

Committente

/

Client

Fornitore / Supplier



**a2a**  
LIFE COMPANY

A2A Ambiente S.p.A.  
Ingegneria Ambiente  
Via Olgettina 25 - 20132 Milano  
T [+39] 02 2729 81  
ingegneria.ambiente@a2a.eu  
www.a2aambiente.eu



**3ba srl**  
Servizi di Progettazione  
di Ingegneria Integrata a socio unico

Titolo progetto <i>Project title</i>	<b>Impianto per la produzione di energia elettrica e termica mediante combustione di rifiuti speciali non pericolosi sito in Comune di Cavaglià (BI)</b>
Titolo documento <i>Document title</i>	<b>Relazione geotecnica-sismica</b>
Progettista <i>Design engineer</i>	<b>G. Anselmi</b>
Verifica <i>Checked by</i>	<b>P. Bottani</b>
Approvazione <i>Approved by</i>	<b>M. Mazzarella</b>
Proponente – Legale rappresentante	<b>F. Roncari</b>
Numero documento <i>Document number</i>	CAVP09O10000CER1200102
Numero documento fornitore <i>Supplier code</i>	-

### Tabella delle revisioni / Table of revisions

Revisione <i>Revision</i>	Data <i>Date</i>	Descrizione <i>Description</i>	Pagina <i>Page</i>	Redazione <i>Created by</i>
<b>00</b>	<b>Novembre 2022</b>	<b>Prima emissione</b>	<b>99</b>	<b>G. Anselmi</b>

Versione per Fornitore / Supplier version

## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO COROGRAFICO .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1</b>	<b>GEOLOGIA LOCALE .....</b>	<b>9</b>
<b>5.2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO LOCALE .....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>13</b>
<b>6.1</b>	<b>CARTA DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI .....</b>	<b>20</b>
<b>6.2</b>	<b>PROVE DI EMUNGIMENTO A PORTATA COSTANTE E CALCOLO DEI PARAMETRI IDRODINAMICI .....</b>	<b>23</b>
<b>6.3</b>	<b>AREE RICARICA DEGLI ACQUIFERI PROFONDI .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA .....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DELLE MISURE IN SITO .....</b>	<b>35</b>
<b>8.1</b>	<b>PROVE PENETROMETRICHE SPT .....</b>	<b>35</b>
<b>8.1.1</b>	<b>DENSITÀ RELATIVA (DR) DA SPT .....</b>	<b>35</b>
<b>8.1.2</b>	<b>MODULO ELASTICO (E) DA SPT .....</b>	<b>35</b>
<b>8.1.3</b>	<b>ANGOLO DI ATTRITO (<math>\phi^A</math>) DA SPT .....</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>RISULTATI DELLE PROVE IN SITO .....</b>	<b>36</b>
<b>9.1</b>	<b>RISULTATI DELLE PROVE – CAMPAGNA D’INDAGINE 2022 .....</b>	<b>36</b>
<b>9.1.1</b>	<b>RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE SPT .....</b>	<b>36</b>
<b>9.1.1.1</b>	<b>NUMERO DI COLPI SPT .....</b>	<b>36</b>
<b>9.1.1.2</b>	<b>DENSITÀ RELATIVA (DR) DA SPT .....</b>	<b>37</b>
<b>9.1.1.3</b>	<b>MODULO ELASTICO (E) DA SPT .....</b>	<b>40</b>
<b>9.1.1.4</b>	<b>ANGOLO D’ATTRITO (<math>\phi</math>) DA SPT .....</b>	<b>42</b>
<b>10</b>	<b>RISULTATI DELLE PROVE IN LABORATORIO .....</b>	<b>44</b>
<b>11</b>	<b>STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>44</b>
<b>12</b>	<b>SISMICITA’ .....</b>	<b>45</b>
<b>12.1</b>	<b>ZONA SISMICA .....</b>	<b>45</b>
<b>12.2</b>	<b>CPTI15-DBMI15 V 2.0 .....</b>	<b>54</b>
<b>12.3</b>	<b>INDAGINI SISMICHE .....</b>	<b>58</b>
<b>12.3.1</b>	<b>PROVE SISMICHE MASW .....</b>	<b>58</b>

<b>12.3.1.1</b>	<b>RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA</b>	<b>60</b>
<b>12.4</b>	<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>70</b>
<b>12.5</b>	<b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b>	<b>71</b>
<b>12.6</b>	<b>PERICOLOSITÀ SISMICA</b>	<b>72</b>
<b>12.6.1</b>	<b>VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO</b>	<b>72</b>
<b>12.6.2</b>	<b>STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO</b>	<b>73</b>
<b>12.6.3</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE</b>	<b>75</b>
<b>12.6.4</b>	<b>PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO</b>	<b>81</b>
<b>12.6.4.1</b>	<b>COEFFICIENTI SISMICI</b>	<b>81</b>
<b>12.6.4.2</b>	<b>STABILITÀ DEI PENDII E FONDAZIONI</b>	<b>82</b>
<b>12.6.4.3</b>	<b>PERICOLOSITÀ SISMICA</b>	<b>83</b>
<b>13</b>	<b>LIQUEFAZIONE</b>	<b>89</b>
<b>14</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI MEDI</b>	<b>91</b>
<b>15</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI</b>	<b>92</b>
<b>16</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>93</b>
	<b>ALLEGATO - CAMPAGNA DI INDAGINE 2022</b>	<b>95</b>

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>
----------	-----------------

La presente relazione geotecnica - sismica è stata redatta per la realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica e termica mediante combustione di rifiuti speciali non pericolosi sito nel Comune di Cavaglià (BI) e in particolare l'oggetto di questa relazione è caratterizzazione geotecnica, sismica del terreno oggetto del nostro progetto.



*Figura 1: area di studio evidenziata in rosso.*

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

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

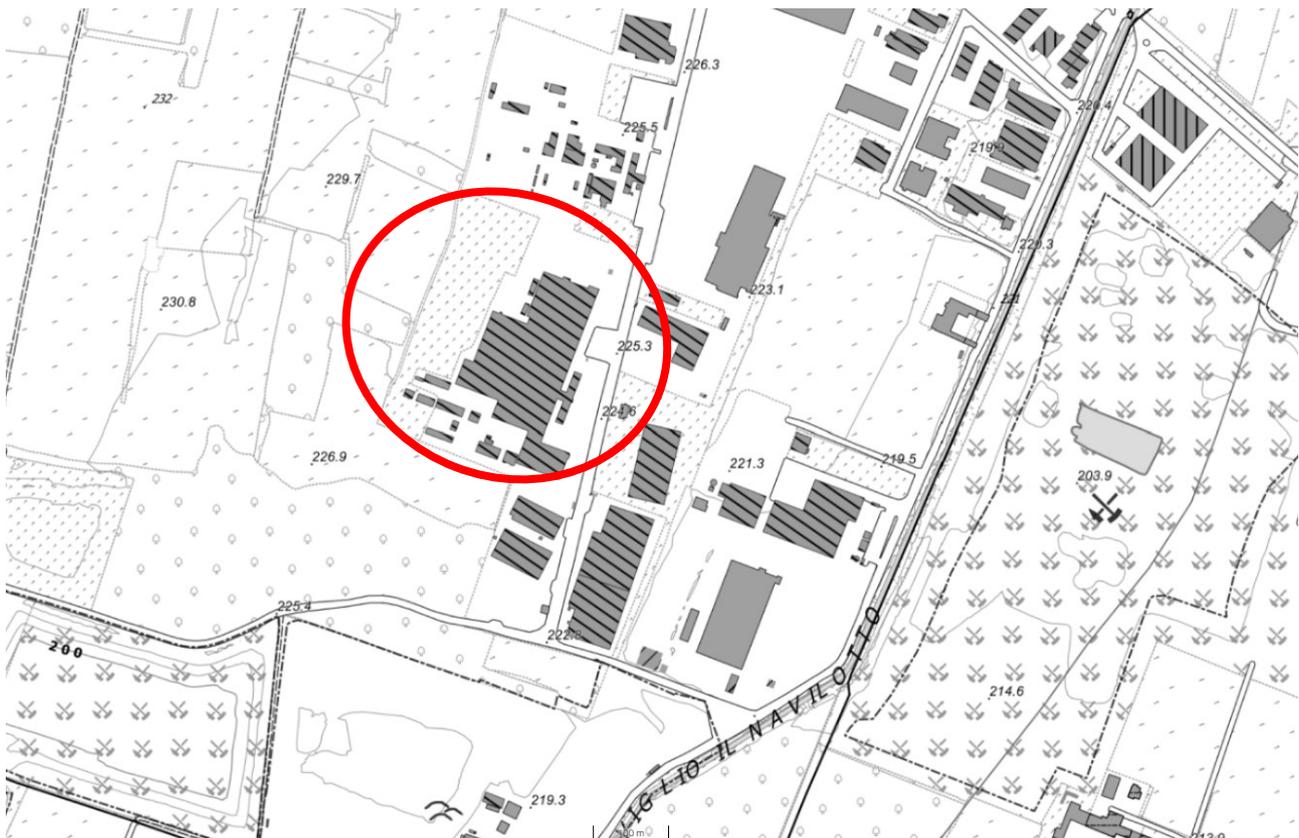
- **D.G.R. 3 febbraio 2012, n. 7-3340:** Modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011.
- **D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084: D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010.** Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese.
- **D.G.R. 18 febbraio 2011, n. 8-1517:** Modifica del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio piemontese come approvata con D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 e ulteriori disposizioni.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione del territorio nazionale.
- **O.P.C.M. 3519 del 28/04/2006** (G.U. 11.5.2006 n.108) -Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- **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.
- **OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- **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.
- **D.M.17/01/2018 Contenente le Nuove Norme Tecniche per le costruzioni (NTC 2018)**
- **Regolamento regionale 28 dicembre 2007 n. 12/R e s.m.i.**
- **Direttiva "Quadro" Acque n. 2000/60/CE (DQA)**
- **"Direttiva figlia", Groundwater Directive (GWD) n.2006/118/CE**

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- “Polo Tecnologico per lo smaltimento dei Rifiuti da realizzare nel Comune di Cavaglià- Località Gerbido – Relazione geologica e Geotecnica” Dott. Geol. Elio Vanoni – Dott. Geol. Guido Bruno – Febbraio 1999
- “Discarica Rifiuti Località Gerbido – Comune di Cavaglià – Studio per l’ubicazione dei pozzi di spurgo e la realizzazione della rete di monitoraggio” Dott. Geol. Domenico De Luca - Marzo 1999 – Maggio 2000;
- “Ecodeco S.p.A. – Comune di Cavaglià – Nuovo impianto trattamento rifiuti – Indagine Geognostica – Prove di laboratorio” RCT (Radaelli Castellotti) - Marzo 2001
- “Ecodeco- Cavaglià (Biella) – Nuovo impianto di smaltimento rifiuti – Relazione Geotecnica” Ingegneri Consulenti associati – Ing. Pietro Romani – Giugno 2001- “Cavaglià S.p.A. - Fase di completamento e ripristino ambientale discarica 2B –
- Relazione Idrogeologica” Dott. Geol. Fulvio Epifani – Aprile 2002;
- “D.M. 25.10.1999 n° 471 - Cavaglià S.p.A. - Fase di completamento e ripristino ambientale- Discarica 2B – Relazione Idrogeologica” Dott. Geol. Fulvio Epifani – Maggio 2002;
- Progetto di ampliamento discariche ASRAB SpA e A2A Ambiente SpA in loc. Gerbido - Cavaglià (BI) - Relazione geologica idrogeologica e geotecnica – Dott. Geol. Paolo Bottani – Febbraio 2016
- Valutazioni idrogeologiche riguardo l’ampliamento delle discariche A.S.R.A.B. e A2A Ambiente in Comune di Cavaglià (BI) – TETHYS – Prof. Francani – Gennaio 2018
- Report tecnico – Indagine sismica – Loc. Via della Mandria, Cavaglià (BI) – S.G.M Geologia e Ambiente s.r.l. – Novembre 2020
- BDTRE Regione Piemonte.

## 4 INQUADRAMENTO COROGRAFICO

Il sito oggetto d'interesse si trova in un settore a sud nel Comune di Cavaglià (BI) in via Bertone in località Gerbido, a sud dell'abitato, in prossimità dei confini amministrativi dei Comuni di Santhià (VC) ed Alice Castello (VC). L'area dista circa 800 m dalla SS 143 che collega Biella a Santhià. Di seguito viene riportata l'inquadramento dell'area su base BDTRE Regione Piemonte.



*Figura 2: Area d'intervento su CTR della Regione Piemonte in scala 1:10.000 (BDTRE Regione Piemonte). In rosso l'area d'interesse*

L'area d'interesse si trova a una quota compresa tra 225 e 228 m s.l.m.

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'analisi della struttura geologica e geomorfologica del territorio è stata condotta utilizzando le informazioni contenute nella cartografia tecnica regionale a scala 1:10.000, nella cartografia a scala 1: 25.000, e nella cartografia tematica dell'I.G.M. (Carta Geologica Biella, Foglio n° 43) ove sono stati analizzati inoltre la cartografia tematica provinciale, gli studi allegati ai PRG integrati da sopralluoghi e rilevamenti in situ.

A grande scala, la morfologia del territorio è il risultato del modellamento, avvenuto nel corso di più fasi di espansione e ritiro dei ghiacciai quaternari e dei fenomeni connessi, tra gli sbocchi in pianura della Dora Baltea e del Torrente Elvo.

L'area oggetto di studio ricade interamente a S della Linea dei Canavese, nel settore di pianura a ridosso di rilievi deposizionali di origine glaciale rappresentati dalla Serra d'Ivrea e dal gruppo di colline moreniche che circondano il Lago di Viverone.

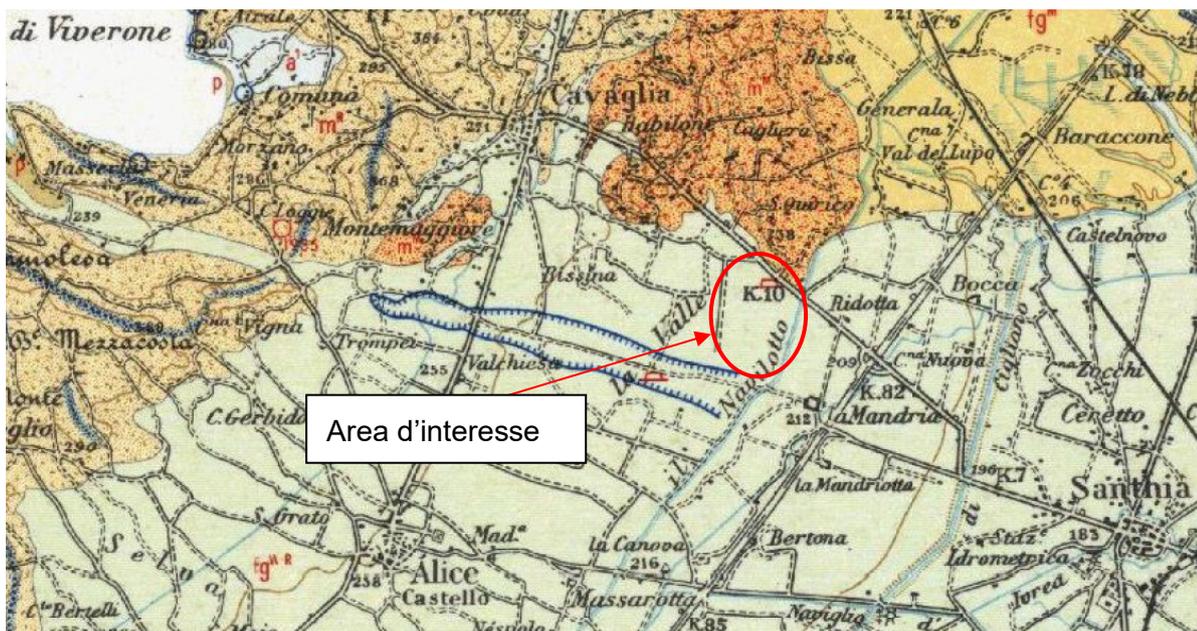


Figura 3: Carta geologica scala 1:100.000-Foglio Biella n.43

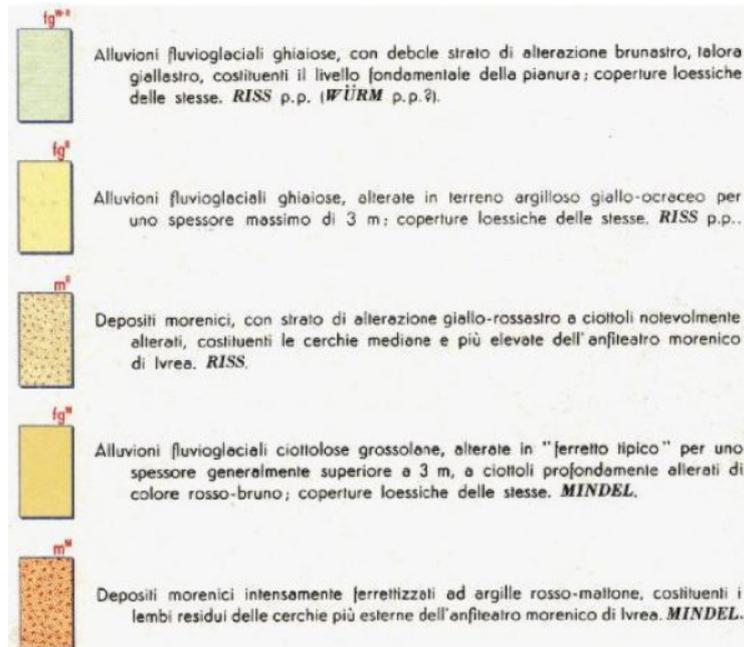


Figura 4: Legenda Carta geologica scala 1:100.000-Foglio Biella n.43

Le formazioni presenti nell'area sono di seguito descritte in modo sintetico

### I - Depositi morenici mindeliani

Sono formati da materiali angolosi di dimensioni variabili inglobati in una matrice fine abbondante. Localmente è presente un paleosuolo "ferrettizzato" costituito da argille rosso-brune con ciottoli di rocce silicatiche. Compaino solo circa 1 Km a NE della località in esame.

### II - Depositi fluvioglaciali mindeliani

La litologia predominante è costituita da livelli ghiaioso-sabbiosi, intervallati da livelli sabbioso-argillosi. Localmente è possibile osservare la presenza di un paleosuolo di spessore variabile tra 2 e 3 m., costituito da argille brunastre con rari ciottoli. Sono presenti solo molto più a NE.

### III - Depositi morenici rissiani

Il litotipo predominante è rappresentato da ciottoli inglobati in una matrice sabbioso-ghiaiosa in cui sono dispersi blocchi lapidei di dimensioni superiori. Si può osservare, localmente, la presenza di un paleosuolo argilloso il cui spessore può raggiungere i 3 m. Anch'essi non interessano direttamente l'area.

### IV - Depositi fluvioglaciali würmiano-rissiani

La litologia preminente è costituita da alternanze di livelli ghiaiosi con livelli sabbioso-argillosi. I livelli sabbioso-ghiaiosi sono stati e sono spesso tuttora oggetto di attività estrattiva. In particolare, la conformazione del bacino locale esame (Loc. La Valle) ha determinato una concentrazione dei litotipi granulari e sabbiosi puliti e sani, oggetto di coltivazione estesa ed intensa.

## 5.1 GEOLOGIA LOCALE

I dati desumibili dalle stratigrafie indicano la presenza di terreni a tessitura grossolana, costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose, talora differenziati in lenti a debole coesione di modesta estensione laterale, legati allo smantellamento della cerchia morenica eporediese. Lo spessore di tali depositi è compreso tra i 55 e i 60 m.

Al di sotto di tali profondità, da dati bibliografici, si rinvencono i primi livelli argillosi, con andamento talora lenticolare, dello spessore di alcuni metri, indicanti un radicale cambiamento nell'ambiente di deposizione caratterizzato ora da un'alternanza di strati sabbioso-ghiaiosi con strati argillosi, generalmente di spessore metrico. Una successione di questo tipo sembra attribuibile al complesso del Villafranchiano, caratterizzato appunto da un'alternanza di depositi limoso-argillosi, impermeabili, con livelli di natura ghiaioso-sabbiosa, permeabili, ospitanti falde in pressione.

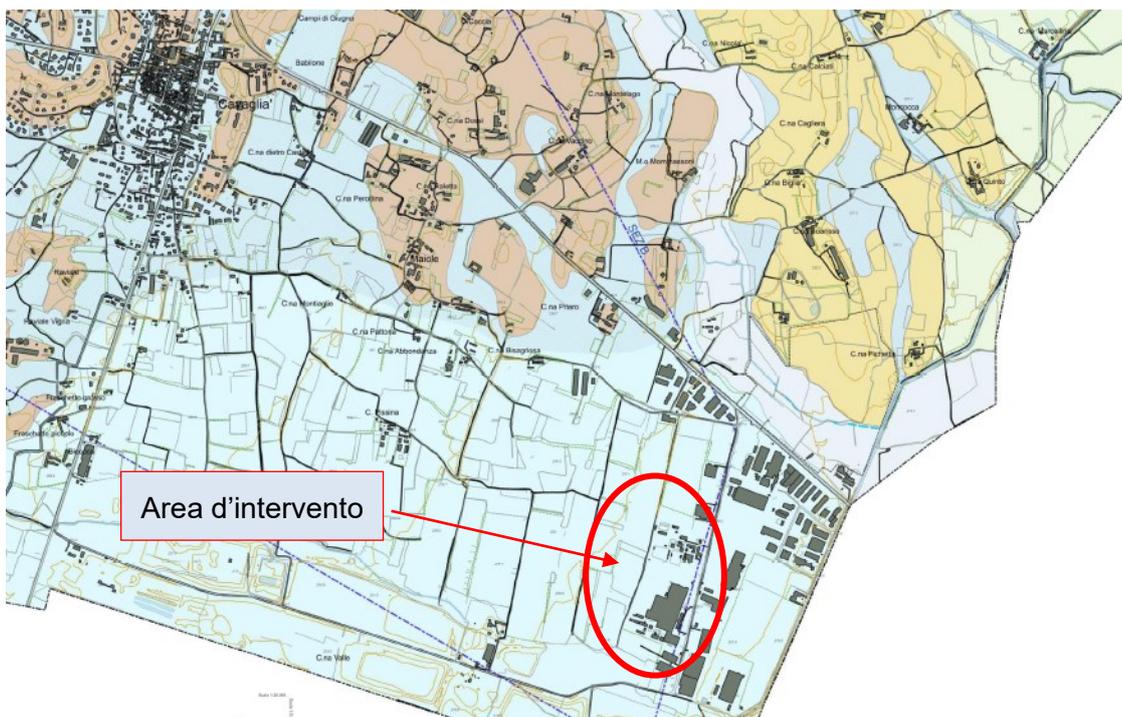
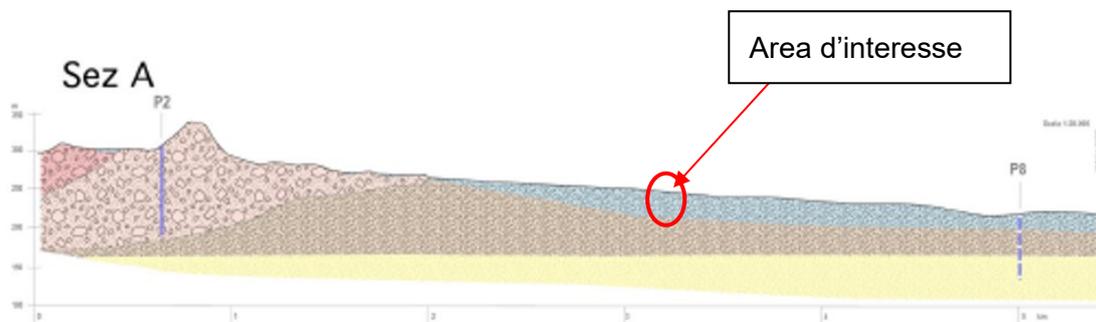


Figura 5: Geologia di dettaglio area d'intervento



Figura 6: Legenda carta geologica



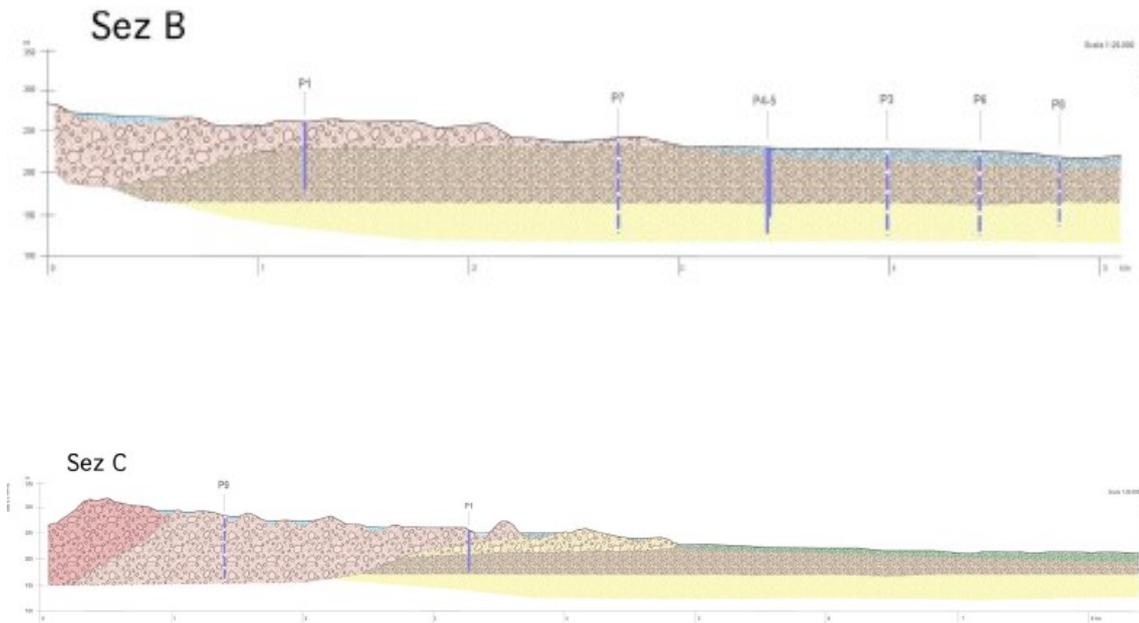


Figura 7: Sezioni geologiche NE-SW



Figura 8: Legenda delle sezioni geologiche

## 5.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO LOCALE

L'area in oggetto è collocata in pianura, al limite meridionale dell'apparato morenico di Ivrea e appartiene alla zona di transizione fluvio-glaciale rissiano-würmiana, originatasi da una serie di scaricatori le cui attività si sono succedute nei vari stadi della glaciazione rissiana protraendosi per un lasso di tempo relativamente lungo. Il paleosuolo di questi depositi fluvio-glaciali è caratterizzato dalla presenza superficiale di un debole strato d'alterazione bruno-giallastro che in superficie, per la profondità di alcuni decimetri, è stato profondamente modificato nella composizione e nelle caratteristiche fisico-chimiche dalle colture agrarie.

La pianura è delimitata verso Nord dai bassi rilievi mindeliani, costituenti le cerchie moreniche più esterne dell'anfiteatro eporediese, formati da depositi eterogenei caratterizzati da una coltre superficiale di argille rosse, "ferretto", e da sottostanti ciottoli di gneiss e di rocce granitiche molto alterate. Più ad Ovest sono presenti i terreni morenici rissiani, più recenti rispetto ai primi e quindi meno alterati; formano il corpo interno dell'apparato morenico (Serra d'Ivrea) con paleosuolo decisamente meno potente di quello mindeliano e generalmente asportato dall'erosione.

Nell'area non sono presenti corsi d'acqua naturali, di grosse dimensioni, ma il sito è piuttosto caratterizzato, a causa dell'intenso uso agricolo del suolo, da una fitta rete di canali irrigui dei quali il più importante è il Navilotto. Il Navilotto deriva dal Naviglio d'Ivrea che a sua volta prende origine dallo sbarramento d'Ivrea del Fiume Dora Baltea.

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area oggetto di studio ,dal punto di vista idrogeologico compaiono depositi alluvionali che affiorano in pianura in modo pressoché continuo, ed assumono una forma lenticolare, più spessa nella parte centromeridionale della pianura dove la potenza raggiunge i 65-70 metri che va, in genere, rastremandosi gradualmente verso N, (si riduce a 15-20 metri lungo il margine settentrionale della pianura), e verso S in maniera più rapida avvicinandosi alle colline del Monferrato (nella zona Trino-Crescentino è potente 15-20 metri). L'area in esame, compresa in questo complesso, fa eccezione, nel senso di un maggiore spessore, per le ragioni morfologiche dettagliate in precedenza, pur essendo situata in prossimità della parte settentrionale della pianura.

Le ghiaie sabbiose del complesso quaternario costituiscono un acquifero libero localizzato, nella pianura, la falda ivi ospitata, pur avendo in quasi tutta l'area connotazioni freatiche, risulta localmente confinata a causa di livelli costituiti da materiale fine a conducibilità idraulica relativa inferiore. Anche in questo caso l'area in studio si differenzia per la scarsità di livelli fini interposti e per la maggior profondità della falda superficiale, da porre in relazione con le note caratteristiche morfologiche e formazionali.

Nell'area gli acquiferi più sfruttati da pozzi pubblici e privati interessano, nella maggior parte dei casi, i depositi fluviali e fluvio-glaciali di età quaternaria o i depositi villafranchiani sottostanti. I pozzi pubblici attingono di norma all'acquifero profondo: Comune di Santhià (pozzi profondi tra i 100 ed i 129 m circa), acquedotto comunale di Cavaglià (135 m), pozzi di Alice Castello (67-90 m), mentre nei depositi fluvioglaciali sono attestati generalmente i pochi pozzi privati ancora rimanenti ed a uso irriguo.



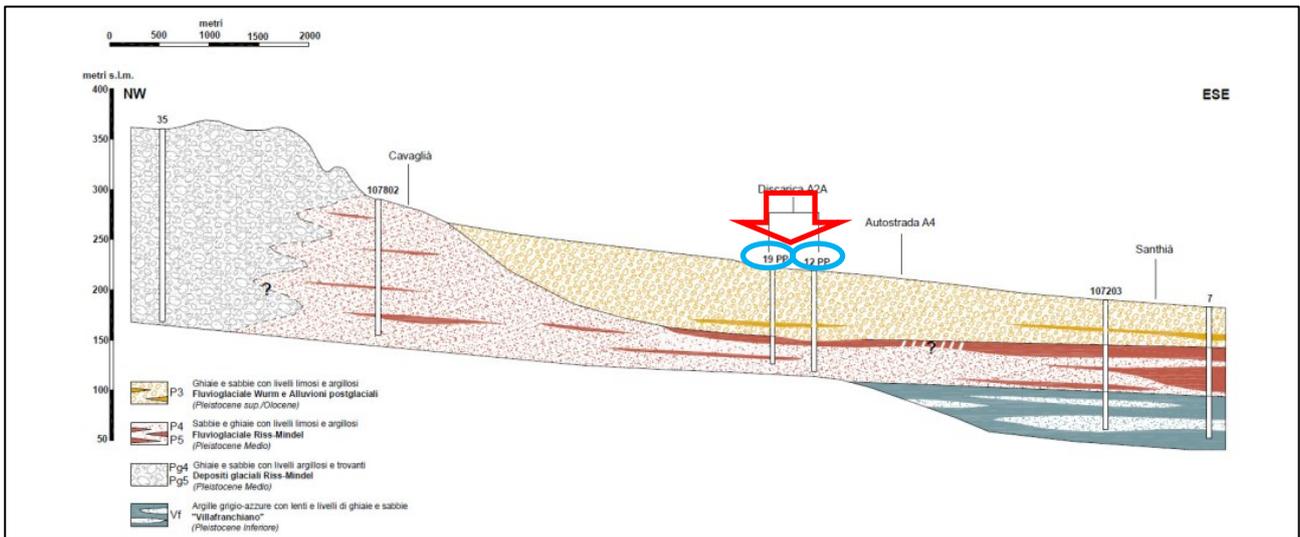


Figura 10: Sezione idrogeologica dell'area di interesse ricostruita utilizzando le stratigrafie dei sondaggi perforati nell'area delle discariche ("Discarica A2A") e di pozzi esterni. Con la freccia rossa viene indicata l'area d'interesse e nei riquadri azzurri i pozzi di riferimento (19PP e 12 PP)

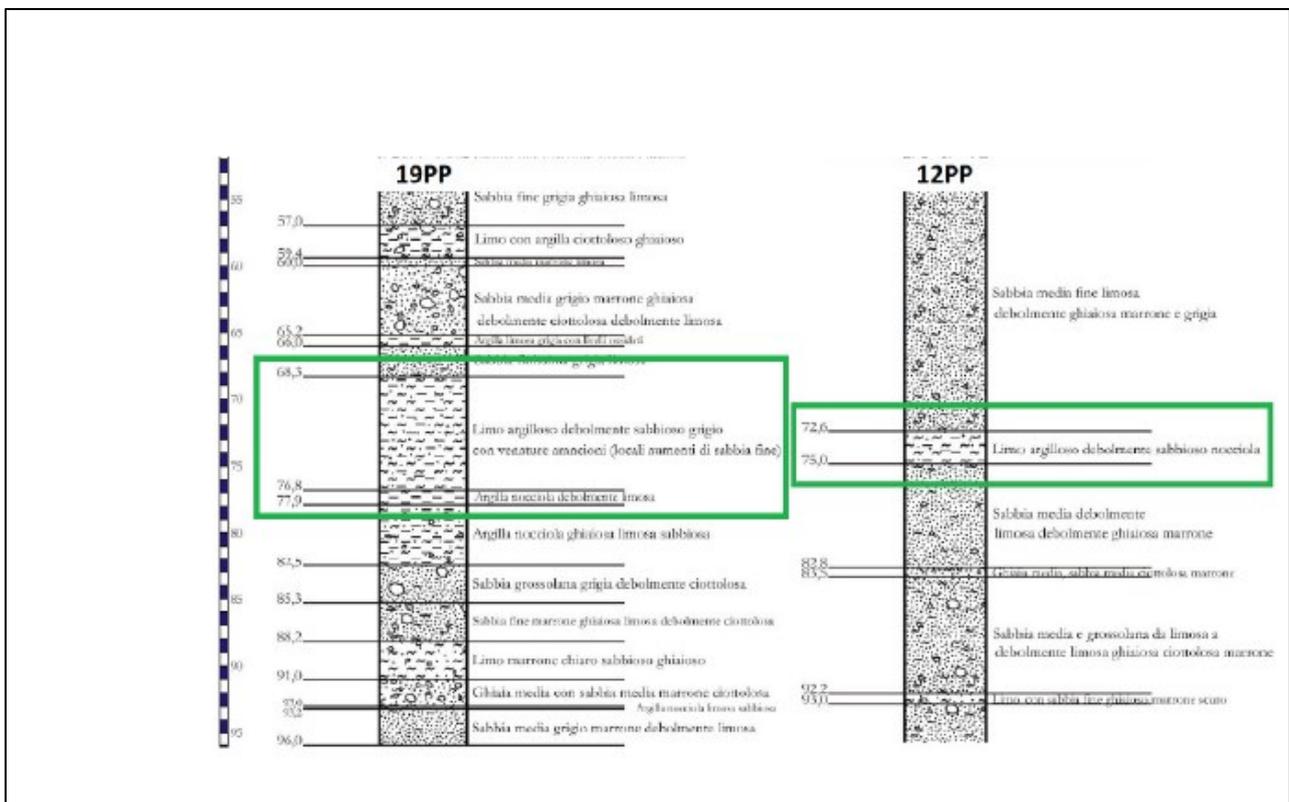


Figura 11: Pozzi di riferimento 19PP e 12PP realizzati in vicinanza all'area.

I riquadri verdi identificano i livelli limosi argillosi che separano l'acquifero superficiale dall'acquifero profondo e quindi i depositi fluviali e fluvio-glaciali di età quaternaria dai depositi villafranchiani sottostanti.

Nella figura seguente viene inquadrata l'area d'interesse all'interno della tavola della piezometria generale con ubicazione dei pozzi presente sulla documentazione del 2002 del Dottor Epifani per il progetto di ampliamento della Discarica ASRAB S.p.A. e Discarica A2A Ambiente S.p.A. poco distanti.

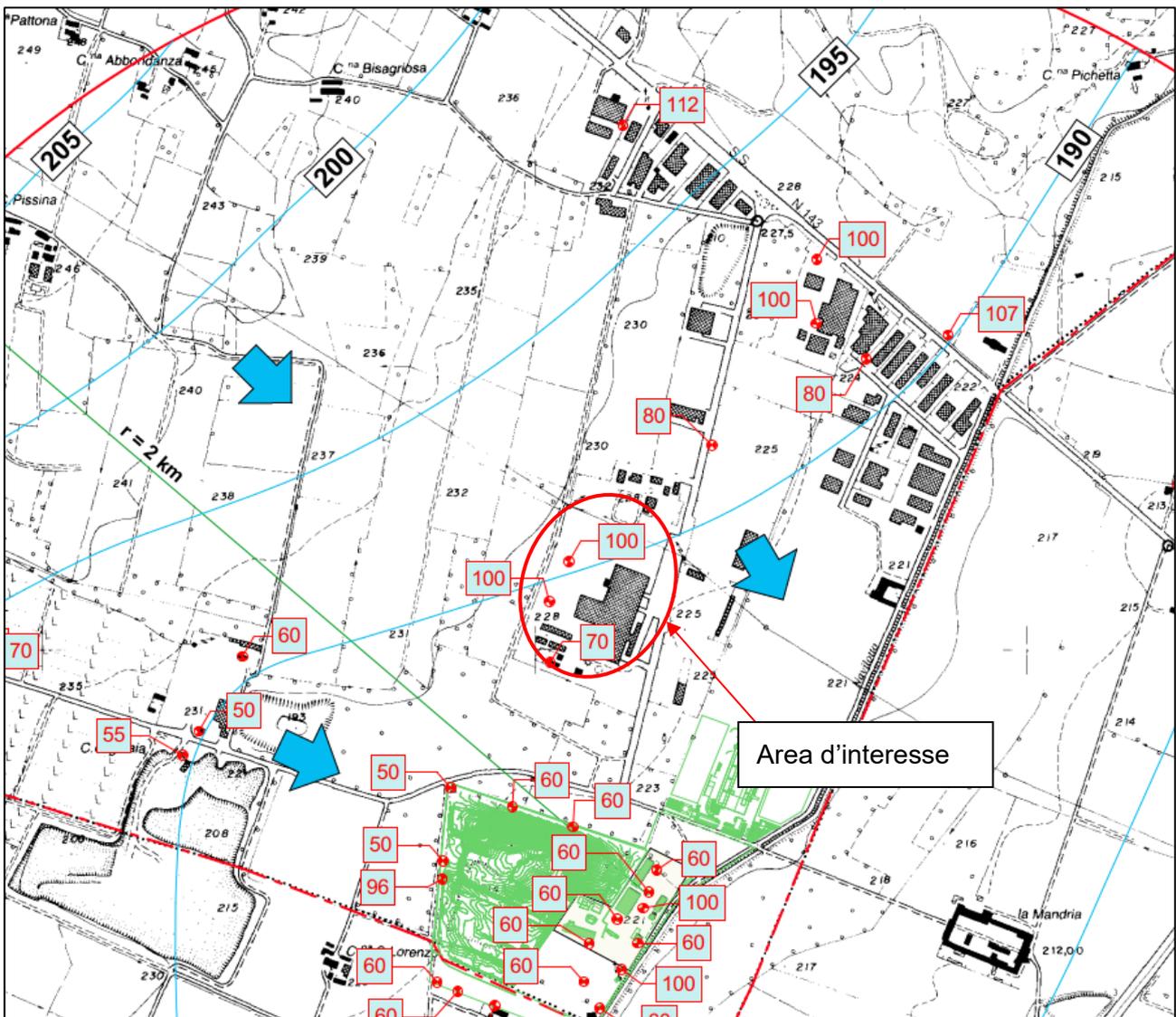




Figura 12: Carta idrogeologica con isopieze con relativa legenda.

Dalla carta idrogeologica riportata in Figura 12 si nota la presenza di 3 pozzi dismessi all'interno dell'area d'interesse.

Nella documentazione del 2002 il Dottor Epifani ha ricostruito la configurazione della piezometria statica alla minima e alla massima escursione. Si riportano di seguito i due stralci di elaborati all'interno dei quali viene inquadrata l'area oggetto di studio.

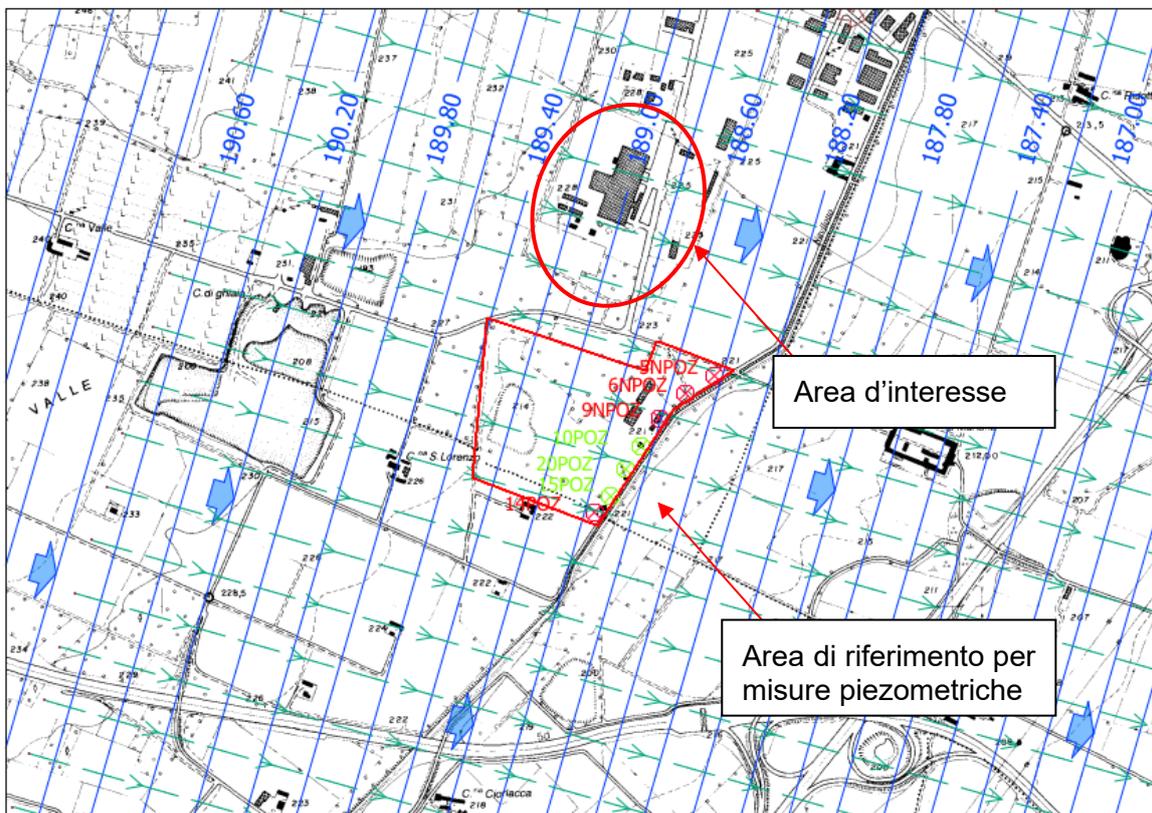
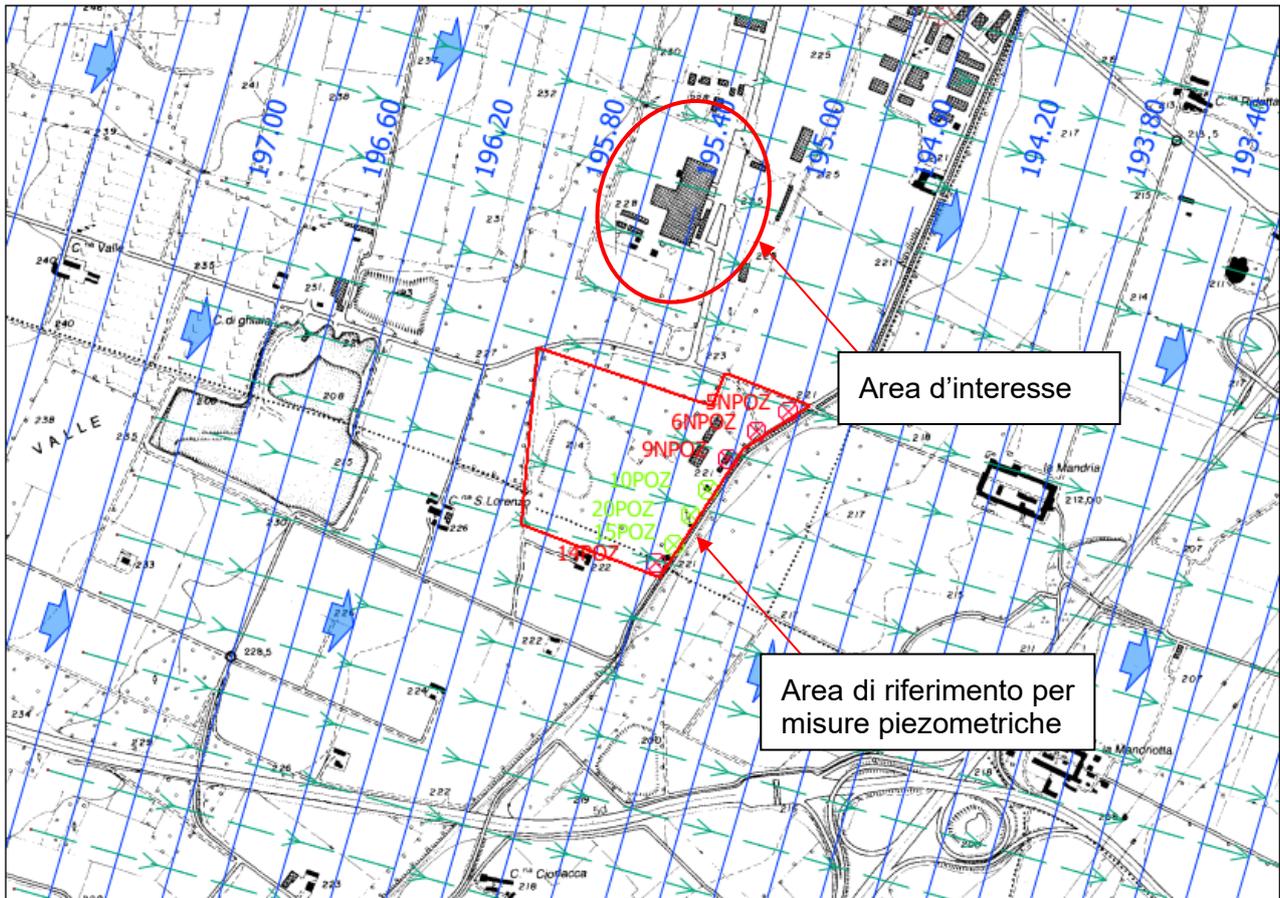


Figura 13: Piezometria statica alla minima escursione



*Figura 14: Piezometria statica alla massima escursione*

Presi di riferimento i due elaborati si nota che l'escursione massima della falda dell'acquifero superficiale è di circa 6 metri (da isopiezia 195,40 m s.l.m. a 189 m s.l.m.). Prendendo di riferimento la quota topografica 225 m s.l.m. e la minima e massima escursione della falda si può assegnare una soggiacenza variabile tra 30 e 36 m da p.c.

Nella figura seguente viene riportata la carta delle aree inondabili dal GeoPortale della Regione Piemonte dal quale si nota che l'area d'interesse non è interessata da questo tipo di problematica.



*Figura 15: Carta di riferimento aree inondabili-Dato Geoportale Regione Piemonte. L'area non ricade all'interno di zone potenzialmente inondabili*

## 6.1 CARTA DELLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

In questo capitolo viene individuata la vulnerabilità dell'acquifero presente nell'area d'interesse utilizzando il metodo G.O.D., (Foster et al., 2002).

Il metodo G.O.D. (acronimo di Groundwater confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table), inizialmente proposto da Foster nel 1987, viene utilizzato nel presente studio secondo una versione più recente, messa a punto da Foster et al. nel 2002.

Tale metodo valuta la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero come il prodotto dei seguenti fattori:

**G** = grado di confinamento dell'acquifero.

**O** = caratteristiche litologiche e grado di coesione delle rocce della zona non satura (per gli acquiferi non confinati) e dei livelli confinanti al tetto (per gli acquiferi confinati).

**D** = soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquifero non confinato o tetto dell'acquifero per gli acquiferi confinati.

Per quanto concerne il grado di confinamento (G), è possibile scegliere tra sei classi alle quali vengono attribuiti punteggi variabili tra 0 e 1.

Alle caratteristiche litologiche e allo stato di coesione delle rocce della zona non satura, per gli acquiferi non confinati, o degli strati confinanti, per gli acquiferi in pressione, (**O**) compete un punteggio variabile tra 0,4 e 1.

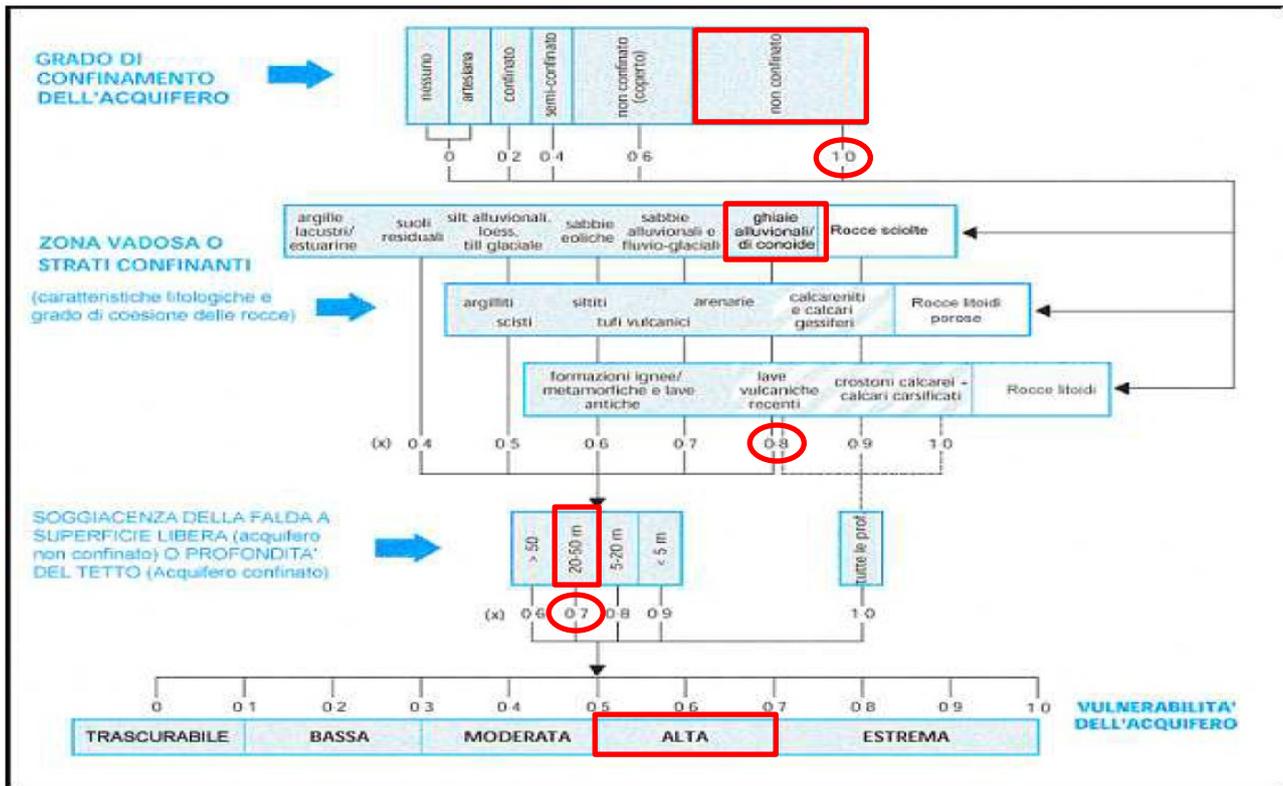
Al termine, alla soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquifero non confinato, e alla profondità del tetto dell'acquifero, per gli acquiferi confinati (**D**), può essere assegnato, infine, un punteggio compreso tra 0,6 e 1.

La vulnerabilità intrinseca è valutata come il prodotto dei tre indici numerici corrispondenti ai parametri suddetti:

$$\text{Indice G.O.D.} = \mathbf{G} \times \mathbf{O} \times \mathbf{D}$$

Tale valore può essere compreso tra 0 e 1 e corrisponde a sei gradi di vulnerabilità individuati dagli autori.

Nella figura seguente viene mostrato il metodo empirico per l'ottenimento del valore di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero.



Indice G.O.D. =  $1.0 \times 0.8 \times 0.7 = 0.56$  Vulnerabilità dell'acquifero **ALTA**

Dalla carta della vulnerabilità degli acquiferi si deduce che l'area d'interesse è caratterizzata da una vulnerabilità dell'acquifero alta a causa di:

- presenza di un acquifero di tipo non confinato
- granulometria grossolana del terreno
- soggiacenza della falda tra 20 e 50 metri.

Di seguito viene ubicata l'area d'interesse all'interno della cartografia della Regione Piemonte elaborata basandosi sul metodo G.O.D. di Foster et al., 2002.

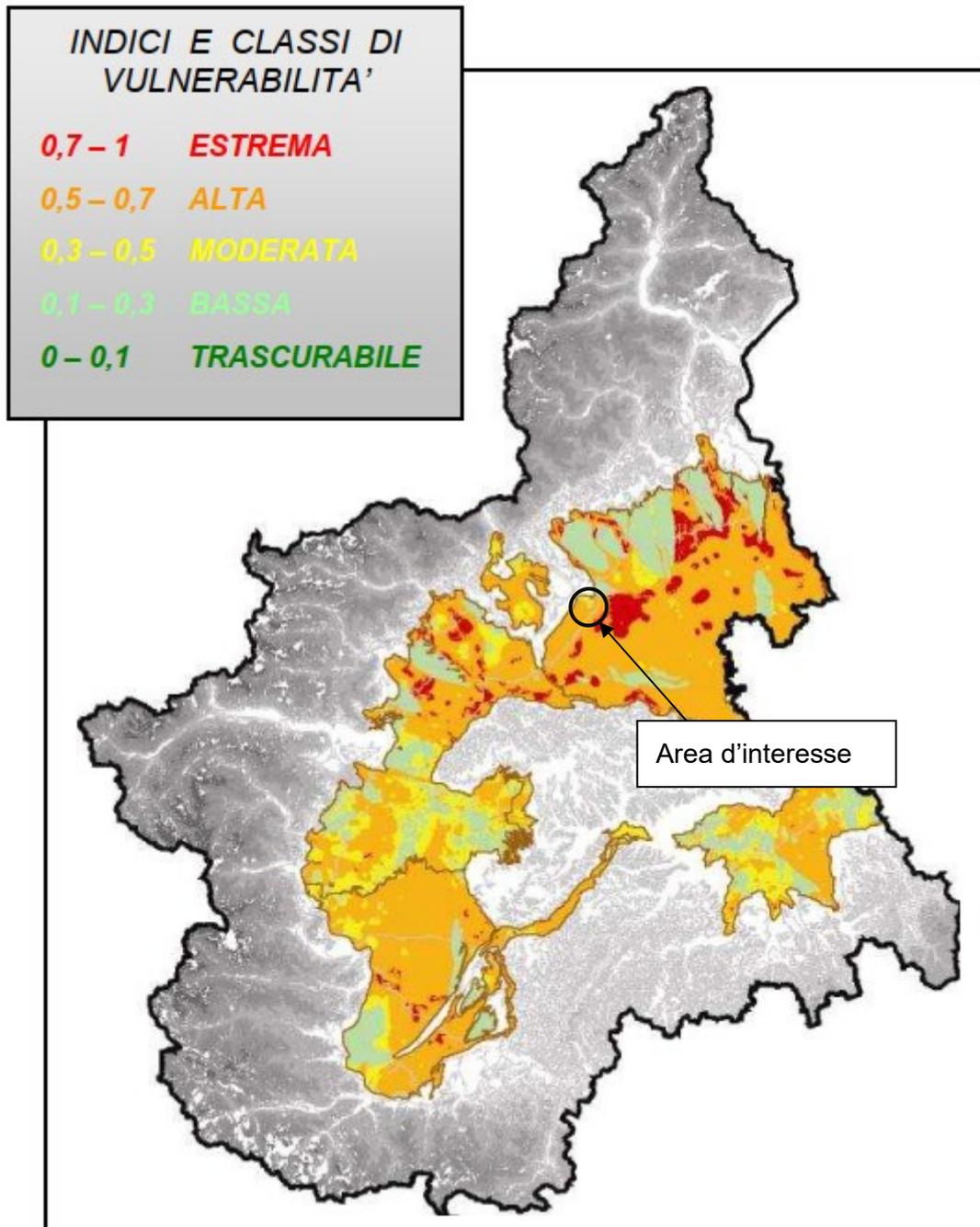


Figura 16: Carta della vulnerabilità dell'acquifero - Metodo G.O.D., (Foster et al., 2002)

Dallo “Schema idrogeologico, qualità e vulnerabilità degli acquiferi della pianura vercellese” di M. Civita, G. Fisso, M. E. Governa, P. Rossanigo -1990)” si deduce che l'acquifero superficiale oggetto di studio è caratterizzato da ghiaie eterometriche miste a sabbia con presenza di alcune lenti di materiale più fine (silt e silt argillosi) solitamente poco estese, di spessore limitato e rare.

Si tratta di depositi fluviali e fluvioglaciali.

Dal punto di vista idrogeologico si tratta di un acquifero produttivo libero localizzato, solo localmente sono stati rilevati fenomeni di risalita dell'acqua nei piezometri.

## 6.2 PROVE DI EMUNGIMENTO A PORTATA COSTANTE E CALCOLO DEI PARAMETRI IDRODINAMICI

Al fine di valutare la permeabilità dei terreni, sono stati utilizzati i dati desunti dalle prove di emungimento eseguite in data 07/10/91 sul pozzo 4 (abbassamento e risalita) e in data 23/02/99 sui pozzi 4 e 3 (abbassamento); in quest'ultima data il pozzo 3 è stato usato solo come piezometro. Tutte le prove di emungimento a portata costante e a portata variabile del 1999 sono state eseguite a cura del Dott. Geologo Vanoni.

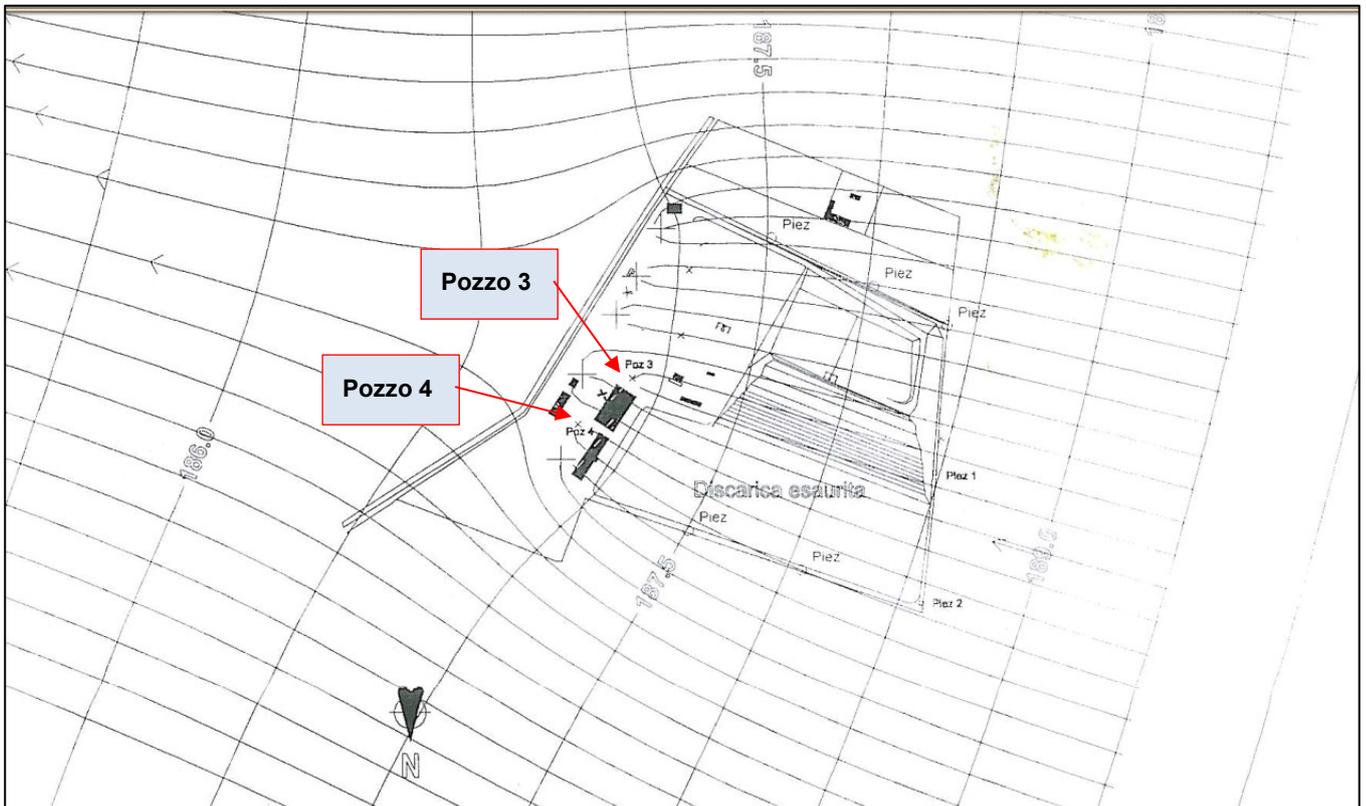


Figura 17: Ubicazione dei pozzi 3 e 4

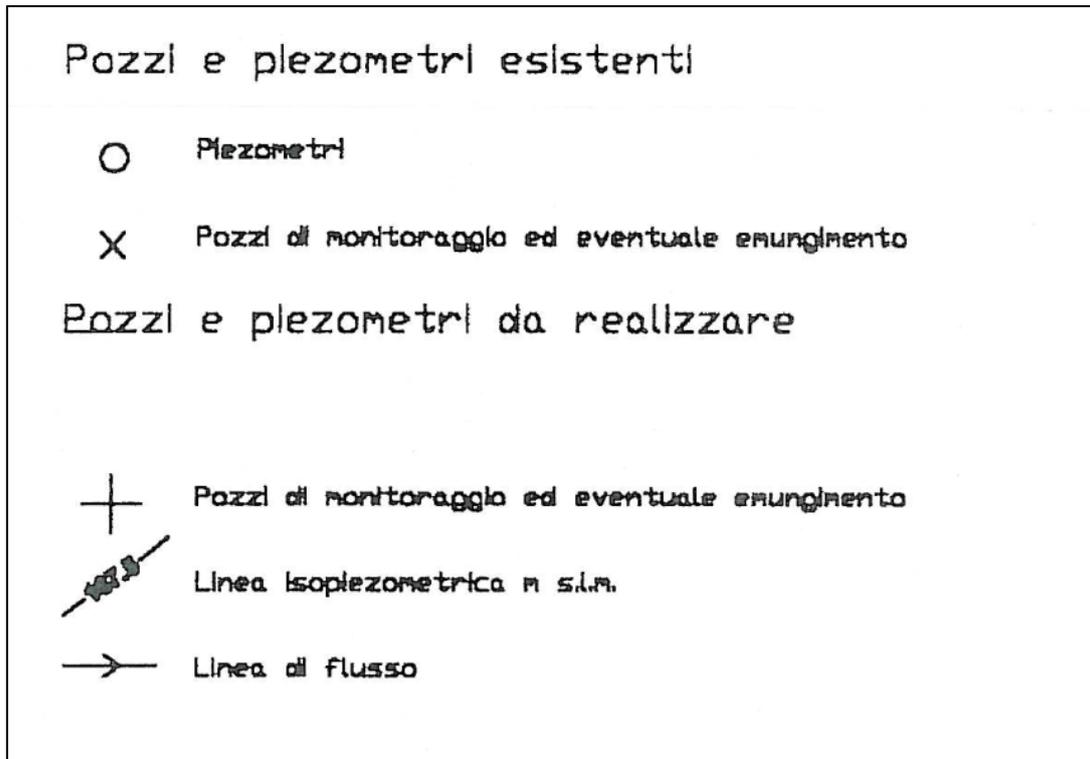
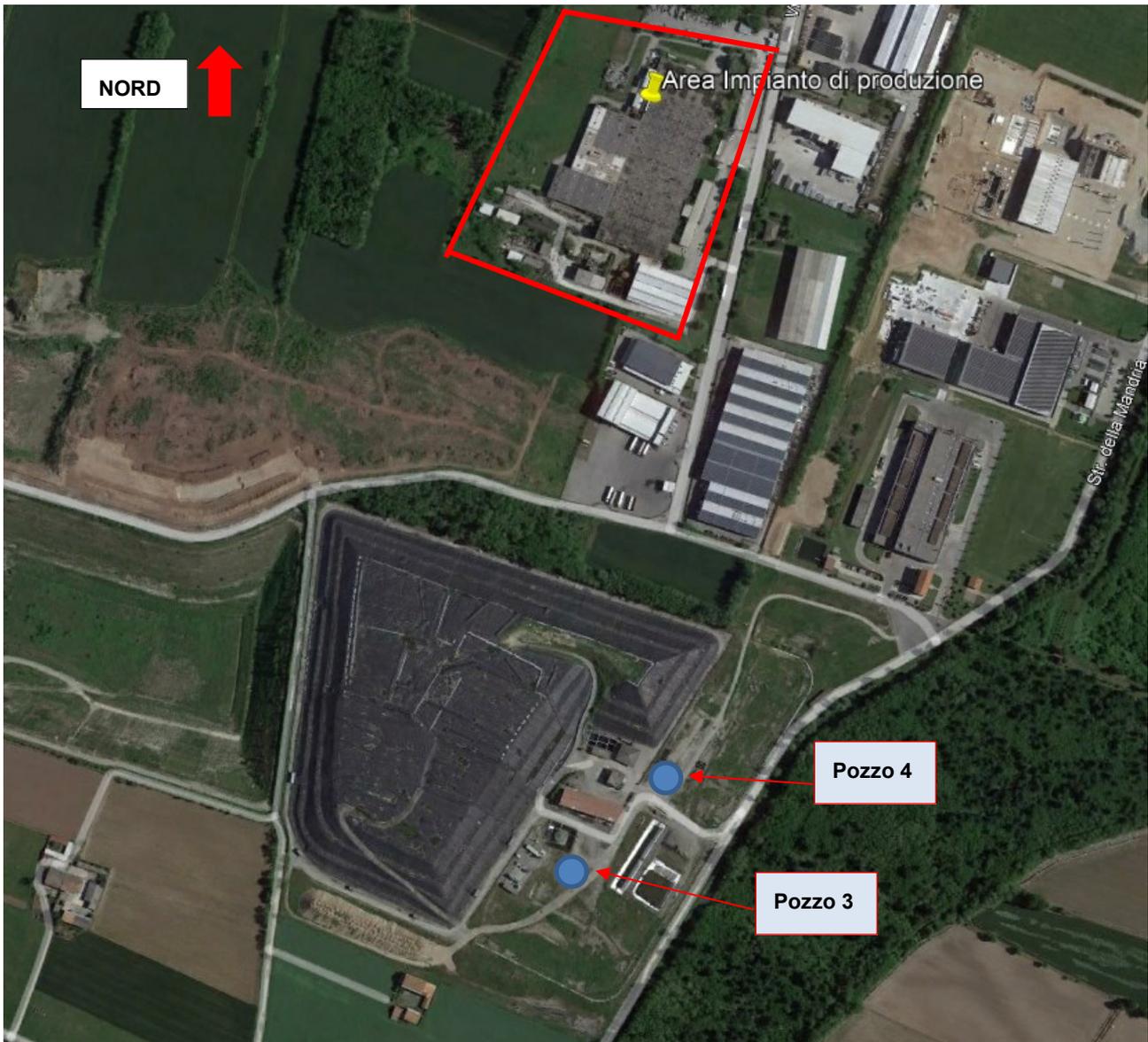


Figura 18: Stralcio della legenda Ubicazione dei pozzi 3 e 4



*Figura 19: Ubicazione Pozzo 3 e Pozzo 4 da Google earth*

Il metodo utilizzato per l'interpretazione delle prove è stato quello di Cooper-Jacob.

Si riportano di seguito i grafici delle prove eseguite

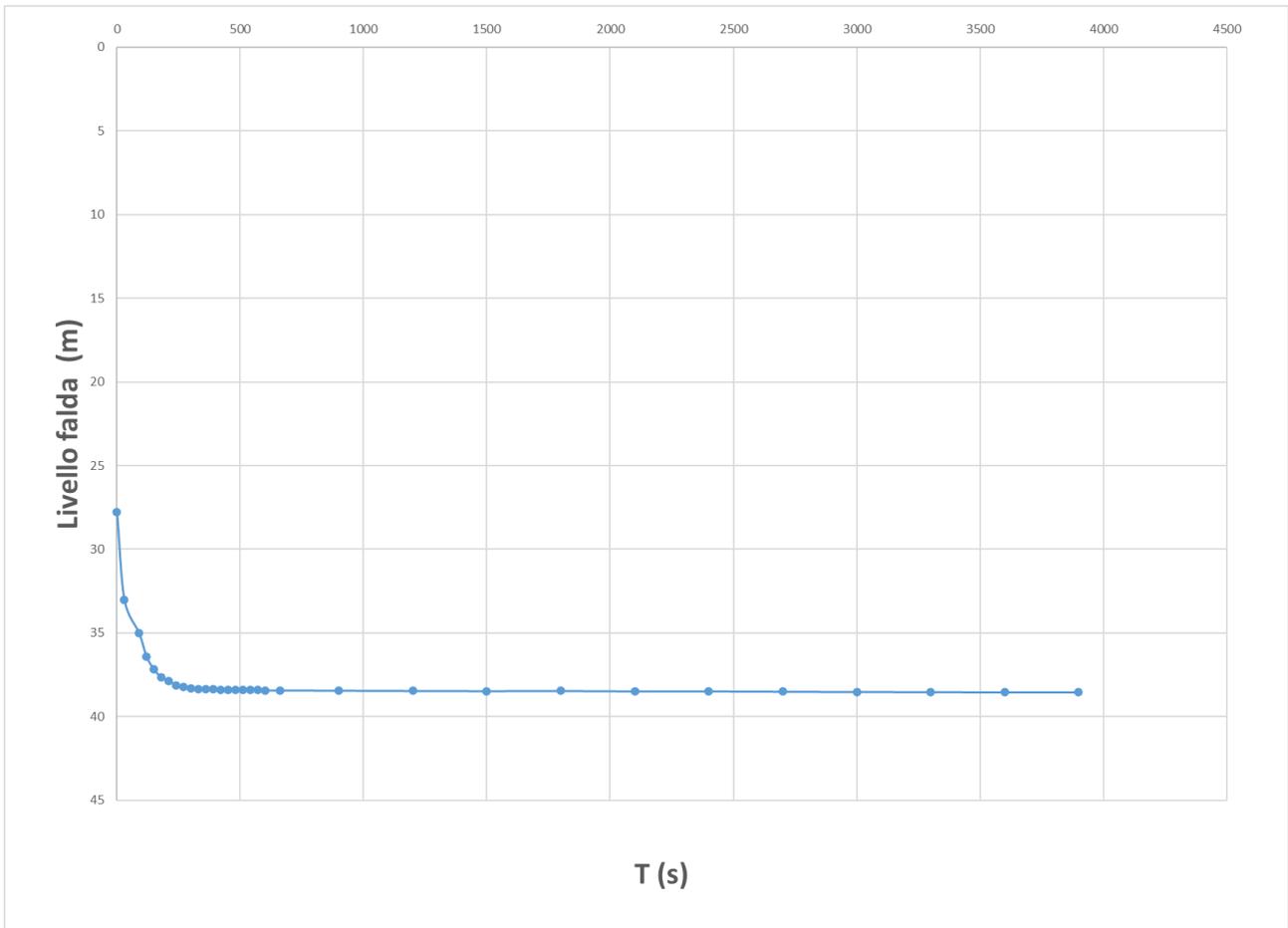


Figura 20: - 07/10/91 - Pozzo 4 - Prova 1 (Emungimento)

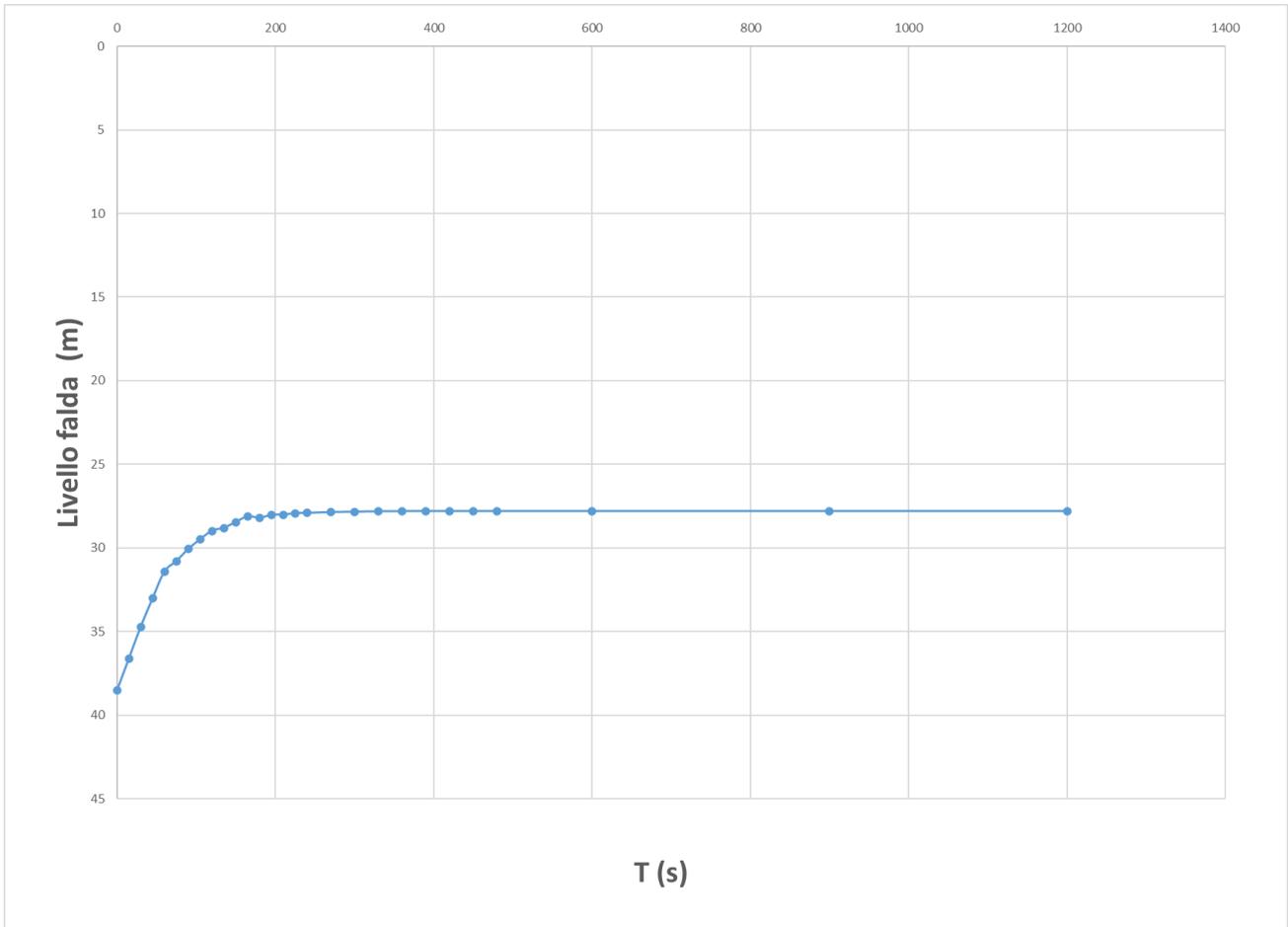


Figura 21: - 07/10/91 - Pozzo 4 - Prova 2 (Risalita)

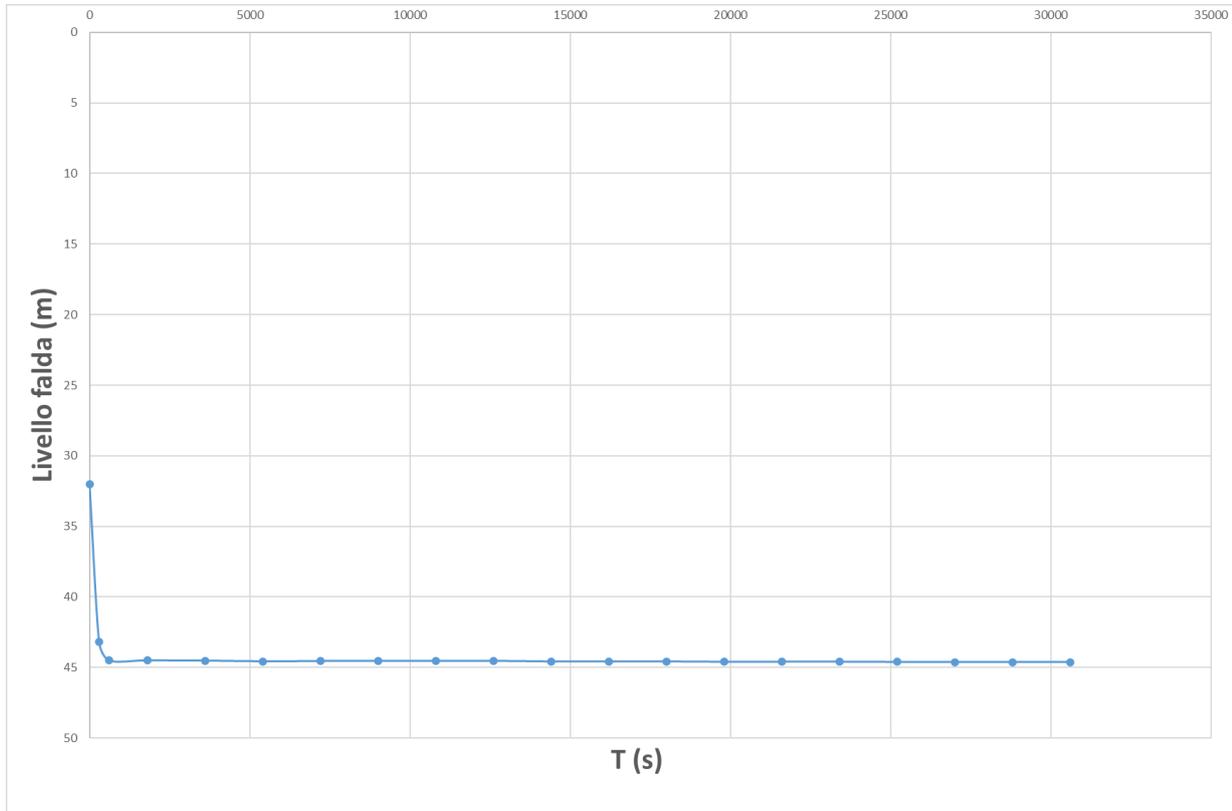


Figura 22: 23/02/99 - Pozzo 4 - Prova 3 (Emungimento)

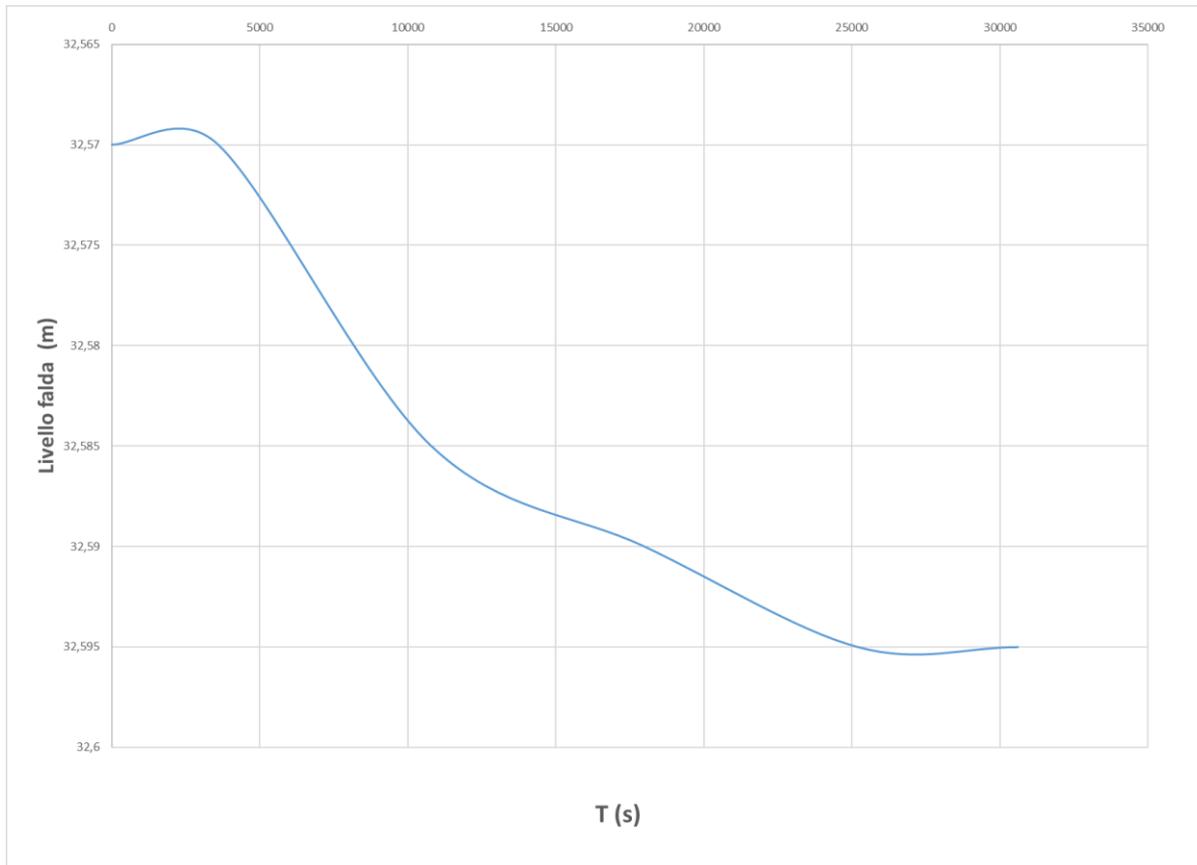


Figura 23: 23/02/99 - Pozzo 3 - Prova 4 (Emungimento da Pozzo 4)

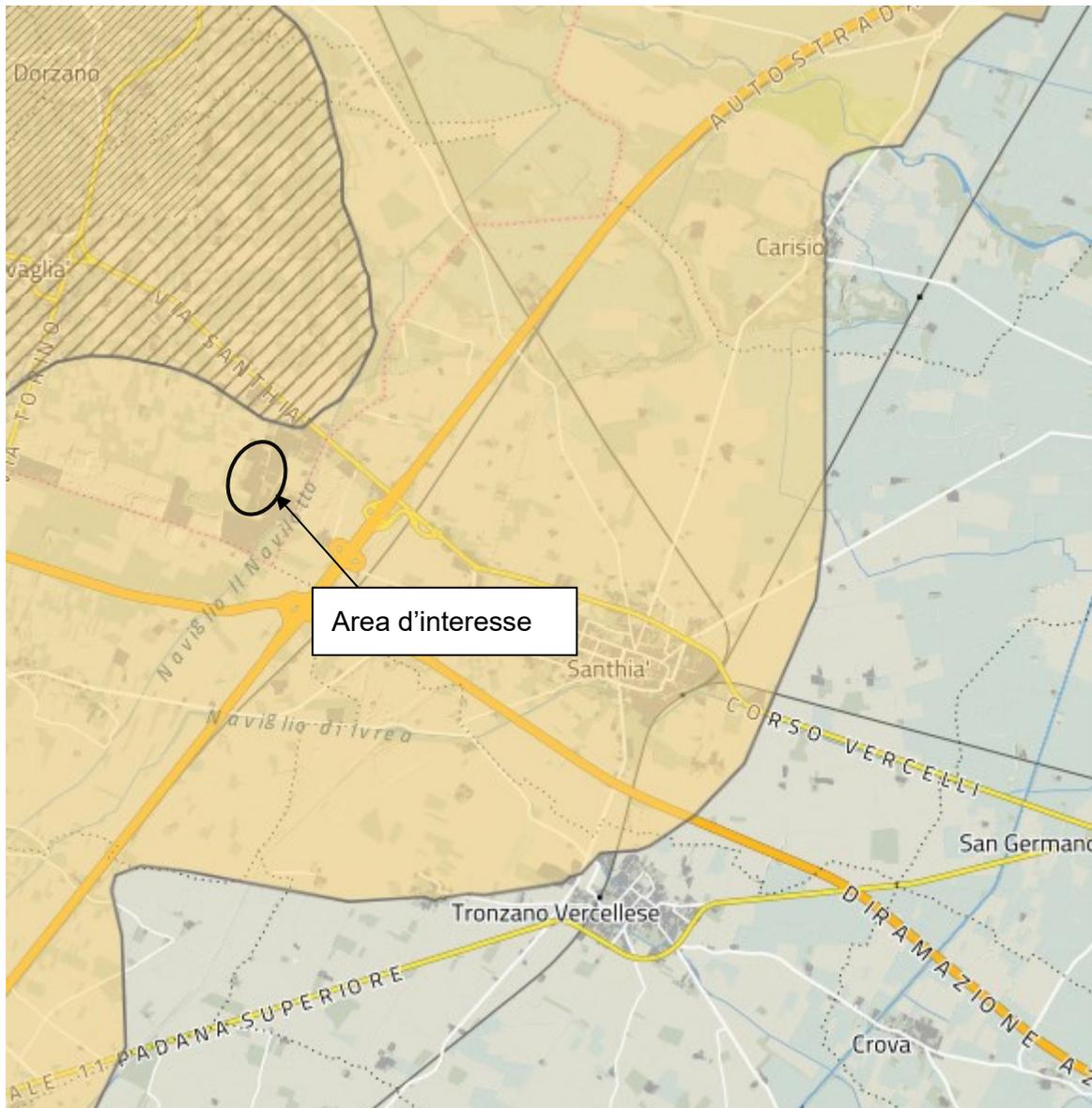
Di seguito viene visualizzata la tabella riassuntiva dei valori dei parametri idrodinamici individuati.

PROVA	POZZO	TIPO DI PROVA	K (m/s)
1	4	EMUNGIMENTO	0,00013
2	4	RISALITA	0,00011
3	4	EMUNGIMENTO	0,00014
4	3	EMUNGIMENTO DA POZZO 4	0,00014

Tali valori attestano un'elevata permeabilità dell'acquifero nell'ordine di  $1 - 10^{-4}$  m/s.

### 6.3 AREE RICARICA DEGLI ACQUIFERI PROFONDI

Nel seguente capitolo viene inquadrata l'area d'interesse all'interno della cartografia del GeoPortale della Regione Piemonte con evidenziato il layer relativo alle aree di ricarica degli acquiferi profondi.



*Figura 24: Aree di ricarica degli acquiferi profondi evidenziate in giallo-ocra– Fonte Geoportale Regione Piemonte*

L'area d'interesse ricade all'interno di queste aree di ricarica

Una recente analisi (gennaio 2018) alla quale si rimanda per maggiori dettagli, condotta dal prof. Francani nell'ambito di uno studio riguardante "Valutazioni idrogeologiche riguardo l'ampliamento delle discariche A.S.R.A.B. e A2A Ambiente in Comune di Cavaglià (BI)" situate in adiacenza all'area di intervento (con analoghe caratteristiche dal punto di vista idrogeologico), ha evidenziato che sulla

base dei dati idrogeologici raccolti e le conseguenti elaborazioni si possa ritenere che l'area delle discariche e degli ampliamenti e analogamente l'area del sito del nuovo impianto non debbano rientrare, di fatto, nelle aree di ricarica delle falde profonde, sulla base dei criteri di esclusione previsti nell'Allegato 1 alla D.D. del 21 luglio 2016, n. 268.

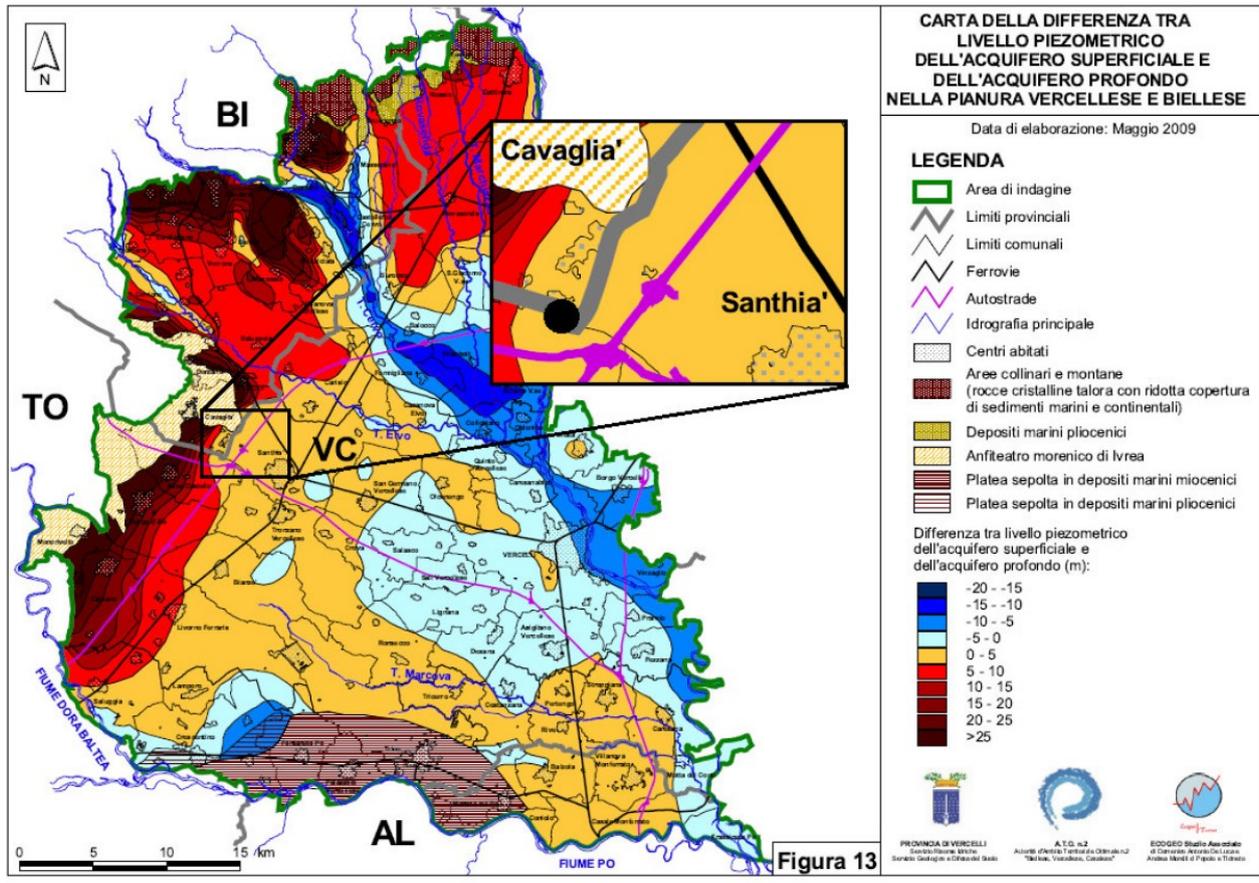
In particolare, se si applica la stessa metodologia utilizzata dalla Regione Piemonte (Allegato 1 alla D.D. del 21 luglio 2016, n. 268), la fascia delle aree di ricarica degli acquiferi profondi può essere ridotta utilizzando i criteri escludenti, tra i quali ve ne sono due che interessano l'area in esame:

- la presenza di livelli fini continui e potenti che separino l'acquifero profondo dai livelli sovrastanti;
- il criterio della differenza di carico nullo o negativo, che porta alla presenza di componenti di flusso prevalentemente orizzontali o verticali ascendenti

A tal proposito, tutti i sondaggi eseguiti nell'area delle discariche adiacenti al sito di indagine, confermano la presenza di un livello fine a separare l'acquifero profondo da quello superficiale. I due acquiferi risultano essere separati da un livello di materiali limosi ed argillosi avente uno spessore minimo, nel sito in oggetto, di 2 metri e mezzo (Figura 10) e che risulta avere una buona continuità anche all'esterno, come testimoniato dallo studio di Provincia di Vercelli ed ATO n. 2 del 2009 (Figura 9)

Il criterio della differenza di carico nullo o negativo è stato verificato tramite i livelli di falda misurati nei piezometri delle discariche che interessano sia l'acquifero superficiale che quello più profondo. La differenza tra livelli superficiali e profondi risulta essere, in tutto il periodo esaminato, inferiore a 50 centimetri.

Questo risultato è conforme alla carta riportata nello studio di Provincia di Vercelli ed ATO n. 2 (Figura 25) e significa che non esistono delle differenze di livello piezometrico tali da portare a potenziali flussi significativi di ricarica dell'acquifero profondo.



*Figura 25: Carta della differenza tra livello piezometrico dell'acquifero superficiale e di quello profondo (fonte: Provincia di Vercelli, ATO n. 2, 2009). È sovrapposto un ingrandimento della stessa carta, da cui si può vedere come il sito in oggetto (cerchio nero nell'ingrandimento) ricada nell'area in cui la differenza di livello tra superficiale e profondo è inferiore a 5 metri.*

Inoltre, le oscillazioni piezometriche rilevate presentano un solo picco annuo e non rispondono alle caratteristiche del regime pluviometrico della regione, che prevede due picchi (uno primaverile e uno autunnale). Tale comportamento è verosimilmente dovuto al fatto che l'alimentazione, tanto alla prima quanto alla seconda falda, proviene dal bacino della Dora Baltea tramite i depositi del Pleistocene medio in cui gli acquiferi non sono differenziati.

## 7 CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA

Nel 2022 è stata effettuata una campagna di indagine al fine della caratterizzazione geologica e geotecnica, composta dalle seguenti indagini:

- n.1 sondaggio a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro spinto fino a -40 m da p.c. attuale (ZC1)

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro spinti fino a -20 m da p.c. attuale (ZC2 e ZC3)
- Analisi granulometriche in laboratorio (setacciatura-sedimentazione)



*Figura 26: Ubicazione delle prove in situ nell'area di studio*

Per la definizione dal punto di vista sismico dell'area oggetto di studio, vista l'omogeneità dei depositi presenti sono state prese di riferimento n.2 indagini sismiche MASW eseguite nel 2021 sempre da A2A Ambiente S.p.a. in un'area che dista circa 450 metri dall'area oggetto del presente studio.

Queste indagini erano state condotte in occasione della precedente istanza autorizzativa per la costruzione dello stesso impianto, localizzato però nei terreni adiacenti quelli degli esistenti impianti di A2A. .

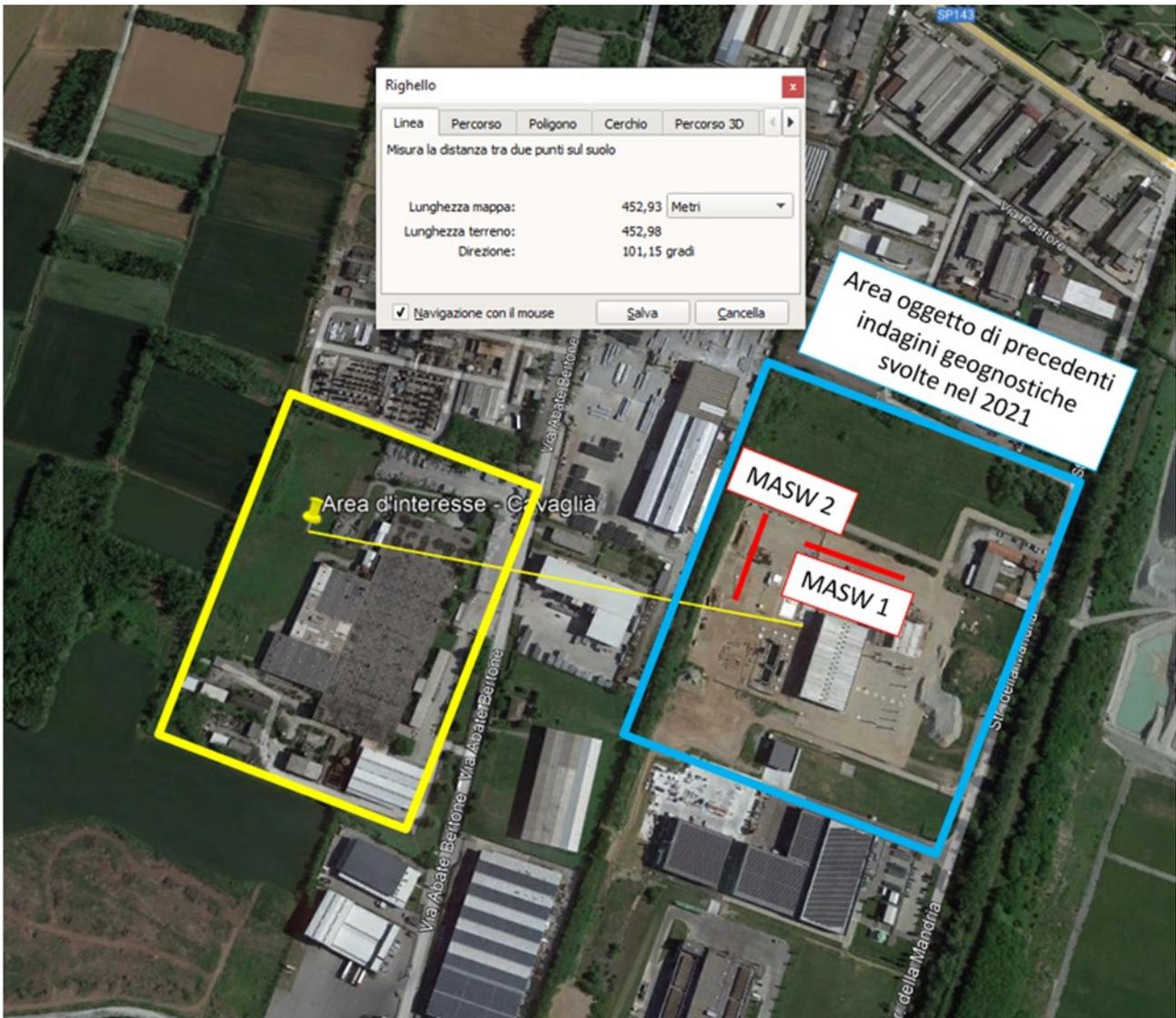


Figura 27: Stralcio Google Earth con distanza MASW di riferimento

## 8 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DELLE MISURE IN SITO

### 8.1 PROVE PENETROMETRICHE 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:

$$\text{For } N < 15 \quad N' = \text{NSPT}$$

$$\text{For } N \geq 15 \quad N' = 15 + 1/2(\text{NSPT} - 15)$$

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

$$N1(60) = C_n \text{ NSPT}$$

Dove:

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

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

#### 8.1.1 DENSITÀ RELATIVA (DR) DA SPT

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

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

#### 8.1.2 MODULO ELASTICO (E) DA SPT

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

$$E_{25'} = (52,5 - 35 \cdot D_R) \cdot N_{SPT} \rightarrow \text{in kg/cmq} \rightarrow \text{Jamiołkowsky et al. 1988 per terreni OC}$$

### 8.1.3 ANGOLO DI ATTRITO ( $\phi'$ ) DA SPT

Utilizzando i parametri valutati precedentemente, l'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  di picco del terreno è stato calcolato utilizzando le seguenti formule:

$$\phi' = 15 + [20 \cdot N_{1(60)}]^{0.5} \quad \text{Owasaki e Iwasaki}$$

## 9 RISULTATI DELLE PROVE IN SITO

### 9.1 RISULTATI DELLE PROVE – CAMPAGNA D'INDAGINE 2022

Di seguito vengono riportate le elaborazioni dei dati di sito delle prove geognostiche eseguite nell'area di interesse.

#### 9.1.1 RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE SPT

Di seguito, si riporta i risultati ottenuti dalle prove SPT realizzate nei sondaggi S1 e S2.

##### 9.1.1.1 NUMERO DI COLPI SPT

Sondaggio	Profondità [m]	$N_{SPT}$	$N'$	$\sigma'_{vo}$ [kPa]	$C_n$	$N_{1(60)}$
ZC1	3	100	57,5	57	1,2	116,7
	6	39	27	114	1,0	37,3
	9	100	57,5	171	0,8	80,9
	12	63	39	228	0,7	44,2
	15	60	38	285	0,6	37,1
	18	68	41,5	342	0,6	37,6
	21	100	57,5	399	0,5	50,1
	24	53	34	456	0,5	24,2
	27	53	34	513	0,4	22,3
	30	87	51	570	0,4	33,9
	33	78	46,5	627	0,4	28,3
	36	74	44,5	684	0,3	25,1
39	76	45,5	711	0,3	25,0	
ZC2	3	100	57,5	57	1,2	116,7
	6	100	57,5	114	1,0	95,5
	9	100	57,5	171	0,8	80,9
	12	100	57,5	228	0,7	70,1
	15	100	57,5	285	0,6	61,9
	18	65	40	342	0,6	36,0
ZC3	3	51	33	57	1,2	59,5

6	74	44,5	114	1,0	70,7
9	100	57,5	171	0,8	80,9
12	100	57,5	228	0,7	70,1
15	76	45,5	285	0,6	47,0
18	75	45	342	0,6	41,5

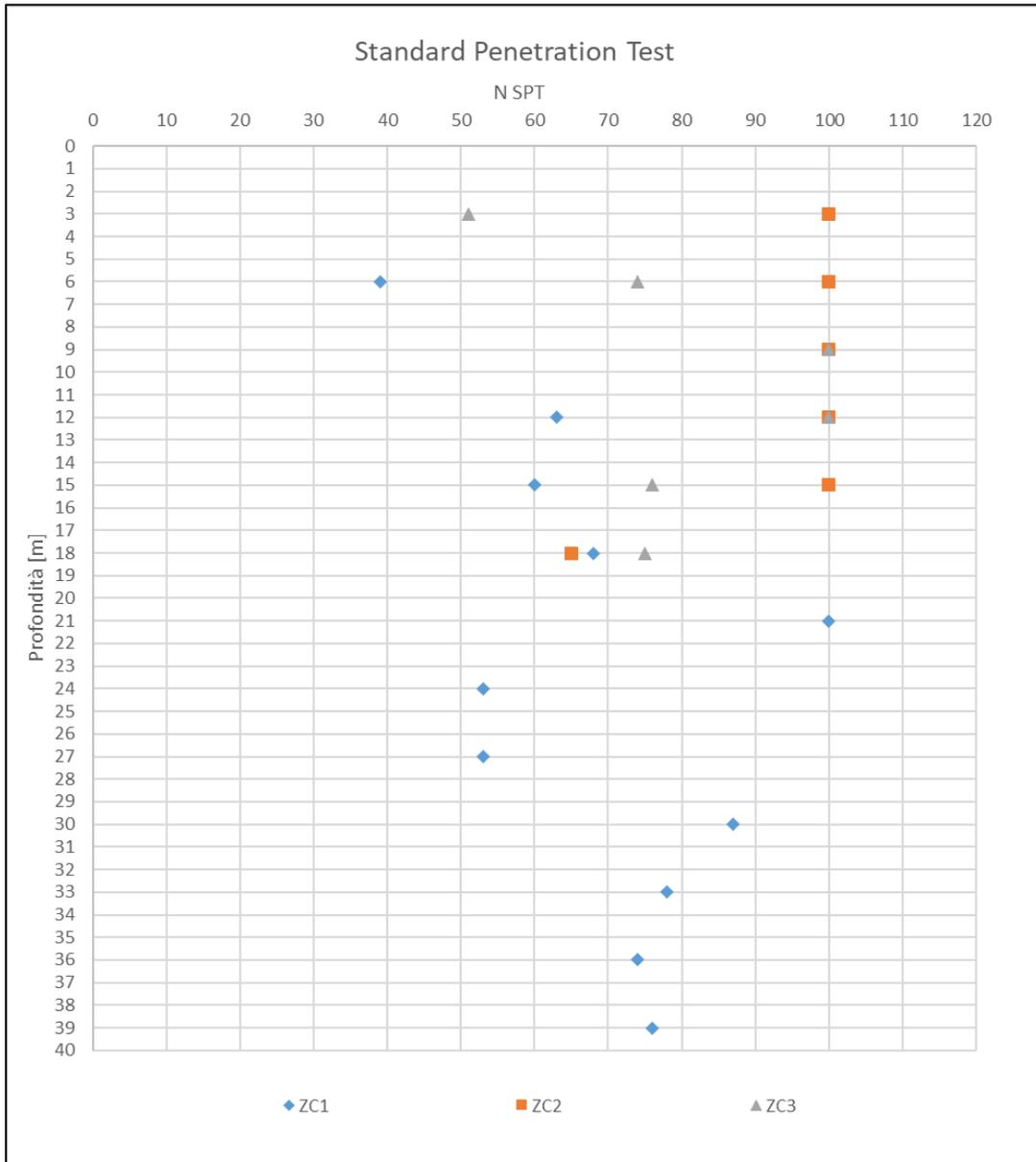


Figura 28: Grafico Nspt

**9.1.1.2 DENSITÀ RELATIVA (DR) DA SPT**

Sondaggio	Profondità [m]	N <sub>1(60)</sub>	Dr [%]
ZC1	3	116,7	100%
	6	37,3	79%
	9	80,9	100%
	12	44,2	86%
	15	37,1	79%
	18	37,6	79%
	21	50,1	91%
	24	24,2	64%
	27	22,3	61%
	30	33,9	75%
	33	28,3	69%
	36	25,1	65%
	39	25,0	65%
ZC2	3	116,7	100%
	6	95,5	100%
	9	80,9	100%
	12	70,1	100%
	15	61,9	100%
	18	36,0	77%
ZC3	3	59,5	100%
	6	70,7	100%
	9	80,9	100%
	12	70,1	100%
	15	47,0	89%
	18	41,5	83%

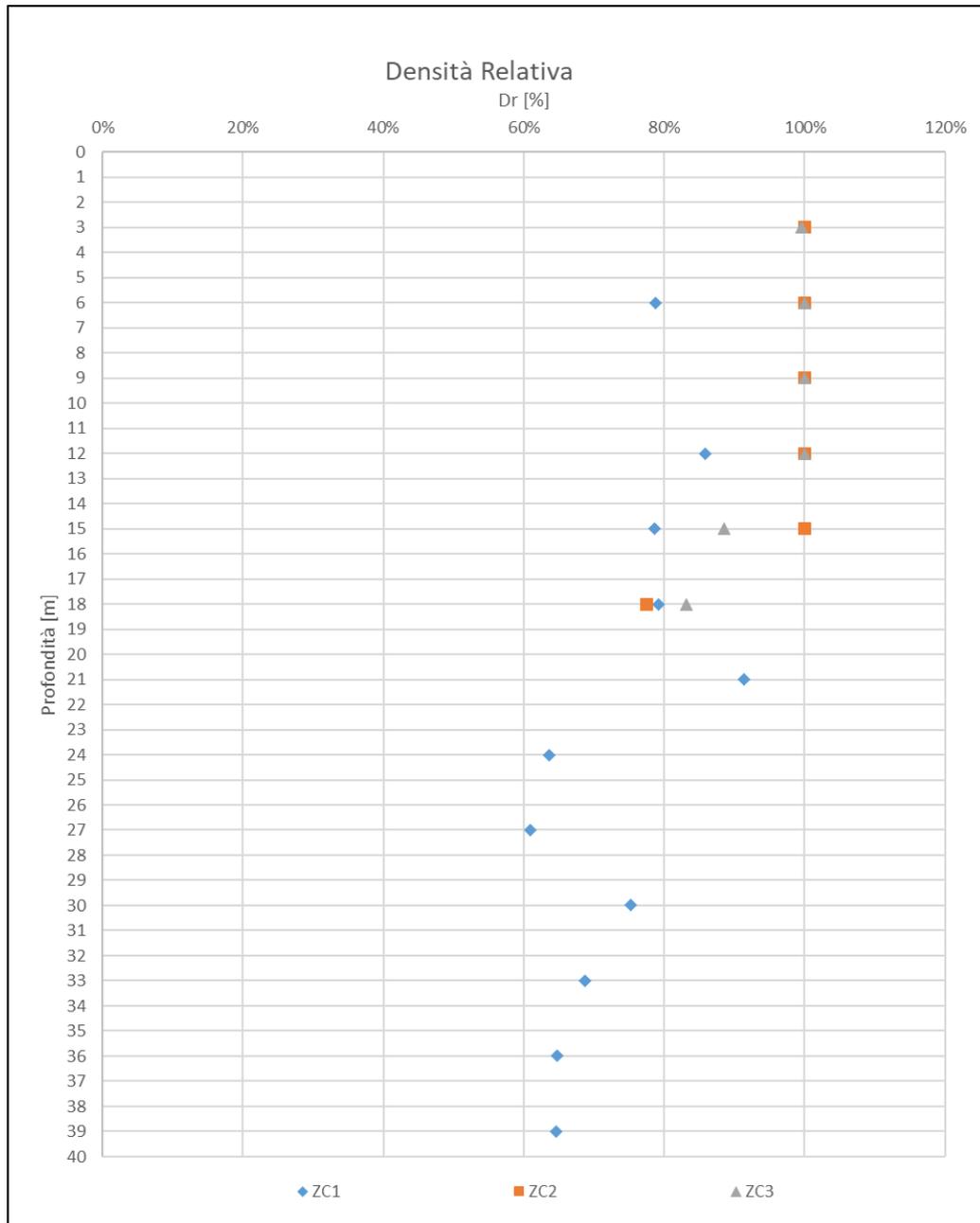


Figura 29: Grafico Dr

**9.1.1.3 MODULO ELASTICO (E) DA SPT**

Sondaggio	Profondità [m]	N <sub>SPT</sub>	N <sub>1(60)</sub>	Dr [%]	E' [kg/cm <sup>2</sup> ] (Jamiolkowski)
ZC1	3	100	116,7	100%	1047
	6	39	37,3	79%	408
	9	100	80,9	100%	1047
	12	63	44,2	86%	660
	15	60	37,1	79%	628
	18	68	37,6	79%	712
	21	100	50,1	91%	1047
	24	53	24,2	64%	555
	27	53	22,3	61%	555
	30	87	33,9	75%	911
	33	78	28,3	69%	817
	36	74	25,1	65%	775
ZC2	3	100	116,7	100%	1047
	6	100	95,5	100%	1047
	9	100	80,9	100%	1047
	12	100	70,1	100%	1047
	15	100	61,9	100%	1047
	18	65	36,0	77%	681
ZC3	3	51	59,5	100%	534
	6	74	70,7	100%	774
	9	100	80,9	100%	1047
	12	100	70,1	100%	1047
	15	76	47,0	89%	796
	18	75	41,5	83%	785

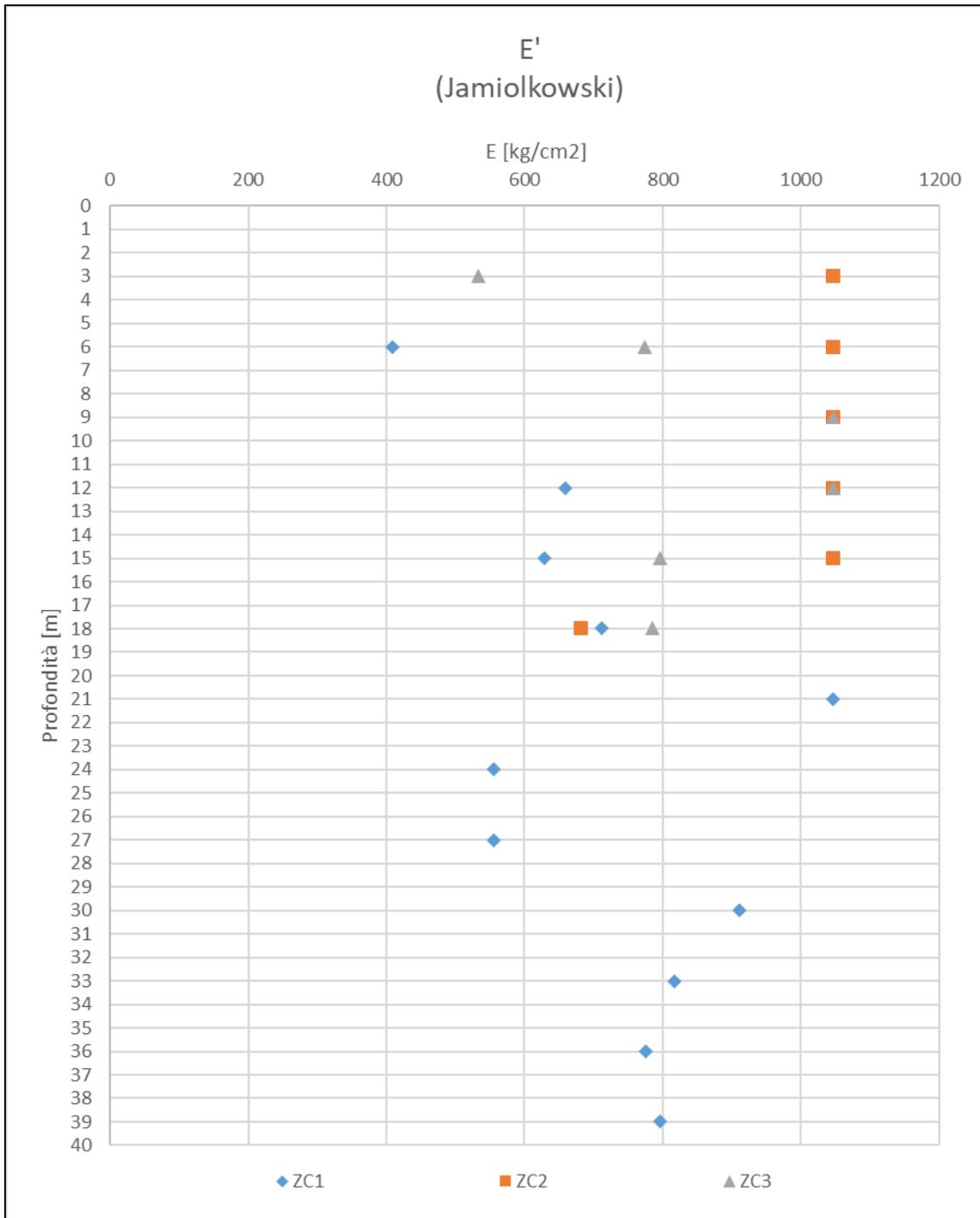


Figura 30: Grafico di Modulo elastico

**9.1.1.4 ANGOLO D'ATTRITO ( $\phi$ ) DA SPT**

Sondaggio	Profondità [m]	$N_{1(60)}$	$\phi'$ [°]
<b>ZC1</b>	3	116,7	63,32
	6	37,3	42,30
	9	80,9	55,22
	12	44,2	44,72
	15	37,1	42,24
	18	37,6	42,44
	21	50,1	46,65
	24	24,2	37,02
	27	22,3	36,12
	30	33,9	41,04
	33	28,3	38,79
	36	25,1	37,41
39	25,0	37,37	
<b>ZC2</b>	3	116,7	63,32
	6	95,5	58,71
	9	80,9	55,22
	12	70,1	52,44
	15	61,9	50,17
	18	36,0	41,82
<b>ZC3</b>	3	59,5	49,51
	6	70,7	52,60
	9	80,9	55,22
	12	70,1	52,44
	15	47,0	45,66
	18	41,5	43,81

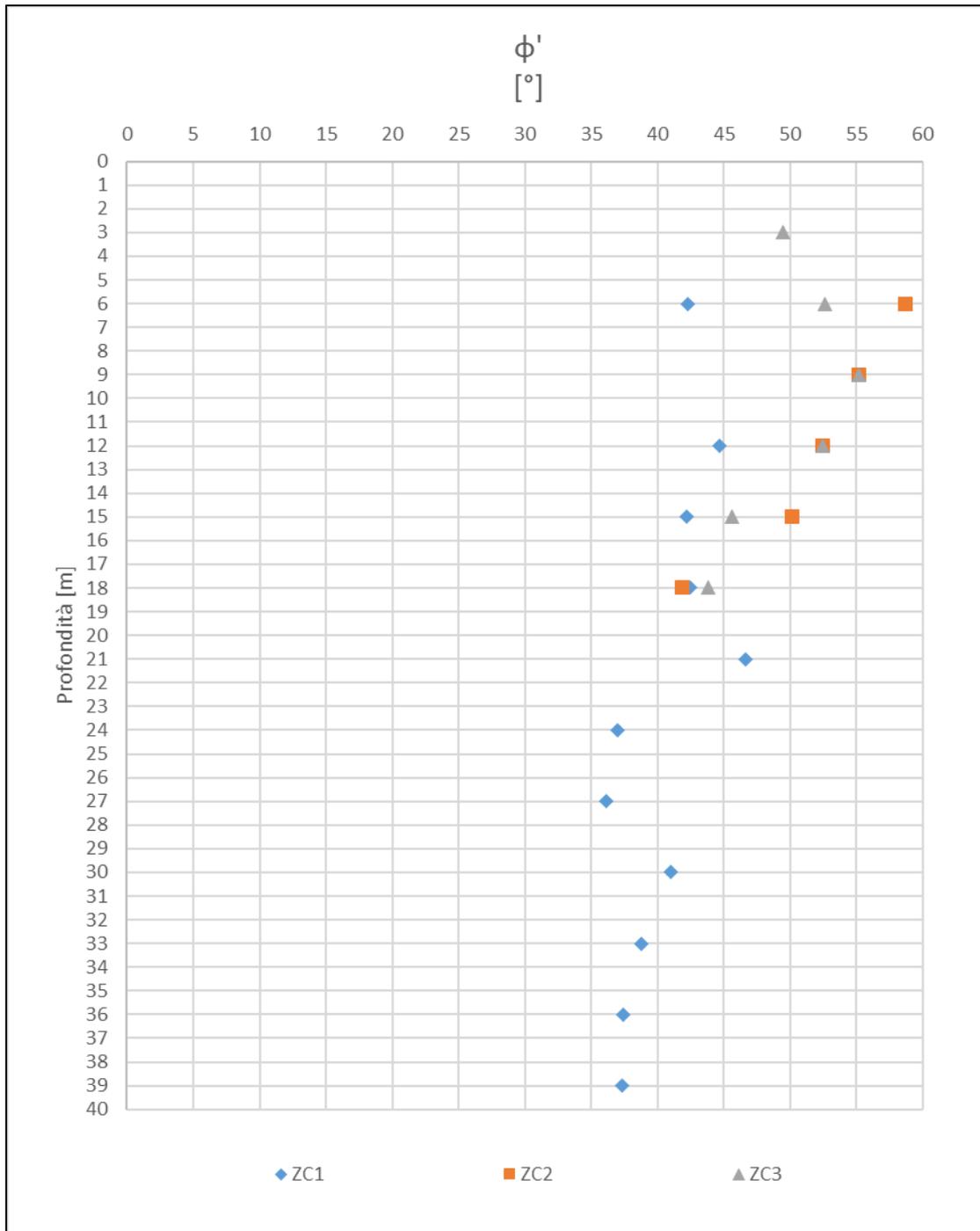


Figura 31: Grafico dell'angolo d'attrito

## 10 RISULTATI DELLE PROVE IN LABORATORIO

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle analisi granulometriche (ATM D 422-63) realizzate in laboratorio.

Sondaggio	Profondità [m]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	Massa setacciato	Massa terreno alla sedimentazione
						g	g
ZC1	3,00	58,9	31,2	6,0	3,9	606,8	25,4
	5,00	49,2	32,0	15,8	3,0	1011,65	49,77
	10,00	52,7	26,6	18,8	2,0	769,41	45,43
ZC2	3,00	54,3	32,5	11,2	2,0	662,03	41,87
	5,00	48,7	34,1	12,9	4,2	820,55	35,13
	10,00	55,1	32,9	9,9	2,1	573,11	31,15
ZC3	3,00	58,8	28	11,2	2	416,92	36,51
	5,00	46,6	31,6	17,4	4,5	594,94	29,48
	10,00	60,5	27,9	8,9	2,8	671,85	38,88

## 11 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Si riporta nella tabella seguente la stratigrafia del terreno.

Suolo	Profondità [m]
Ghiaia sabbie con ciottoli centimetrici in matrice sabbiosa grigia	0m-40m

*Tabella 1 – Stratigrafia di riferimento*

La soggiacenza della falda è variabile tra 30 e 36 m da p.c.

## 12 SISMICITA'

### 12.1 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 Cavaglià, 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.

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

Il comune di Cavaglià è classificato in **sottozona sismica 4**

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 [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]	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

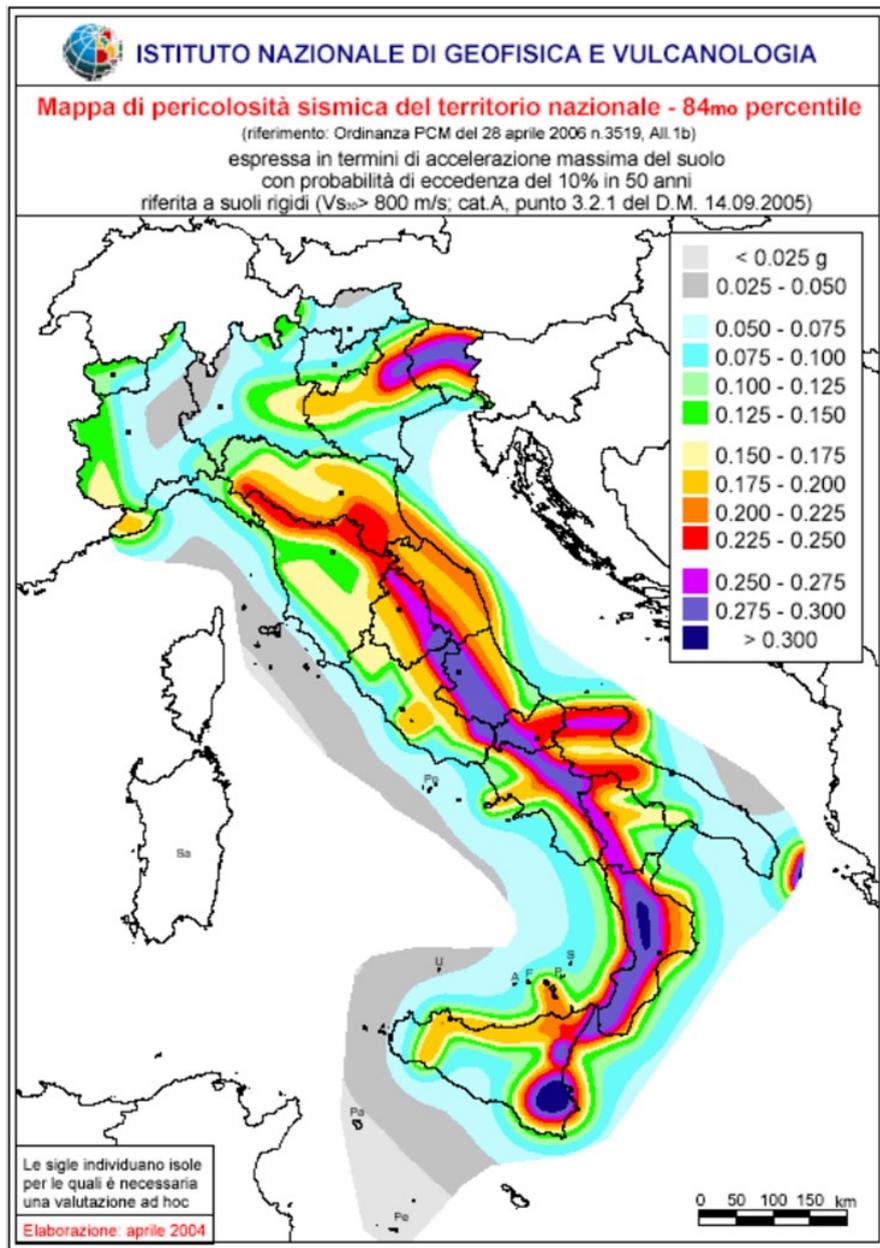


Figura 32: All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

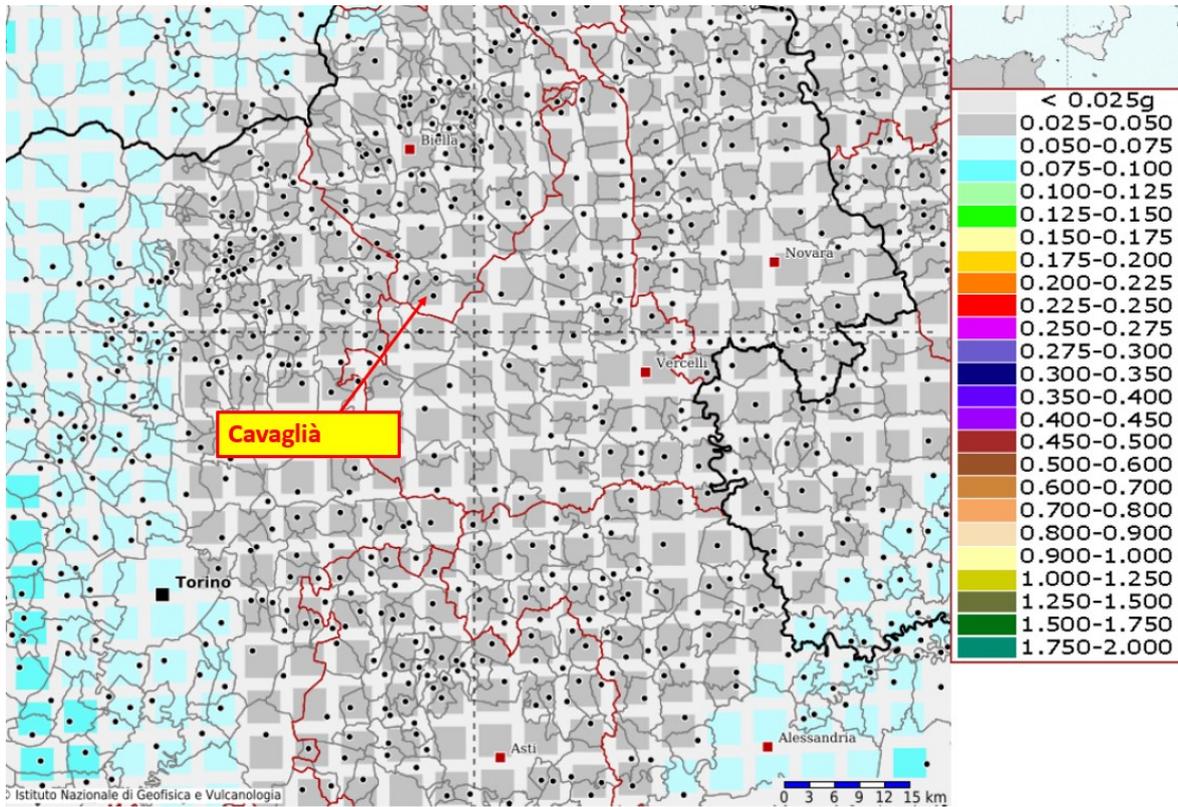


Figura 33: INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Cavaglià

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

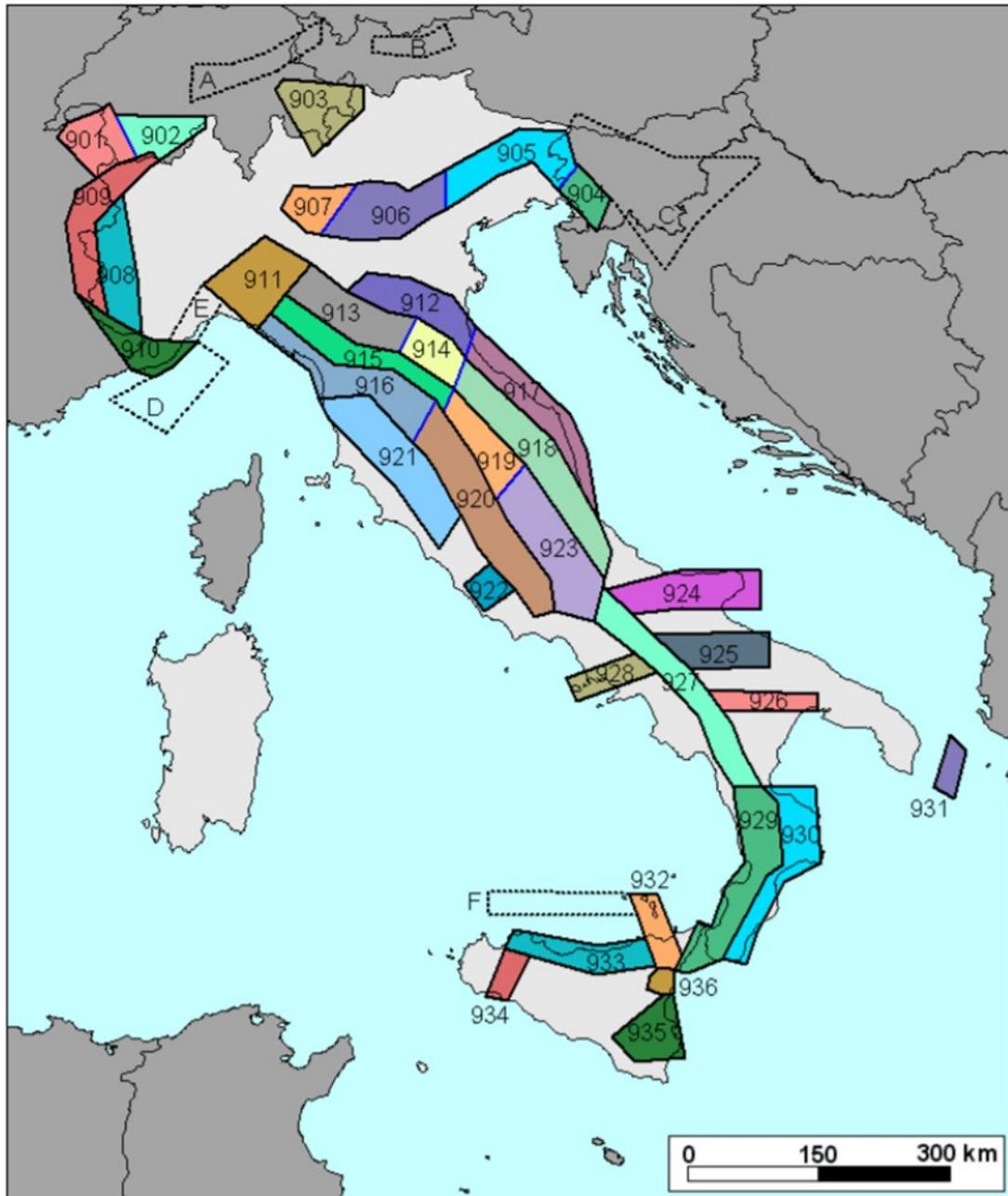
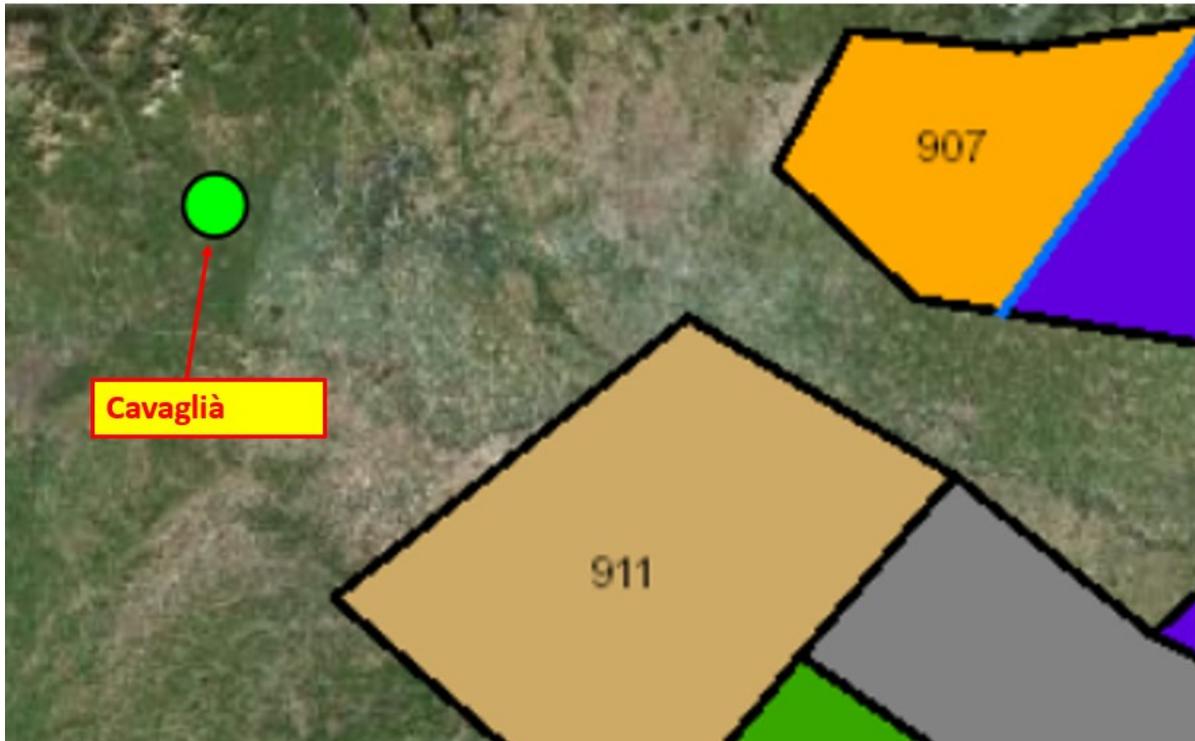


Figura 30: sismogenetica ZS9



*Figura 34: zonazione sismogenetica ZS9, dove l'area d'interesse è evidenziata da un cerchio verde.*

Come è possibile vedere alla figura precedente, l'area oggetto d'interesse non ricade all'interno di alcuna zona della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al. 2008), utilizzata per la compilazione della mappa di pericolosità sismica MPS04.

Le figure seguenti mostrano la disaggregazione per l'area oggetto di studio della stima di PGA (Peak Ground Acceleration) con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è una elaborazione che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica di un certo sito: le sorgenti vengono discretizzate per intervalli di spazio e magnitudo.

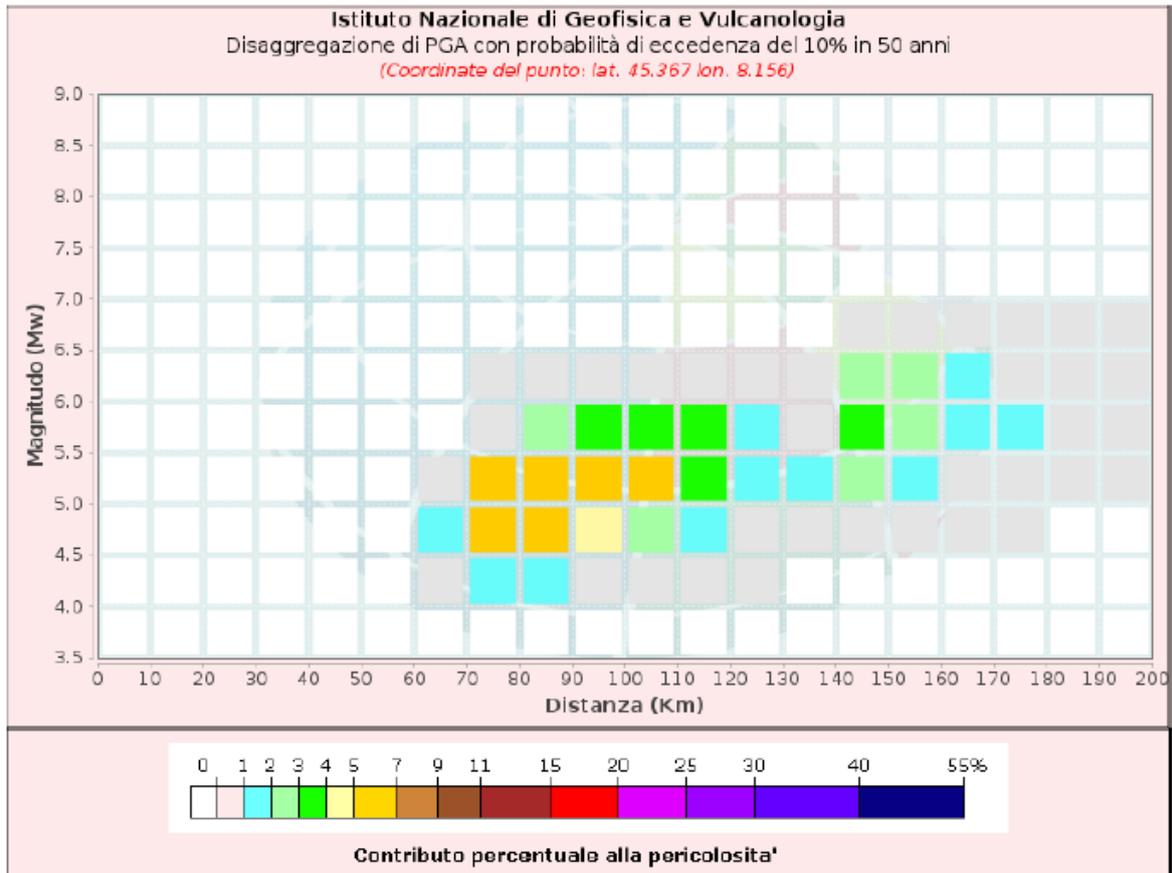
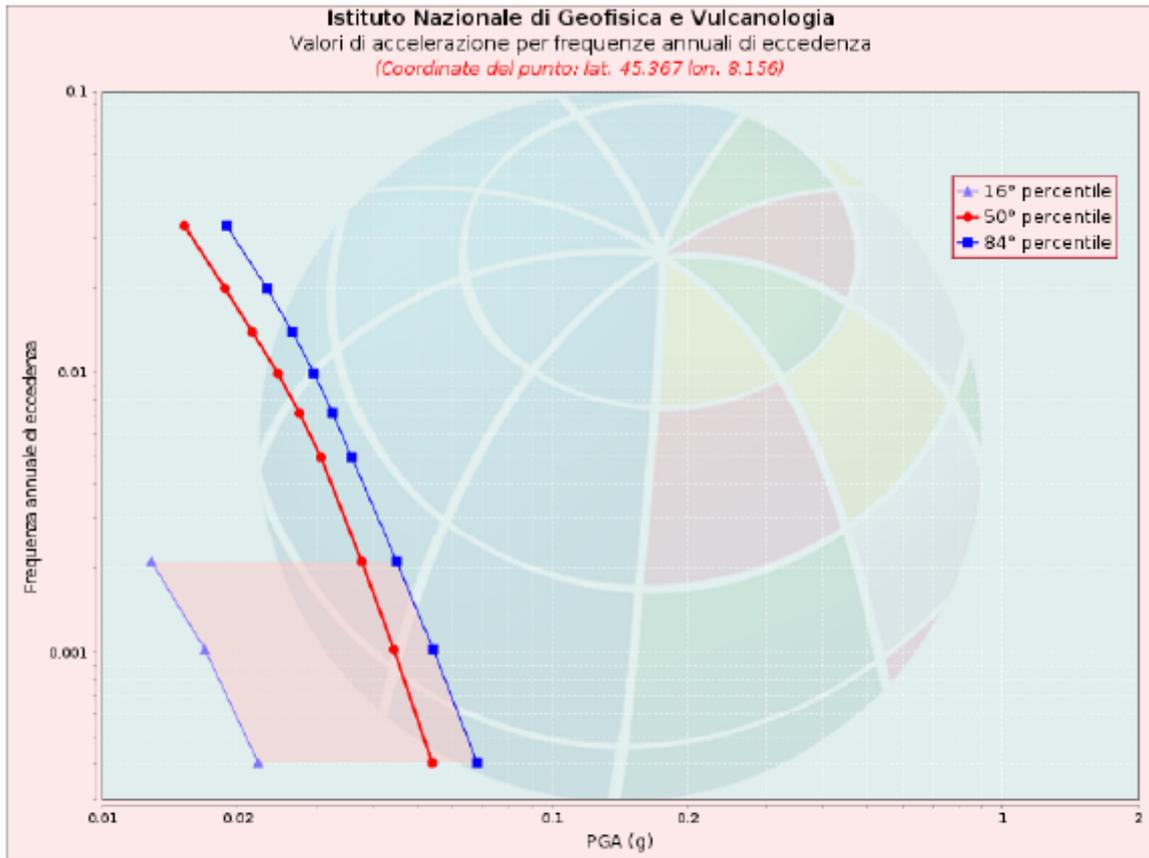


Figura 35: Disaggregazione del valore  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni											
Distanza in Km	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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.4570	1.0900	0.7440	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	1.9600	5.9000	5.1700	0.6640	0.1120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	1.3700	6.0600	6.9000	2.7700	0.4890	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.5040	4.5600	6.5100	3.9800	0.7180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0702	2.6700	5.0600	3.7600	0.6830	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0247	1.4700	3.7000	3.0700	0.5380	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0038	0.5950	1.8400	1.2200	0.1610	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.2590	1.0600	0.6720	0.0799	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.3830	2.2200	3.4000	2.9100	0.0420	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.1390	1.4300	2.4900	2.1800	0.0436	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0287	0.7690	1.5600	1.3500	0.0505	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0018	0.4070	1.0200	0.8430	0.0538	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.1510	0.5070	0.3580	0.0543	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0698	0.3410	0.2660	0.0531	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

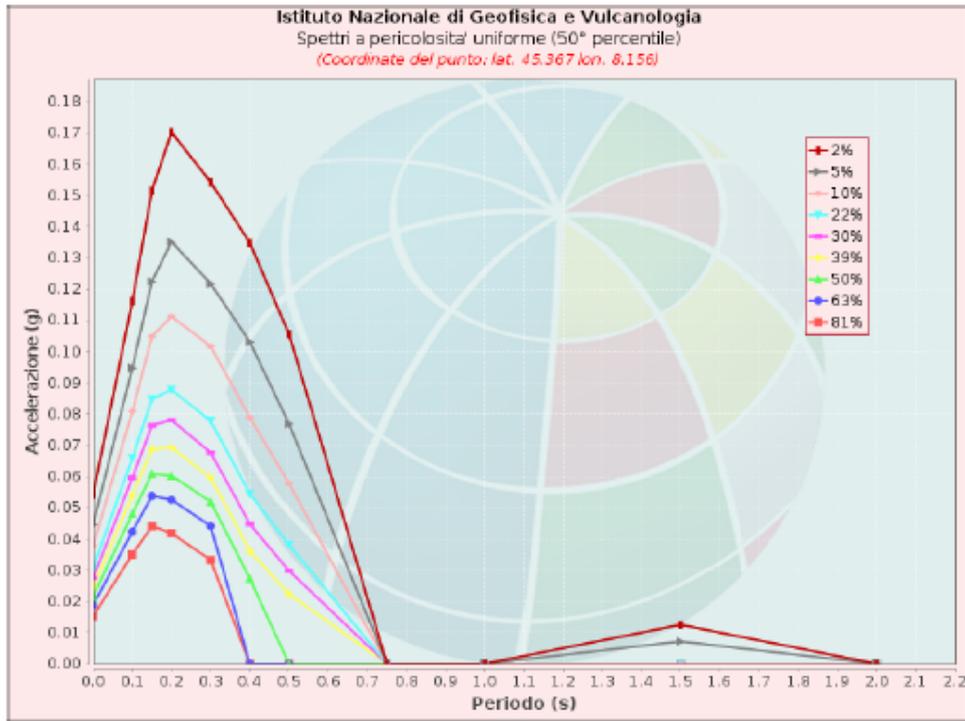
Valori Medi: magnitudo = 5.34 ; distanza = 109.0 ; epsilon = 2.02

Figura 36: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).



Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.022	0.054	0.068
0.0010	0.017	0.045	0.055
0.0021	0.013	0.038	0.045
0.0050	0.000	0.031	0.036
0.0071	0.000	0.027	0.033
0.0099	0.000	0.025	0.030
0.0139	0.000	0.022	0.027
0.0199	0.000	0.019	0.023
0.0332	0.000	0.015	0.019

Figura 37: Curve di pericolosità



Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.054	0.116	0.152	0.170	0.154	0.135	0.106	0.000	0.000	0.013	0.000
5%	0.045	0.095	0.122	0.135	0.122	0.103	0.077	0.000	0.000	0.007	0.000
10%	0.038	0.081	0.105	0.111	0.102	0.079	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000
22%	0.031	0.066	0.085	0.088	0.078	0.054	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000
30%	0.027	0.060	0.076	0.078	0.068	0.045	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
39%	0.025	0.054	0.069	0.069	0.060	0.036	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
50%	0.022	0.048	0.061	0.060	0.052	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.019	0.042	0.054	0.053	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.015	0.035	0.044	0.042	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 38: Spettri a pericolosità uniforme

## 12.2 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  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$

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  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2017.

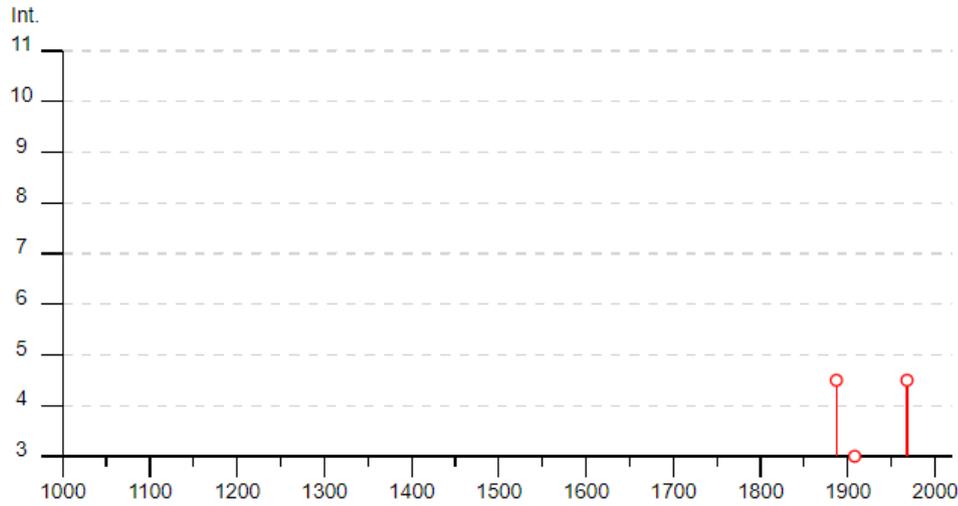
Il DBMI v2.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2017. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

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/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/).

## Cavaglià

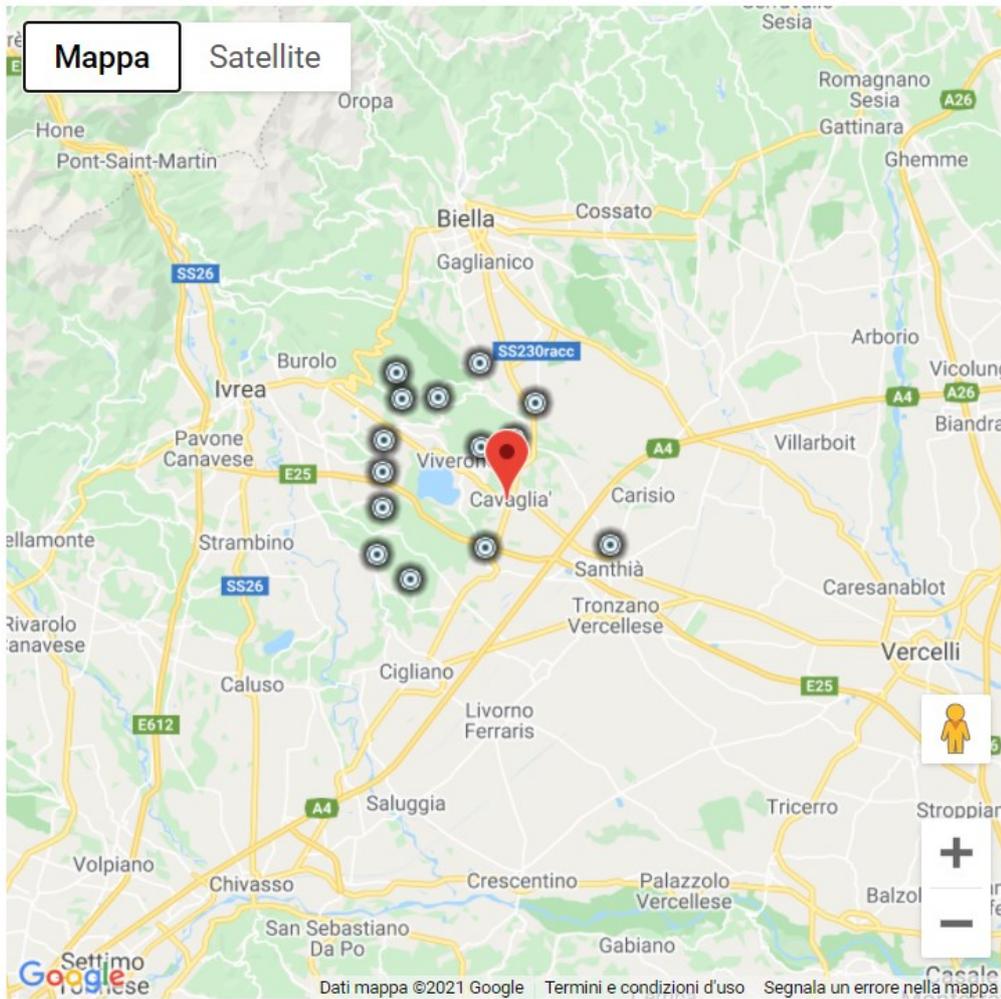
PlaceID	IT_02947
Coordinate (lat, lon)	45.404, 8.092
Comune (ISTAT 2015)	Cavaglià
Provincia	Biella
Regione	Piemonte
Numero di eventi riportati	5



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1908	05	24	08	37		Piemonte centro-settentrionale	36	4	4.10
2-3	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00
4-5	1968	06	18	05	27		Valle d'Aosta	60	6	4.86
NF	2005	09	08	11	27	0	Massif du Mont-Blanc	281		4.44

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Dorzano	1	2
Roppolo	1	3
Alice Castello	2	5
Salussola	1	5
Zimone	1	7
Cerrione	2	7
Santhià	2	8
Settimo Rottaro	1	8
Cossano Canavese	2	8
Azeglio	6	8
Piverone	2	8
Maglione	3	9
Borgomasino	2	9
Magnano	3	9



[Visualizza Cavaglia in [Google Maps](#), [Bing Maps](#)]

Figura 39: Dati desunti dalla consultazione del CPTI15 e DBMI15 per l'area di Cavaglia

## 12.3 INDAGINI SISMICHE

Per la definizione dal punto di vista sismico dell'area oggetto di studio, vista l'omogeneità dei depositi presenti sono state prese di riferimento n.2 indagini sismiche MASW eseguite nel 2021 per un termovalorizzatore in un'area che dista circa 450 metri.

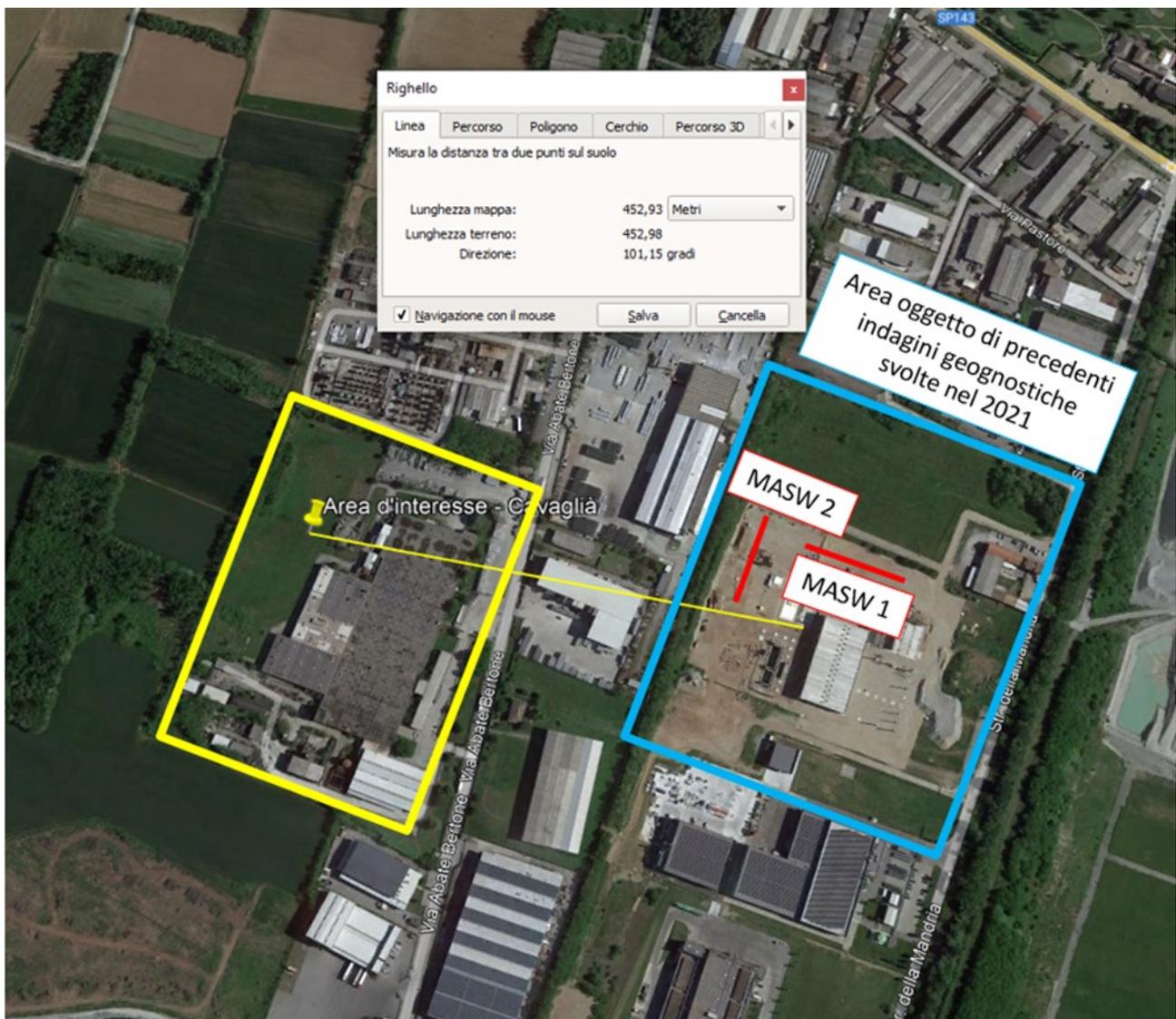


Figura 40: Stralcio Google Earth con distanza MASW di riferimento

### 12.3.1 PROVE SISMICHE MASW

Lo studio è consistito nell'esecuzione di n°2 stendimenti sismici con metodologia MASW, per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore  $V_{s,eq}$ , necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.M. 17 del 17/01/2018".

L'acquisizione dei dati sismici è così avvenuta:

➤ **metodo attivo:** è stata effettuata 2 stese sismiche con passo intergeofonico di 3 metri e 16 geofoni utilizzando la tecnica dell'interlaccio, ottenendo un profilo sismico equivalente ad una stesa di 32 geofoni e passo 1,5 metri ubicata come dalla planimetria riportata di seguito.

Si sono acquisiti vari shot ad entrambi gli estremi del profilo in modo da avere un maggior set di dati e poter scegliere quelli più adatti alla successiva elaborazione. La frequenza propria dei sensori è la classica e raccomandata per tale tipologia di indagini (4,5 Hz).

➤ **metodo passivo:** sulle stesse stese utilizzate per il metodo attivo si sono realizzate 2 acquisizioni di sismica passiva, di 1 minuto ciascuna, concatenate, in fase di pre-processing, in un unico file di 2 minuti, in modo da colmare il “vuoto” alle basse frequenze della sismica attiva.

L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle  $V_{seq}$ , ricavata dalla formula riportata nel D.M. 17 del 17 Gennaio 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{S,i}$  rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato  $i$ -esimo entro 30 metri di profondità.  $H$  rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

### 12.3.1.1 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

#### Risultati MASW 1:

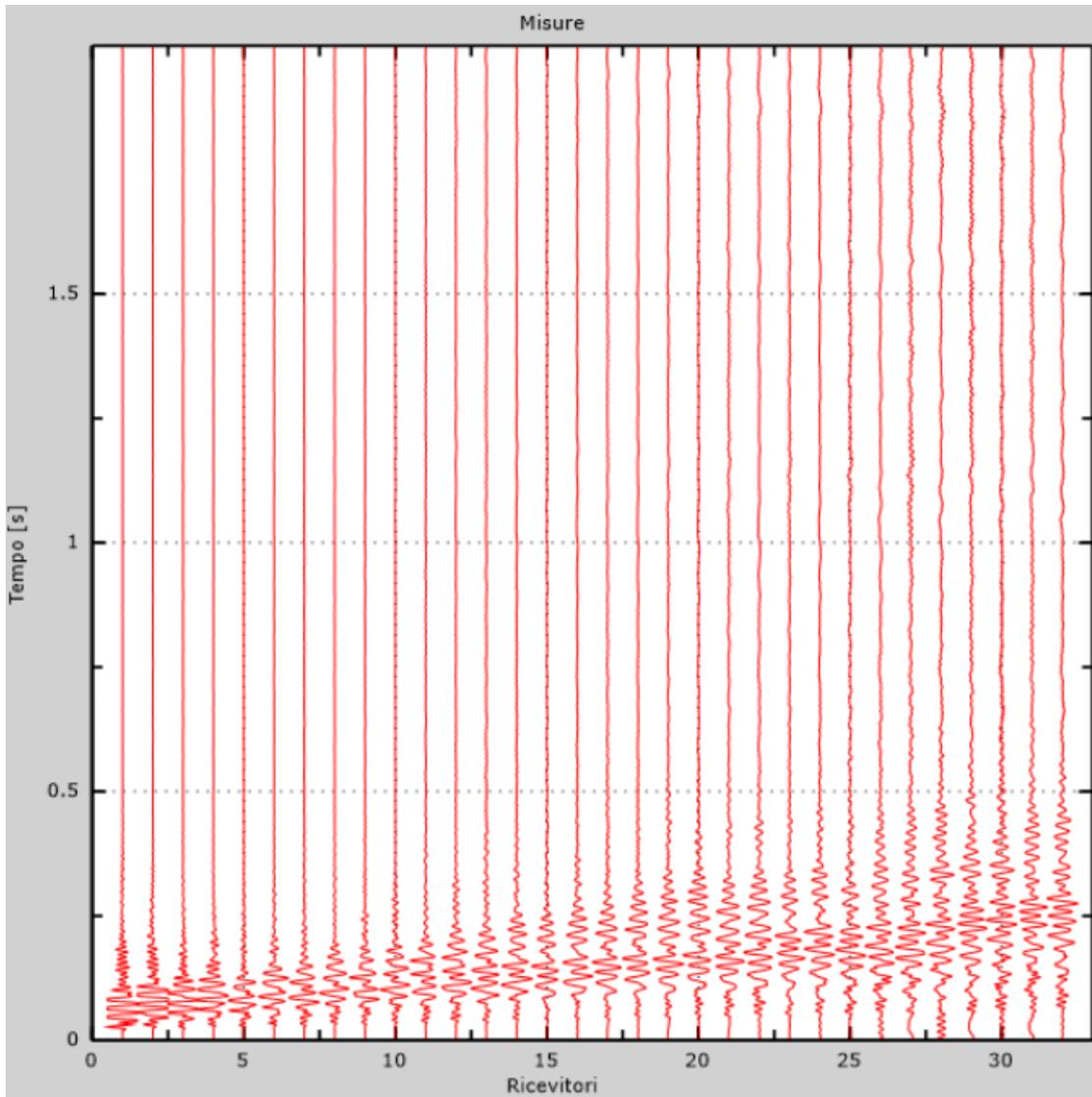
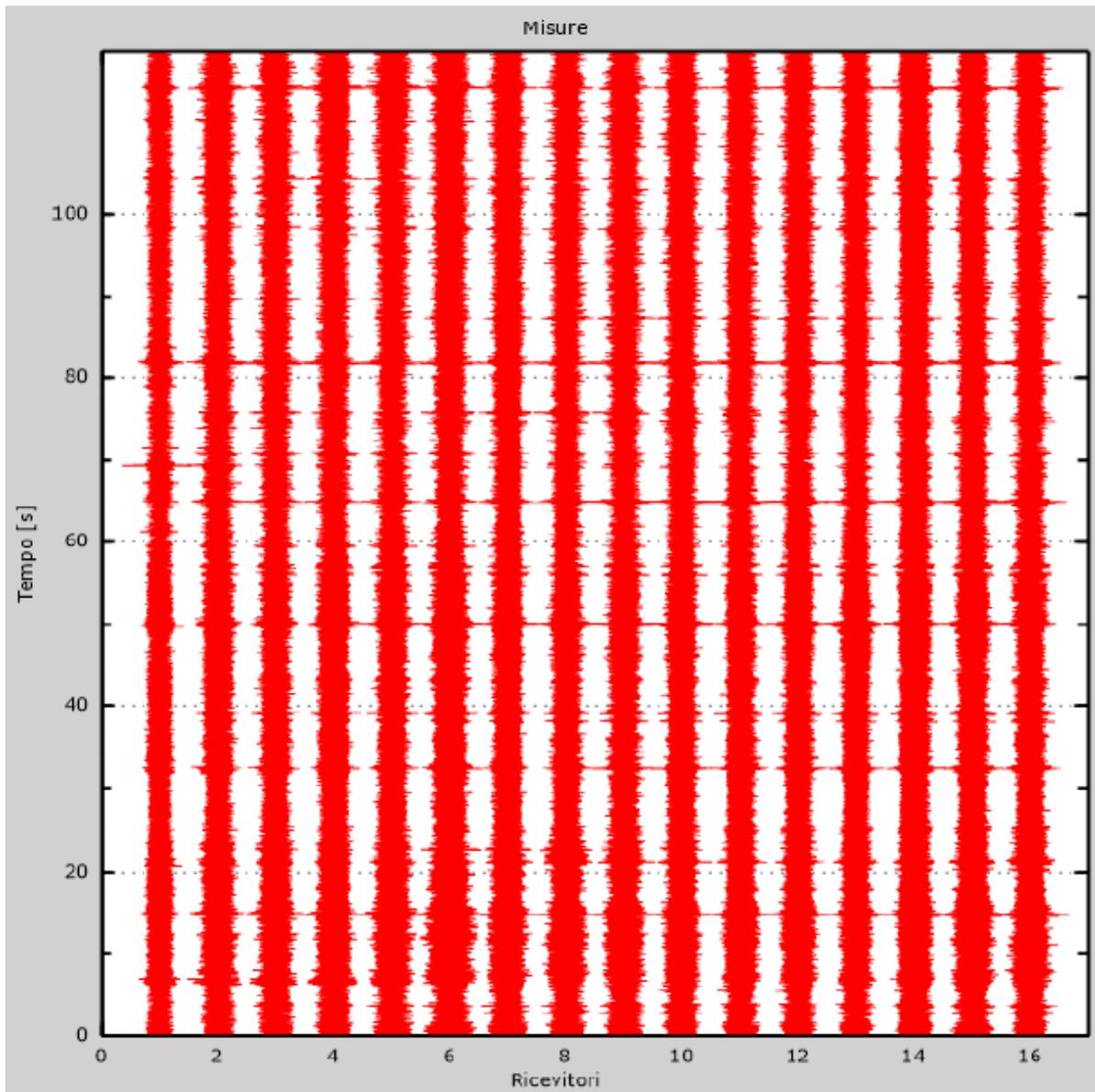


Figura 41: Tracce sperimentali indagine attiva



*Figura 42: Tracce sperimentali indagine passiva*

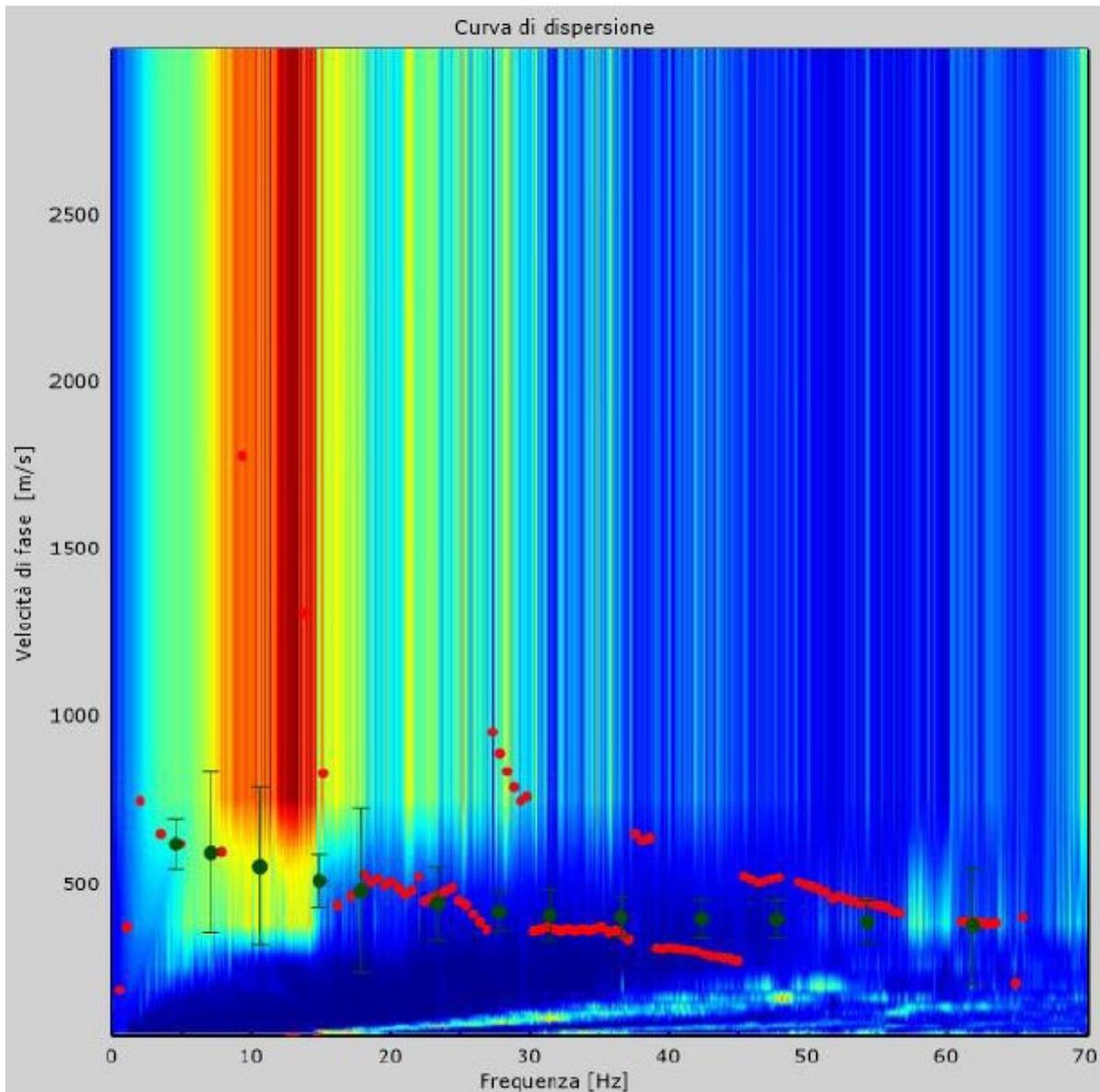


Figura 40: Curva di dispersione sperimentale

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]
Strato 1	2,0	-2,0	425
Strato 2	3,0	-5,0	404
Strato 3	3,0	-8,0	459
Strato 4	4,0	-12,0	536
Strato 5	4,0	-16,0	591
Strato 6	10,0	-26,0	623
Strato 7	6,0	-32,0	665
Strato 8	/	-∞	702

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

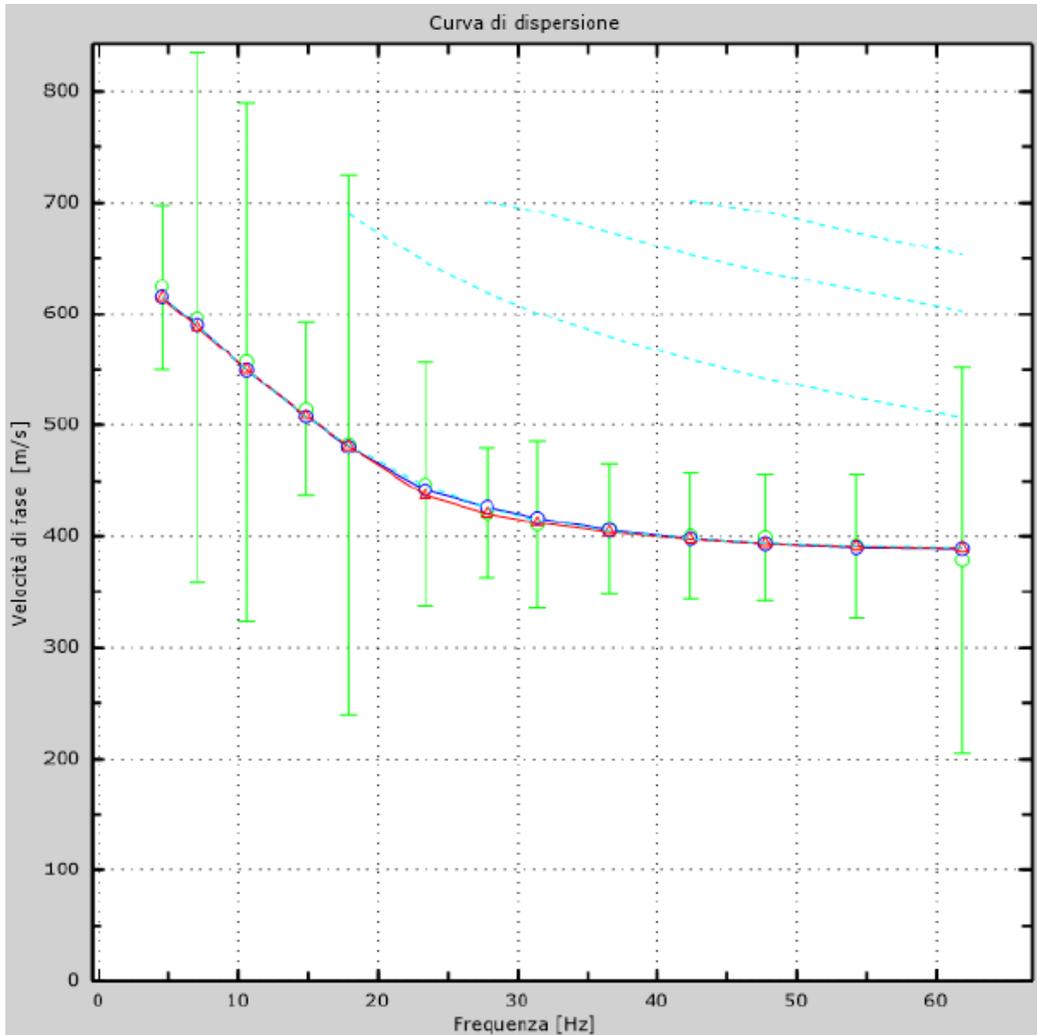


Figura 43: Velocità numeriche (Punti sperimentali - verde, modi di Rayleigh - ciano, curva apparente - blu, curva numerica – rosso)

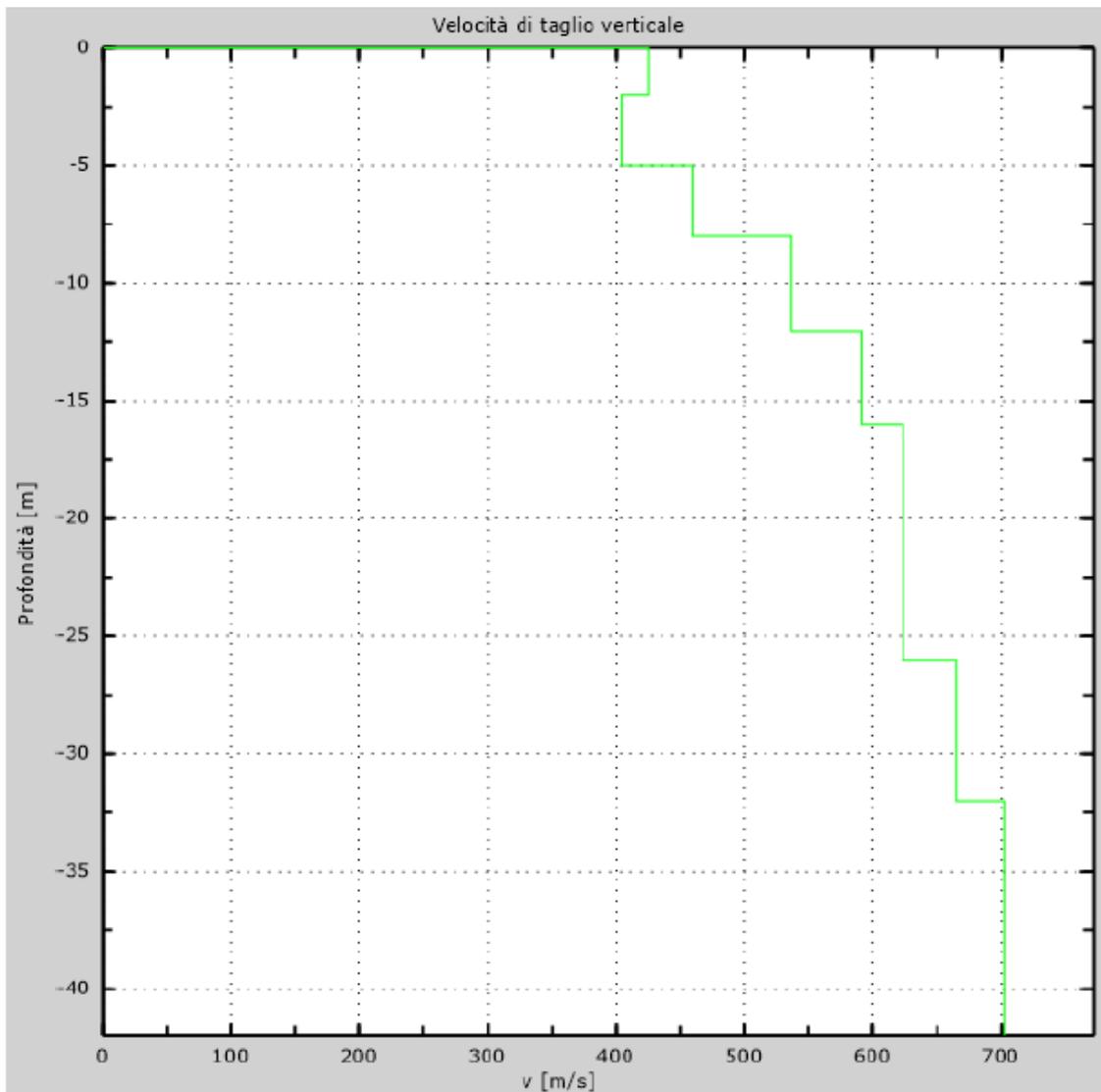


Figura 44: Profilo verticale di velocità delle Vs

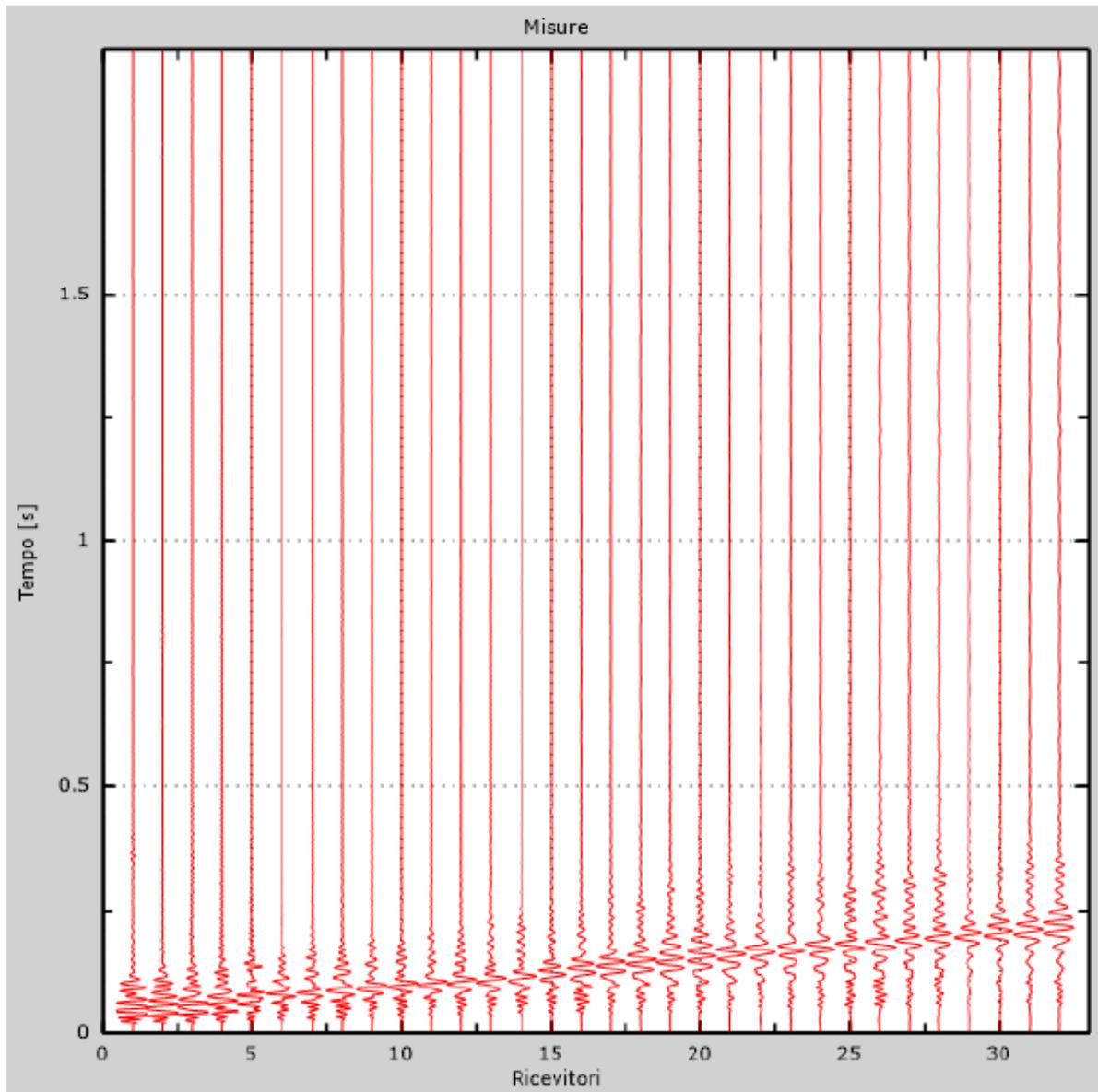
$$V_{seq} = 545 \text{ m/s}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 17 Gennaio 2018, appartengono a:

**Suolo di fondazione di tipo B**

ovvero, come definito in Tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo): Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

**Risultati MASW 2:**



*Figura 45: Tracce sperimentali indagine attiva*

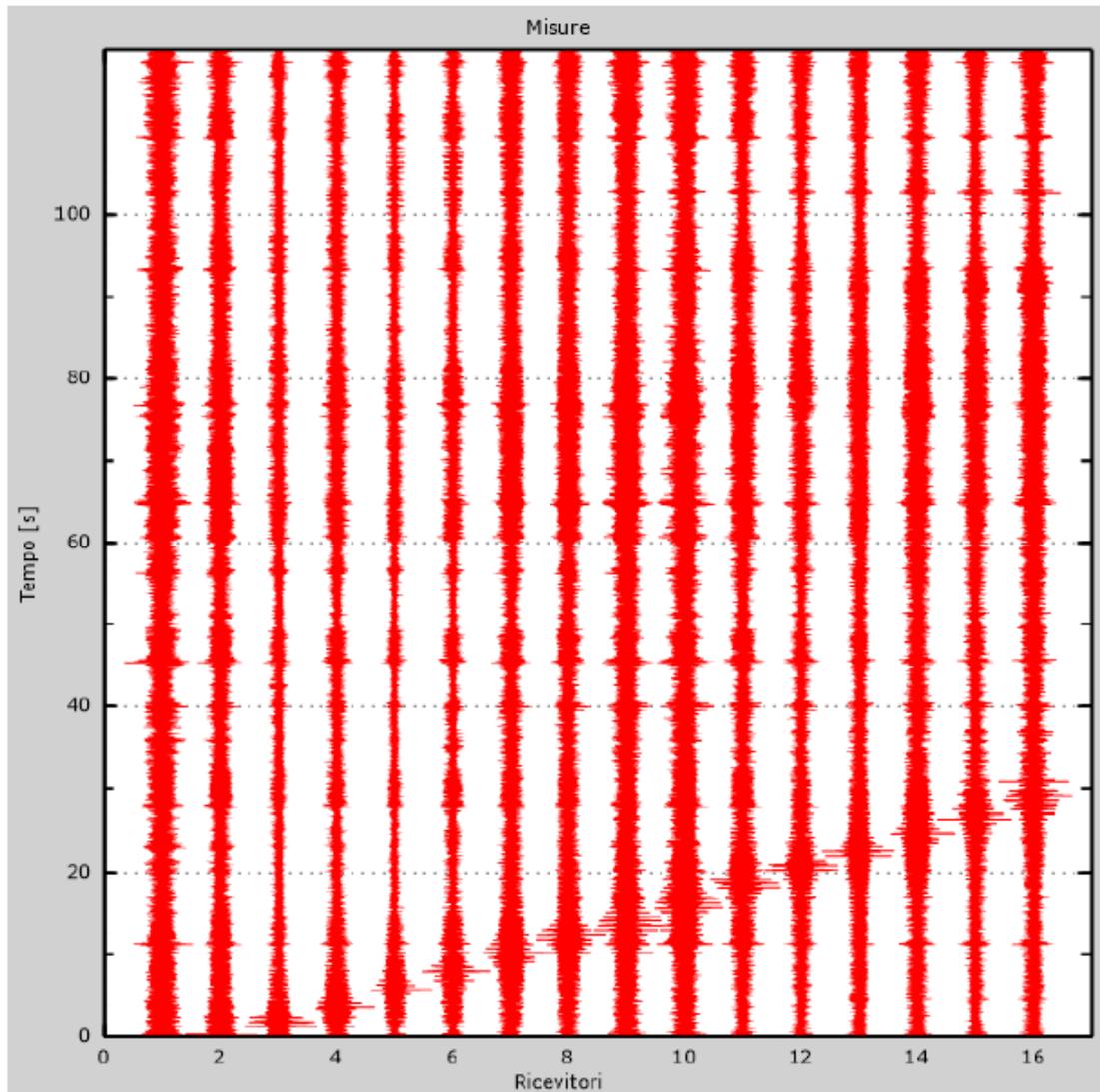


Figura 46: Tracce sperimentali indagine passiva

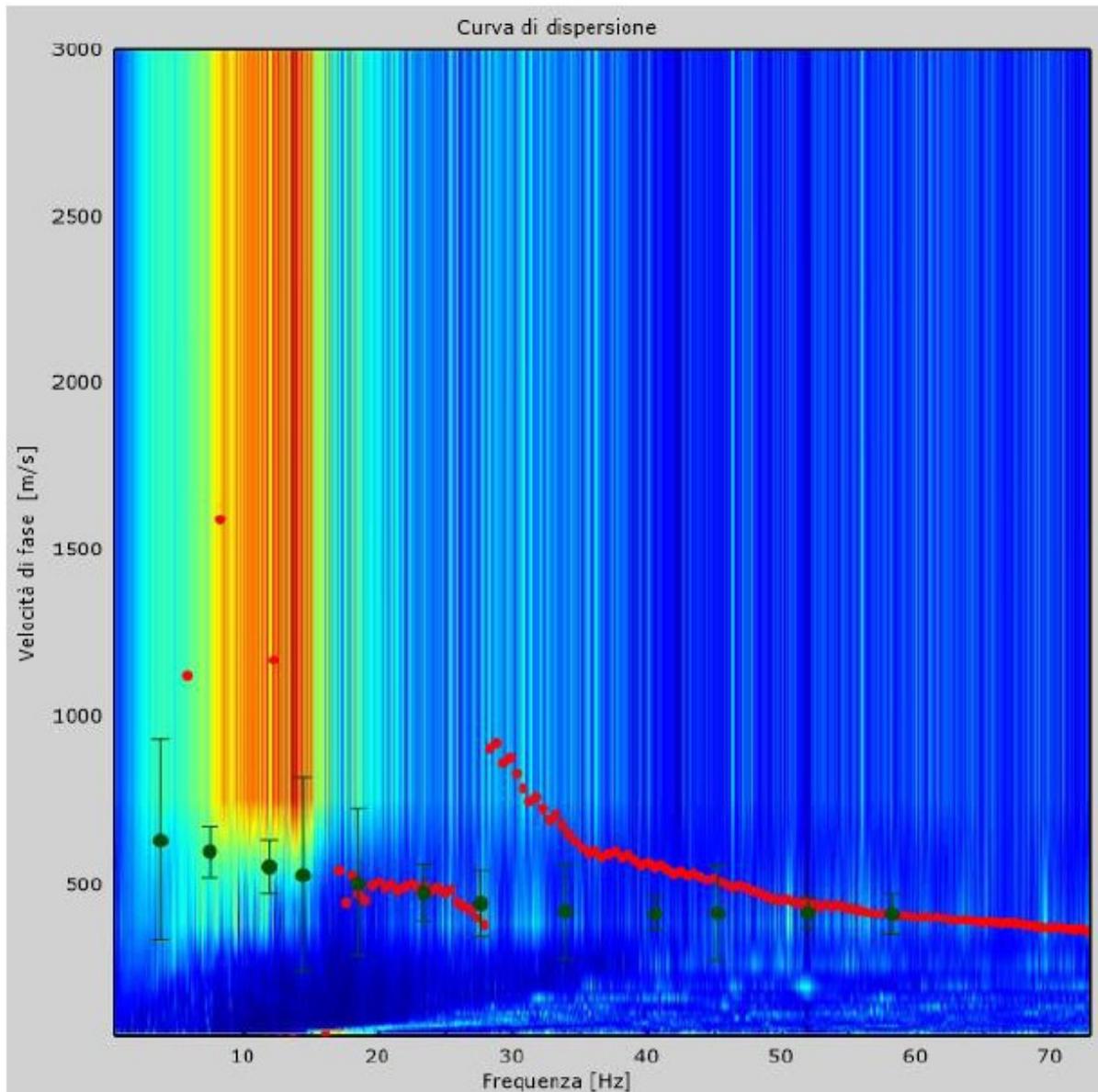


Figura 47: Curva di dispersione sperimentale

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]
Strato 1	2,0	-2,0	470
Strato 2	3,0	-5,0	400
Strato 3	3,0	-8,0	487
Strato 4	4,0	-12,0	561
Strato 5	4,0	-16,0	588
Strato 6	10,0	-26,0	627
Strato 7	6,0	-32,0	679
Strato 8	/	-∞	706

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

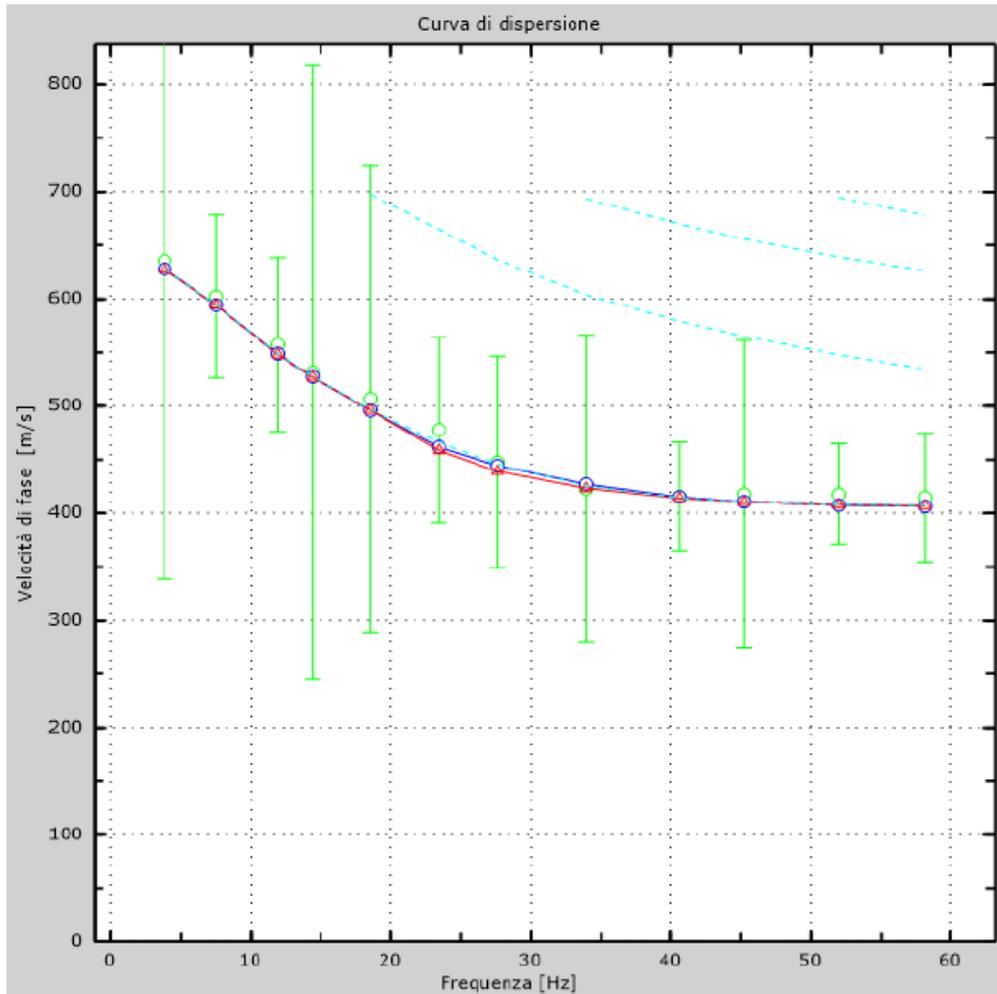


Figura 48: Velocità numeriche (Punti sperimentali - verde, modi di Rayleigh - ciano, curva apparente - blu, curva numerica – rosso)

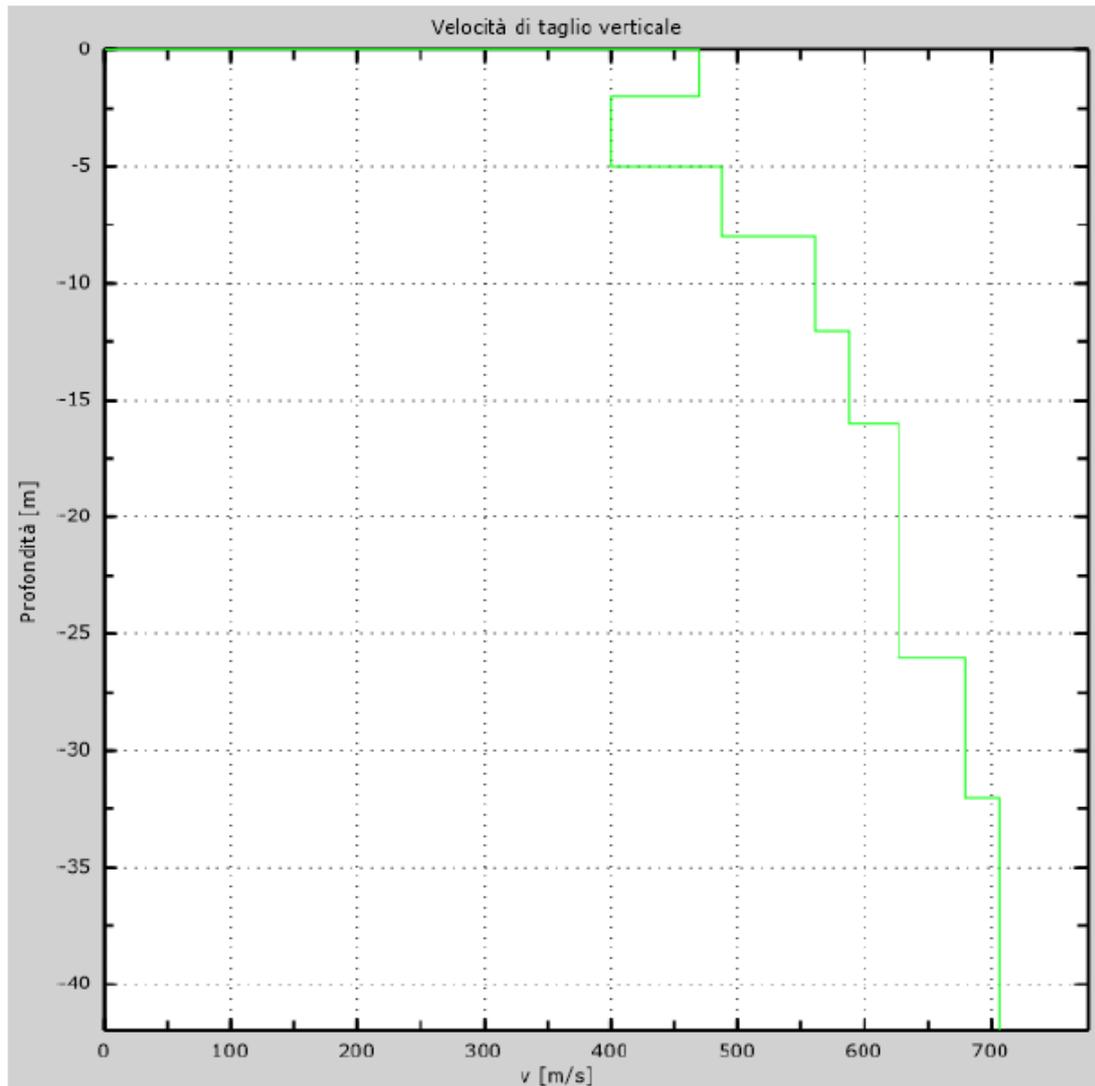


Figura 49: Profilo verticale di velocità delle Vs

**Vseq = 558 m/s**

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 17 Gennaio 2018, appartengono a:

**Suolo di fondazione di tipo B**

ovvero, come definito in Tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo): Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

## 12.4 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2. Il (fig. definite in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da VS 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 VS<sub>30</sub>, 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 dagli sfondamenti sismica con metodologia M.A.S.W e HVSR eseguite in corrispondenza dell'area di indagine.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle  $V_{s30}$  pari a **545.0 m/s** per la prova MASW 1 e  $V_{s30}$  pari a **558.0 m/s** per la prova MASW 1 riferita all'attuale piano campagna per quello che riguarda l'area.

Per la classificazione del suolo si è ritenuto più attendibile adottare le risultanze provenienti dalle prove eseguite in sito per cui il terreno è pertanto classificabile in **categoria B**: *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360m/s e 800m/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>

Figura 50: Tabella 3.2.II “Categoria di sottosuolo” – D.M. 17.10.2018

## 12.5 CATEGORIA TOPOGRAFICA

Secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (categorie topografiche da NTC2018):

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

Categoria	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 $i > 30^\circ$

La categoria topografica è T1

## 12.6 PERICOLOSITÀ SISMICA

### 12.6.1 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

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

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove:

$V_R$  = periodo di riferimento

$V_N$  = vita nominale

$C_U$  = coefficiente d'uso

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

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tabella 2 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 ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

*Tabella 2 - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

Nel caso specifico  $V_N = 50$  anni.

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

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

**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 specifico cautelativamente si considera la classe IV con  $CU$  pari a 2.0.

#### **12.6.2 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 PVR (Tabella 3), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/TR$  (TR = periodo di ritorno).

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	PVR = 81%
Stato limite di esercizio: danno	SLD	PVR = 63%
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	PVR = 10%
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	PVR = 5%

*Tabella 3 Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR*

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione:

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

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è VR = 50 anni, il tempo di ritorno TR sarà:

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

*Tabella 4 Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR*

### **12.6.3 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 TR (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 NTC 2018:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

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

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

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

$a_g$ , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

$F_o$  e  $TC^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC 2018 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 NTC 2018, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

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

*Tabella 5- Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC2018, 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.*

Questi ID e relative coordinate fanno riferimento ad un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente

potrà essere ricavato per interpolazione a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC 2018:

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

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $Fo$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  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 NTC 2018:

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

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

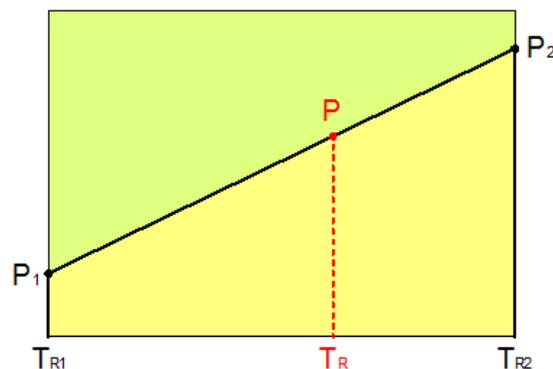
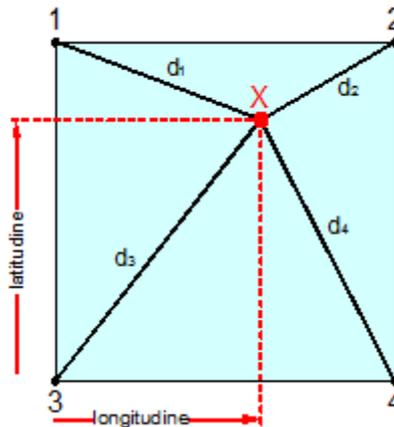


Figura 51: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura sottostante



*Figura 50: 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 NTC 2018, 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:

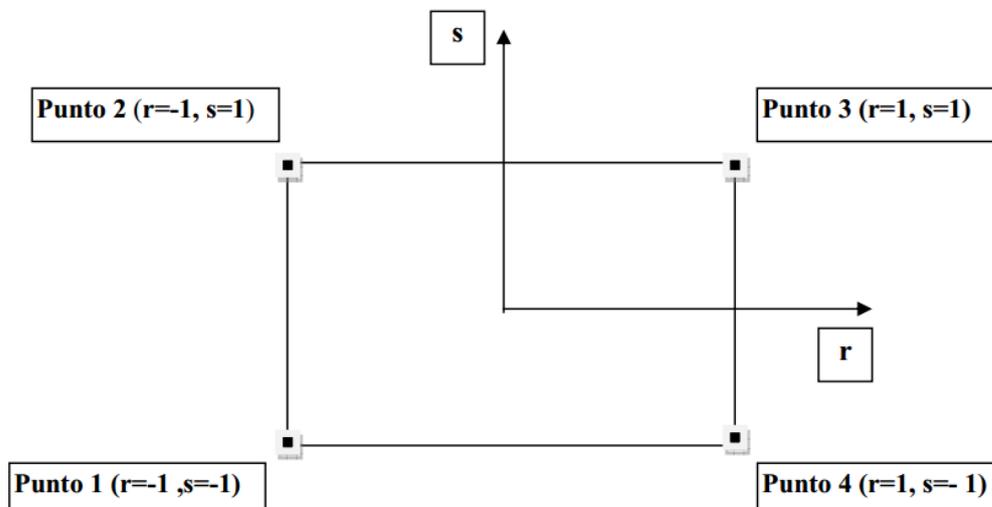
$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)]$$

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 52: Applicazione dell'interpolazione bilineare.*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato

#### 12.6.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

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

##### 12.6.4.1 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 (TR) 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.

#### 12.6.4.2 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

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

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

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella Tabella 6

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < ag(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < ag(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$ag(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

*Tabella 6- 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  $ag/g$ .  $S_T$  (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:  $S_T = 1.40$

#### 12.6.4.3 PERICOLOSITÀ SISMICA

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]

Classe d'uso: IV

Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 2

Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 100 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 60 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 101 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 949 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

**Coordinate geografiche del punto**

Latitudine (WGS84):	45,3851547 [°]
Longitudine (WGS84):	8,1202173 [°]
Latitudine (ED50):	45,3861008 [°]
Longitudine (ED50):	8,1212988 [°]

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	12467	45,363860	8,085411	3738,09
2	12468	45,367010	8,156366	3465,24
3	12246	45,416910	8,151912	4177,30
4	12245	45,413750	8,080894	4405,11

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]
	30	0,016	2,595	0,163
	50	0,019	2,567	0,172
SLO	60	0,021	2,592	0,172
	72	0,022	2,618	0,173
SLD	101	0,025	2,614	0,210
	140	0,028	2,611	0,225
	201	0,031	2,609	0,239
	475	0,039	2,616	0,266
SLV	949	0,046	2,632	0,280
	975	0,046	2,633	0,281
SLC	1950	0,053	2,679	0,291
	2475	0,056	2,695	0,294

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,015	2,591	0,163
	50	0,019	2,557	0,172
SLO	60	0,020	2,580	0,172
	72	0,022	2,603	0,173
SLD	101	0,025	2,598	0,211
	140	0,027	2,594	0,225
	201	0,031	2,591	0,240
	475	0,038	2,619	0,266
SLV	949	0,044	2,633	0,282
	975	0,045	2,633	0,282
SLC	1950	0,052	2,677	0,292
	2475	0,054	2,692	0,296

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,015	2,589	0,163
	50	0,019	2,558	0,172
SLO	60	0,020	2,582	0,173
	72	0,022	2,607	0,174
SLD	101	0,025	2,605	0,211
	140	0,028	2,603	0,225
	201	0,031	2,601	0,240
	475	0,038	2,605	0,281
SLV	949	0,045	2,640	0,290
	975	0,045	2,642	0,290
SLC	1950	0,053	2,717	0,304
	2475	0,055	2,743	0,309

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,016	2,594	0,163
	50	0,019	2,569	0,172
SLO	60	0,021	2,595	0,173
	72	0,022	2,622	0,174
SLD	101	0,025	2,621	0,211
	140	0,028	2,620	0,225
	201	0,032	2,619	0,239
	475	0,039	2,617	0,281
SLV	949	0,046	2,620	0,298
	975	0,047	2,620	0,299
SLC	1950	0,054	2,710	0,306
	2475	0,056	2,742	0,308

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,021	2,587	0,173
SLD	101	0,025	2,609	0,211
SLV	949	0,045	2,632	0,287
SLC	1950	0,053	2,694	0,298

### PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

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

1,000

Categoria sottosuolo: B

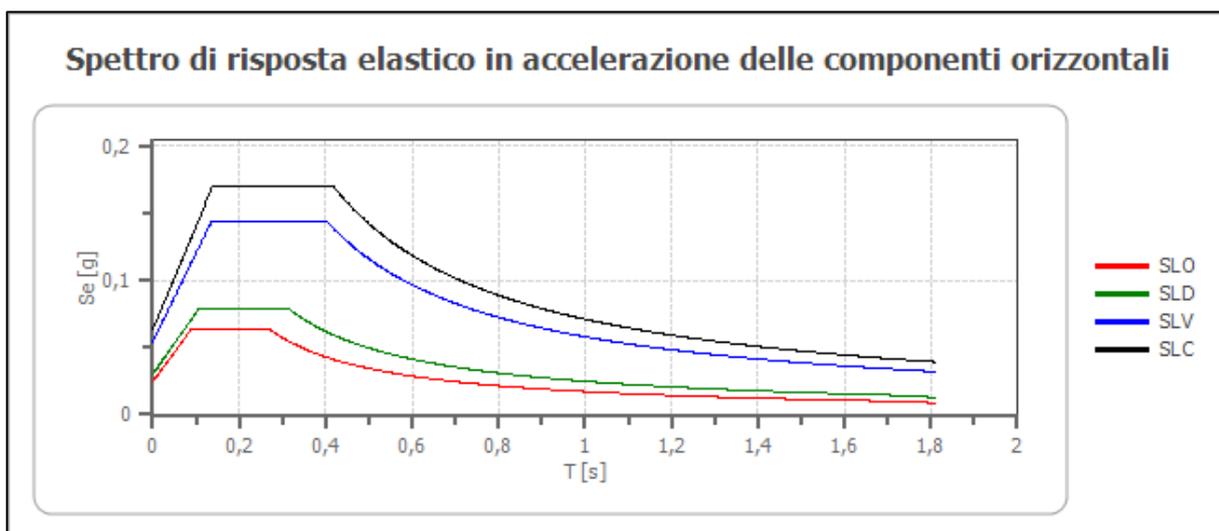
Categoria topografica:

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	0,005	0,006	0,011	0,013
kv	0,002	0,003	0,005	0,006
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,241	0,294	0,533	0,619
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

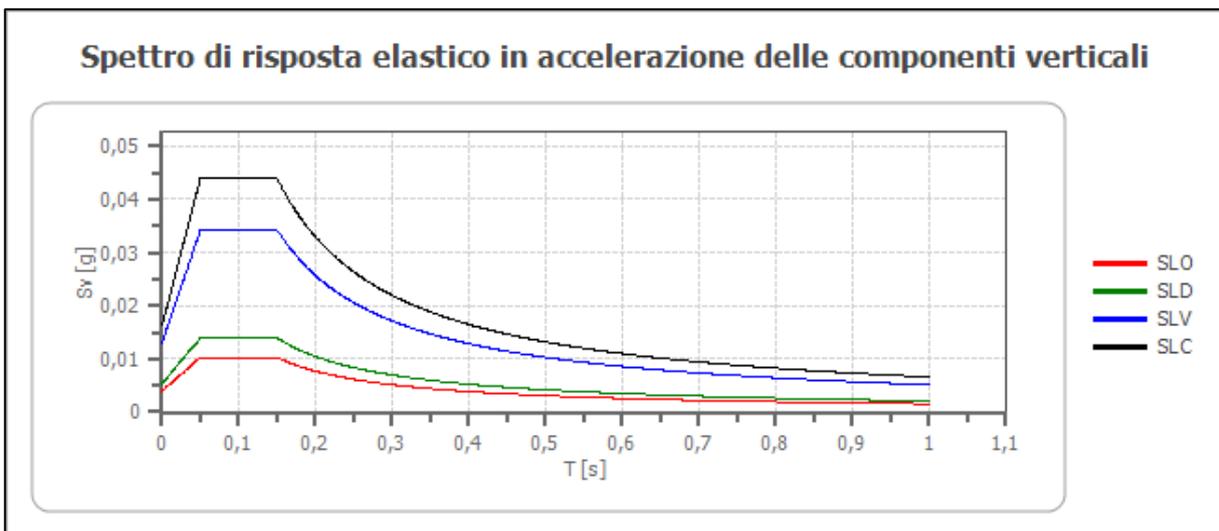


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,021	2,587	0,173	1,200	1,560	1,000	1,200	1,000	0,090	0,269	1,682	0,025	0,064
SLD	2,0	0,025	2,609	0,211	1,200	1,500	1,000	1,200	1,000	0,105	0,316	1,700	0,030	0,078
SLV	2,0	0,045	2,632	0,287	1,200	1,410	1,000	1,200	1,000	0,135	0,405	1,781	0,054	0,143
SLC	2,0	0,053	2,694	0,298	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,139	0,417	1,811	0,063	0,170

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

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



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,021	2,587	0,173	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,004	0,010
SLD	2,0	0,025	2,609	0,211	1	1,500	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,005	0,014
SLV	2,0	0,045	2,632	0,287	1	1,410	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,013	0,034
SLC	2,0	0,053	2,694	0,298	1	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,044

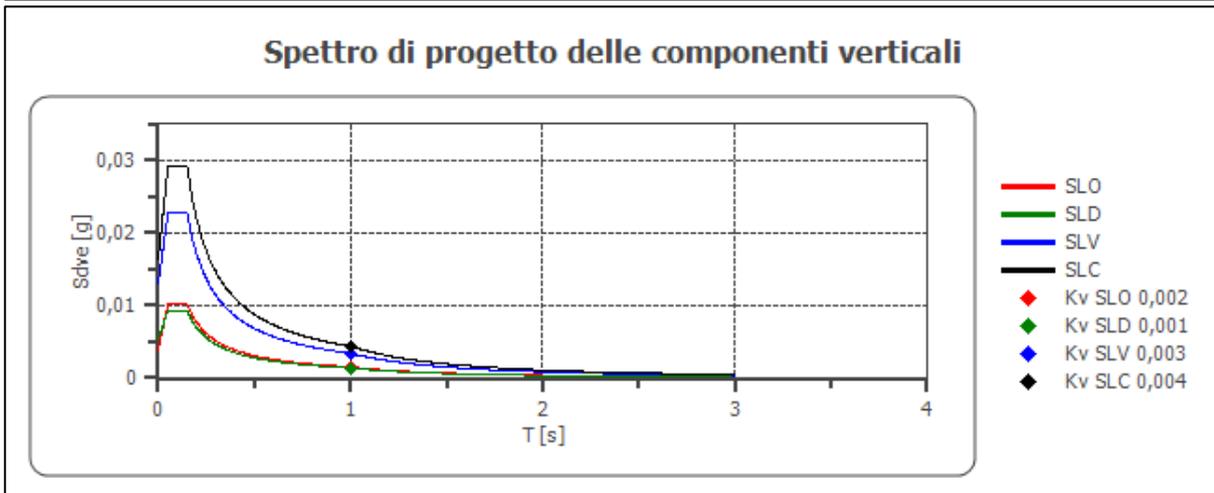
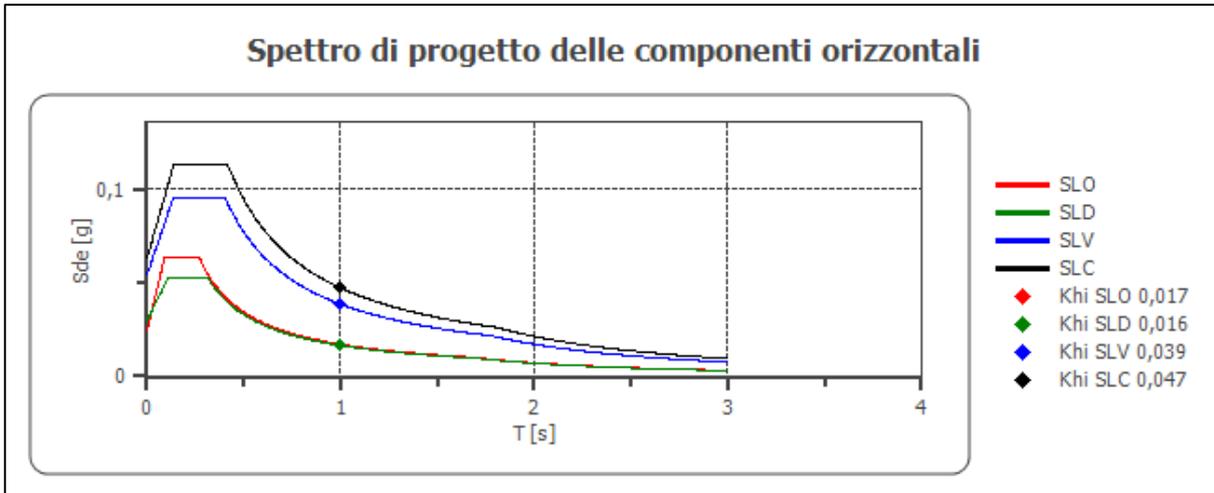
### Spettro di progetto

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
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,017	0,016	0,039	0,047
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,002	0,001	0,003	0,004



	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	2,0	0,021	2,587	0,173	1,200	1,560	1,000	1,200	1,000	0,090	0,269	1,682	0,025	0,064
SLO verticale	2,0	0,021	2,587	0,173	1,200	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,004	0,010
SLD orizzontale	2,0	0,025	2,609	0,211	1,200	1,500	1,000	1,200	1,500	0,105	0,316	1,700	0,030	0,052
SLD verticale	2,0	0,025	2,609	0,211	1,200	1,500	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,005	0,009
SLV orizzontale	2,0	0,045	2,632	0,287	1,200	1,410	1,000	1,200	1,500	0,135	0,405	1,781	0,054	0,095
SLV verticale	2,0	0,045	2,632	0,287	1,200	1,410	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,013	0,023
SLC orizzontale	2,0	0,053	2,694	0,298	1,200	1,400	1,000	1,200	1,500	0,139	0,417	1,811	0,063	0,113
SLC verticale	2,0	0,053	2,694	0,298	1,200	1,400	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,016	0,029

## 13 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 53 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 54 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

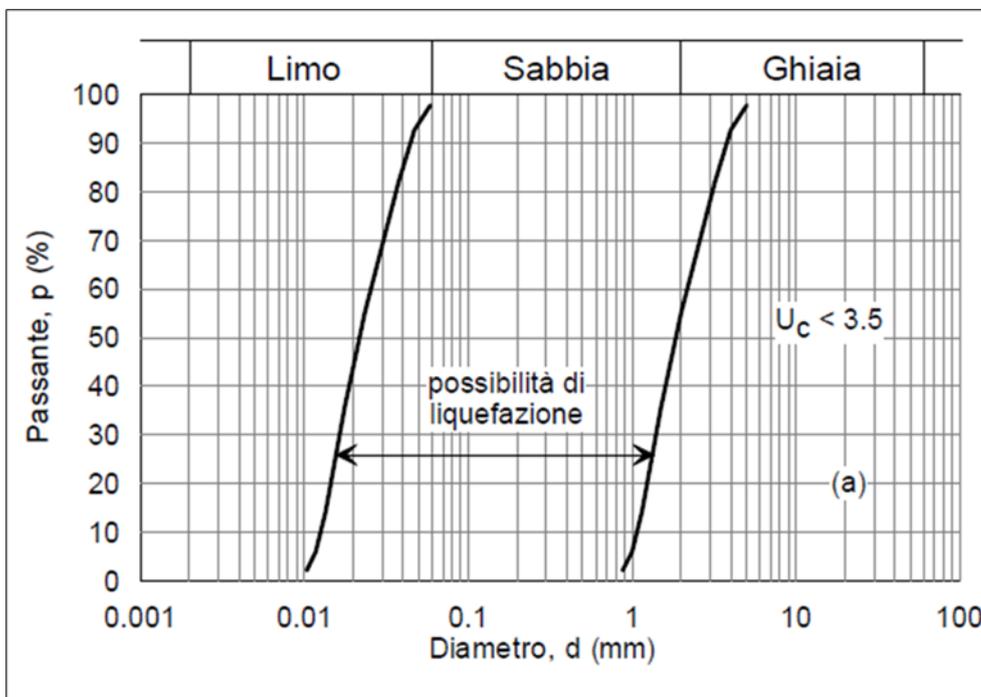


Figura 53: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

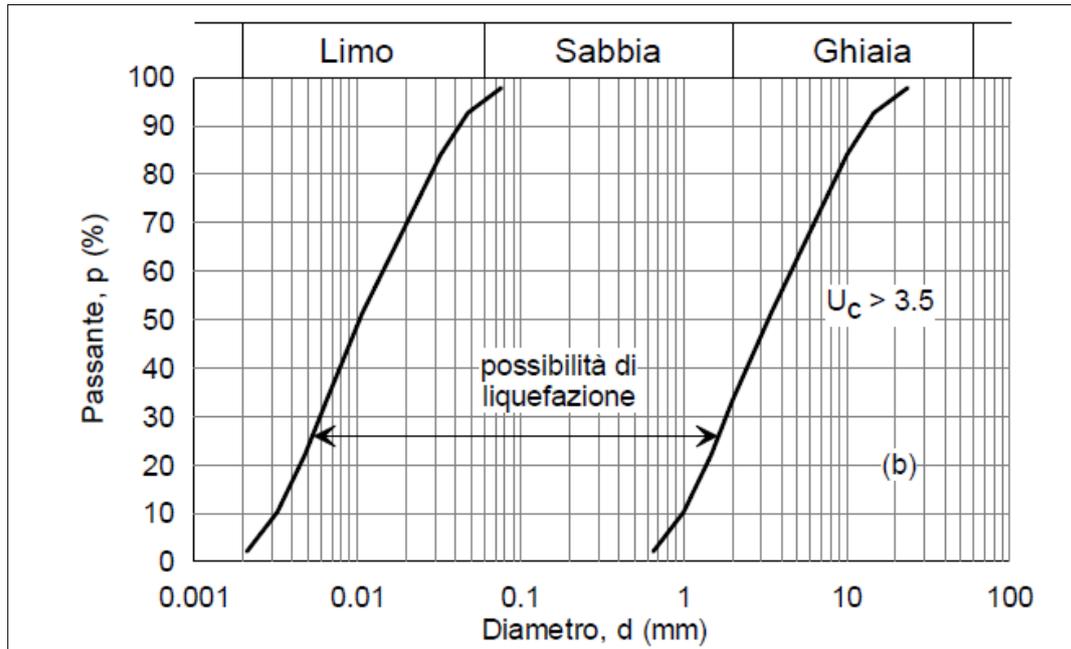


Figura 54: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

La verifica a liquefazione è stata omessa in quanto rispondente ai punti 1-2 richiesti dalla normativa vigente

## 14 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Si riportano in seguito la tabella riassuntiva dei parametri geotecnici medi utilizzati.

Suolo	Profondità [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	C' [Kpa]	$\phi'$ [°]	E [Mpa]
Ghiaia sabbie con ciottoli centimetrici in matrice sabbiosa grigia	0 m – 40 m	20	0	30-40	100-150

La soggiacenza della falda è variabile tra 30 e 36 m da p.c.

**15 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI**

Si riportano in seguito la tabella riassuntiva dei parametri geotecnici utilizzati.

SUOLO	Profondità [m]	$\gamma$ [KN/m <sup>3</sup> ]	C' [Kpa]	$\phi'$ [°]	E [Mpa]
Ghiaia sabbie con ciottoli centimetrici in matrice sabbiosa grigia	0 m – 40 m	20	0	38	100

La soggiacenza della falda è variabile tra 30 e 36 m da p.c.

## 16 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto si conclude quanto segue:

- L'area d'interesse è caratterizzata dalla presenza di terreni a tessitura grossolana alluvionali, costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose, talora differenziati in lenti a debole coesione di modesta estensione laterale, legati allo smantellamento della cerchia morenica eporediese. Lo spessore di tali depositi è compreso tra i 55 e i 60 m.
- Il paleosuolo di questi depositi fluvio-glaciali è caratterizzato dalla presenza superficiale di un debole strato d'alterazione bruno-giallastro che in superficie, per la profondità di alcuni decimetri, è stato profondamente modificato nella composizione e nelle caratteristiche fisico-chimiche dalle colture agrarie.
- Nell'area non sono presenti corsi d'acqua naturali di grosse dimensioni, ma è piuttosto caratterizzata, a causa dell'uso agricolo del suolo, da una fitta rete di canali irrigui dei quali il più importante è il Navilotto (poco a est rispetto all'area d'interesse).
- L'area in studio si differenzia per la scarsità di livelli fini interposti e per la maggior profondità della falda superficiale rispetto all'assetto generale della pianura Biellese-Vercellese-Novarese.
- Dalla carta idrogeologica riportata in relazione si nota la presenza di tre pozzi dismessi all'interno dell'area d'interesse.
- Prendendo di riferimento la quota topografica 225 m s.l.m. e la minima e massima escursione della falda si può assegnare una soggiacenza variabile tra 30 e 36 m da p.c.
- Secondo la carta delle aree inondabili consultata dal GeoPortale della Regione Piemonte si nota che l'area d'interesse non è interessata da questo tipo di problematica.
- Secondo il metodo G.O.D. di Foster et al., 2002 si assegna all'area d'interesse una **vulnerabilità alta** a causa di:
  - presenza di un acquifero di tipo non confinato
  - granulometria grossolana del terreno
  - soggiacenza della falda tra 20 e 50 metri.
- Al fine di valutare la permeabilità dei terreni, sono stati utilizzati i dati desunti dalle prove di emungimento eseguite in data 07/10/91 sul pozzo 4 (abbassamento e risalita) e in data 23/02/99 sui pozzi 4 e 3 (abbassamento). Tali prove dimostrano un'elevata permeabilità dell'acquifero nell'ordine di  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.
- Consultando la cartografia del GeoPortale della Regione Piemonte si nota che l'area d'interesse è compresa all'interno delle aree di ricarica degli acquiferi profondi.

Recenti studi hanno tuttavia evidenziato che sulla base dei dati idrogeologici raccolti e le conseguenti elaborazioni si possa ritenere che l'area delle discariche e degli ampliamenti non debba rientrare, di fatto, nelle aree di ricarica delle falde profonde, sulla base dei criteri di esclusione previsti nell'Allegato 1 alla D.D. del 21 luglio 2016, n. 268.

- Nel 2022 è stata effettuata una campagna di indagine al fine della caratterizzazione geologica e geotecnica, composta dalle seguenti indagini:
  - n.1 sondaggio a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro spinto fino a -40 m da p.c. attuale (ZC1)
  - n.2 sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro spinti fino a -20 m da p.c. attuale (ZC2 e ZC3)
- Per la definizione dal punto di vista sismico dell'area oggetto di studio, vista l'omogeneità dei depositi presenti sono state prese di riferimento n.2 indagini sismiche MASW eseguite nel 2021 per un termovalorizzatore in un'area che dista circa 450 metri.
- Tramite queste indagini il suolo è classificato di **tipo B**
- Per quanto riguarda la classificazione sismica per il territorio di Cavaglià, 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, il comune di Cavaglià è classificato in **sottozona sismica 4**
- I terreni non sono liquefacibili
- L'area non risulta interessata da rischi di esondabilità
- Vista la natura granulare/grossolana dei terreni in sito si ritiene si possa dare corso alla progettazione di fondazioni dirette.

**ALLEGATO - CAMPAGNA DI INDAGINE 2022**

<p><b>3BA</b> Ingegneria Integrata</p> <p>INDAGINI GEOSTRUTTURATIVE E GEOTECNICHE</p>				Località:		SONDAGGIO			
				Comune di Cavaglià – Loc. Gerbido Via Bertone		N° ZC1			
				Coordinate: Lat: 45.384108° Long: 8.119497°		Piano campagna: 226 mt			
						DATA 30/05/2022			
Litologie	Profondità (mt.)	Spessore strati (mt.)	PZ	Falda	DESCRIZIONE LITOLOGICA	S.P.T.			NOTE
								mt.	
	-1.30	1.30			Riparto con presenza di argilla e ghiaia				
	-3.00	1.70			Ghiaia con sabbia	R		-3.00	
	-5.00	2.00			Ghiaia in matrice fine				
	-6.00					12	18	21	-6.00
	-8.00	4.00			Ghiaia e ciottoli con sabbia fini				
	-9.50					R			-9.00
	-12.00	5.00			Ghiaia e ciottoli con sabbia				
	-14.50					21	29	34	-12.00
	-15.00					17	32	28	-15.00
	-18.00					19	32	36	-18.00
	-21.00	11.00			Ghiaia e ciottoli con rara sabbia				
	-24.00					25	33	36	-21.00
	-24.00					R			-24.00
	-27.00					14	24	28	-27.00
	-30.00					34	46	41	-30.00
	-33.00	14.30			Ghiaia con ciottoli e sabbia				
	-33.00					34	33	45	-33.00
	-36.00			-34.50		28	36	36	-36.00
	-39.00					28	35	41	-39.00
	-41.00								

CAMPIONE: <input checked="" type="checkbox"/> Rimaneggiato <input checked="" type="checkbox"/> Indisturbato		CASSETTE CATALOGATRICI	LIVELLO FALDA			
			DATA	Prof. foro	Prof. riv.	Livello acqua

 <b>INDAGINI GEONOSTICHE E GEOTECNICHE</b>				Località:		<b>SONDAGGIO</b> <b>N° ZC2</b>				
				Comune di Cavaglià – Loc. Gerbido Via Bertone						
				Coordinate: Lat: 45.385284° Long: 8.119629°		Piano campagna: 227 mt		DATA 03/06/2022		
Litologia	Profondità (mt.)	Spessore strat. (mt.)	PZ	Falda	DESCRIZIONE LITOLOGICA	S.P.T.			NOTE	
								mt.		
	-1.50	6.50			Ghiaia e ciottoli in matricia fine	R		-3.00		
		36	R	-6.00						
	-11.00	11.00			Ghiaia e ciottoli con sabbia	38	40	R	-9.00	
		40	R	-12.00						
		R	-15.00							
-18.00	2.00			Ghiaia e rari ciottoli con sabbia	30	33	32	-18.00		
-21.00										

<b>CAMPIONE:</b> ■ Rimaneggiato    ● Indisturbato						CASSETTE CATALOGATRICI		<b>LIVELLO FALDA</b>			
								DATA	Prof. foro	Prof. rlv.	Livello acqua

 <b>INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE</b>				Località: Comune di Cavaglià – Loc. Gerbido Via Bertone		SONDAGGIO N° ZC3				
Coordinate: Lat: 45.385780° Long: 8.120480°		Piano campagna: 226 mt		DATA 06/06/2022						
Litologia	Profondità (mt.)	Spessore strati (mt.)	PZ	Falda	DESCRIZIONE LITOLOGICA	S.P.T.				NOTE
									mt.	
	-7.50	7.50			Ghiale e ciottoli in matrice fine	22	25	28	-3.00	
						31	38	35	-6.00	
	-10.00	10.00			Ghiale e ciottoli con sabbia	R			-9.00	
						29	38	R	-12.00	
	-15.00	2.50			Ghiale e rari ciottoli con sabbia	40	38	38	-15.00	
						37	40	35	-18.00	
	-18.00									

CAMPIONE: ■ Rimaneggiato ● Indisturbato		CASSETTE CATALOGATRICI	LIVELLO FALDA			
 SPT	 SPT		 SPT	 SPT	 SPT	 SPT

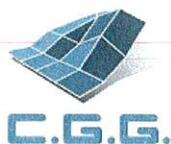


Numero Documento

CAVP09O10000CER1200102

Impianto per la produzione di energia elettrica e termica  
mediante combustione di rifiuti speciali non pericolosi sito  
in Comune di Cavaglià (BI) – Relazione Geotecnica Sismica

## CERTIFICATI DI LABORATORIO



COMMITTENTE: 3BA s.r.l.

LOCALITÀ: Cavaglià

CANTIERE: Cavaglià

Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC1

CAMPIONE: CR1

PROFONDITÀ (m): 3,00

DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 606,80

$\varnothing$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	606,80	100,00
75	0,00	606,80	100,00
38,1	0,00	606,80	100,00
25,4	83,21	523,59	86,29
19,05	139,07	467,73	77,08
12,7	230,17	376,63	62,07
9,5	282,68	324,12	53,41
4,75	357,69	249,11	41,05
2	428,56	178,24	29,37
1	470,19	136,61	22,51
0,425	509,44	97,36	16,04
0,25	524,64	82,16	13,54
0,125	539,58	67,22	11,08
0,075	546,83	59,97	9,88

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC1 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022

densimetro utilizzato: ASTM 151 H

temperatura di prova (°C): 21,0

massa terreno alla sedimentazione (g): 25,37

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,068	17,5	9,67
60	0,049	16	8,55
120	0,035	15,5	8,17
300	0,022	14	7,04
600	0,016	13	6,29
1200	0,011	11,5	5,17
2400	0,008	10,5	4,42
4800	0,006	10	4,04
14400	0,003	9	3,29
86400	0,001	8	2,54

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	58,9
% sabbia	31,2
% limo	6,0
% argilla	3,9

commessa:  
141/22

settore:  
04

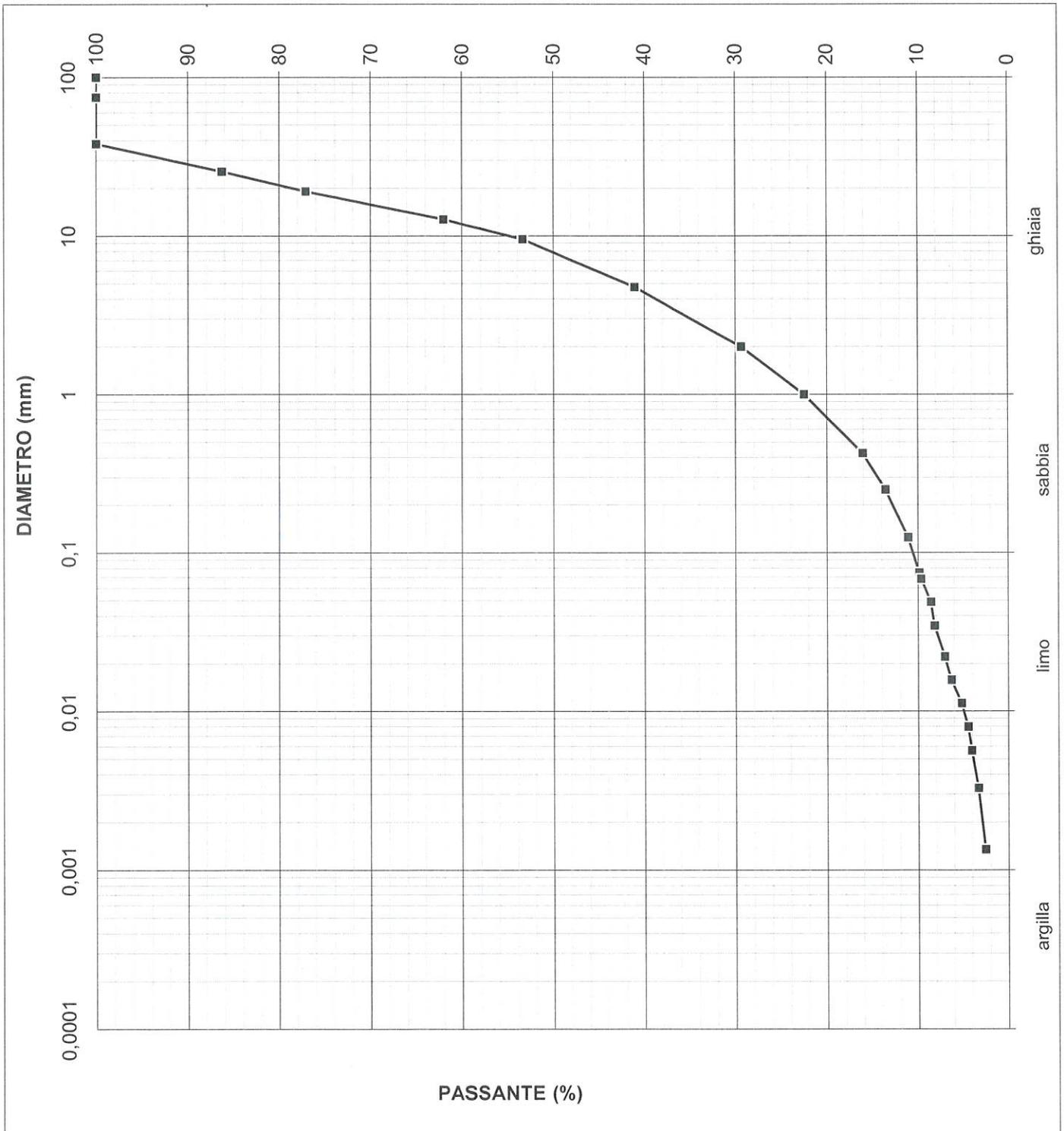
id. campione:  
ZC1 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. S.r.l. con sistema qualità ISO 9001:2015  
Certificato Bureau Veritas Italia S.p.A.  
Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti  
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,  
terre e rocce, in sito ed in laboratorio



commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC1 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



COMMITTENTE: 3BA s.r.l.  
LOCALITÀ: Cavaglià  
CANTIERE: Cavaglià  
Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC1  
CAMPIONE: CR2  
PROFONDITÀ (m): 5,00  
DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 1011,65

$\phi$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	1011,65	100,00
75	0,00	1011,65	100,00
38,1	122,05	889,60	87,94
25,4	233,24	778,41	76,94
19,05	283,58	728,07	71,97
12,7	368,72	642,93	63,55
9,5	406,20	605,45	59,85
4,75	497,78	513,87	50,80
2	592,11	419,54	41,47
1	656,36	355,29	35,12
0,425	730,12	281,53	27,83
0,25	762,09	249,56	24,67
0,125	801,94	209,71	20,73
0,075	821,04	190,61	18,84

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC1 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 49,77

tempo (s)	$\phi$ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	29	18,23
60	0,046	25,5	15,61
120	0,033	22,5	13,37
300	0,022	18	10,01
600	0,016	14,5	7,39
1200	0,011	12,5	5,90
2400	0,008	10	4,03
4800	0,006	9	3,28
14400	0,003	7,5	2,16
86400	0,001	6,5	1,41

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$   
 $C_d = 5$   
 $C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	49,2
% sabbia	32,0
% limo	15,8
% argilla	3,0

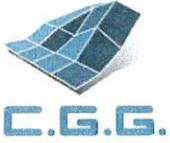
commessa:  
141/22

settore:  
04

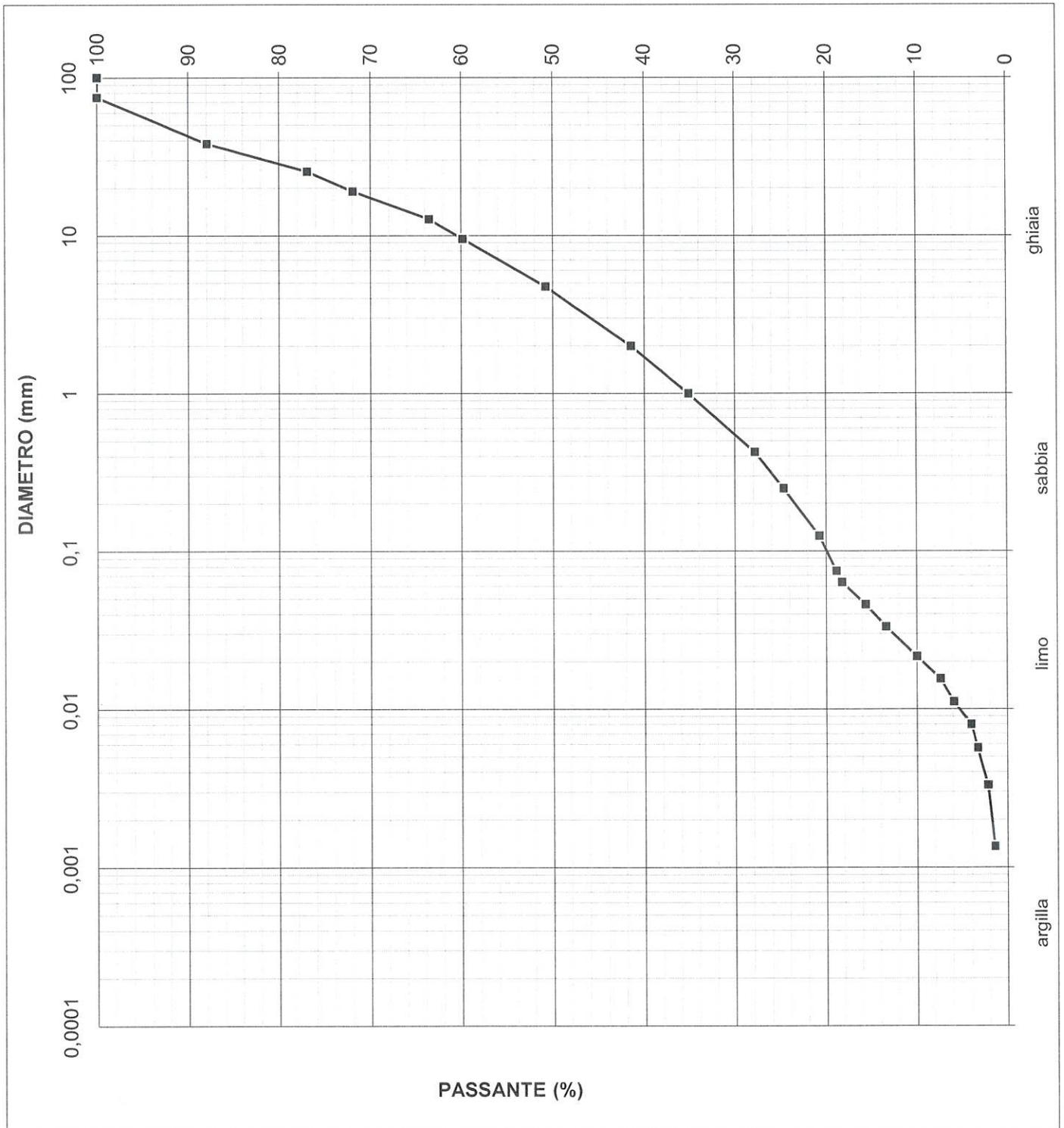
id. campione:  
ZC1 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. S.r.l. con sistema qualità ISO 9001:2015  
Certificato Bureau Veritas Italia S.p.A.  
Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti  
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,  
terre e rocce, in sito ed in laboratorio



commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC1 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



COMMITTENTE: 3BA s.r.l.

LOCALITÀ: Cavaglià

CANTIERE: Cavaglià

Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC1

CAMPIONE: CR3

PROFONDITÀ (m): 10,00

DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 769,41

$\phi$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	769,41	100,00
75	0,00	769,41	100,00
38,1	0,00	769,41	100,00
25,4	110,85	658,56	85,59
19,05	189,81	579,60	75,33
12,7	259,36	510,05	66,29
9,5	323,28	446,13	57,98
4,75	405,18	364,23	47,34
2	470,68	298,73	38,83
1	523,83	245,58	31,92
0,425	565,73	203,68	26,47
0,25	582,03	187,38	24,35
0,125	600,23	169,18	21,99
0,075	609,56	159,85	20,78

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC1 CR3

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 45,43

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	28	20,40
60	0,046	25,5	18,22
120	0,033	22,5	15,60
300	0,022	16,5	10,37
600	0,016	15	9,06
1200	0,011	12	6,45
2400	0,008	10	4,70
4800	0,006	7	2,09
14400	0,003	6,5	1,65
86400	0,001	5,5	0,78

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$   
 $C_d = 5$   
 $C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	52,7
% sabbia	26,6
% limo	18,8
% argilla	2,0

commessa:  
141/22

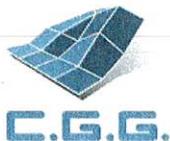
settore:  
04

id. campione:  
ZC1 CR3

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli





COMMITTENTE: 3BA s.r.l.

LOCALITÀ: Cavaglià

CANTIERE: Cavaglià

Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC2

CAMPIONE: CR1

PROFONDITÀ (m): 3,00

DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 662,03

$\emptyset$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	662,03	100,00
75	0,00	662,03	100,00
38,1	0,00	662,03	100,00
25,4	28,55	633,48	95,69
19,05	107,56	554,47	83,75
12,7	228,34	433,69	65,51
9,5	283,89	378,14	57,12
4,75	359,16	302,87	45,75
2	429,49	232,54	35,13
1	474,04	187,99	28,40
0,425	518,44	143,59	21,69
0,25	537,60	124,43	18,80
0,125	561,50	100,53	15,19
0,075	574,47	87,56	13,23

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC2 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 41,87

tempo (s)	Ø equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	27	12,64
60	0,047	23,5	10,67
120	0,034	19,5	8,41
300	0,022	17	7,00
600	0,016	13	4,74
1200	0,011	12	4,17
2400	0,008	9,5	2,76
4800	0,006	8,5	2,20
14400	0,003	7	1,35
86400	0,001	6,5	1,07

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	54,3
% sabbia	32,5
% limo	11,2
% argilla	2,0

commessa:  
141/22

settore:  
04

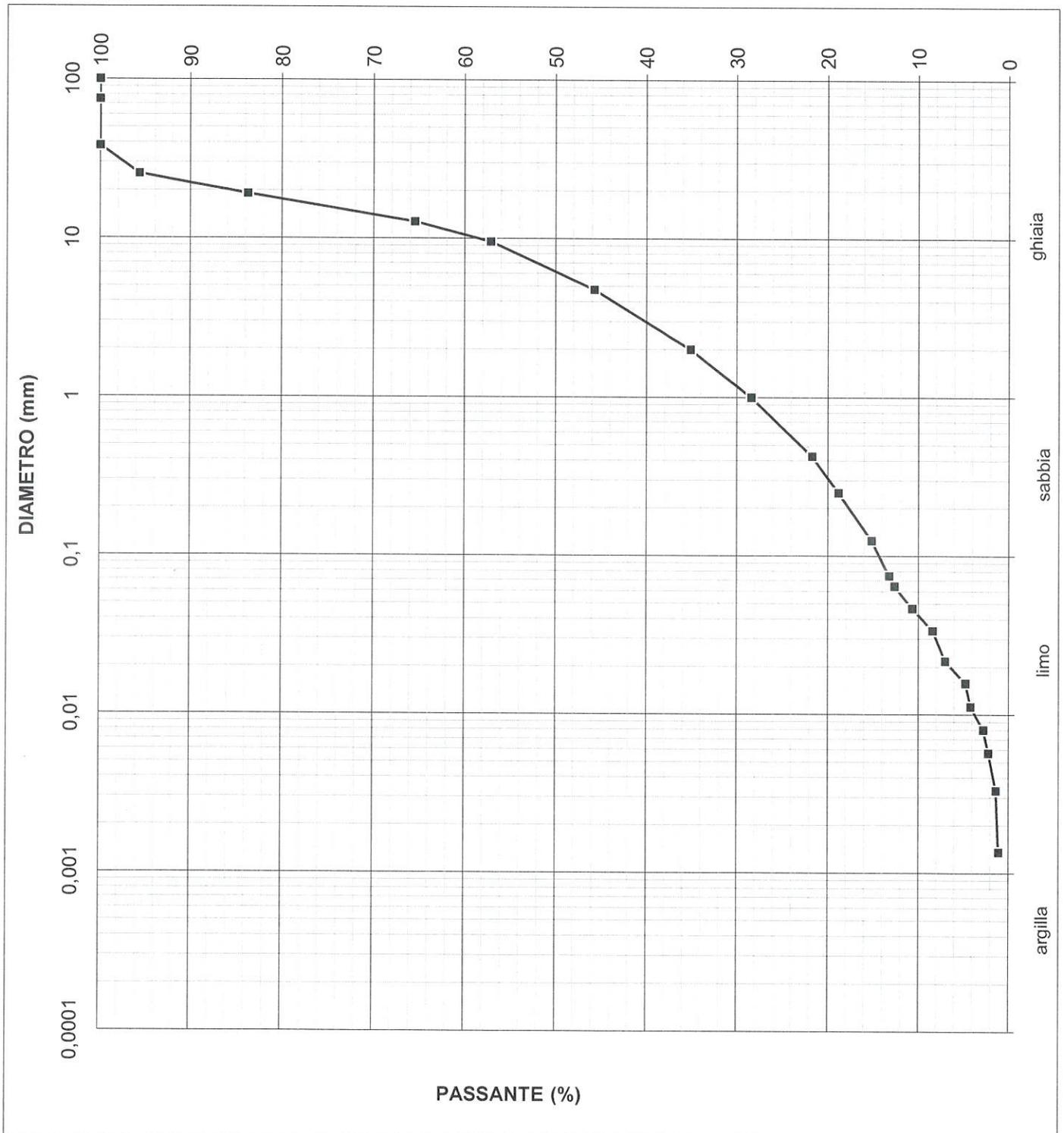
id. campione:  
ZC2 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. S.r.l. con sistema qualità ISO 9001:2015  
Certificato Bureau Veritas Italia S.p.A.  
Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti  
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,  
terre e rocce, in sito ed in laboratorio



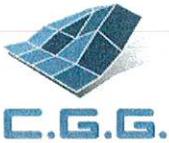
commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC2 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



COMMITTENTE: 3BA s.r.l.  
LOCALITÀ: Cavaglià  
CANTIERE: Cavaglià  
Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC2  
CAMPIONE: CR2  
PROFONDITÀ (m): 5,00  
DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 820,55

$\phi$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	820,55	100,00
75	0,00	820,55	100,00
38,1	0,00	820,55	100,00
25,4	90,70	729,85	88,95
19,05	168,96	651,59	79,41
12,7	230,56	589,99	71,90
9,5	287,76	532,79	64,93
4,75	400,00	420,55	51,25
2	491,33	329,22	40,12
1	550,15	270,40	32,95
0,425	608,22	212,33	25,88
0,25	632,36	188,19	22,93
0,125	663,88	156,67	19,09
0,075	679,63	140,92	17,17

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC2 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 35,13

tempo (s)	$\phi$ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,065	25,5	16,64
60	0,047	23	14,65
120	0,033	21,5	13,45
300	0,022	18,5	11,06
600	0,015	16	9,07
1200	0,011	14,5	7,88
2400	0,008	12,5	6,29
4800	0,006	10,5	4,69
14400	0,003	8	2,70
86400	0,001	6,5	1,51

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$   
 $C_d = 5$   
 $C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	48,7
% sabbia	34,1
% limo	12,9
% argilla	4,2

commessa:  
141/22

settore:  
04

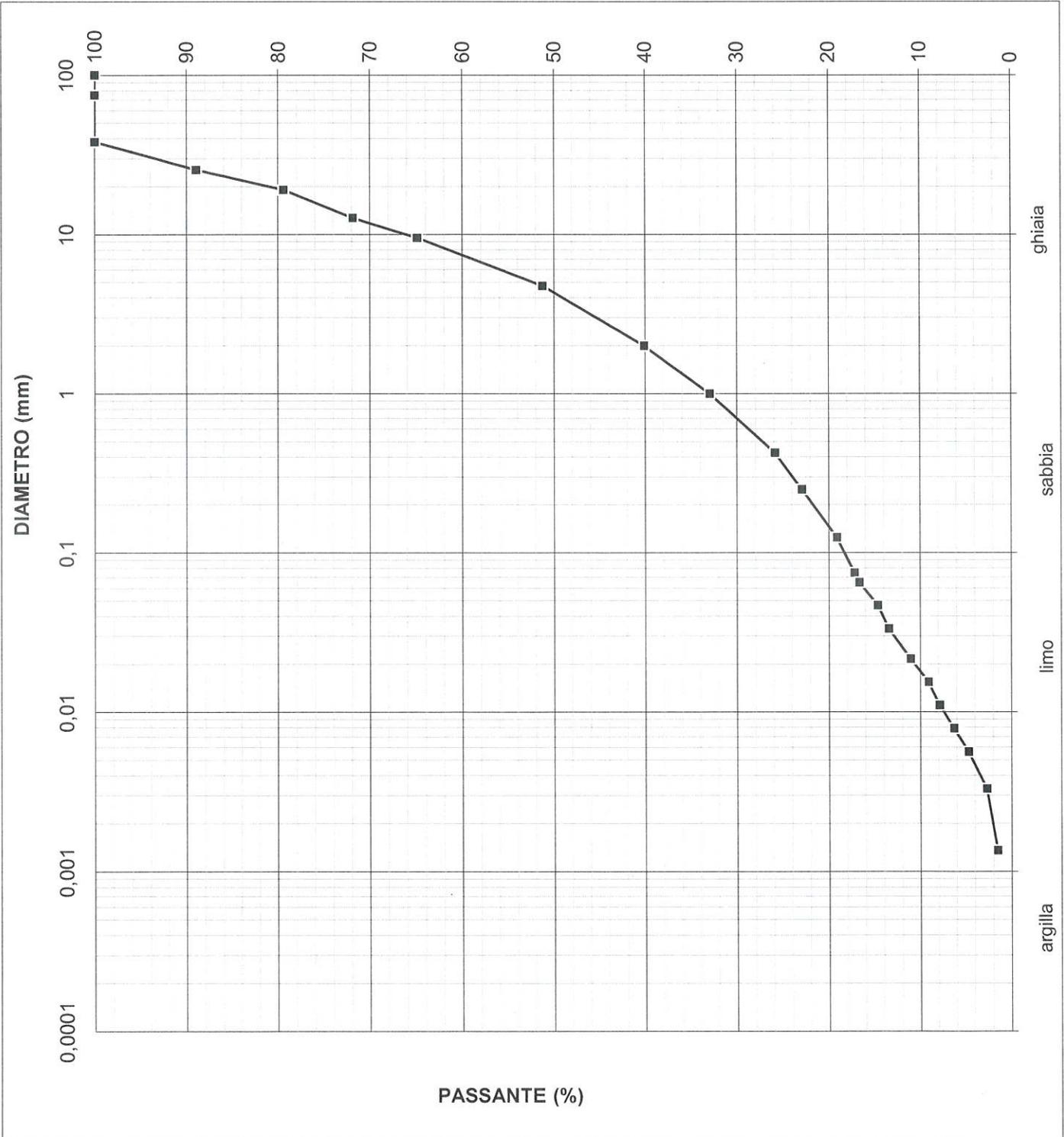
id. campione:  
ZC2 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. S.r.l. con sistema qualità ISO 9001:2015  
Certificato Bureau Veritas Italia S.p.A.  
Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti  
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,  
terre e rocce, in sito ed in laboratorio





COMMITTENTE: 3BA s.r.l.

LOCALITÀ: Cavaglià

CANTIERE: Cavaglià

Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC2

CAMPIONE: CR3

PROFONDITÀ (m): 10,00

DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 573,11

$\emptyset$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	573,11	100,00
75	0,00	573,11	100,00
38,1	0,00	573,11	100,00
25,4	28,55	544,56	95,02
19,05	110,88	462,23	80,65
12,7	192,09	381,02	66,48
9,5	254,20	318,91	55,65
4,75	315,80	257,31	44,90
2	360,95	212,16	37,02
1	399,90	173,21	30,22
0,425	445,40	127,71	22,28
0,25	467,55	105,56	18,42
0,125	489,43	83,68	14,60
0,075	504,36	68,75	12,00

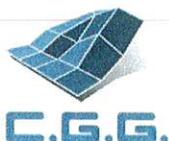
commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC2 CR3

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 31,15

tempo (s)	$\phi$ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,065	26	11,25
60	0,047	21,5	8,89
120	0,034	18,5	7,31
300	0,022	16	5,99
600	0,016	14,5	5,20
1200	0,011	12,5	4,15
2400	0,008	10	2,84
4800	0,006	9	2,31
14400	0,003	7,5	1,52
86400	0,001	6	0,73

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$   
 $C_d = 5$   
 $C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	55,1
% sabbia	32,9
% limo	9,9
% argilla	2,1

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC2 CR3

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli





COMMITTENTE: 3BA s.r.l.  
LOCALITÀ: Cavaglià  
CANTIERE: Cavaglià  
Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC3  
CAMPIONE: CR1  
PROFONDITÀ (m): 3,00  
DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 416,92

$\phi$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	416,92	100,00
75	0,00	416,92	100,00
38,1	0,00	416,92	100,00
25,4	24,57	392,35	94,11
19,05	98,27	318,65	76,43
12,7	161,73	255,19	61,21
9,5	194,74	222,18	53,29
4,75	244,95	171,97	41,25
2	280,32	136,60	32,76
1	301,96	114,96	27,57
0,425	328,77	88,15	21,14
0,25	340,67	76,25	18,29
0,125	353,06	63,86	15,32
0,075	361,77	55,15	13,23

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC3 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 36,51

tempo (s)	$\phi$ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,064	27	12,61
60	0,046	24,5	11,20
120	0,033	21,5	9,51
300	0,022	18,5	7,82
600	0,015	16	6,41
1200	0,011	13,5	5,01
2400	0,008	11,5	3,88
4800	0,006	8,5	2,19
14400	0,003	7	1,35
86400	0,001	6	0,78

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	58,8
% sabbia	28,0
% limo	11,2
% argilla	2,0

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC3 CR1

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli





COMMITTENTE: 3BA s.r.l.  
LOCALITÀ: Cavaglià  
CANTIERE: Cavaglià  
Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC3  
CAMPIONE: CR2  
PROFONDITÀ (m): 5,00  
DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 22/06/2022

massa terreno setacciato (g): 594,94

$\phi$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	594,94	100,00
75	0,00	594,94	100,00
38,1	0,00	594,94	100,00
25,4	35,68	559,26	94,00
19,05	127,68	467,26	78,54
12,7	188,32	406,62	68,35
9,5	215,19	379,75	63,83
4,75	276,96	317,98	53,45
2	320,13	274,81	46,19
1	361,12	233,82	39,30
0,425	408,78	186,16	31,29
0,25	428,23	166,71	28,02
0,125	451,88	143,06	24,05
0,075	464,93	130,01	21,85

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC3 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 22/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 29,48

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,065	25,5	21,24
60	0,047	22,5	18,19
120	0,034	20	15,65
300	0,022	18,5	14,13
600	0,015	16,5	12,09
1200	0,011	14	9,55
2400	0,008	12,5	8,02
4800	0,006	9,5	4,97
14400	0,003	7,5	2,94
86400	0,001	6	1,41

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	46,6
% sabbia	31,6
% limo	17,4
% argilla	4,5

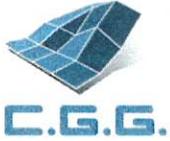
commessa:  
141/22

settore:  
04

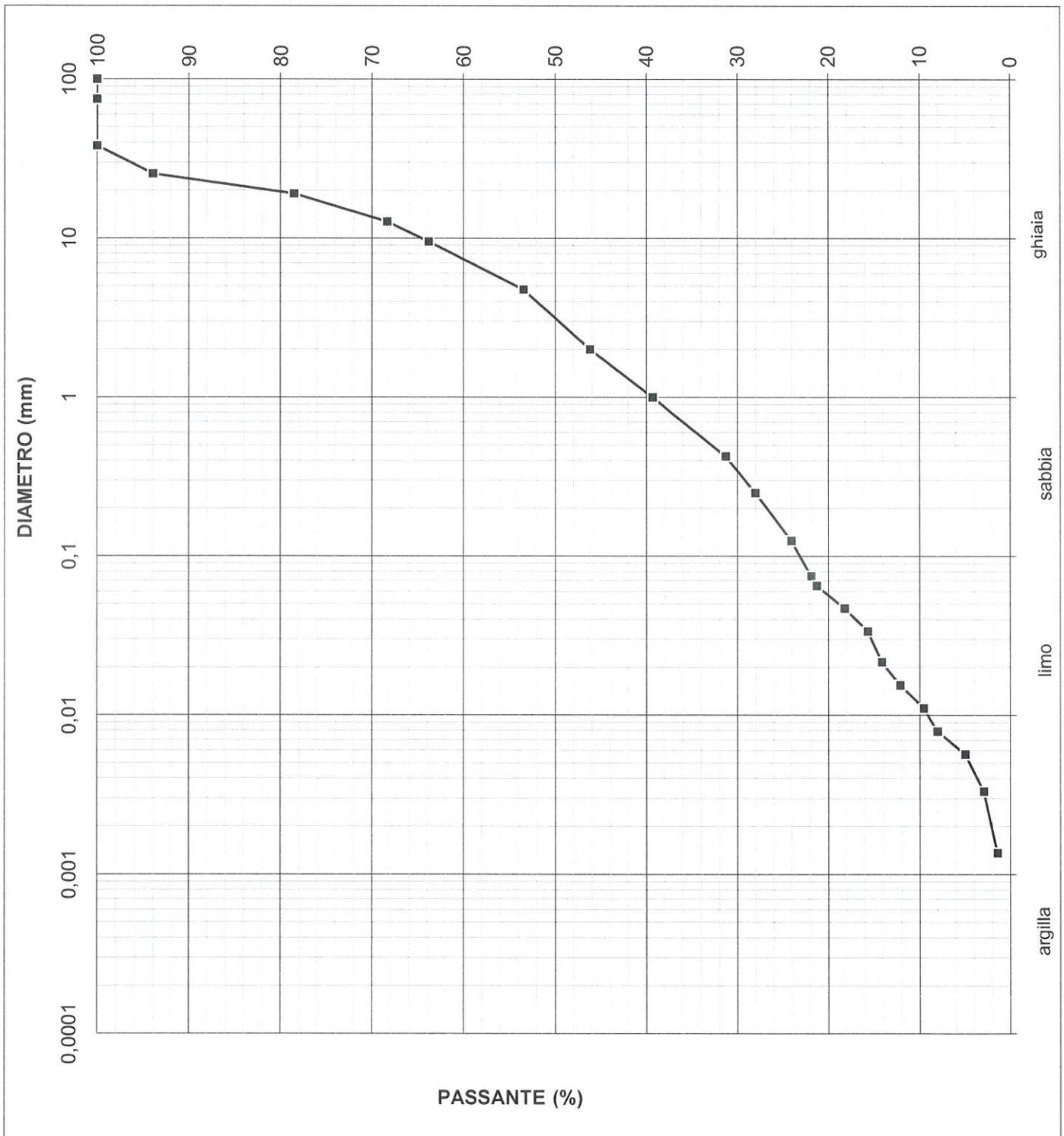
id. campione:  
ZC3 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



C.G.G. S.r.l. con sistema qualità ISO 9001:2015  
Certificato Bureau Veritas Italia S.p.A.  
Laboratorio autorizzato dal Min. Infrastrutture e Trasporti  
Prove e controlli su materiali e prodotti da costruzione,  
terre e rocce, in sito ed in laboratorio



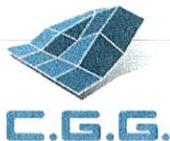
commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC3 CR2

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli



COMMITTENTE: 3BA s.r.l.

LOCALITÀ: Cavaglià

CANTIERE: Cavaglià

Data di accettazione: 18/06/2022

SONDAGGIO: ZC3

CAMPIONE: CR3

PROFONDITÀ (m): 10,00

DATA PRELIEVO: 07/06/2022

## ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-63)

### DATI DI PROVA - SETACCIATURA

data di esecuzione: 23/06/2022

massa terreno setacciato (g): 671,85

$\varnothing$ / maglia (mm)	trattenuto (g)	passante (g)	passante (%)
100	0,00	671,85	100,00
75	0,00	671,85	100,00
38,1	0,00	671,85	100,00
25,4	92,15	579,70	86,28
19,05	163,23	508,62	75,70
12,7	268,94	402,91	59,97
9,5	329,10	342,75	51,02
4,75	406,32	265,53	39,52
2	467,63	204,22	30,40
1	508,29	163,56	24,34
0,425	546,08	125,77	18,72
0,25	564,28	107,57	16,01
0,125	582,85	89,00	13,25
0,075	593,77	78,08	11,62

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC3 CR3

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 23/06/2022  
temperatura di prova (°C): 21,0

densimetro utilizzato: ASTM 151 H  
massa terreno alla sedimentazione (g): 38,88

tempo (s)	∅ equivalente (mm)	lettura densimetrica*	passante (%)
30	0,066	23	11,22
60	0,047	22	10,61
120	0,034	19,5	9,09
300	0,022	17,5	7,87
600	0,016	14,5	6,04
1200	0,011	12,5	4,82
2400	0,008	11	3,90
4800	0,006	9,5	2,98
14400	0,003	8	2,07
86400	0,001	7,5	1,76

\*correzioni applicate:

$C_m = 0,5$

$C_d = 5$

$C_t = 0,9$

composizione granulometrica	
% ghiaia	60,5
% sabbia	27,9
% limo	8,9
% argilla	2,8

commessa:  
141/22

settore:  
04

id. campione:  
ZC3 CR3

lo sperimentatore:  
Dott. Massimo Maugeri

il direttore del Laboratorio:  
Dott. Massimiliano Galli

