129
	4,4	100	176,3	100%	104650
P4-5	0,2	2	4,3	27%	2098
	0,4	2	4,3	27%	2098
	0,6	3	6,3	32%	3147
	0,8	7	14,4	49%	7338
	1	8	16,2	52%	8385
	1,2	3	6,0	32%	3147
	1,4	2	3,9	26%	2098
	1,6	2	3,9	25%	2098
	1,8	5	9,6	40%	5243
	2	9	17,2	54%	9433
	2,2	8	15,2	50%	8386
	2,4	8	15,1	50%	8386
	2,6	11	20,6	59%	11527
	2,8	10	18,6	56%	10481
	3	11	20,3	58%	11528
	3,2	10	18,3	55%	10481
	3,4	13	23,7	63%	13621
	3,6	12	21,7	60%	12575
	3,8	10	18,0	55%	10481
	4	11	19,6	57%	11528
	4,2	8	14,2	49%	8386
	4,4	9	15,9	51%	9434
	4,6	11	19,3	57%	11528
	4,8	11	19,1	56%	11528
	5	13	22,5	61%	13622
	5,2	12	20,6	59%	12575
5,4	12	20,5	58%	12575	
5,6	12	20,4	58%	12576	
5,8	10	16,9	53%	10481	
6	10	16,8	53%	10481	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	6,2	13	21,7	60%	13623
	6,4	12	19,9	58%	12576
	6,6	13	21,4	60%	13623
	6,8	15	24,6	64%	15716
	7	15	24,4	64%	15717
	7,2	9	14,6	49%	9434
	7,4	9	14,5	49%	9435
	7,6	9	14,4	49%	9435
	7,8	9	14,3	49%	9435
	8	13	20,5	59%	13623
P5-5	0,2	4	8,7	38%	4195
	0,4	4	8,5	38%	4195
	0,6	4	8,4	37%	4195
	0,8	7	14,4	49%	7338
	1	7	14,2	49%	7338
	1,2	7	13,9	48%	7338
	1,4	9	17,6	54%	9433
	1,6	4	7,7	36%	4195
	1,8	6	11,5	44%	6291
	2	9	17,2	54%	9433
	2,2	8	15,2	50%	8386
	2,4	10	18,8	56%	10480
	2,6	9	16,8	53%	9433
	2,8	9	16,7	53%	9433
	3	12	22,1	61%	12574
	3,2	13	23,8	63%	13621
	3,4	12	21,8	60%	12575
	3,6	12	21,7	60%	12575
	3,8	13	23,4	62%	13622
	4	13	23,2	62%	13622
	4,2	15	26,6	67%	15715
	4,4	19	33,5	75%	19900
	4,6	13	22,8	62%	13622
	4,8	12	20,9	59%	12575
	5	10	17,3	54%	10481
	5,2	12	20,6	59%	12575
	5,4	13	22,2	61%	13622
	5,6	15	25,5	65%	15716
5,8	13	21,9	60%	13622	
6	16	26,8	67%	16763	
6,2	19	31,7	73%	19902	
6,4	26	43,1	85%	27223	
6,6	29	47,8	89%	30359	

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

	6,8	100	163,7	100%	104650
P6-5	0,2	3	6,5	33%	3147
	0,4	2	4,3	27%	2098
	0,6	3	6,3	32%	3147
	0,8	3	6,2	32%	3147
	1,0	16	32,4	73%	16759
	1,2	9	17,9	55%	9433
	1,4	8	15,7	51%	8386
	1,6	7	13,6	48%	7338
	1,8	8	15,4	51%	8386
	2,0	11	21,0	59%	11527
	2,2	10	19,0	56%	10480
	2,4	13	24,5	64%	13621
	2,6	16	29,9	71%	16760
	2,8	18	33,4	75%	18853
	3,0	16	29,5	70%	16761
	3,2	13	23,8	63%	13621
	3,4	12	21,8	60%	12575
	3,6	10	18,1	55%	10481
	3,8	10	18,0	55%	10481
	4,0	10	17,9	55%	10481
	4,2	8	14,2	49%	8386
	4,4	9	15,9	51%	9434
	4,6	9	15,8	51%	9434
	4,8	9	15,7	51%	9434
	5,0	8	13,8	48%	8387
	5,2	9	15,5	51%	9434
	5,4	10	17,1	53%	10481
	5,6	10	17,0	53%	10481
	5,8	12	20,2	58%	12576
	6,0	13	21,8	60%	13623
	6,2	12	20,0	58%	12576
	6,4	12	19,9	58%	12576
6,6	12	19,8	57%	12576	
6,8	12	19,6	57%	12576	
7,0	16	26,0	66%	16763	
7,2	19	30,7	72%	19902	
7,4	26	41,8	83%	27224	
7,6	25	40,0	82%	26179	
7,8	26	41,3	83%	27224	
8,0	22	34,8	76%	23041	

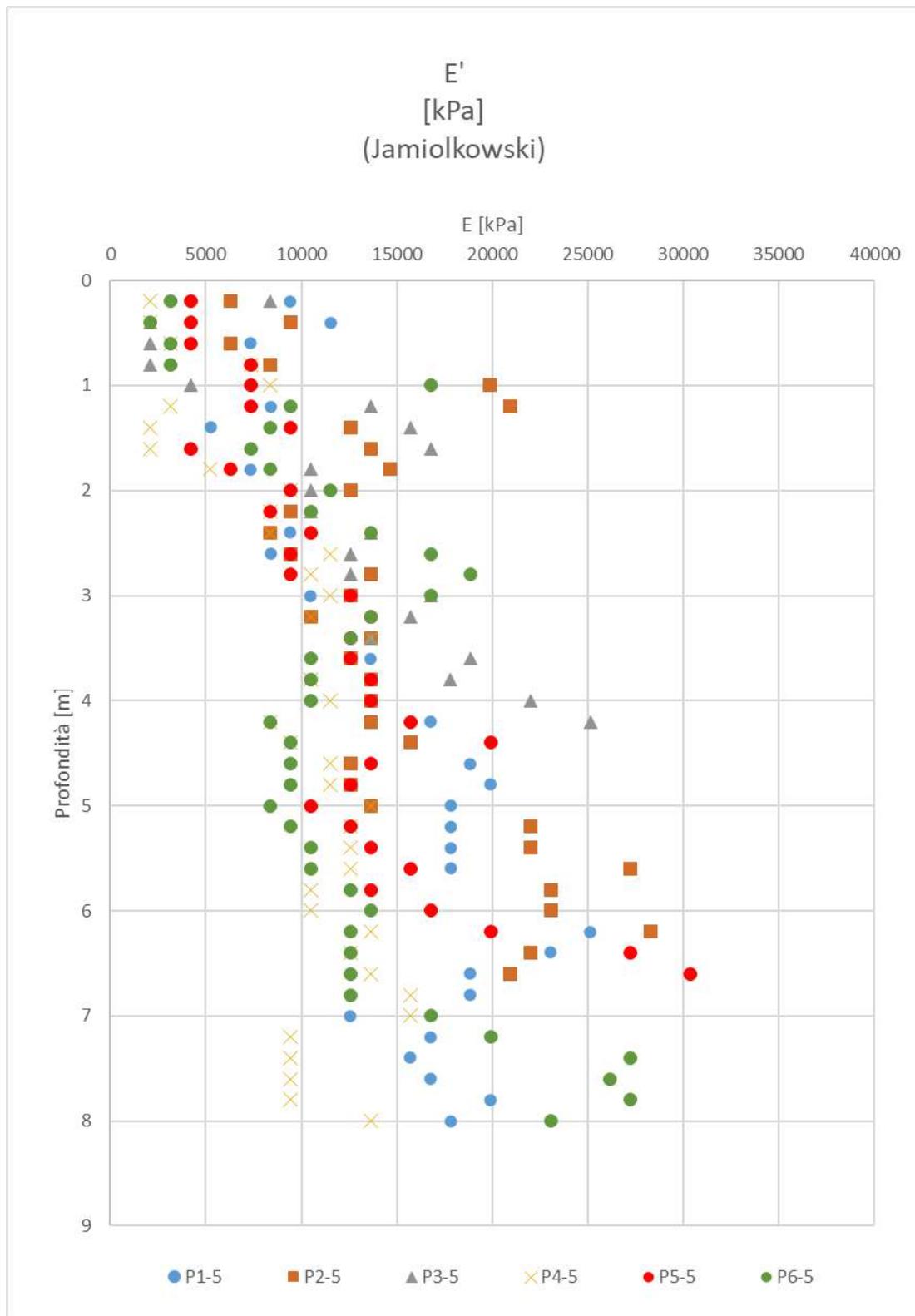


Figura 37 - Grafico di E Jamiolkowski

16.1.4 Angolo di attrito (φ)

Prova Nr	Profondità [m]	$N_{1(60)}$	ϕ' [°]
P1-5	0,2	19,5	34,75
	0,4	23,4	36,64
	0,6	14,6	32,11
	0,8	14,4	31,97
	1	14,2	31,83
	1,2	15,9	32,84
	1,4	9,8	28,99
	1,6	7,7	27,44
	1,8	13,5	31,41
	2	21,0	35,49
	2,2	19,0	34,47
	2,4	16,9	33,41
	2,6	15,0	32,30
	2,8	16,7	33,29
	3	18,5	34,21
	3,2	18,3	34,15
	3,4	21,8	35,90
	3,6	23,5	36,69
	3,8	18,0	33,96
	4	17,9	33,90
	4,2	28,4	38,83
	4,4	26,4	38,00
	4,6	31,5	40,11
	4,8	33,1	40,72
	5	29,4	39,25
	5,2	29,2	39,17
	5,4	29,0	39,10
	5,6	28,9	39,02
	5,8	20,2	35,12
	6	21,8	35,88
	6,2	40,0	43,28
	6,4	36,4	42,00
	6,6	29,6	39,35
6,8	29,5	39,28	
7	19,5	34,76	
7,2	25,9	37,75	
7,4	24,1	36,97	
7,6	25,6	37,62	
7,8	30,2	39,58	

	8	26,9	38,18
P2-5	0,2	13,0	31,12
	0,4	19,2	34,57
	0,6	12,6	30,84
	0,8	16,5	33,14
	1	38,4	42,73
	1,2	39,8	43,21
	1,4	23,5	36,68
	1,6	25,2	37,44
	1,8	26,9	38,20
	2	22,9	36,41
	2,2	17,1	33,47
	2,4	15,1	32,36
	2,6	16,8	33,35
	2,8	24,1	36,98
	3	22,1	36,04
	3,2	18,3	34,15
	3,4	23,7	36,76
	3,6	21,7	35,84
	3,8	23,4	36,62
	4	23,2	36,55
	4,2	23,1	36,48
	4,4	26,4	38,00
	4,6	21,0	35,50
	4,8	20,9	35,44
	5	22,5	36,20
	5,2	36,1	41,87
	5,4	35,9	41,78
	5,6	44,1	44,71
5,8	37,1	42,25	
6	36,9	42,16	
6,2	45,0	45,00	
6,4	34,8	41,38	
6,6	32,9	40,67	
6,8	163,7	72,22	
P3-5	0,2	17,3	33,62
	0,4	4,3	24,23
	0,6	4,2	24,15
	0,8	4,1	24,07
	1	8,1	27,72
	1,2	25,9	37,75
	1,4	29,4	39,24
	1,6	31,0	39,89

	1,8	19,2	34,61
	2	19,1	34,54
	2,2	19,0	34,47
	2,4	24,5	37,13
	2,6	22,4	36,19
	2,8	22,3	36,11
	3	29,5	39,30
	3,2	27,5	38,45
	3,4	23,7	36,76
	3,6	32,6	40,52
	3,8	30,6	39,72
	4	37,5	42,38
	4,2	42,6	44,18
	4,4	176,3	74,37
P4-5	0,2	4,3	24,31
	0,4	4,3	24,23
	0,6	6,3	26,20
	0,8	14,4	31,97
	1	16,2	32,99
	1,2	6,0	25,93
	1,4	3,9	23,85
	1,6	3,9	23,80
	1,8	9,6	28,87
	2	17,2	33,54
	2,2	15,2	32,42
	2,4	15,1	32,36
	2,6	20,6	35,28
	2,8	18,6	34,27
	3	20,3	35,15
	3,2	18,3	34,15
	3,4	23,7	36,76
	3,6	21,7	35,84
	3,8	18,0	33,96
	4	19,6	34,82
	4,2	14,2	31,85
	4,4	15,9	32,81
	4,6	19,3	34,63
	4,8	19,1	34,57
5	22,5	36,20	
5,2	20,6	35,31	
5,4	20,5	35,25	
5,6	20,4	35,18	
5,8	16,9	33,37	
6	16,8	33,31	

	6,2	21,7	35,82
	6,4	19,9	34,94
	6,6	21,4	35,69
	6,8	24,6	37,16
	7	24,4	37,10
	7,2	14,6	32,06
	7,4	14,5	32,01
	7,6	14,4	31,97
	7,8	14,3	31,92
	8	20,5	35,27
P5-5	0,2	8,7	28,16
	0,4	8,5	28,05
	0,6	8,4	27,94
	0,8	14,4	31,97
	1	14,2	31,83
	1,2	13,9	31,69
	1,4	17,6	33,77
	1,6	7,7	27,44
	1,8	11,5	30,19
	2	17,2	33,54
	2,2	15,2	32,42
	2,4	18,8	34,41
	2,6	16,8	33,35
	2,8	16,7	33,29
	3	22,1	36,04
	3,2	23,8	36,83
	3,4	21,8	35,90
	3,6	21,7	35,84
	3,8	23,4	36,62
	4	23,2	36,55
	4,2	26,6	38,07
	4,4	33,5	40,88
	4,6	22,8	36,34
	4,8	20,9	35,44
	5	17,3	33,60
	5,2	20,6	35,31
	5,4	22,2	36,07
	5,6	25,5	37,57
	5,8	21,9	35,94
	6	26,8	38,16
6,2	31,7	40,17	
6,4	43,1	44,35	
6,6	47,8	45,90	

	6,8	163,7	72,22
P6-5	0,2	6,5	26,40
	0,4	4,3	24,23
	0,6	6,3	26,20
	0,8	6,2	26,11
	1,0	32,4	40,44
	1,2	17,9	33,93
	1,4	15,7	32,70
	1,6	13,6	31,46
	1,8	15,4	32,54
	2,0	21,0	35,49
	2,2	19,0	34,47
	2,4	24,5	37,13
	2,6	29,9	39,46
	2,8	33,4	40,86
	3,0	29,5	39,30
	3,2	23,8	36,83
	3,4	21,8	35,90
	3,6	18,1	34,02
	3,8	18,0	33,96
	4,0	17,9	33,90
	4,2	14,2	31,85
	4,4	15,9	32,81
	4,6	15,8	32,76
	4,8	15,7	32,70
	5,0	13,8	31,63
	5,2	15,5	32,59
	5,4	17,1	33,48
	5,6	17,0	33,43
	5,8	20,2	35,12
	6,0	21,8	35,88
	6,2	20,0	35,00
	6,4	19,9	34,94
6,6	19,8	34,88	
6,8	19,6	34,82	
7,0	26,0	37,82	
7,2	30,7	39,79	
7,4	41,8	43,92	
7,6	40,0	43,28	
7,8	41,3	43,75	
8,0	34,8	41,37	

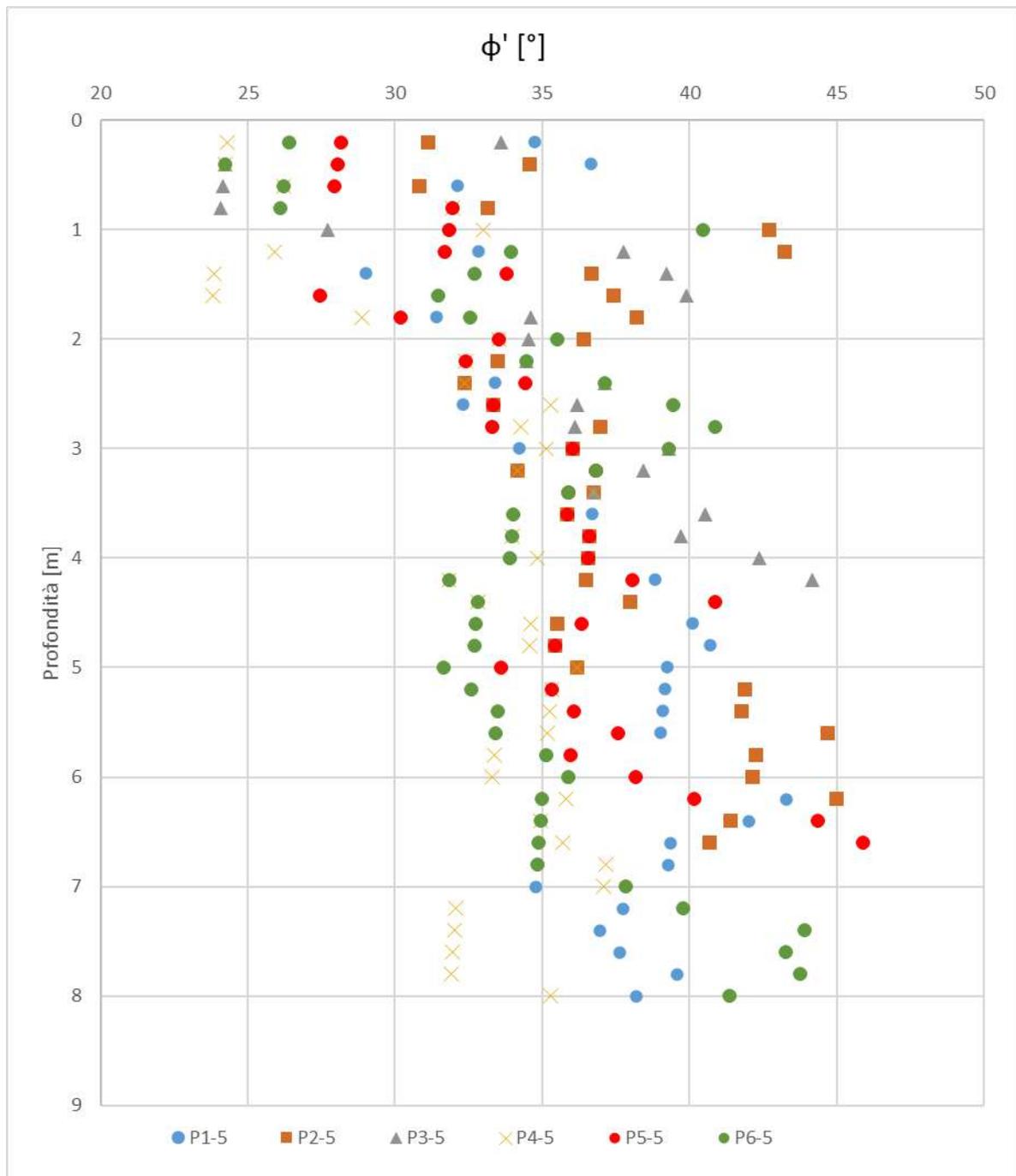


Figura 38 - Grafico di Angolo di attrito

16.2 RISULTATI DEL PIEZOMETRO REALIZZATO NELL'AREA PEC 5

Le prove di piezometro sono state eseguite nella parte Est ed Ovest dell'area PEC 5.

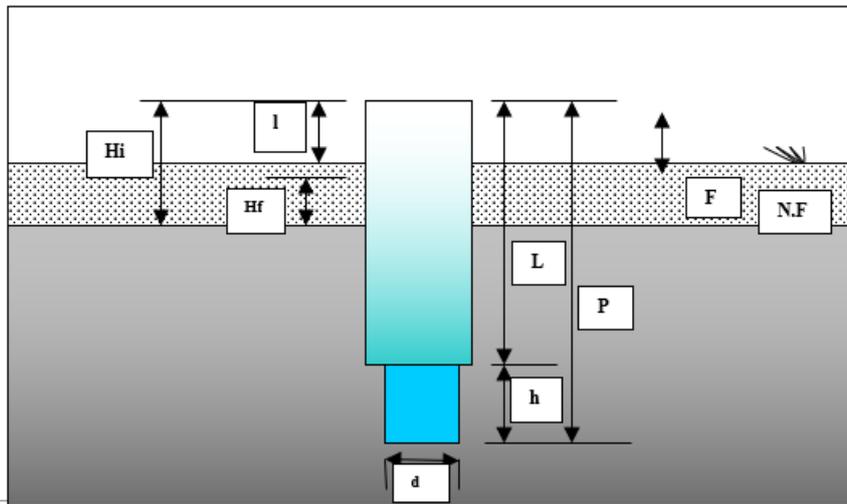
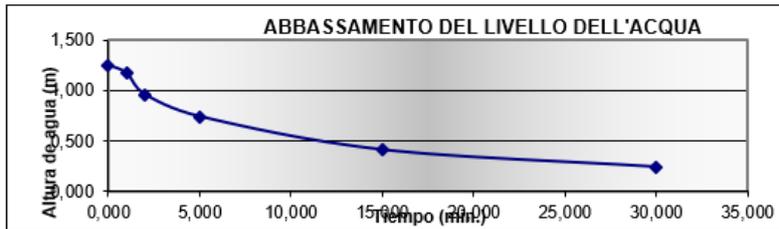
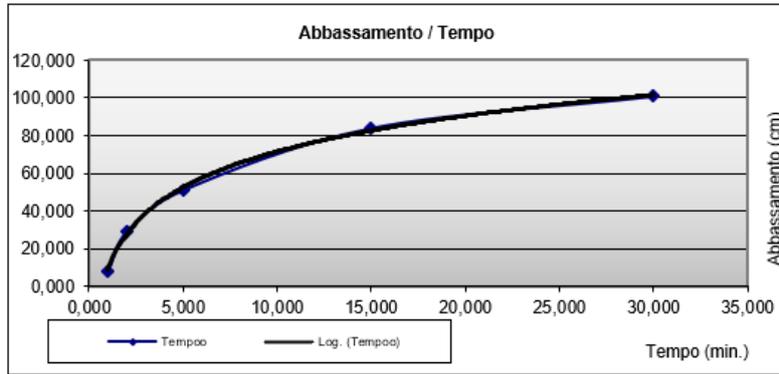
La prova nella parte Est dell'area PEC 5 ha rilevato che la falda si trova a profondità - 1,89m dal piano campagna e quella realizzata nella parte Ovest ha rilevato che la falda si trova a profondità - 2,62 m dal piano campagna.

16.3 RISULTATI DELLA PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC REALIZZATA NELL'AREA PEC 5

Si riportano i risultati delle prove di permeabilità eseguite nell'area PEC 5. Le prove sono state realizzate sia nella parte est che nella parte ovest dell'area PEC 5.

Risultati PEC 5 Est

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE				
PL - PEC 5 EST				
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (mm): d		100		
LIVELLO FREATICO (m): F		2,50		
PIANO CAMPAGNA (m): I		0,00		
TRATTO INDAGATO				
Superiore (m): L	0,95	Lunghezza interessata (m): h	0,30	
Inferiore (m): P	1,25			
DATI				
Tempo (min.): t	30,0	Tempo (s):	1800	
Profondità iniziale (m.): Hi		1,25		
Profondità finale (m.): Hf		0,24		
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (m):		0,1		
Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,000	0,000	0,000	0,000	1,250
1,000	1,000	8,100	8,100	1,169
2,000	1,000	29,000	20,900	0,960
5,000	3,000	51,000	22,000	0,740
15,000	10,000	84,000	33,000	0,410
30,000	15,000	101,000	17,000	0,240



RISULTATI

PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	6,8446E-06
-----------------------	-----------	------------

Jiménez Salas (1981).

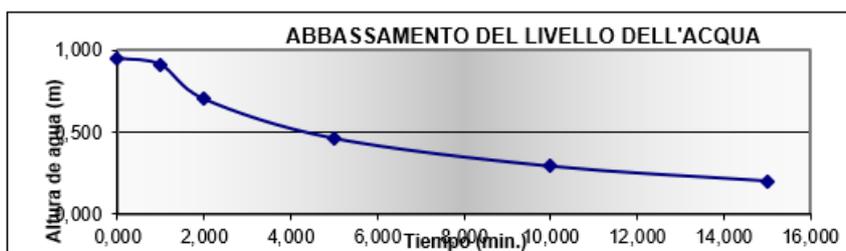
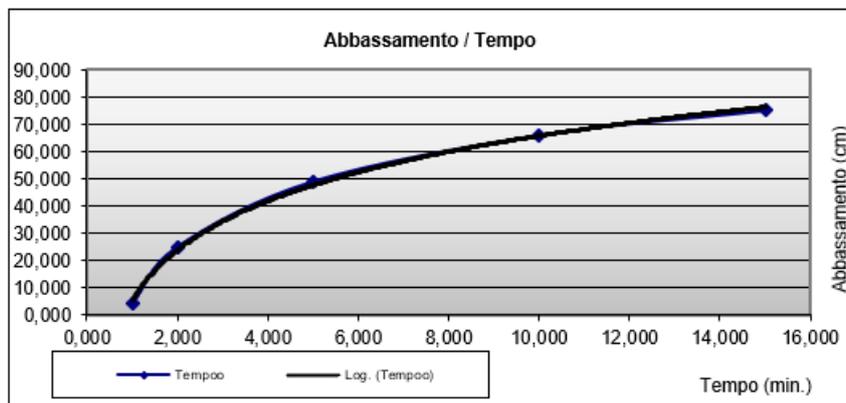
per $h/d > 4$:

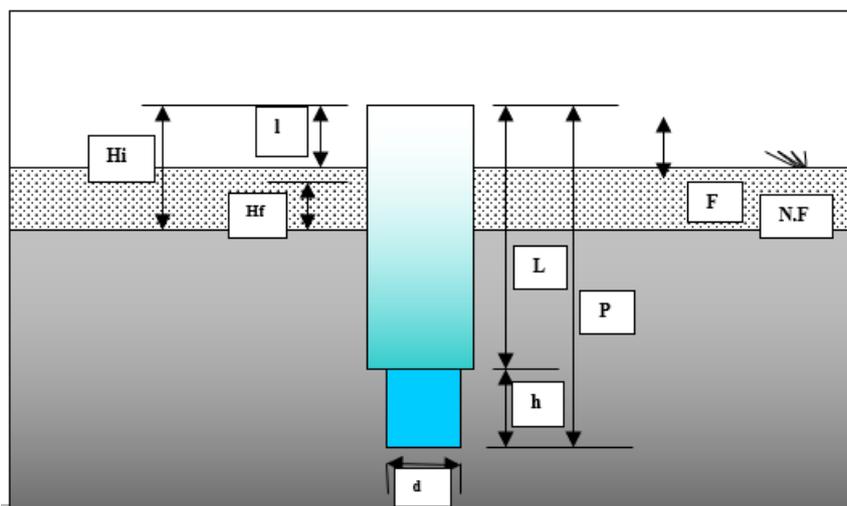
$$K = \frac{(d)^2 \cdot \text{Ln} \left(\frac{2h}{d} \right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \text{Ln} \frac{H_i}{H_f}$$

Risultati PEC 5 Ovest

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE

PL - PEC 5 OVEST				
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (mm): d		100		
LIVELLO FREATICO (m): F		2,50		
PIANO CAMPAGNA (m): I		0,00		
TRATTO INDAGATO				
Superiore (m): L	0,70	Lunghezza interessata (m): h	0,25	
Inferiore (m): P	0,95			
DATI				
Tempo (min.): t	15,0	Tempo (s):	900	
Profondità iniziale (m.): Hi		0,95		
Profondità finale (m.): Hf		0,20		
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (m):		0,1		
Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,000	0,000	0,000	0,000	0,950
1,000	1,000	4,000	4,000	0,910
2,000	1,000	25,000	21,000	0,700
5,000	3,000	49,000	24,000	0,460
10,000	5,000	66,000	17,000	0,290
15,000	5,000	75,000	9,000	0,200





PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	1,3932E-05
<p><i>Jiménez Salas (1981).</i></p> <p>per $h/d > 4$:</p> $K = \frac{(d)^2 \cdot \ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \ln \frac{H_i}{H_f}$		

16.4 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO DELL'AREA PEC 5

Sulla base dei risultati delle indagini condotte in sito è stata dedotta la seguente stratigrafia Dell'area PEC 5:

Strato	Profondità[m]	Litologia
1	0,0 – 0,15	Terreno di coltivo o di riporto
2	0,15 – 2,2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli
3	2,2 – 4,2	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.
4	>4,2	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante

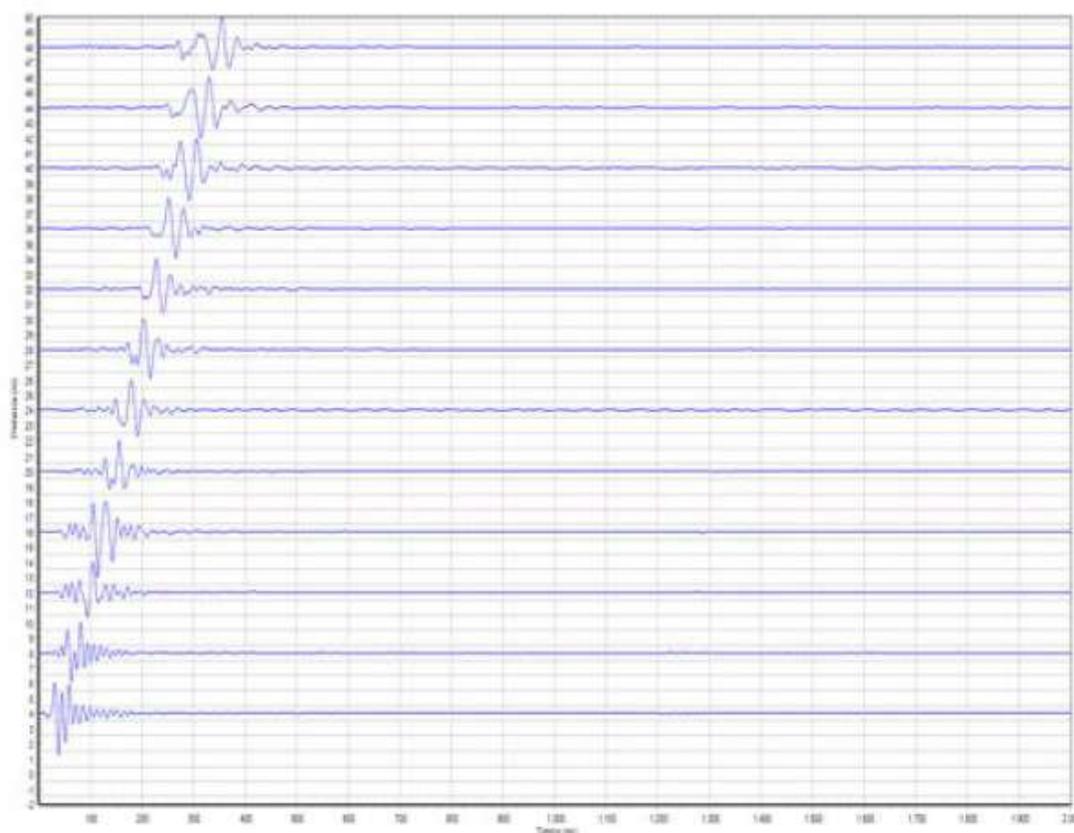
Tabella 4: Stratigrafia area d'interesse.

Falda presente tra – 1,89 m/2,62m dal p.c. attuale

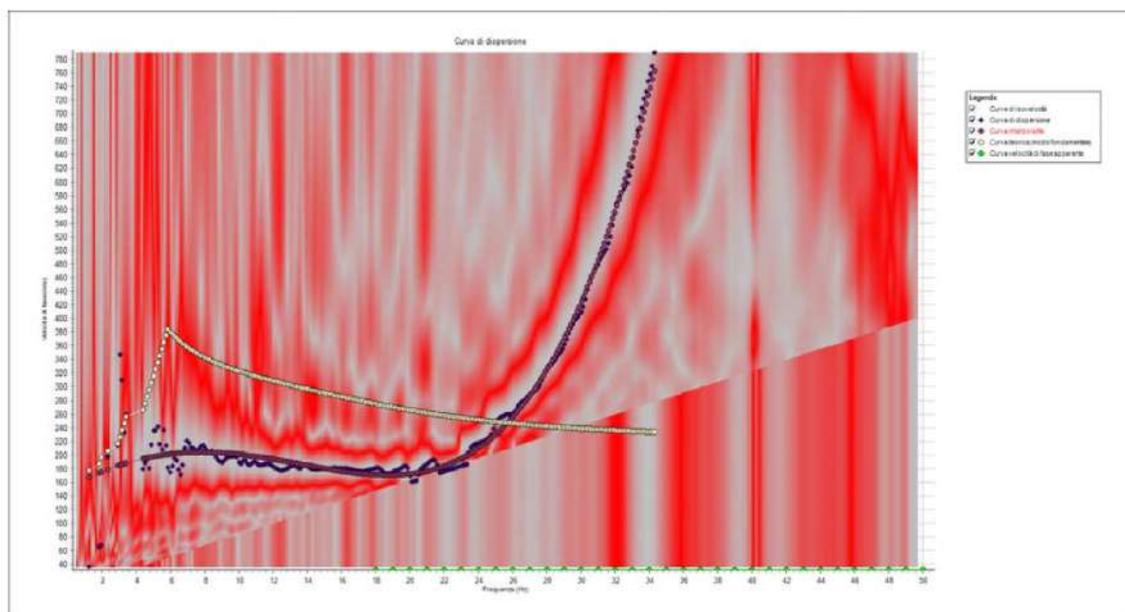
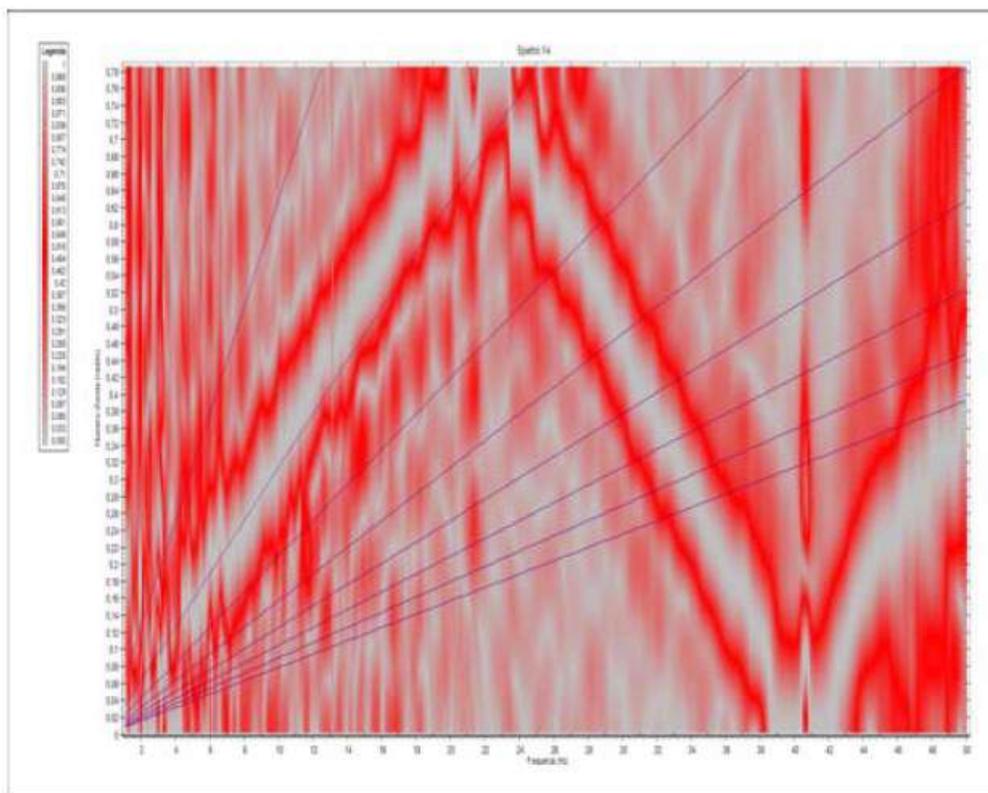
16.5 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE NELL'AREA PEC 5

16.5.1 Risultati della prova MASW

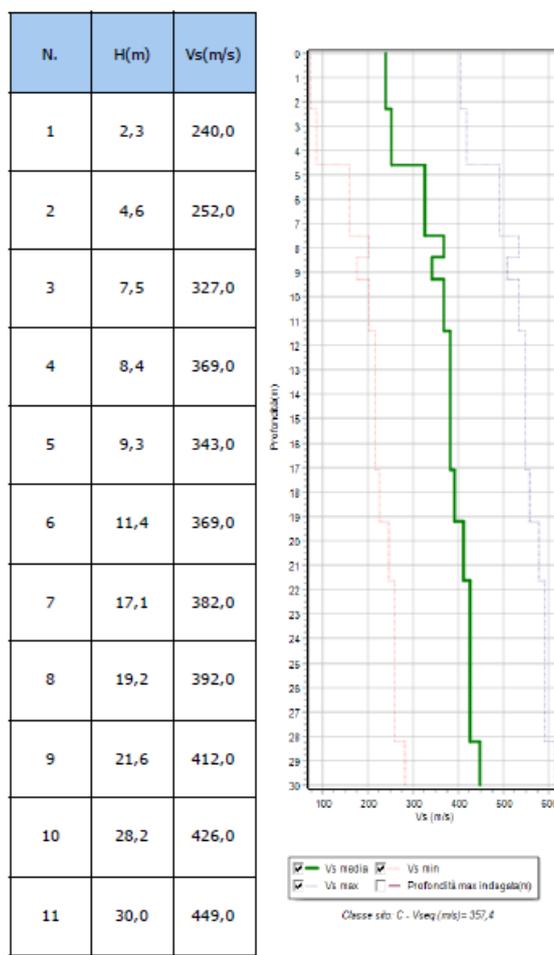
Al fine di fornire i valori delle V_s , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica, di lunghezza con distanza intergeofonica pari a 5.0 metri. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione:



L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consenta di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.



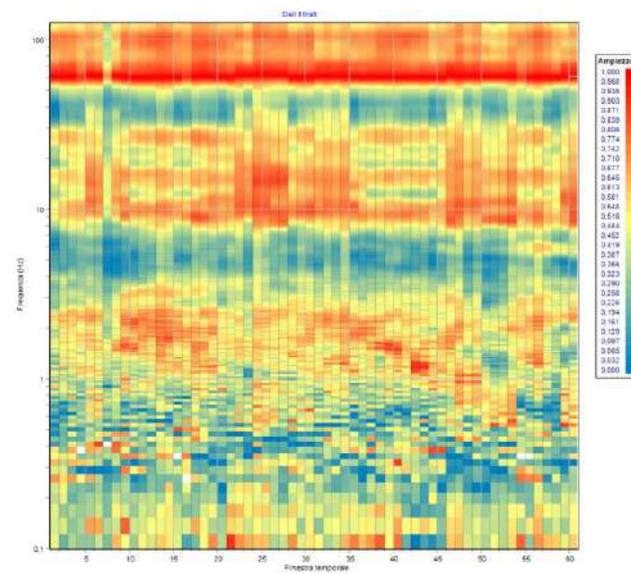
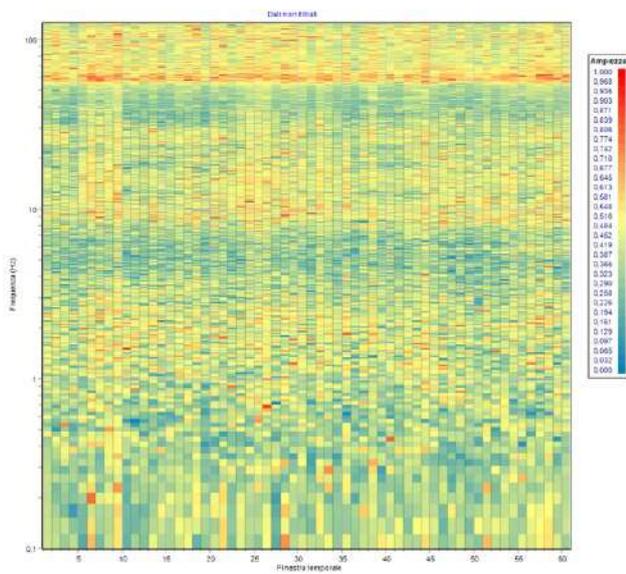
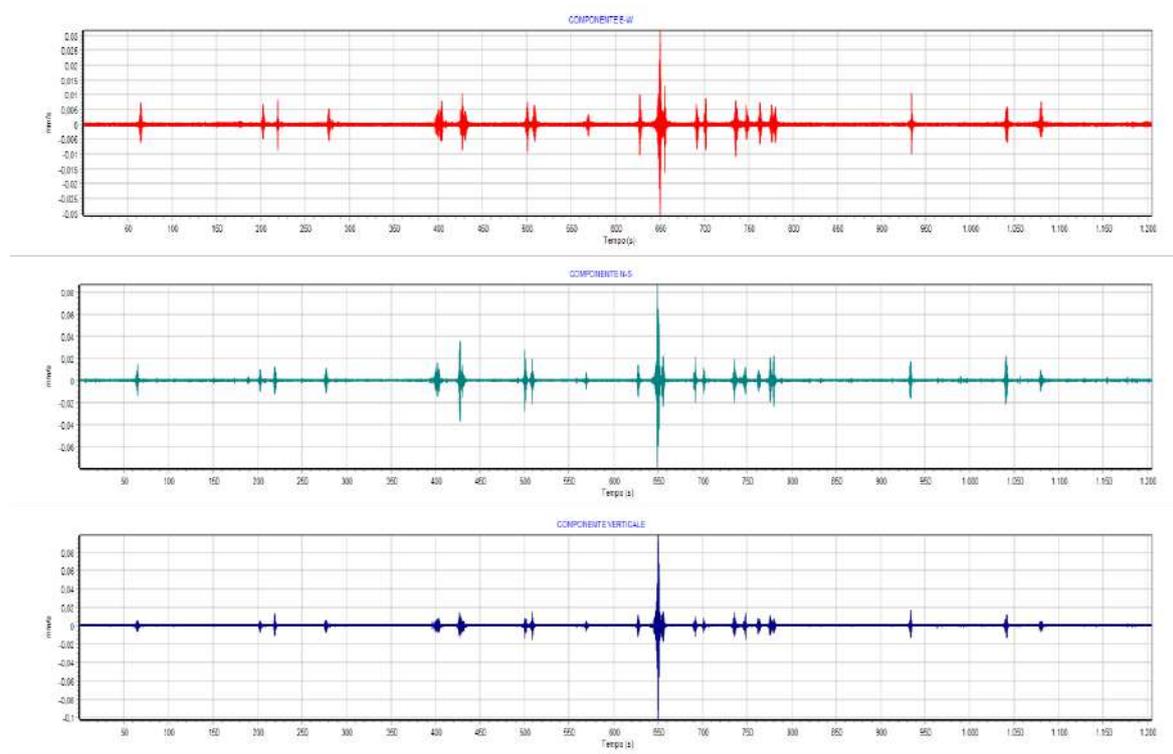
Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

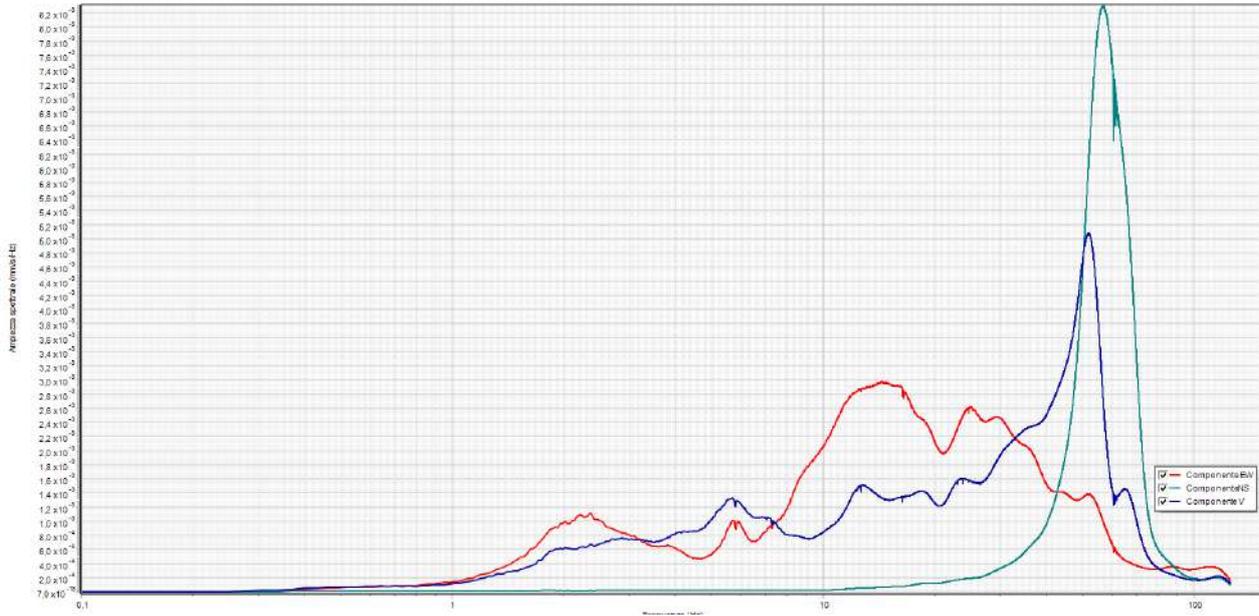


16.5.2 Risultati della prova HVSR

L'indagine HVSR è una tecnica di indagine sismica passiva, non invasiva, di rapida esecuzione utilizzata per stimare le frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio. La restituzione dei dati permette di elaborare una ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, di verificare la mono-dimensionalità degli strati e di calcolare il parametro Vs,30 per valorizzare la categoria di sottosuolo.

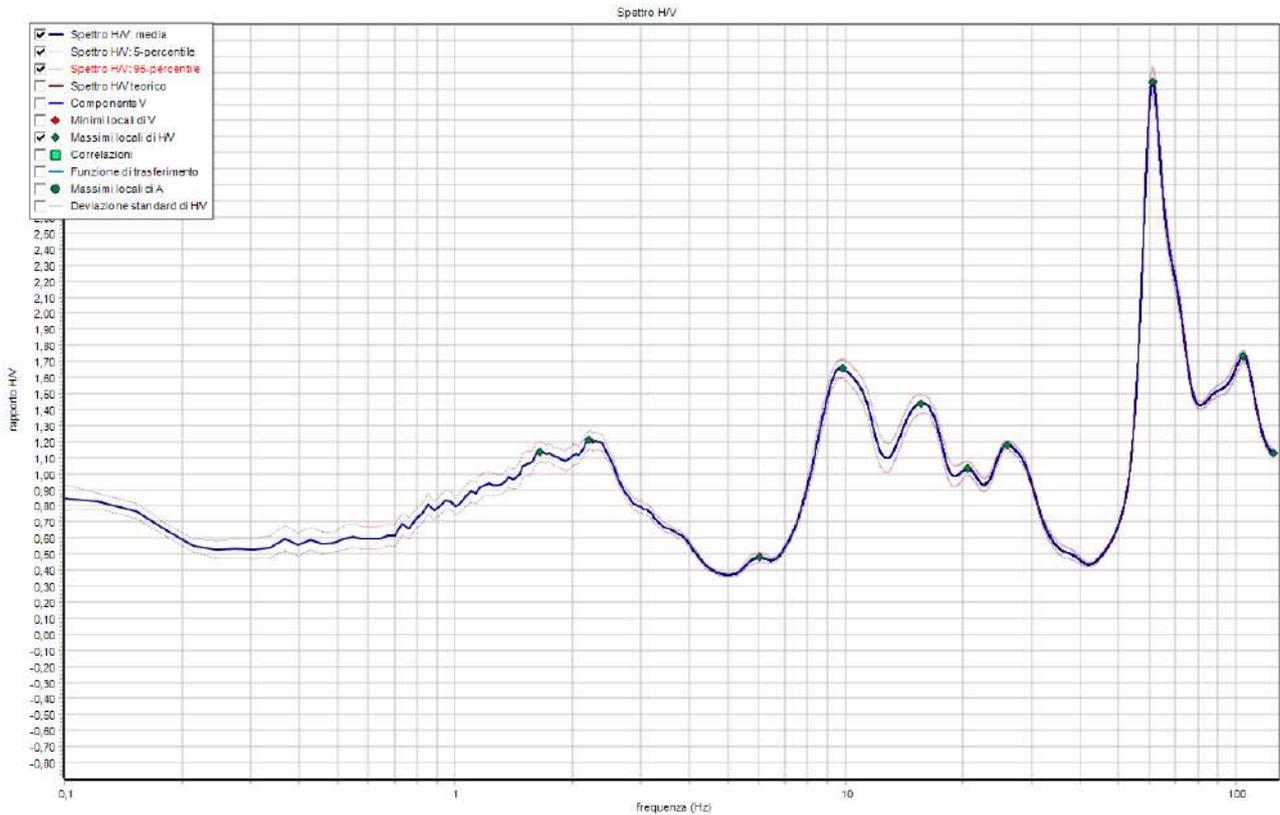




Criteri SESAME (2005) per una curva HV attendibile S1: $f_p > 10/L_w$ - S2: $L_w \times N_w \times f_p > 200$ - S3: $s_a < 2$ per $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGGENDA: L_w = lunghezza della finestra (s) - N_w = n. finestre - f_p (Hz) = frequenza del picco stratigrafico - s_a = deviazione standard

N.	fz(Hz)	H/V	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	125,0	1,13	0,01	0,09	0,05	0,04	Si	Si	Si
2	104,46	1,73	0,03	0,11	0,06	0,05	Si	Si	Si
3	61,28	3,44	0,19	0,22	0,13	0,11	Si	Si	Si
4	25,94	1,18	0,05	0,71	0,41	0,35	Si	Si	Si
5	20,54	1,03	0,05	0,97	0,56	0,48	Si	Si	Si
6	15,66	1,44	0,13	1,39	0,81	0,68	Si	Si	Si
7	9,86	1,66	0,28	2,57	1,5	1,27	Si	Si	Si



16.5.3 *Categoria di sottosuolo e categoria topografica*

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 (fig. 11) definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800$ m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valore delle $V_{s,eq}$ corrispondenti alle $V_{s,30}$ pari a **357,4 m/s** riferito all'attuale piano campagna ed esso risulta pertanto classificabile in **categoria C** "Depositati 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".

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>

La categoria topografica è **T1**

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

16.6 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o di riporto	0,0 – 0,15	/	/	/	/
2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli	0,15 – 2,2	18	20-25	26-30	10-20
3	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.	2,2 – 4,2	19	0	37-40	35-40
4	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante	>4,2	19	0	39-45	38-45

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda è presente tra - 1,89 m/2,62m dal p.c. attuale

16.7 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
1	Terreno di coltivo o di riporto	0,0 – 0,15	/	/	/	/
2	Limo argilloso-sabbioso con, verso la base, locali ciottoli	0,15 – 2,2	18	20	26	10
3	Ghiaie e sabbie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante.	2,2 – 4,2	19	0	37	35
4	Ghiaie con ciottoli in materiale di intasamento fine argilloso-limoso più o meno abbondante	>4,2	19	0	39	38

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda è presente tra – 1,89 m/2,62m dal p.c. attuale

17 SISMICITA' GENERALE

17.1 ZONA SISMICA

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la zona sismica per il territorio di San Pietro Mosezzo, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Piemonte n. 4-3084 del 12.12.2011 ed in seguito modificate con la D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014 e con la D.G.R. n.6-887 del 30 dicembre 2019.

Zona sismica 4	Zona con pericolosità sismica molto bassa. E' la zona meno pericolosa dove le possibilità di danni sismici sono basse.
---------------------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a_g]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
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	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
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	1.982

(*): I territori di alcuni comuni ricadono in zone sismiche diverse (ad es. il [comune di Pescorocchiano](#)).

Nella figura seguente viene mostrata la mappa del rischio sismico dell'area di interesse e il valore caratteristico dell'accelerazione per l'area pari a $PGA \leq 0,050$.

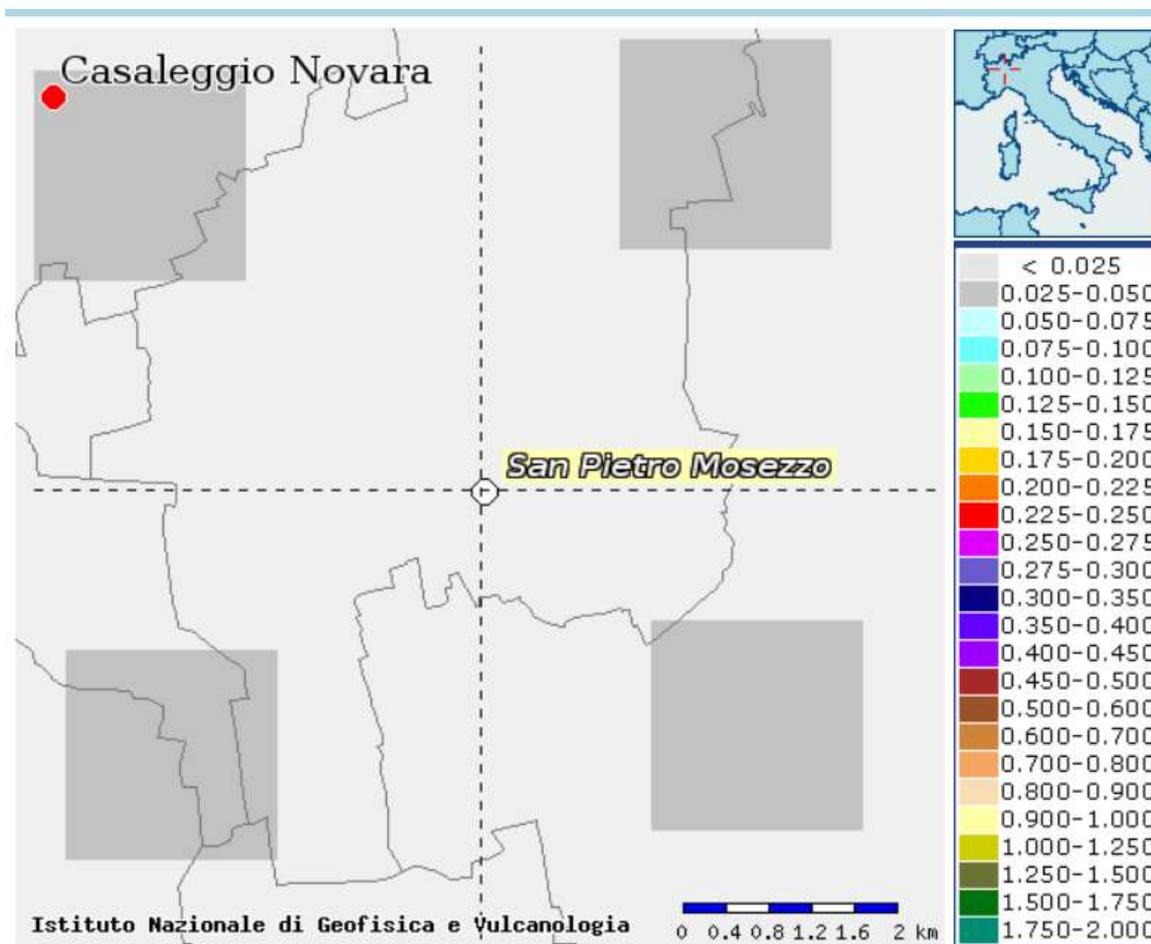


Figura 39: INGV - Mappa del pericolo sismico del territorio nazionale - Comune di San Pietro Mosezzo (NO).

Nelle figure seguenti sono mostrate la zonazione sismogenetica del territorio nazionale e dell'area di interesse.

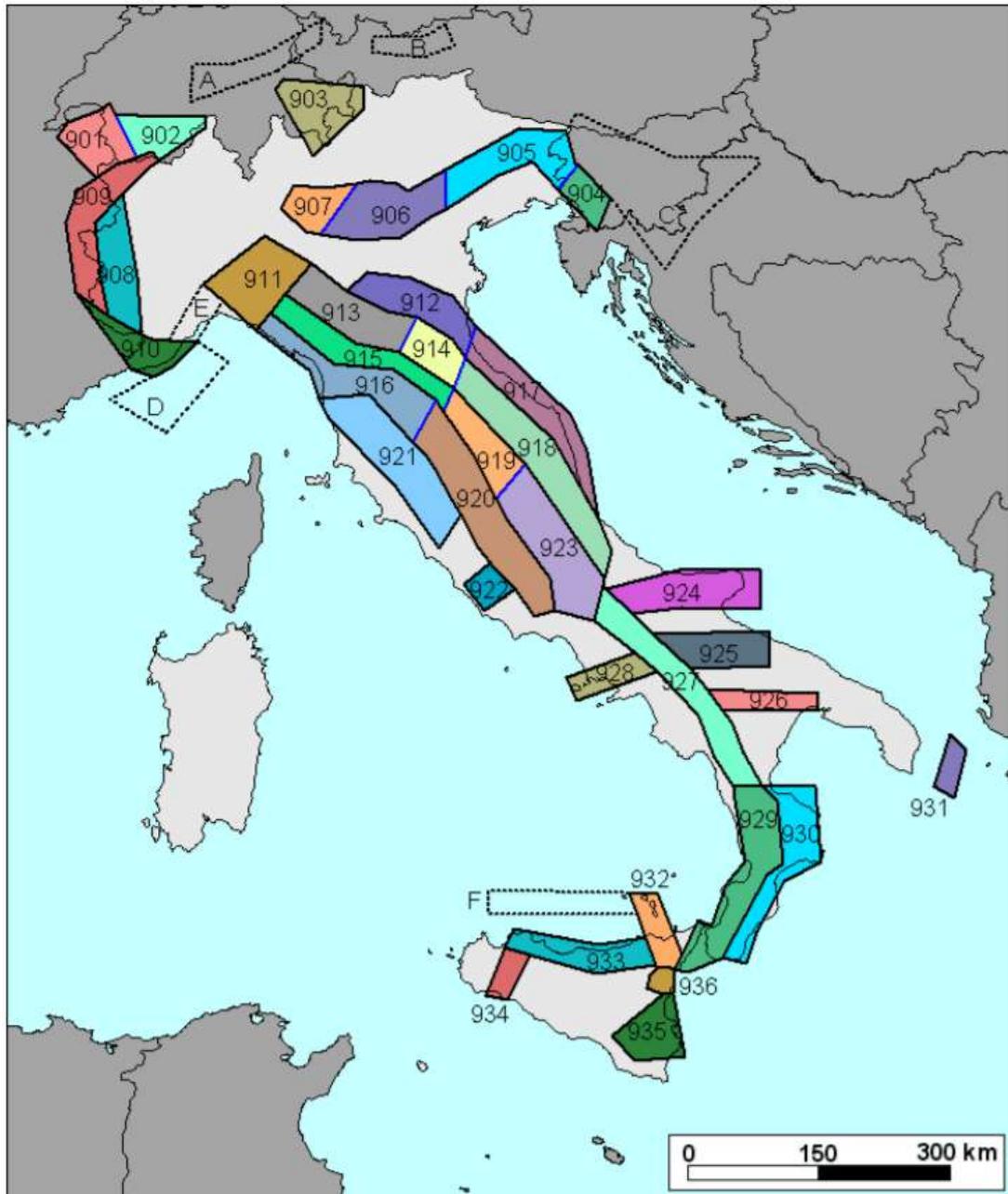


Figura 40: zonazione sismogenetica ZS9

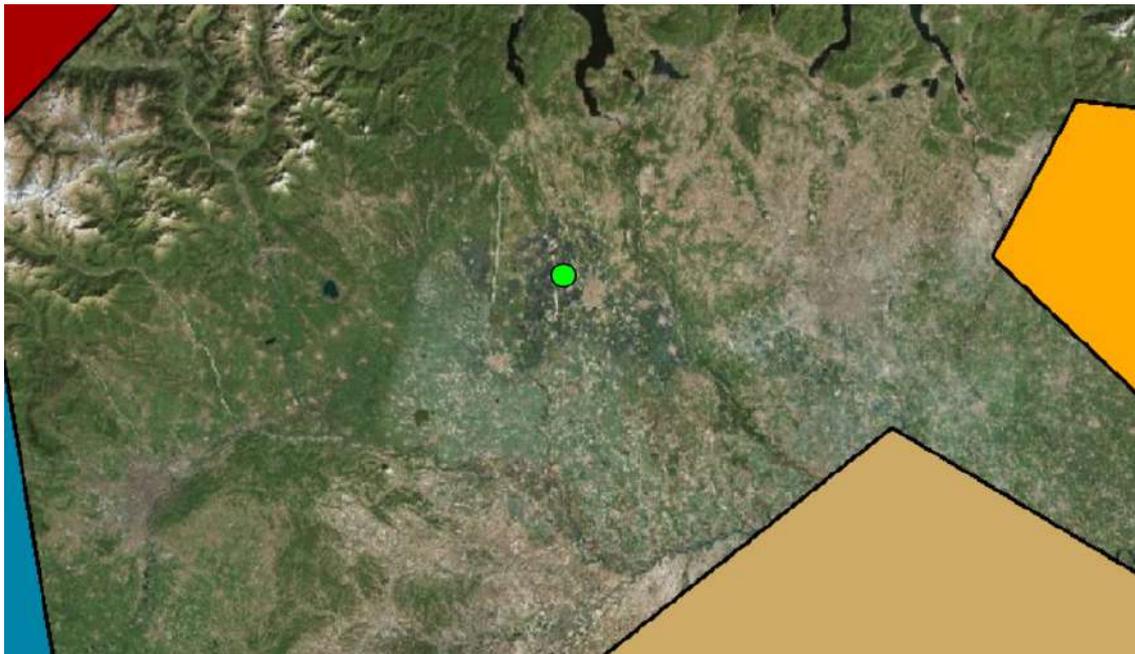


Figura 41: zonazione sismogenetica ZS9; l'area d'interesse è evidenziata con un cerchio verde
Nella figura precedente viene mostrato che l'area di interesse non è inclusa in alcuna zona della zonazione sismogenetica ZS9.

Nelle figure seguenti viene mostrata la disaggregazione per l'area in studio della stima di PGA con una probabilità del 10% di eccedere in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è un'elaborazione che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche al rischio sismico di un determinato sito: le fonti sono discretizzate per intervalli di spazio e di ampiezza.

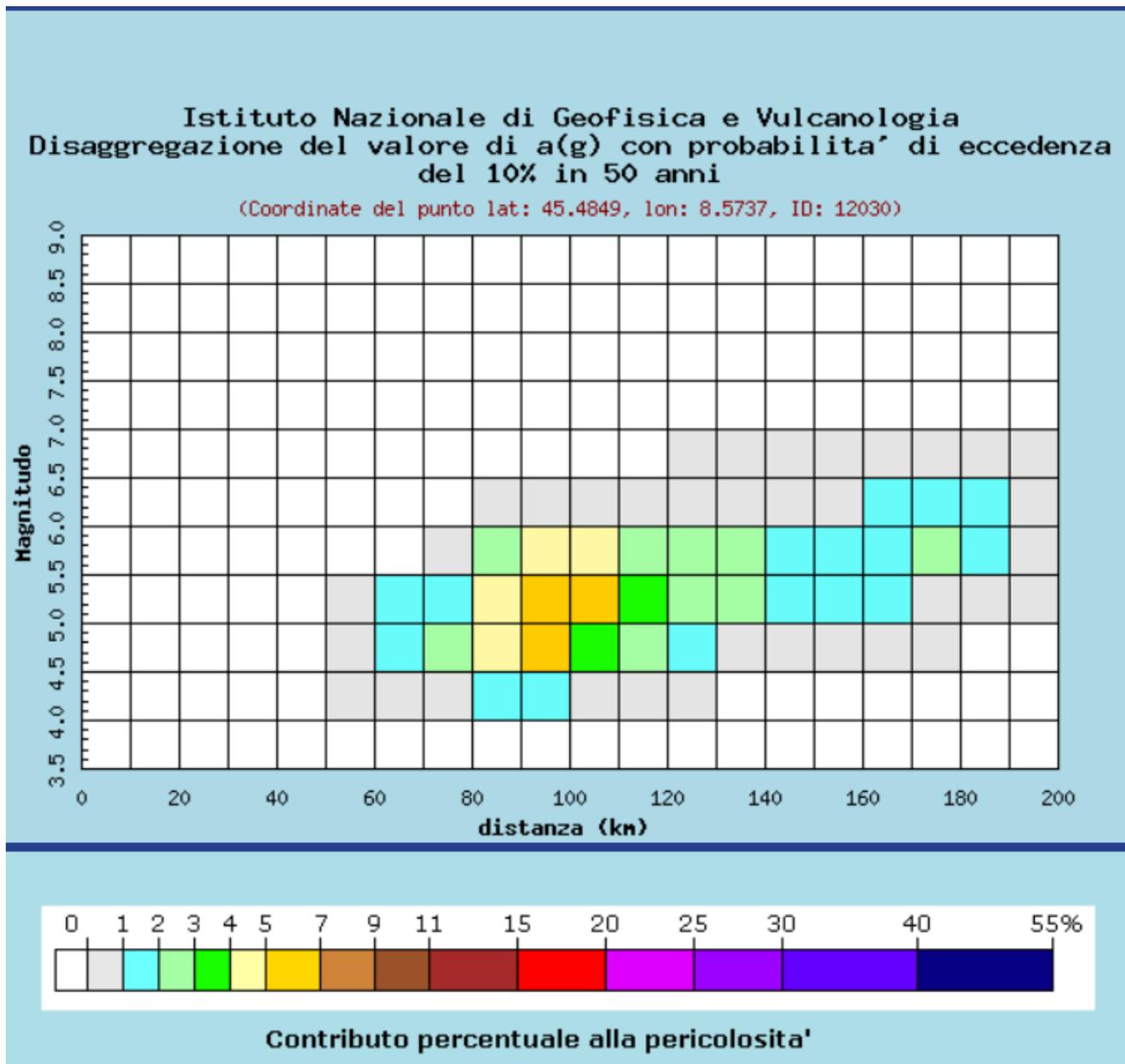


Figura 42: valori di disaggregazione a (g) (INGV)

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.4849, lon: 8.5737, ID: 12030)										
	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.135	0.313	0.221	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.753	1.900	1.460	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.776	2.100	1.700	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	1.430	4.540	4.450	2.480	0.337	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	1.190	5.130	6.150	4.490	0.697	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.501	3.910	5.730	4.250	0.701	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.133	2.030	3.790	2.650	0.428	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.015	1.040	2.810	2.070	0.429	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.506	2.370	2.180	0.728	0.103	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.197	1.610	1.760	0.682	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.078	1.160	1.590	0.854	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.042	1.020	1.900	1.470	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.010	0.866	2.050	1.890	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.535	1.570	1.520	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.215	0.827	0.800	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 43: valori di disaggregazione di a (g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.350	116.000	2.000

Figura 44: magnitudo media

17.2 CPTI15-DBMI15 v.2.0

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2017. I dati macrosismici a supporto di CPTI15 costituiscono il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15 release 2.0; Locati et al., 2019). CPTI15 è consultabile e all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/>. I parametri derivano dall'analisi, dal trattamento e dall'armonizzazione, secondo le più avanzate procedure, di dati provenienti da 189 studi storico-macrosismici pubblicati fino a tutto il 2019 e da 48 cataloghi strumentali, sia italiani, sia internazionali (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)*).

Il Database Macrosismico Italiano (DBMI15) fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2017.

Il DBMI v2.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2017. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

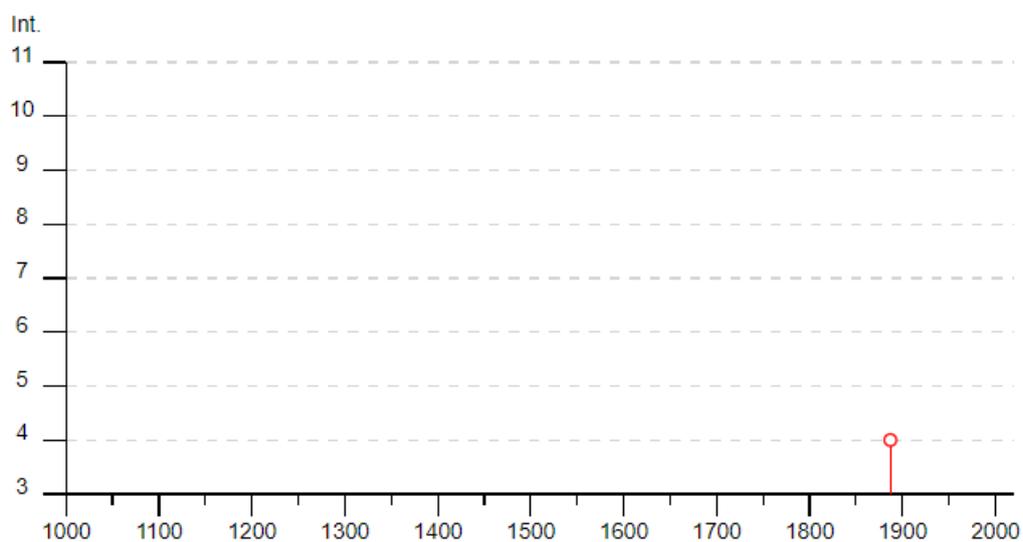
I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima della magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI).

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web. Di seguito viene riportata la mappa del catalogo CPTI15 desunta dal sito https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/.

In seguito alla consultazione della mappa interattiva del sito https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/ per il comune Casaleggio Novara comune che dista dal comune di San Pietro Mosezzo 5,2 km si sono ottenuti i seguenti risultati.

Casaleggio Novara

PlaceID IT_04074
 Coordinate (lat, lon) 45.486, 8.493
 Comune (ISTAT 2015) Casaleggio Novara
 Provincia Novara
 Regione Piemonte
 Numero di eventi riportati 1

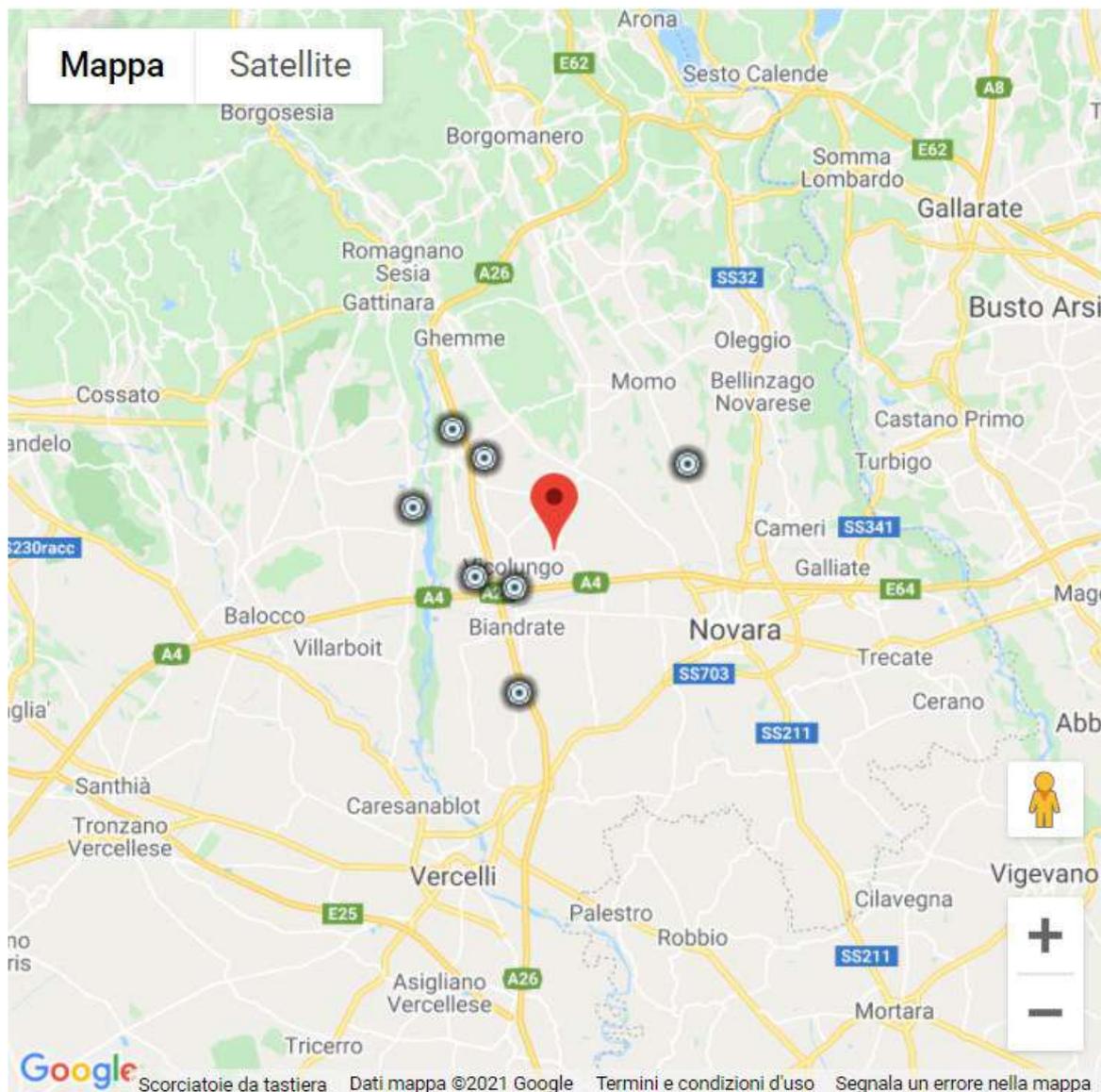


► Personalizza il diagramma

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	1511	9	6.27

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Biandrate	5	4
Recetto	1	5
Sillavengo	1	6
Carpignano Sesia	2	8
Arborio	2	8
Caltignaga	1	8
Casalvolone	1	10



[Visualizza Casaleggio Novara in [Google Maps](#), [Bing Maps](#)]

Figura 45: Dati desunti dalla consultazione del CPTI15 e DBMI15 per l'area di Casaleggio Novara

17.3 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo, la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;

- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;

A questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

17.3.1 *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 di seguito. 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 5: Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Nel caso specifico **VN = 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. CU = 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. CU = 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. CU = 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. CU = 2.0;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso **CU = 1**.

Ricavati i valori di VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che qui vale:

VR = 50 * 1 = 50 anni.

17.3.2 *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} , 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 6: 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 7: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

17.3.3 *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_o = 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

F_o 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 in tabella, 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	T _R = 30			T _R = 50			T _R = 72			T _R = 101		
			a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	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 8: 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 T_R corrispondente alla V_R e P_{V_R} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, 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 (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre p_1, p_2 è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno T_{R1}, T_{R2} .

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 (a_g, F_0, T_C^*) 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.

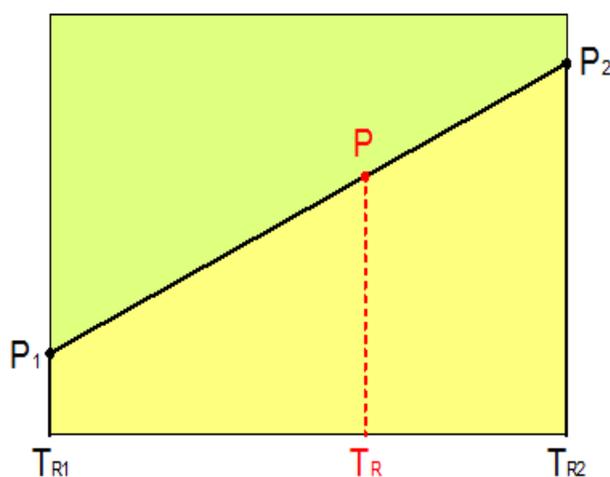


Figura 46: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura seguente:

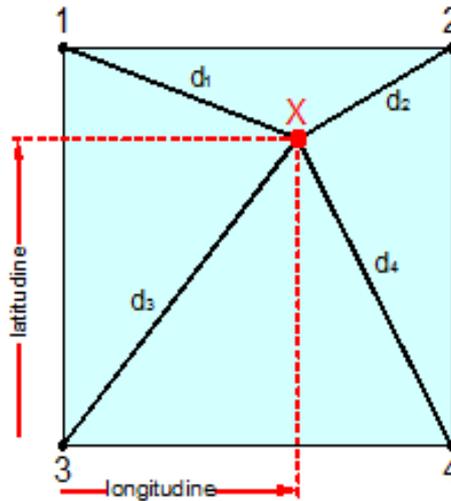


Figura 47: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.

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.

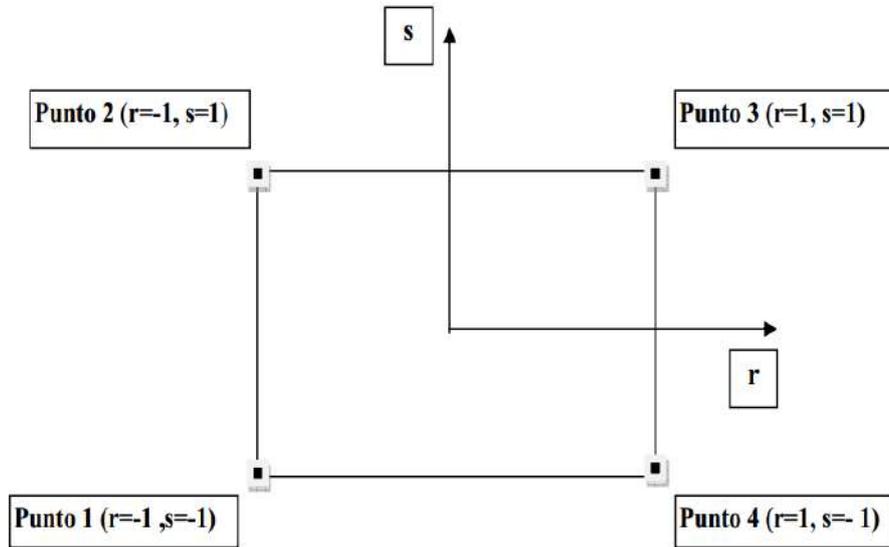


Figura 48: Applicazione dell'interpolazione bilineare.

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 a_g, F_0, T_c^* 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.

17.3.4 Definizione della 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).

17.3.4.1 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.

17.3.4.2 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:

	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 9: 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:** $S_T = 1.40$.

17.3.4.3 Pericolosità Sismica di Base

Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (Cu): 1
 Periodo di riferimento (Vr): 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): 45.4643822 [°]
 Longitudine (WGS84): 8.5583658 [°]
 Latitudine (ED50): 45.4653206 [°]
 Longitudine (ED50): 8.5594397 [°]

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	12029	45.481990	8.502625	4802.13
2	12030	45.484910	8.573678	2444.68
3	12252	45.434990	8.577869	3666.40
4	12251	45.432080	8.506850	5522.06

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

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.536	0.161
SLD	50	0.018	2.503	0.171
	72	0.021	2.565	0.175
	101	0.024	2.548	0.215
	140	0.027	2.555	0.226
	201	0.030	2.562	0.240
SLV	475	0.037	2.600	0.274
SLC	975	0.044	2.644	0.294
	2475	0.054	2.733	0.323

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.529	0.161
SLD	50	0.018	2.500	0.170
	72	0.021	2.561	0.176
	101	0.024	2.549	0.215
	140	0.027	2.558	0.226
	201	0.030	2.566	0.239
SLV	475	0.037	2.606	0.276
SLC	975	0.044	2.647	0.295
	2475	0.054	2.729	0.325

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.523	0.161
SLD	50	0.018	2.495	0.170
	72	0.021	2.554	0.176
	101	0.024	2.543	0.215
	140	0.027	2.552	0.226
	201	0.030	2.570	0.239
SLV	475	0.037	2.623	0.280
SLC	975	0.044	2.657	0.302
	2475	0.054	2.746	0.332

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.527	0.162
SLD	50	0.018	2.496	0.171
	72	0.021	2.555	0.176
	101	0.024	2.539	0.215
	140	0.027	2.546	0.226
	201	0.030	2.561	0.240
SLV	475	0.037	2.614	0.276
SLC	975	0.043	2.662	0.294
	2475	0.053	2.730	0.326

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.014	2.529	0.161
SLD	50	0.018	2.498	0.170
SLV	475	0.037	2.611	0.277
SLC	975	0.044	2.651	0.297

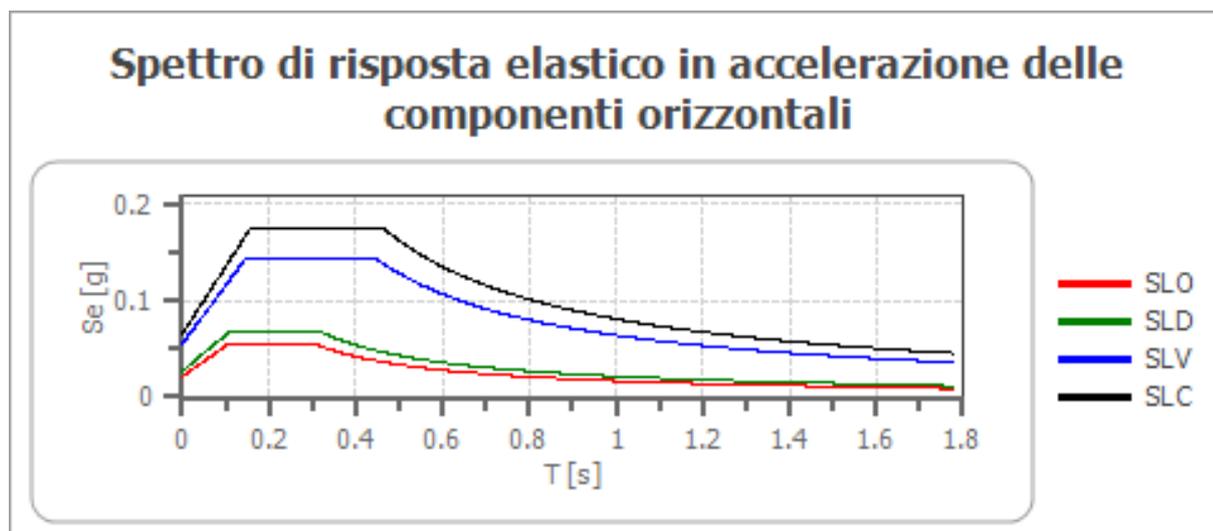
PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica:
 T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.004	0.005	0.011	0.013
kv	0.002	0.003	0.006	0.007
amax [m/s ²]	0.211	0.264	0.544	0.644
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

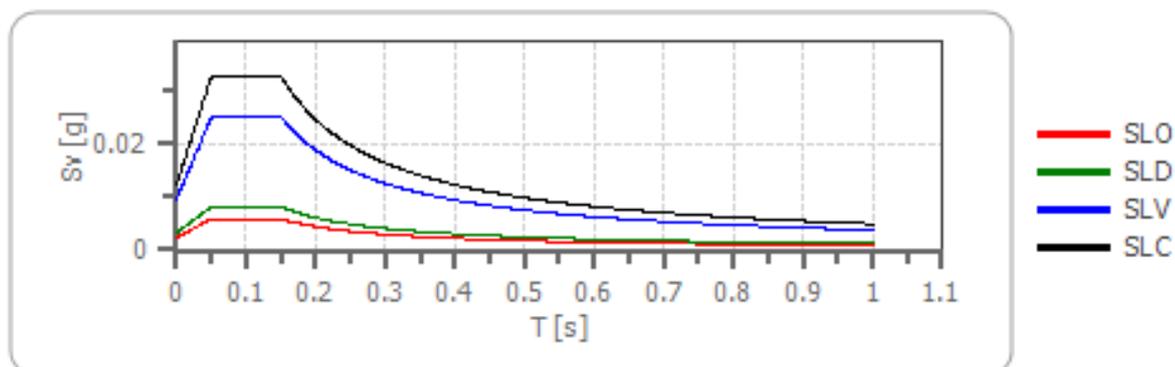


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.014	2.529	0.161	1.500	1.920	1.000	1.500	1.000	0.103	0.310	1.657	0.022	0.054
SLD	1.0	0.018	2.498	0.170	1.500	1.880	1.000	1.500	1.000	0.107	0.320	1.672	0.027	0.067
SLV	1.0	0.037	2.611	0.277	1.500	1.600	1.000	1.500	1.000	0.148	0.443	1.748	0.055	0.145
SLC	1.0	0.044	2.651	0.297	1.500	1.570	1.000	1.500	1.000	0.155	0.466	1.775	0.066	0.174

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

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



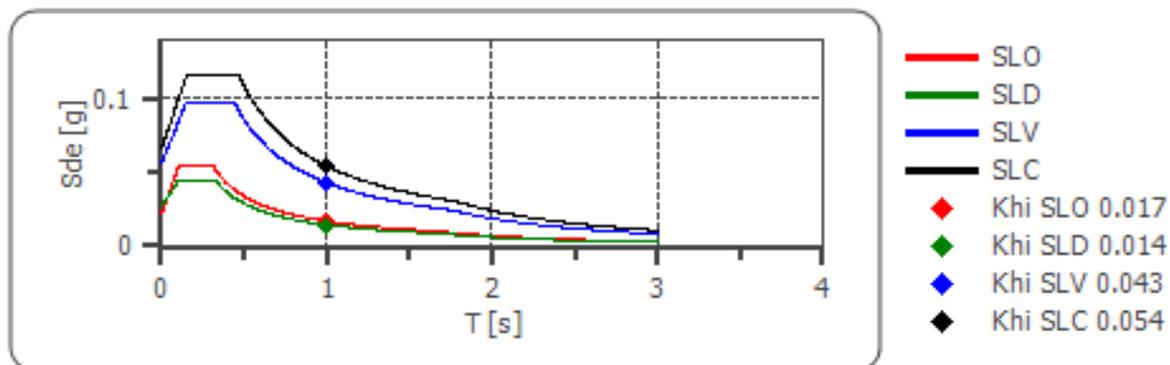
	cu	ag [g]	FO [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.014	2.529	0.161	1	1.920	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.002	0.006
SLD	1.0	0.018	2.498	0.170	1	1.880	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.003	0.008
SLV	1.0	0.037	2.611	0.277	1	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.010	0.025
SLC	1.0	0.044	2.651	0.297	1	1.570	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.012	0.033

Spettro di progetto

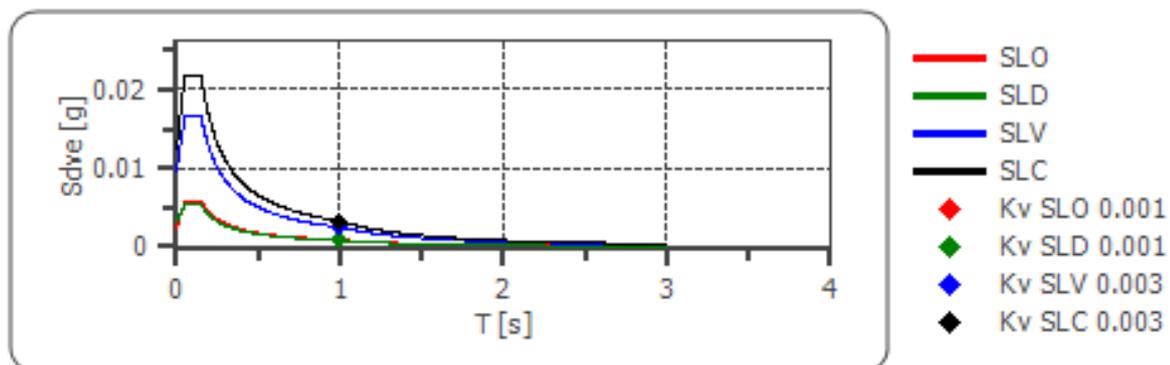
Fattore di struttura spettro orizzontale q : 1.50
 Fattore di struttura spettro verticale q : 1.50
 Periodo fondamentale T: 1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
k _{hi} = S _d e(T) Orizzontale [g]	0.017	0.014	0.043	0.054
k _v = S _d v _e (T) Verticale [g]	0.001	0.001	0.003	0.003

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali

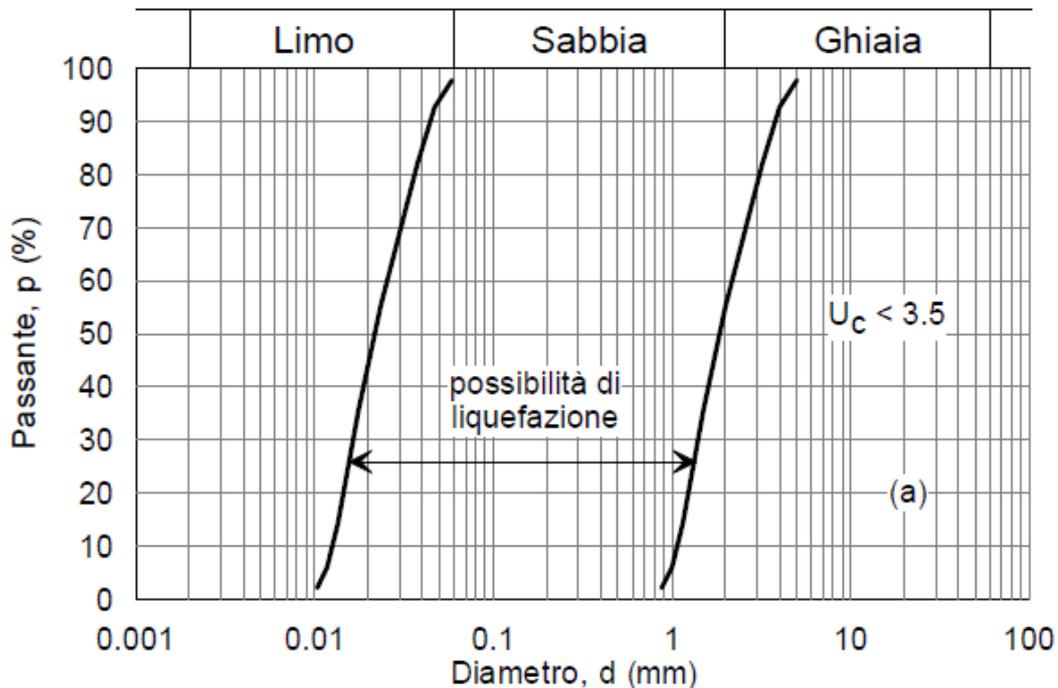


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.014	2.529	0.161	1.500	1.920	1.000	1.500	1.000	0.103	0.310	1.657	0.022	0.054
SLO verticale	1.0	0.014	2.529	0.161	1.500	1.920	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.002	0.006
SLD orizzontale	1.0	0.018	2.498	0.170	1.500	1.880	1.000	1.500	1.500	0.107	0.320	1.672	0.027	0.045
SLD verticale	1.0	0.018	2.498	0.170	1.500	1.880	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.003	0.005
SLV orizzontale	1.0	0.037	2.611	0.277	1.500	1.600	1.000	1.500	1.500	0.148	0.443	1.748	0.055	0.097
SLV verticale	1.0	0.037	2.611	0.277	1.500	1.600	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.010	0.017
SLC orizzontale	1.0	0.044	2.651	0.297	1.500	1.570	1.000	1.500	1.500	0.155	0.466	1.775	0.066	0.116
SLC verticale	1.0	0.044	2.651	0.297	1.500	1.570	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.012	0.022

18 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 49 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



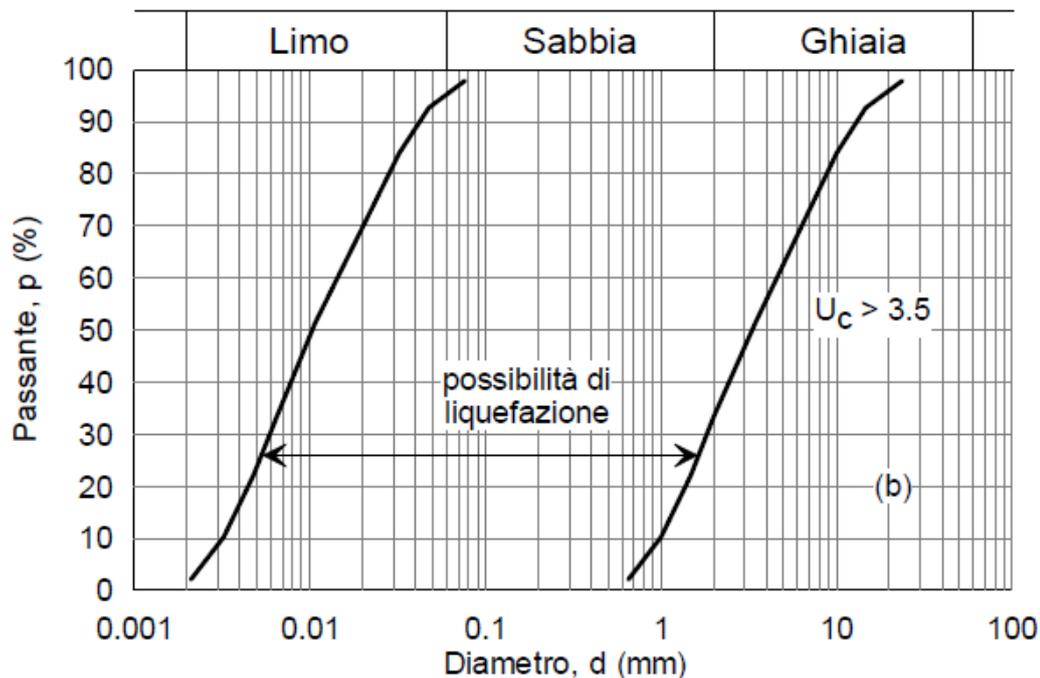


Figura 49: Fusi granulometrici nelle NTC 2018

Visto che le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1g ($PGA \leq 0.050$) la verifica a liquefazione è stata omessa.

19 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto si conclude quanto segue:

- La presente relazione è stata redatta per la VAS per le aree PEC 2, PEC 3, PEC 4 e PEC 5 nel comune di San Pietro Mosezzo.
- Il sito d'interesse è caratterizzato dall'unità "fgw" (Pleistocene) di cui si riporta la descrizione seguente: "Alluvioni ghiaiose, sabbiose e limitatamente limose al fondo dei solchi vallivi secondari e non ricollegabili agli apparati morenici Pluviale Würm. Alluvioni fluvioglaciali ghiaioso-ciottolose (Terrazzi superiori del Ticino" e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (a valle del limite settentrionale dei fontanili) con debole strato di alterazione brunastro. Würm."
- Dalle "Carte di pericolosità alluvione" e dalle "Carte del rischio alluvione" della Direttiva Alluvioni, il sito di interesse non è soggetto a rischio di alluvione.
- In accordo con la "Carta di sintesi geomorfologica e idoneità all'uso urbano" le aree sono incluse in "Classe IIa".
- In accordo con la "Carta del dissesto" le aree non sono incluse in zone soggette a instabilità
- Le aree d'interesse non sono soggette a vincolo idrogeologico
- Il livello della falda è stato definito durante la campagna d'indagine per ogni area oggetto di studio tramite l'installazione di piezometri che hanno rilevato le seguenti misure di soggiacenza:
 - PEC 2: falda a 1,96 m dal p.c
 - PEC 3: falda a 2,0 m dal p.c
 - PEC 4: falda a 2,59 m dal p.c
 - PEC 5 EST: falda a 1,89 m dal p.c
 - PEC 5 OVEST: falda a 2,62 m dal p.c
- Il terreno investigato con metodologia MASW presenta valori delle Vs30 che permettono di classificarlo in **Categoria C**.
- Il territorio comunale di San Pietro Mosezzo (NO) classificato nella **zona sismica 4**, con valore caratteristico dell'accelerazione per l'area pari a **PGA ≤0,050**.
- Visto che le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1g la verifica a liquefazione è stata omessa.
- Per la caratterizzazione dei parametri geotecnici da adottare per la progettazione delle opere civili sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche DPSH, MASW e HVSR per la classificazione del suolo sismico.
- Per definire la permeabilità dei terreni sono state eseguite le prove di permeabilità Lefranc.

a & t consulting s.r.l.

suolo e sottosuolo

ALLEGATO 1: CAMPAGNA D'INDAGINE AREA PEC 3

A&T CONSULTING S.r.l.

Prova penetrometrica dinamica D.P.S.H. 1

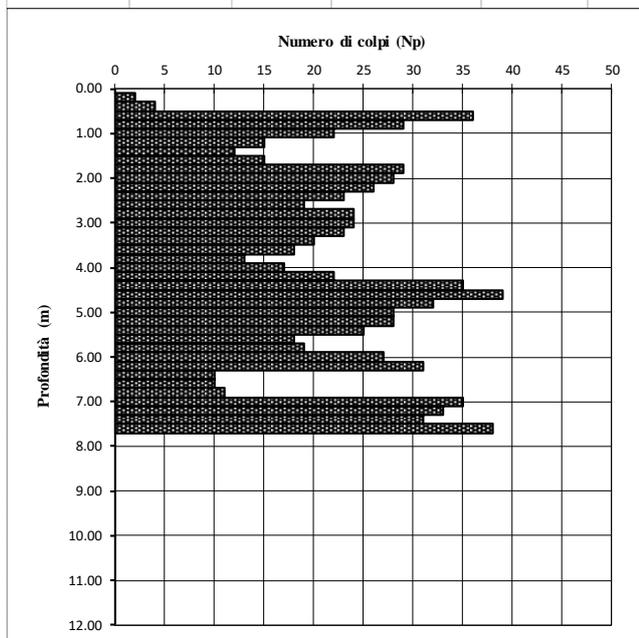
Via Piemonte n.19 - S.Martino Siccomario (PV)

Località: San Pietro Mosezzo (NO)

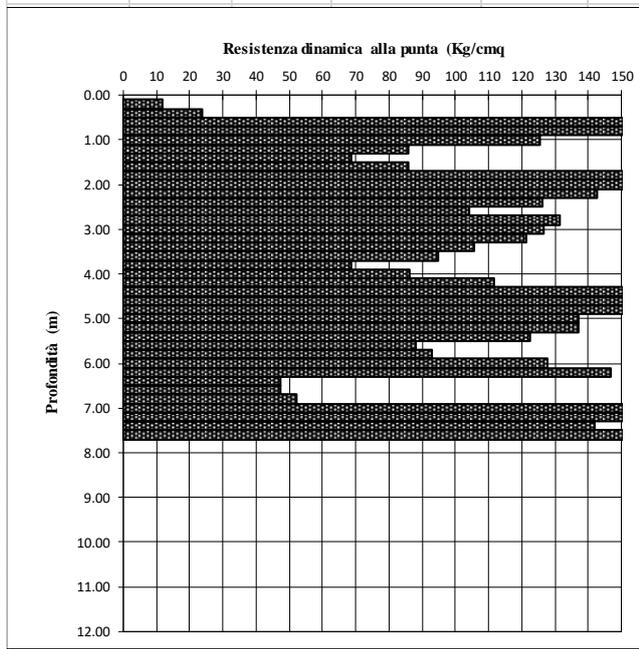
Data: 21.10.2020

Committente: TECHBAU Sp.A.

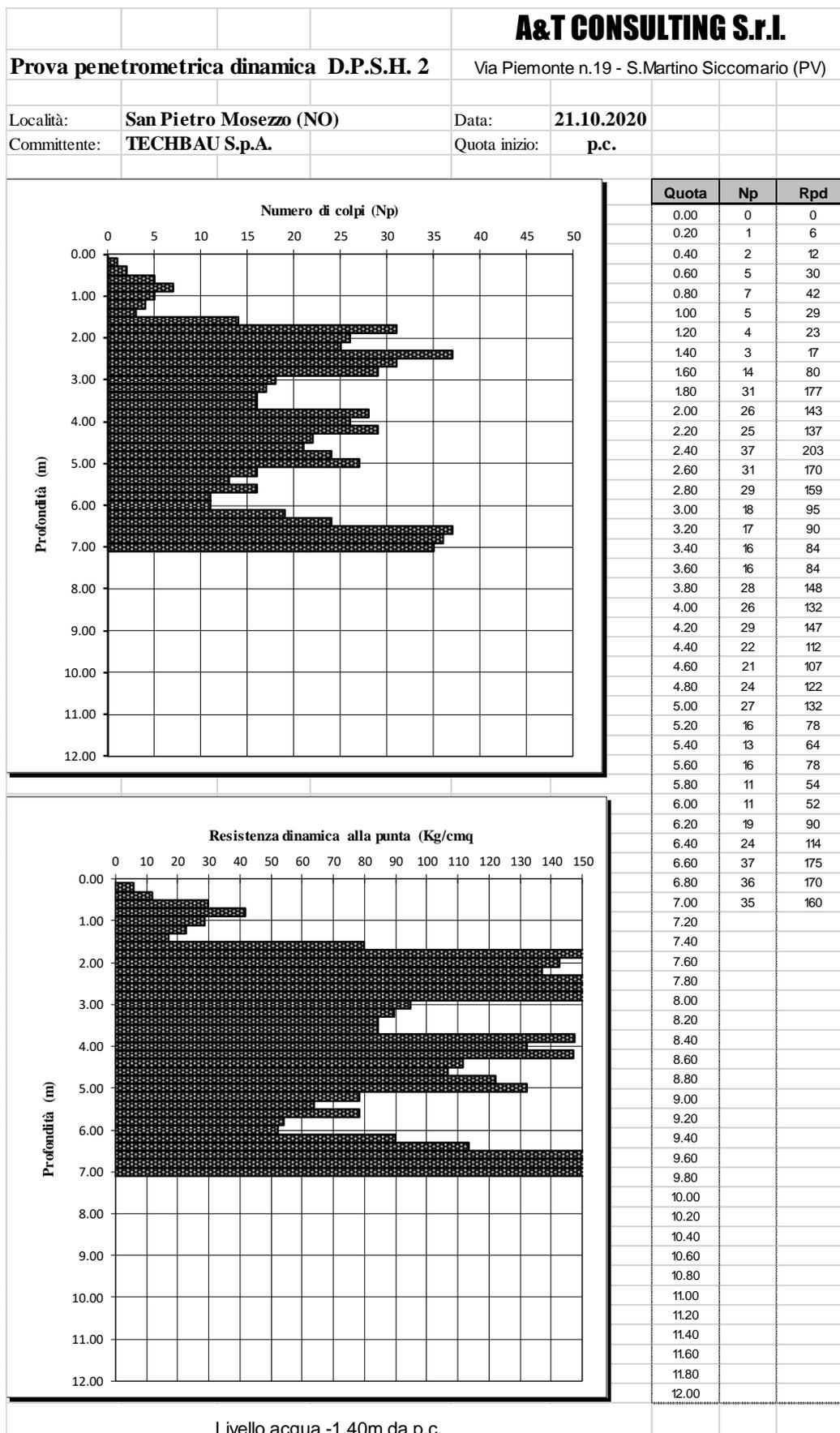
Quota inizio: p.c.



Quota	Np	Rpd
0.00	0	0
0.20	2	12
0.40	4	24
0.60	36	214
0.80	29	173
1.00	22	126
1.20	15	86
1.40	12	69
1.60	15	86
1.80	29	166
2.00	28	154
2.20	26	143
2.40	23	126
2.60	19	104
2.80	24	132
3.00	24	127
3.20	23	121
3.40	20	105
3.60	18	95
3.80	13	69
4.00	17	86
4.20	22	112
4.40	35	178
4.60	39	198
4.80	32	163
5.00	28	137
5.20	28	137
5.40	25	122
5.60	18	88
5.80	19	93
6.00	27	128
6.20	31	147
6.40	10	47
6.60	10	47
6.80	11	52
7.00	35	160
7.20	33	151
7.40	31	142
7.60	38	174
7.80		
8.00		
8.20		
8.40		
8.60		
8.80		
9.00		
9.20		
9.40		
9.60		
9.80		
10.00		
10.20		
10.40		
10.60		
10.80		
11.00		
11.20		
11.40		
11.60		
11.80		
12.00		



Livello acqua -1.40m da p.c.



		A&T CONSULTING S.r.l.		
Prova penetrometrica dinamica D.P.S.H. 3		Via Piemonte n.19 - S.Martino Siccomario (PV)		
Località:	San Pietro Mosezzo (NO)	Data:	21.10.2020	
Committente:	TECHBAU S.p.A.	Quota inizio:	p.c.	
		Quota	Np	Rpd
		0.00	0	0
		0.20	2	12
		0.40	7	42
		0.60	6	36
		0.80	6	36
		1.00	4	23
		1.20	6	34
		1.40	21	120
		1.60	32	183
		1.80	37	211
		2.00	38	208
		2.20	35	192
		2.40	28	154
		2.60	21	115
		2.80	10	55
		3.00	17	90
		3.20	12	63
		3.40	19	100
		3.60	25	132
		3.80	26	137
		4.00	16	81
		4.20	17	86
		4.40	36	183
		4.60	44	223
		4.80	49	249
		5.00	41	201
		5.20	37	181
		5.40		
		5.60		
		5.80		
		6.00		
		6.20		
		6.40		
		6.60		
		6.80		
		7.00		
		7.20		
		7.40		
		7.60		
		7.80		
		8.00		
		8.20		
		8.40		
		8.60		
		8.80		
		9.00		
		9.20		
		9.40		
		9.60		
		9.80		
		10.00		
		10.20		
		10.40		
		10.60		
		10.80		
		11.00		
		11.20		
		11.40		
		11.60		
		11.80		
		12.00		
Livello acqua -1.40m da p.c.				

Prova penetrometrica dinamica D.P.S.H. 4

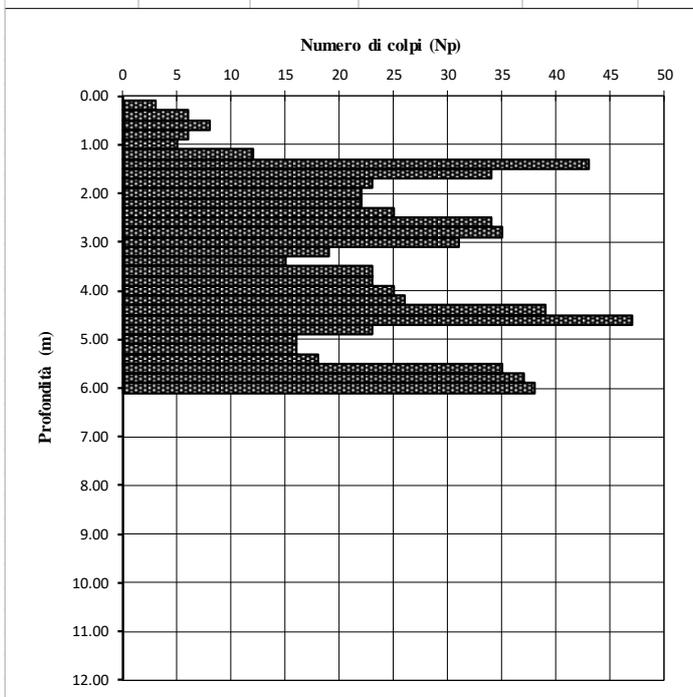
Via Piemonte n.19 - S.Martino Siccomario (PV)

Località: **San Pietro Mosezzo (NO)**

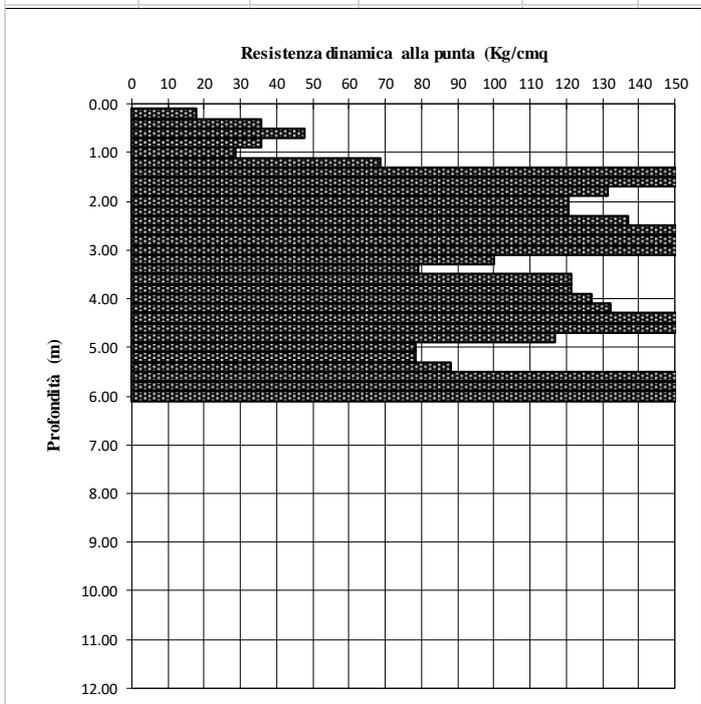
Data: **21.10.2020**

Committente: **TECHBAU S.p.A.**

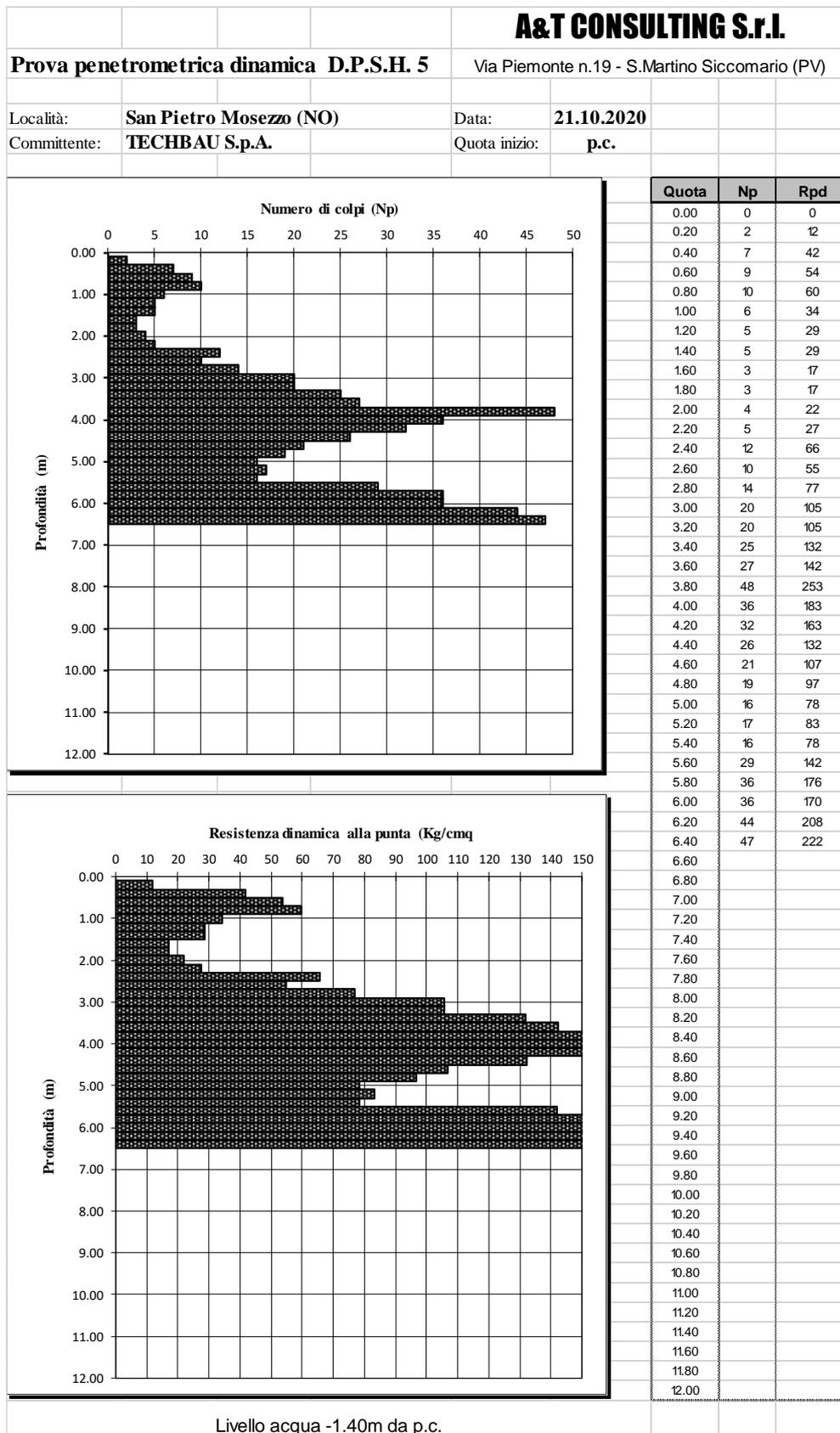
Quota inizio: **p.c.**

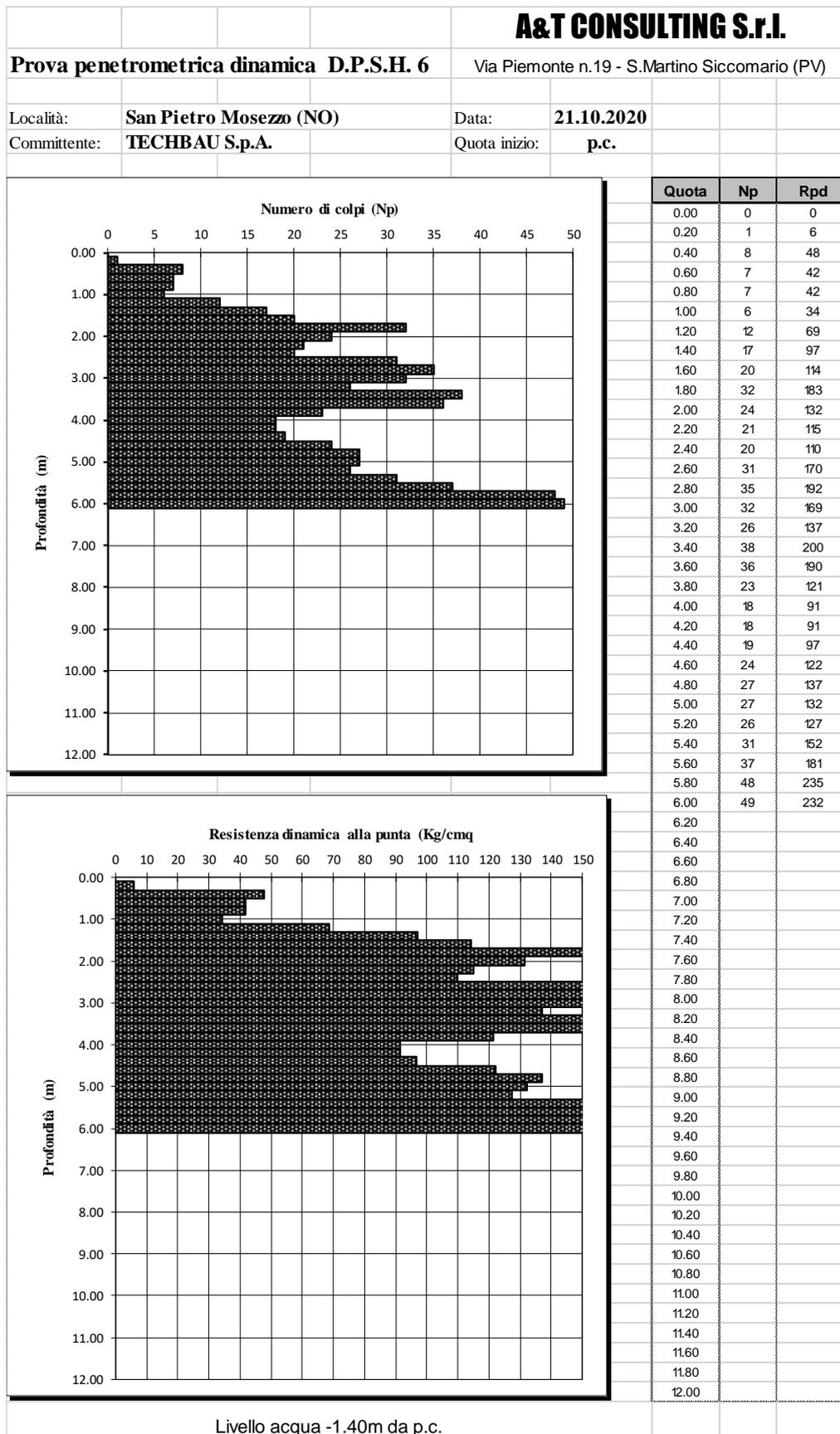


Quota	Np	Rpd
0.00	0	0
0.20	3	18
0.40	6	36
0.60	8	48
0.80	6	36
1.00	5	29
1.20	12	69
1.40	43	246
1.60	34	194
1.80	23	131
2.00	22	121
2.20	22	121
2.40	25	137
2.60	34	186
2.80	35	192
3.00	31	163
3.20	19	100
3.40	15	79
3.60	23	121
3.80	23	121
4.00	25	127
4.20	26	132
4.40	39	198
4.60	47	239
4.80	23	117
5.00	16	78
5.20	16	78
5.40	18	88
5.60	35	171
5.80	37	181
6.00	38	180
6.20		
6.40		
6.60		
6.80		
7.00		
7.20		
7.40		
7.60		
7.80		
8.00		
8.20		
8.40		
8.60		
8.80		
9.00		
9.20		
9.40		
9.60		
9.80		
10.00		
10.20		
10.40		
10.60		
10.80		
11.00		
11.20		
11.40		
11.60		
11.80		
12.00		



Livello acqua -1.40m da p.c.





A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

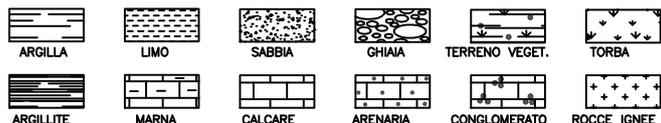
N° P1

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cm ^q	V.T. Kg/cm ^q	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00													
0.40							Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone e marrone-grigiastro.						
1.10				△	C.A.1 0.00 - 1.00		Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con locali frammenti di laterizi e, verso la base, ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
2.00							Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro passante a grigio-bluastro verso la base, con locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
2.50							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 15-18cm.						

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.40m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

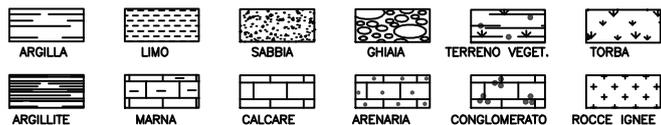
N° P2

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cmq	V.T. Kg/cmq	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00													
0.30							Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.						
0.60				△	C.A.1 0.00 - 1.00		Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
1.10							Ghiaie e sabbie da fini a medie in <u>abbondante</u> matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro (loc. marrone chiaro) con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.						
1.40							Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.						
2.50							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.						

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.10m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

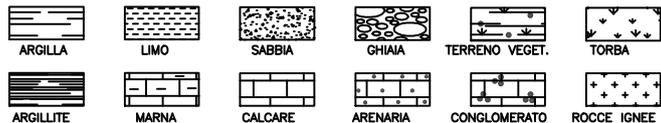
N° P3

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	n° carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cmq	V.T. Kg/cmq	S.P.T.			NOTE	
				tipo	profond. mt.									
0.00														
0.40				△	C.A.1 0.00 - 1.00		Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.							
0.80						Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, abbondanti ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.								
1.50						Ghiaie e sabbie da fini a medie in <u>abbondante</u> matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro e grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 10-12cm. Presenza di una locale intercalazione di sabbie debolmente limose da medie a grossolane.								
1.60						Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro.								
2.50						Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.								

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.10m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

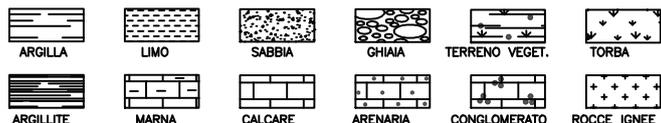
N° P4

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cm ^q	V.T. Kg/cm ^q	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00													
0.40							Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.						
0.90				△	C.A.1 0.00 - 1.00		Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 6-8cm.						
1.60							Ghiaie e sabbie grossolane con ciottoli e blocchi arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 25-30cm.						
1.80							Ghiaie e sabbie grossolane in matrice fine limosa di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.						
2.50							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.						

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.10m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

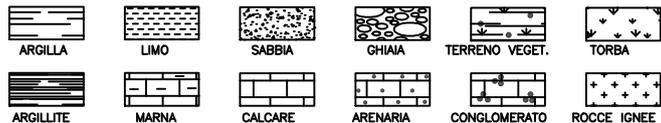
N° P5

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cmq	V.T. Kg/cmq	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00				△	C.A.1 0.00 -		Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.						
0.40				△	C.A.2 0.40 -	0.40							
0.70				△	C.A.3 0.70 -	0.70							
1.40				△	C.A.3 0.70 -	1.40							
							Ghiaie e sabbie da fini a medie in <u>abbondante</u> matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro e grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 8-12cm.						
							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.						
2.50													

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE
CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.10m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

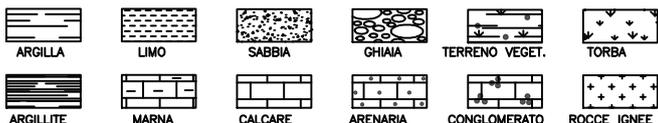
N° P6

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cmq	V.T. Kg/cmq	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00													
0.40							Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone e marrone-grigiastro.						
1.70							Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
1.85							Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro con locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
2.50							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.						

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE
CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO Falda

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.20m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

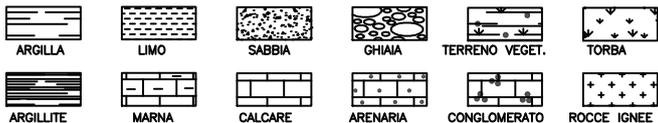
N° P7

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	n° carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cmq	V.T. Kg/cmq	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00													
0.30							Terreno coltivato limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.						
0.60							Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
0.80							Ghiaie e sabbie da fini a medie in <u>abbondante</u> matrice fine argilloso-limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.						
1.30							Limo argilloso-sabbioso di colore marrone-grigiastro con locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 8-12cm.						
1.70							Ghiaie e sabbie da fini a medie in <u>abbondante</u> matrice fine argilloso-limosa di colore grigio-bluastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 8-12cm.						
2.50							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm.						

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE
CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.20m

A&T CONSULTING S.r.l

SUOLO E SOTTOSUOLO

27028 S.Martino Siccomario (PV) Via Piemonte 19
Tel. e Fax 0382.559207 Mail aetconsultingv@libero.it

COMMITTENTE: TECHBAU S.p.A.

LOCALITA': SAN PIETRO MOSEZZO (NO)
Via Dante Alighieri

POZZETTO

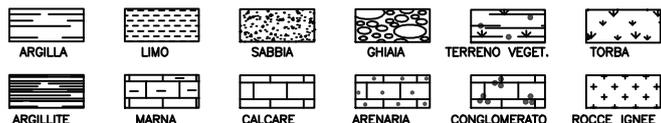
N° P8

QUOTA INIZIO: piano campagna

DATA
21.10.2020

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H ₂ O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	P.P. Kg/cmq	V.T. Kg/cmq	S.P.T.			NOTE
				tipo	profond. mt.								
0.00													
0.40							Terreno coltivo limoso-argilloso di colore marrone-grigiastro.						
0.80							Limo argilloso-sabbioso di colore grigio-bluastro con, verso la base, locali ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 4-6cm.						
1.30							Ghiaie e sabbie da fini a medie in <u>abbondante</u> matrice fine argilloso-limosa di colore marrone e marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max 8-12cm.						
2.50							Ghiaie e sabbie grossolane in poca matrice fine limosa di colore marrone-grigiastro con ciottoli arrotondati poligenici ed eterometrici diam. max. 10-15cm. da -2.0m a -2.10m intercalazione di ghiaietto.						

CAMPIONE: Rimaneggiato Ambientale Indisturbato



CASSETTE
CATALOGATRICI

n° /

LIVELLO FALDA

DATA	Prof. riv.	Prof. foro	Livello acqua
21.10.2020	//	-2.50m	-2.10m