

# Comune di PONTEDERA (PI)

loc. GELLO - UTOE5



*il soggetto proponente:*

*Prelios SGR S.p.A.  
in nome e per conto del FIA "Thesan"*

*Progetto*

*Insedimento produttivo*

*Titolo del documento :*

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Data emissione: 21/07/2022	REV.INT.: 01	n° Tavola
NOTE:		<b>002</b>

## COMUNE DI PONTEDERA (PI)

### LOCALITA' GELLO

# RELAZIONE GEOLOGICA

Dott. Geol. Gabriele Anselmi



00	21/07//2021	Emissione	M.Bont	M. Saleri	G. Anselmi
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Redatto</b>	<b>Controllato</b>	<b>Approvato</b>

## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO CATASTALE .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>5</b>
5.1	CARTA GEOLOGICA .....	7
5.2	CARTA GEOMORFOLOGICA.....	9
5.3	CARTA IDROGEOLOGICA.....	11
<b>6</b>	<b>CARTA LITOTECNICA .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA .....</b>	<b>17</b>
<b>8</b>	<b>CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA .....</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA .....</b>	<b>21</b>
<b>10</b>	<b>CARTA DEI VINCOLI.....</b>	<b>23</b>
<b>11</b>	<b>CARTA DI USO DEL SUOLO .....</b>	<b>26</b>
<b>12</b>	<b>CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>28</b>
<b>13</b>	<b>STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>29</b>
<b>14</b>	<b>SISMICITA'.....</b>	<b>30</b>
<b>14.1</b>	<b>ZONA SISMICA .....</b>	<b>30</b>
14.2	CPTI15-DBMI15 V 2.0 .....	40
<b>14.3</b>	<b>INDAGINI SISMICHE IN SITO.....</b>	<b>46</b>
14.3.1	RISULTATI DELL'INDAGINE MASW .....	46
14.3.1.1	RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI MASW .....	46
14.3.2	RISULTATI DELL'INDAGINE HVSR .....	50
14.3.2.1	RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI HVSR.....	50
14.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	52
14.5	CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	54
<b>15</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI MEDI.....</b>	<b>55</b>

<b>16</b>	<b>LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>56</b>
16.1	VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE .....	57
<b>17</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>69</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione geologica è stata redatta al fine di definire le caratteristiche geologiche dell'area ubicata nel Comune di Pontedera in località Gello.



*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**

La relazione è stata scritta in accordo con le seguenti normative:

- D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).
- D.G.R. 21 maggio 2014, n. 65-7656 – Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084.
- D.G.R. 19 gennaio 2010, n. 11-13058 - Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006).
- Circ. Min. 10/04/1997 n. 65: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16/01/1996".
- O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 (Supplemento ordinario alla G.U. 8.5.2003 n.105) - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. 17.01.2018: Norme Tecniche per le Costruzioni.



### **3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera
- Foglio n°273 Pisa della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000)
- Carta di permeabilità delle rocce (F. Baldacci, L. Bellini. G. Raggi)

#### 4 INQUADRAMENTO CATASTALE

L'area di interesse comprende le particelle descritte nella figura seguente



*Figura 2: Inquadramento catastale-Fogli 21-Particella  
38,47,33,42,42,43,44,79,80,61,60,130,318,26,27,28,29,30,36,83*



## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area oggetto di intervento si trova collocata all'interno del F. n°273 Pisa della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000) e nello specifico all'interno dei **depositi alluvionali**:

Questi depositi olocenici vengono associati a più contesti geologici ai quali si associano le diverse tessiture

- Ghiaie mal classate con matrice sabbiosa deposte in area di conoide o tracimazione intravalliva
- Sabbie da fini a medie in aree di tracimazione intravalliva e di conoide distale
- Limi e sabbie di argine e di ventaglio di rotta
- Limi e limi argillosi di piana indonabile

L'area d'intervento ricade all'interno dei depositi più fini costituiti da limi e limi argillosi depositati in contesto di piana inondabile.

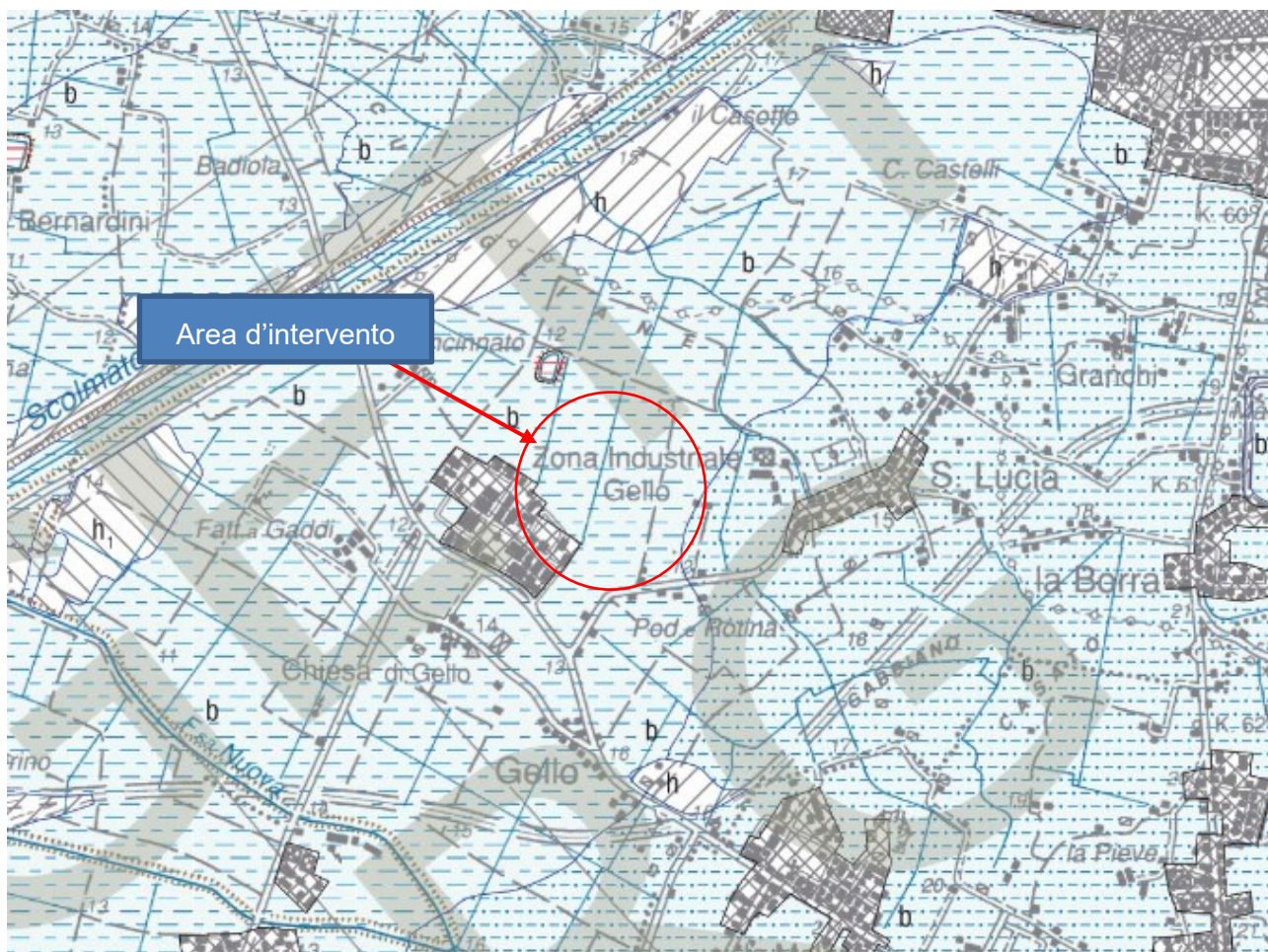


Figura 3-Stralcio Foglio 273 Pisa scala 1:50.000

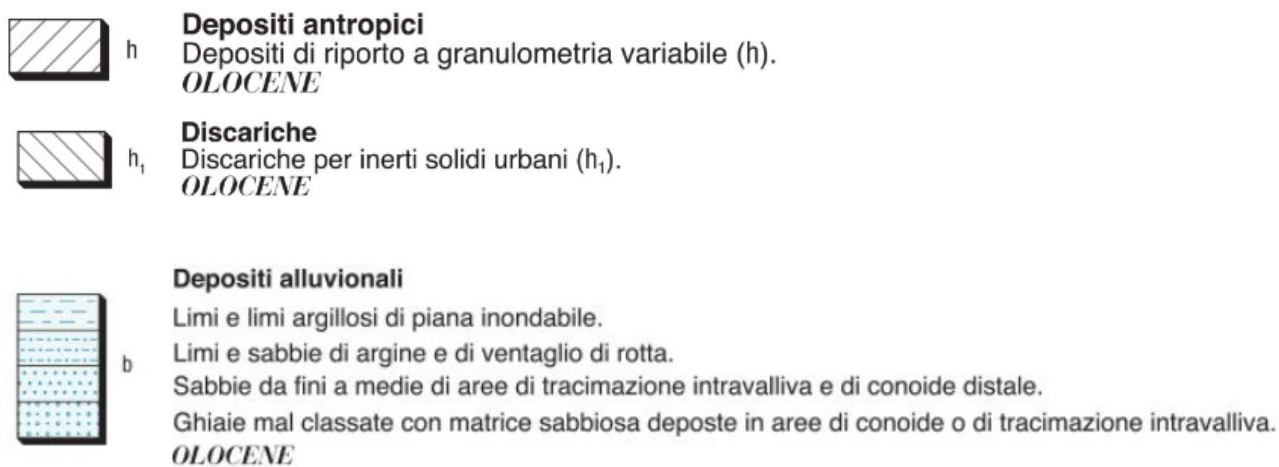


Figura 4-Legenda Foglio 273 Pisa scala 1:50.000

## 5.1 Carta geologica

L'area d'intervento è ubicata nella parte orientale della Pianura di Pisa, in prossimità dell'area industriale di Gello (Pontedera), tra gli abitati di Fornacette a nord, Ponsacco e Pontedera ad est.

L'evoluzione geologica della Pianura di Pisa inizia con la fase distensiva miocenica in cui la catena appenninica precedentemente impilatasi viene sblocchettata da faglie normali. Il graben originatosi è delimitato a Nord dal Monte Pisano e a Sud dai Monti Livornesi e quelli di Casciana Terme. I fattori che hanno influenzato l'evoluzione della Pianura di Pisa sono legati all'evoluzione dei due importanti fiumi che l'attraversano (Arno e Serchio) e alle variazioni glacio-eustatiche del livello del mare che hanno creato una notevole eteropicità tra depositi marini, fluviali e fluvio-lacustri; questi ultimi dovuti a fenomeni di impaludamento della piana alle spalle del sistema dei lidi costieri (MAZZANTI & RAU, 1994). I sedimenti che costituiscono la Pianura di Pisa sono suddivisi in "substrato profondo", "substrato intermedio" e "substrato superiore" (MAZZANTI & RAU, 1994). Per "substrato profondo" si intende l'insieme delle formazioni più antiche presenti al letto dei primi sedimenti del complesso neoautoctono. Le conoscenze riguardanti tale substrato sono scarse in quanto provengono da pochi pozzi profondi perforati e da rilievi sismici eseguiti per prospezioni petrolifere; da tali rilievi emerge che le formazioni pre-mioceniche sono simili a quelle affioranti sulla catena appenninica. Il "substrato intermedio" comprende i sedimenti neoautoctoni, prevalentemente di facies marina depositi a partire dal Miocene superiore fino a tutto il Pleistocene inferiore e sono analoghi ai sedimenti coevi affioranti nelle Colline Pisane che delimitano a sud la Pianura di Pisa. La ricostruzione del "substrato superiore" fa riferimento ai "Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina" riferibili alla fase iniziale del Wurm II (Pleistocene superiore) rappresentativi di un forte abbassamento del livello marino e di forte trasporto fluviale; tale livello è costituito da ciottoli di rocce metamorfiche provenienti dal Monte Pisano e da rocce sedimentarie provenienti dalla Garfagnana e/o dal medio e alto corso dell'Arno. Tale livello è pressoché continuo nel sottosuolo della Pianura di Pisa ed il suo andamento è ben ricostruibile dalle stratigrafie dei pozzi che lo sfruttano come acquifero. La sua profondità varia dai 15 a 150÷160 metri dal p.c.

Sopra tale livello sono presenti sedimenti fluvio-lacustri attribuiti al passaggio dalla fase anaglaciale, caratterizzata da notevoli precipitazioni e attività erosiva, a quella cataglaciale del Wurm II. Di particolare interesse per l'area in esame sono i sedimenti più superficiali depositi nel corso dell'Olocene, i quali sono il risultato del sovralluvionamento che ha interessato la pianura durante la risalita postglaciale del livello marino, e dello sbarramento che veniva a crearsi a mare ad opera del sistema dei lidi deltizi dell'Arno. Tali terreni sono essenzialmente costituiti da depositi sabbioso-limosi nelle aree più prossime ai corsi d'acqua mentre da depositi più argillosi misti a torbe palustri

e da depositi di colmata nelle aree più distanti dai corsi d'acqua, morfologicamente più depresse e/o interessate da opere di bonifica idraulica.

Di seguito si inquadra l'area d'interesse all'interno della Carta geologica del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.



Figura 5-Carta geologica-fonte Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

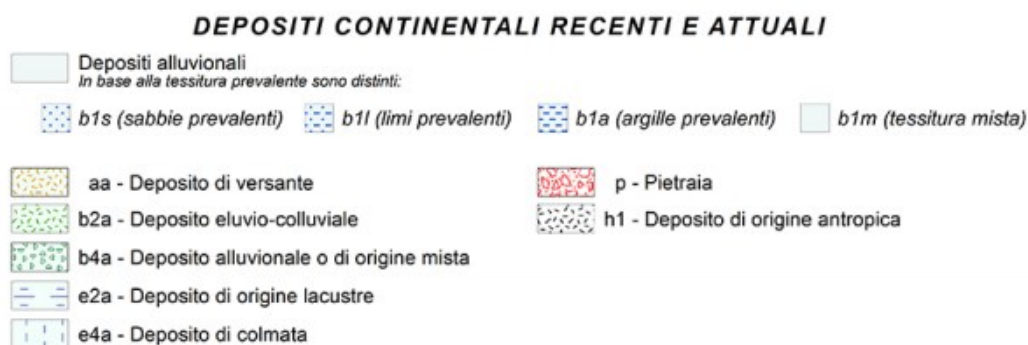


Figura 6-Legenda Carta geologica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

Presa in esame la carta geologica si conclude che l'area d'intervento si trova all'interno dei depositi continentali alluvionali recenti e attuali con tessitura a limo prevalente.

## **5.2 Carta geomorfologica**

La pianura di Pisa è costituita fondamentalmente da un ventaglio di terreni degradanti verso il mare, che partono dal corso dell'Arno ai piedi del Monte Pisano e si allargano verso il mare, da Livorno fino a Viareggio, dove si collegano alla pianura litoranea Versiliese.

L'area di studio è ubicata nella parte orientale della Pianura di Pisa, compresa fra i comuni di Pontedera e Ponsacco e l'abitato di Fornacette. L'area risulta sub-pianeggiante con quote tra 11-12 m s.l.m.

L'origine dei terreni è alluvionale recente, nati cioè per effetto del modellamento fluviale.

I depositi generalmente disposti in strati orizzontali costituenti gli antichi fondali del mare o dei laghi sono stati incisi successivamente al prosciugamento delle acque marine o lacustri da solchi più o meno pronunciati, che sono andati a costituire la rete idrografica attuale.



Figura 7-Carta Geomorfologica- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

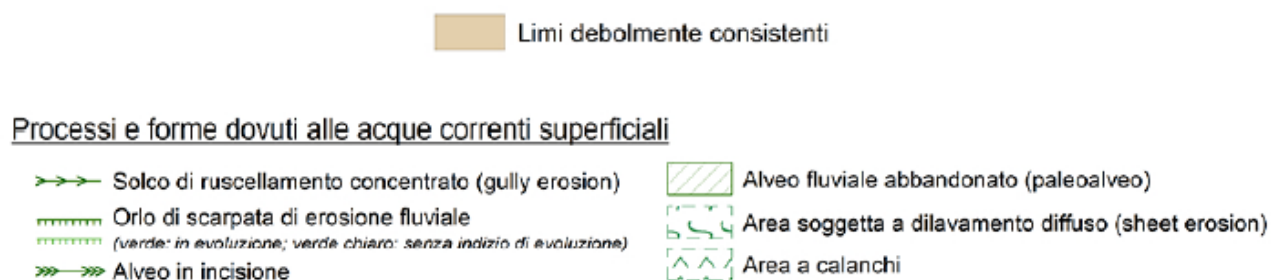


Figura 8-Legenda-Carta geomorfologica- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

Dall'analisi della carta geomorfologica si deduce che l'area d'intervento si trova all'interno di limi debolmente consistenti che caratterizzano un'area in cui sono presenti numerosi paleoalvei, trattasi quindi di depositi alluvionali legati all'attività recente dei corsi d'acqua che occupavano questa piana.

### **5.3 Carta idrogeologica**

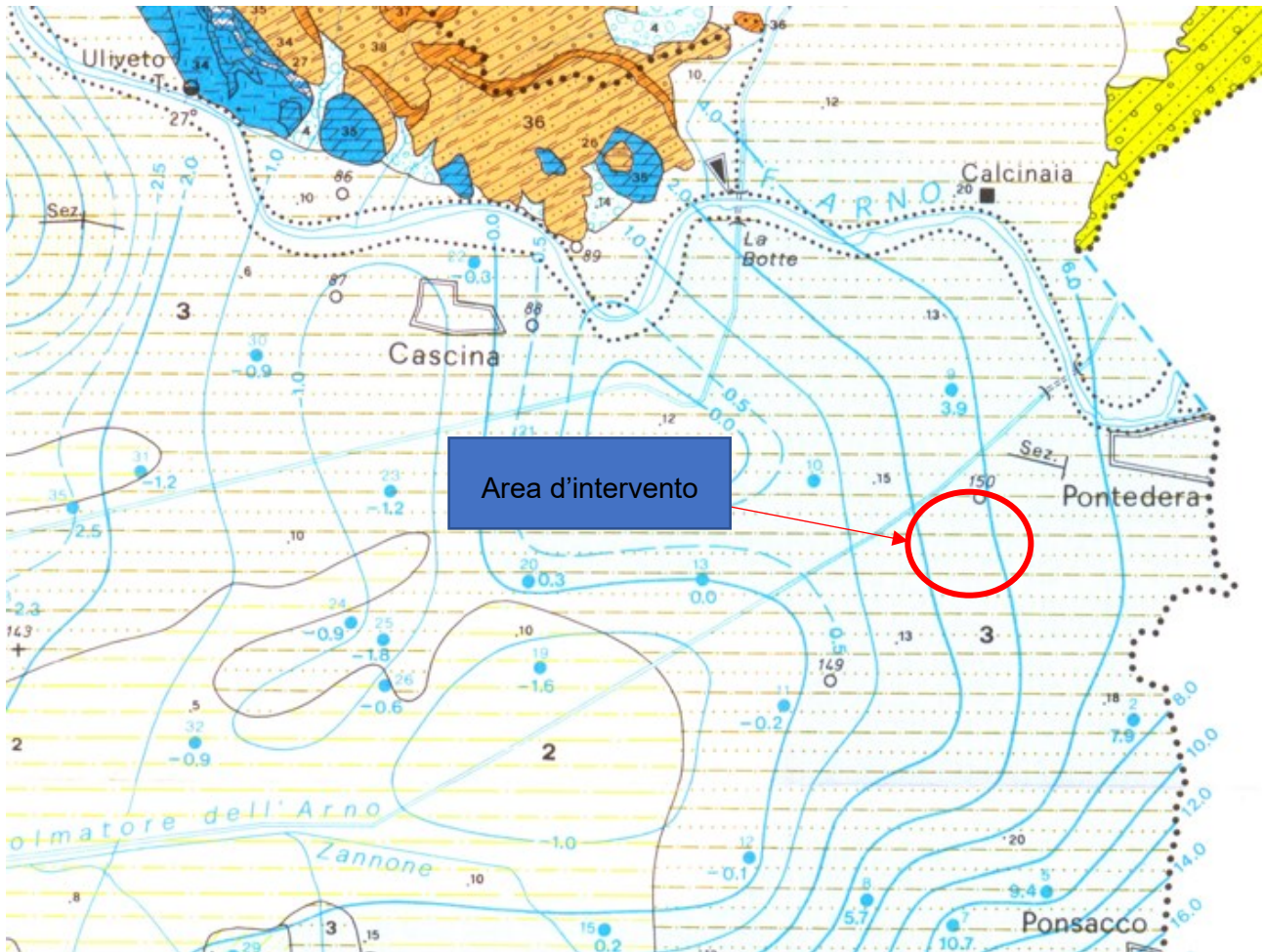
Nella zona di studio il primo acquifero è collocato nelle ghiaie della formazione dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina presente alla profondità di circa 30 m dal p.c.

Il sistema acquifero della pianura di Pisa è un sistema aperto che riceve, oltre a quelli locali suoi propri, anche contributi esterni attraverso il deflusso confinato di subalveo delle valli dell'Arno nonché quelli di Ripafratta (Serchio) e di Bientina (paleoSerchio).

La quasi totalità della successione sedimentaria è costituita da sedimenti argilloso limosi con caratteristiche di acquitardo.

I numerosi studi eseguiti nella piana pisana, indicano che le linee di flusso di tale falda sono orientate verso Ovest con un gradiente idraulico di circa 0.15%.

Di seguito viene inquadrata l'area d'intervento all'interno della carta di permeabilità delle rocce:



*Figura 9-Carta della permeabilità delle rocce*



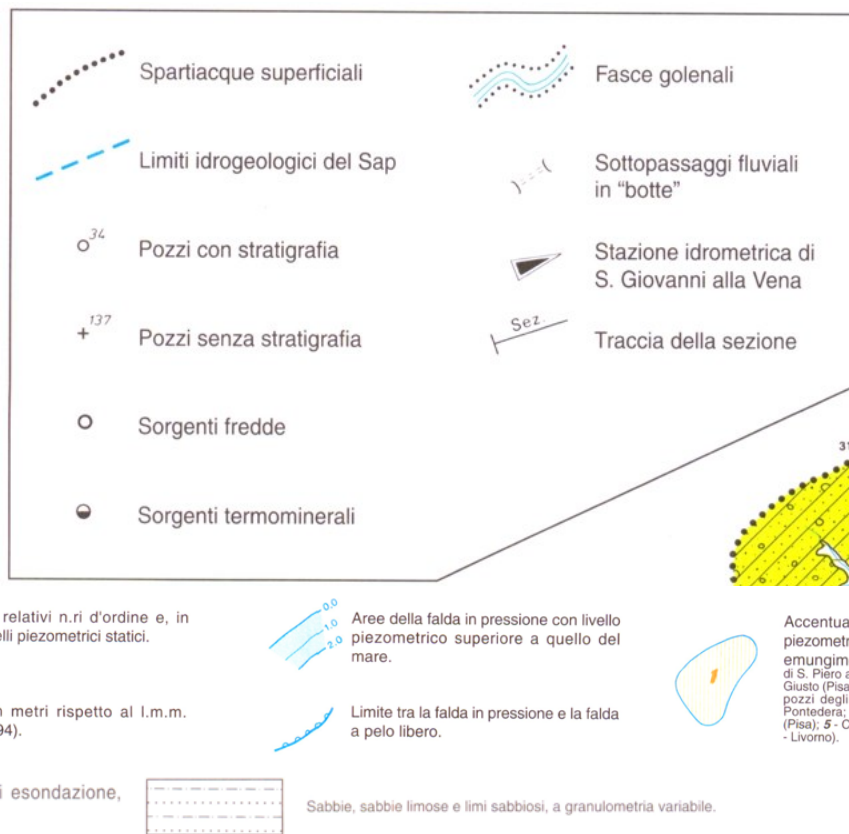


Figura 10-Legenda Carta della permeabilità delle rocce

Dall'analisi della carta si deduce che l'area si trova all'interno dei depositi alluvionali di esondazione recenti e attuali costituiti prevalentemente da limi.

Nell'area d'interesse è presente una falda in pressione con livello piezometrico compreso tra 2 e 4 m.s.l.m.

Questo livello risulta confermato dai pozzi 13 e 15, i quali presentano un livello piezometrico rispettivamente di 2,50 e 2,68 m.s.l.m.

Di seguito viene inquadrata l'area all'interno della carta idrogeologica del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera:



## 6 CARTA LITOTECNICA

Di seguito viene inquadrata l'area d'intervento all'interno della carta litotecnica del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.

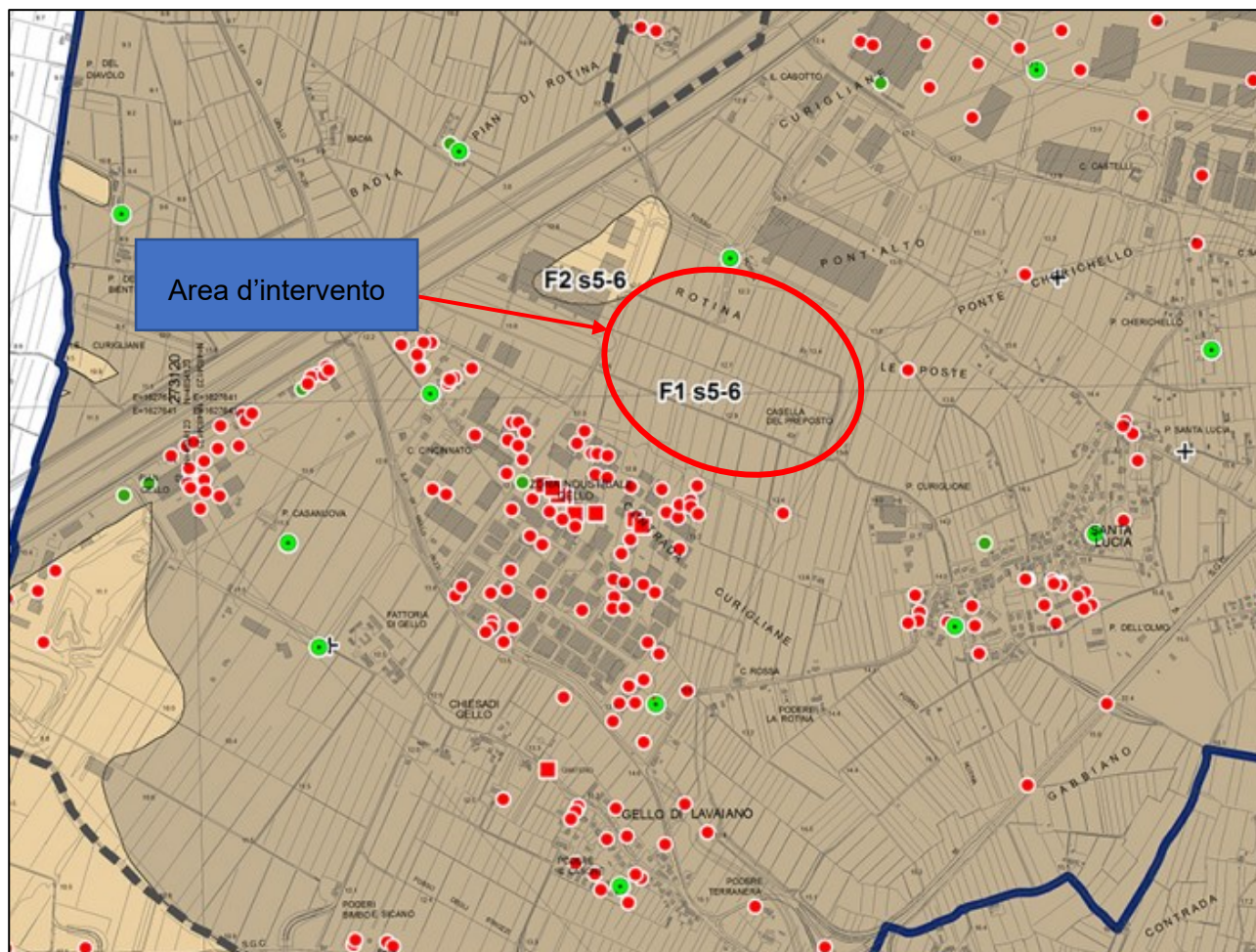
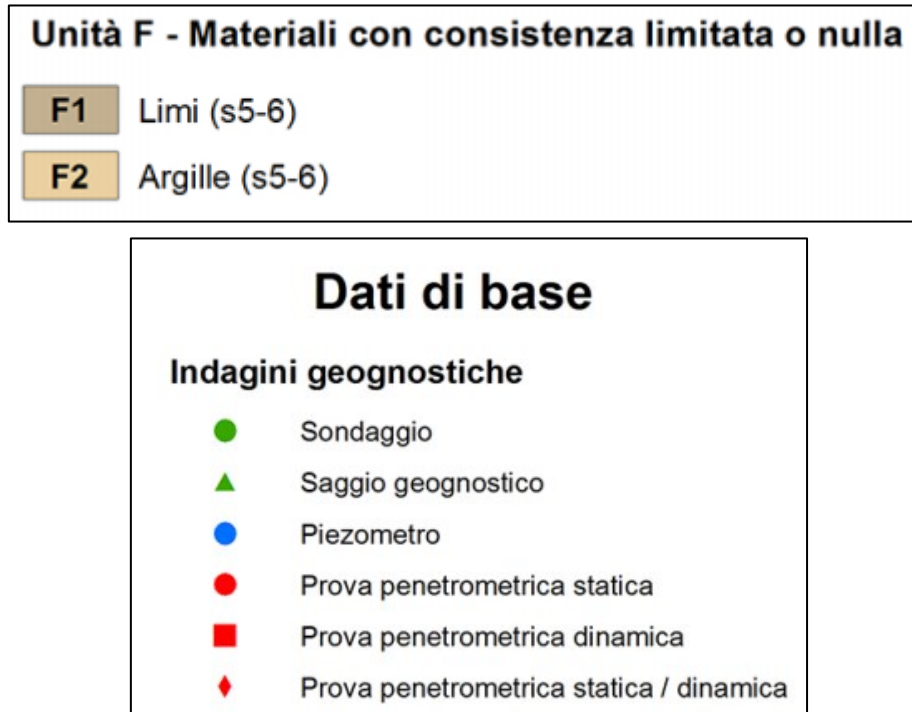


Figura 13: carta litotecnica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.



*Figura 14: Legenda carta litotecnica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.*

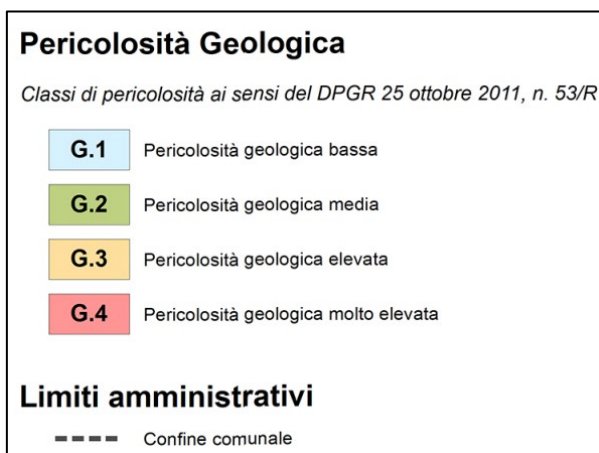
Osservando la carta litotecnica si deduce che l'area d'intervento si trova sull'unità F1 costituita da limi con consistenza limitata o nulla.

## 7 CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Nella figura seguente viene inquadrata l'area d'intervento all'interno della carta di pericolosità geologica del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.



Figura 15: Carta della pericolosità geologica- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera



*Figura 16: Legenda Carta della pericolosità geologica- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera*

Preso in esame la carta sopra riportata si deduce che l'area d'intervento si trova in zona con pericolosità geologica media (G.2) cioè all'interno di aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

## 8 CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Nella figura seguente viene inquadrata l'area d'intervento all'interno della carta della pericolosità sismica del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.

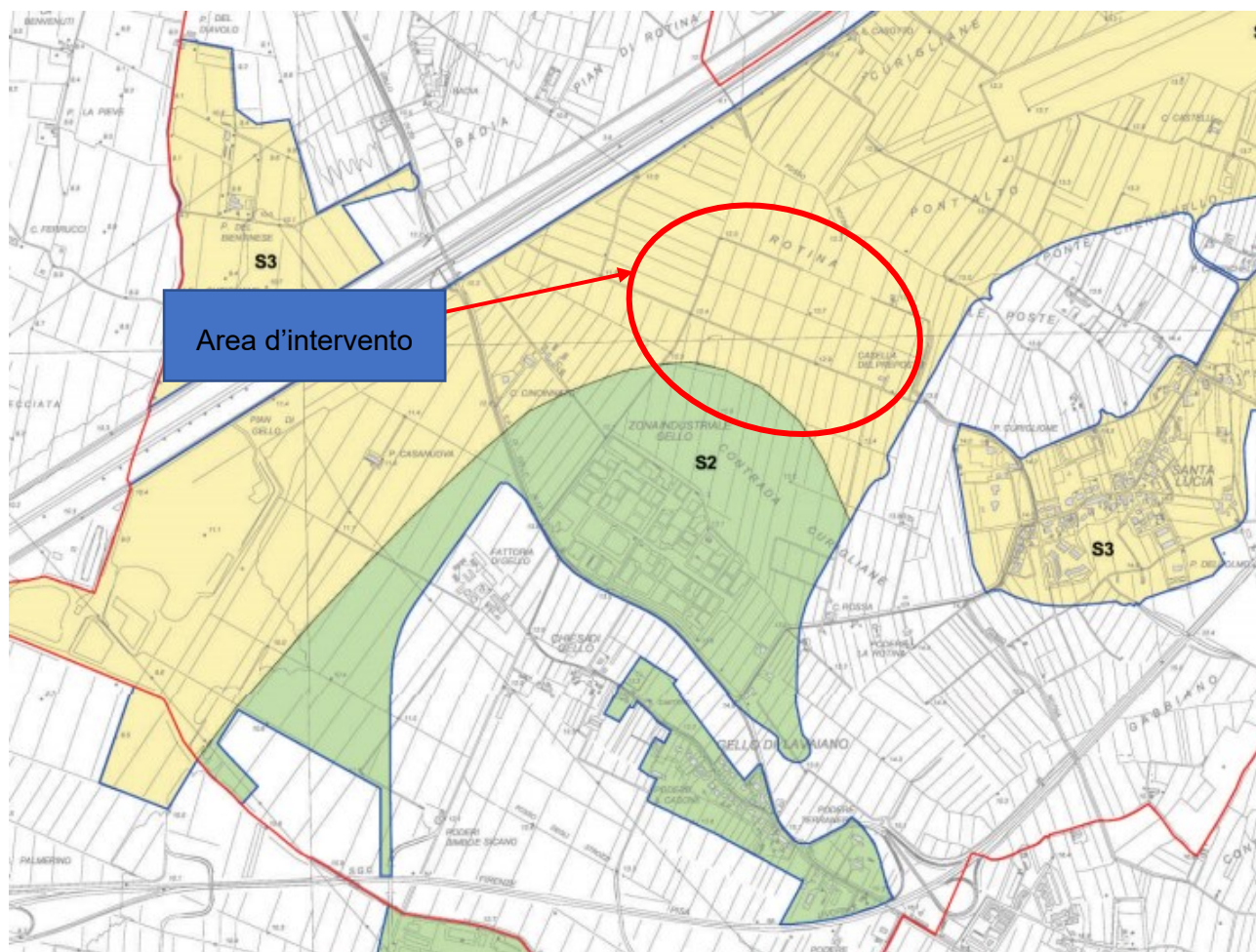
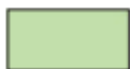


Figura 17: Carta della pericolosità sismica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.



### **Pericolosità sismica locale media (S.2)**

zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3).



### **Pericolosità sismica locale elevata (S.3)**

zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

*Figura 18: Legenda carta della pericolosità sismica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.*

Preso in esame la carta sopra riportata si nota che l'area d'intervento ricade in parte in pericolosità sismica locale media e in parte in pericolosità sismica locale elevata.

Per quanto riguarda l'area in oggetto, rientrando per lo più in pericolosità sismica locale elevata bisogna prestare attenzione in quanto le zone rientranti in questa pericolosità sono zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi, terreni suscettibili di liquefazione dinamica (in questo caso no, vista la granulometria fine), zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.



**9 CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA**

Di seguito viene inquadrata l'area d'intervento all'interno della carta della pericolosità idraulica del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.

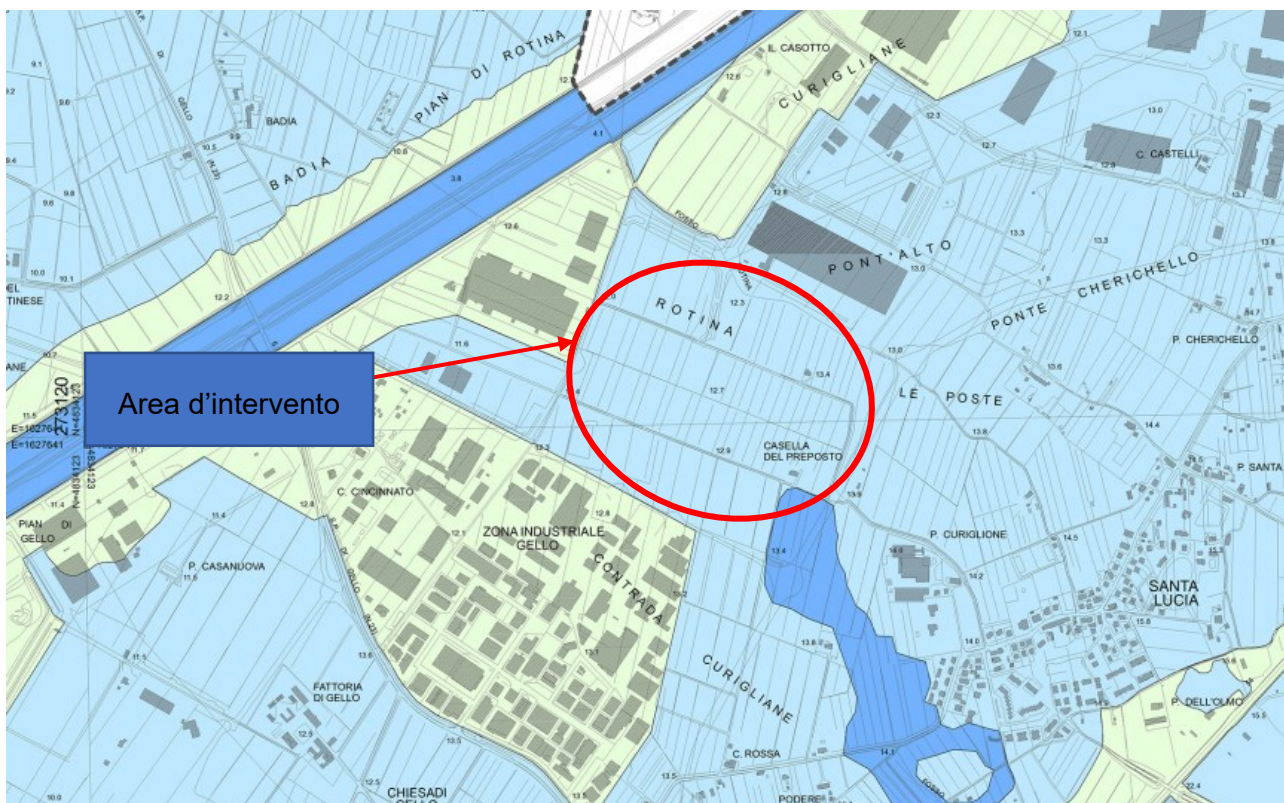


Figura 19: carta della pericolosità idraulica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.

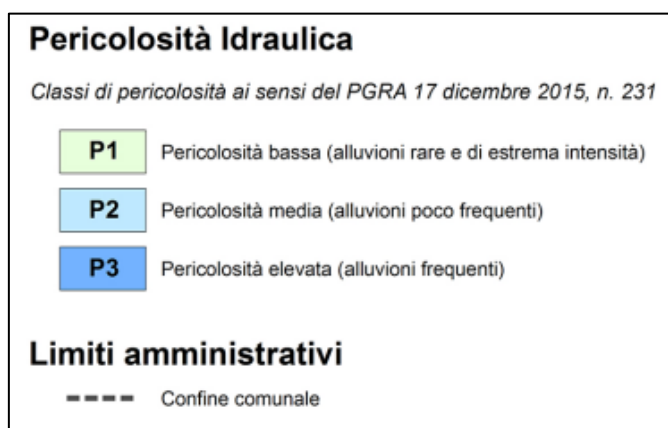


Figura 20-Legenda carta della pericolosità idraulica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.

Osservando la carta sopra riportata l'area d'intervento ricade quasi completamente in pericolosità media cioè caratterizzata da alluvioni poco frequenti ma per una piccola parte nella zona sud-est in pericolosità elevata caratterizzata quindi da alluvioni frequenti.

Di seguito vengono descritte in modo più completo le due fasce di pericolosità idraulica:

- **Pericolosità idraulica media (I.2):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $50 < TR < 200$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:
  - \_non vi sono notizie storiche di inondazioni;
  - \_sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.
- **Pericolosità idraulica elevata (I.3):** aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < TR < 200$  anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:
  - \_vi sono notizie storiche di inondazioni;
  - \_sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

## 10 CARTA DEI VINCOLI


Di seguito viene inquadrata l'area d'intervento all'interno delle carte dei vincoli ricognitivi e conformativi del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.



Figura 21: carta dei vincoli ricognitivi-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.


Arete tutelate per legge (D.Lgs. 42/2004, art.142)

lett. b) - I territori contermini ai laghi

 Specchi d'acqua con perimetro maggiore di 500 m

 Aree tutelate

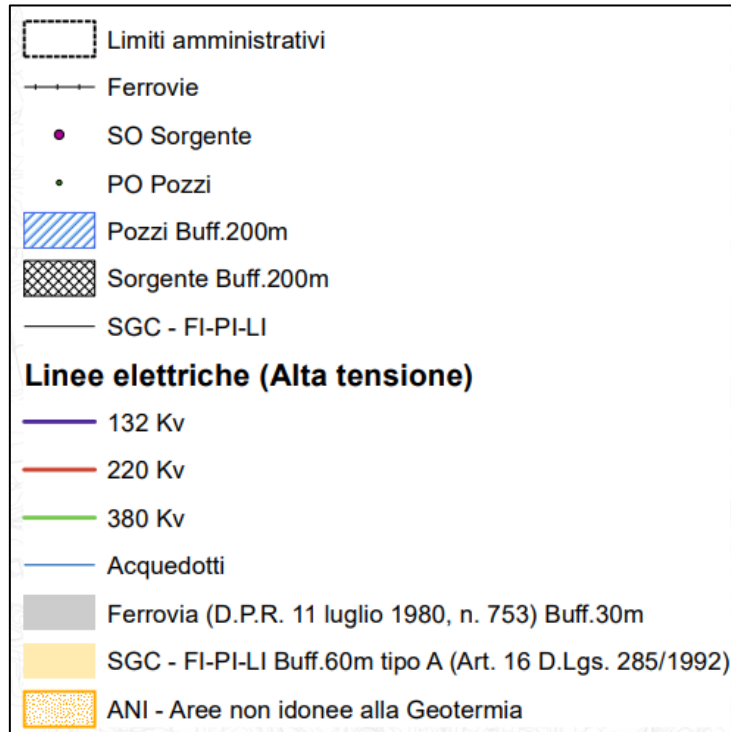
lett. c) - I fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua

 Fiumi, torrenti (allegato L), corsi d'acqua (allegato E)

 Aree tutelate

Figura 22: legenda carta dei vincoli ricognitivi-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.





*Figura 24: Legenda carta dei vincoli conformativi-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.*






















Preso in esame la carta dei vincoli conformativi si segnala che l'area d'intervento è attraversata da più linee acquedottistiche.

## 11 CARTA DI USO DEL SUOLO

Di seguito viene inquadrata l'area d'intervento all'interno della carta di uso del suolo del Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.



*Figura 25: carta di uso del suolo-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.*

	111	tessuto residenziale continuo		241	colture temporanee associate a colture permanenti
	112	tessuto residenziale discontinuo		242	sistemi colturali e particellari complessi
	121	insediamento industriale o artigianale		243	aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con spazi naturali
	122	reti stradali e spazi accessori		244	aree agroforestali
	131	aree estrattive		311	boschi di latifoglie
	132	discariche e depositi di cave,		312	boschi di conifere
	133	cantieri e spazi in costruzione		313	boschi misti di conifere e latifoglie
	141	aree verdi urbane		321	aree a pascolo naturale, praterie, incolti
	142	strutture turistiche ricettive: sportive		324	aree a ricolonizzazione naturale
	210	seminativi semplici		331	spiagge, dune e sabbie
	221	vigneti		332	rocce nude, falesie e affioramenti
	222	frutteti e frutti minori		333	aree con vegetazione rada
	223	uliveti		411	paludi interne
	231	superfici a copertura erbacea densa		511	fiumi, torrenti e fossi
				512	bacini

*Figura 26: legenda carta di uso del suolo-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera.*

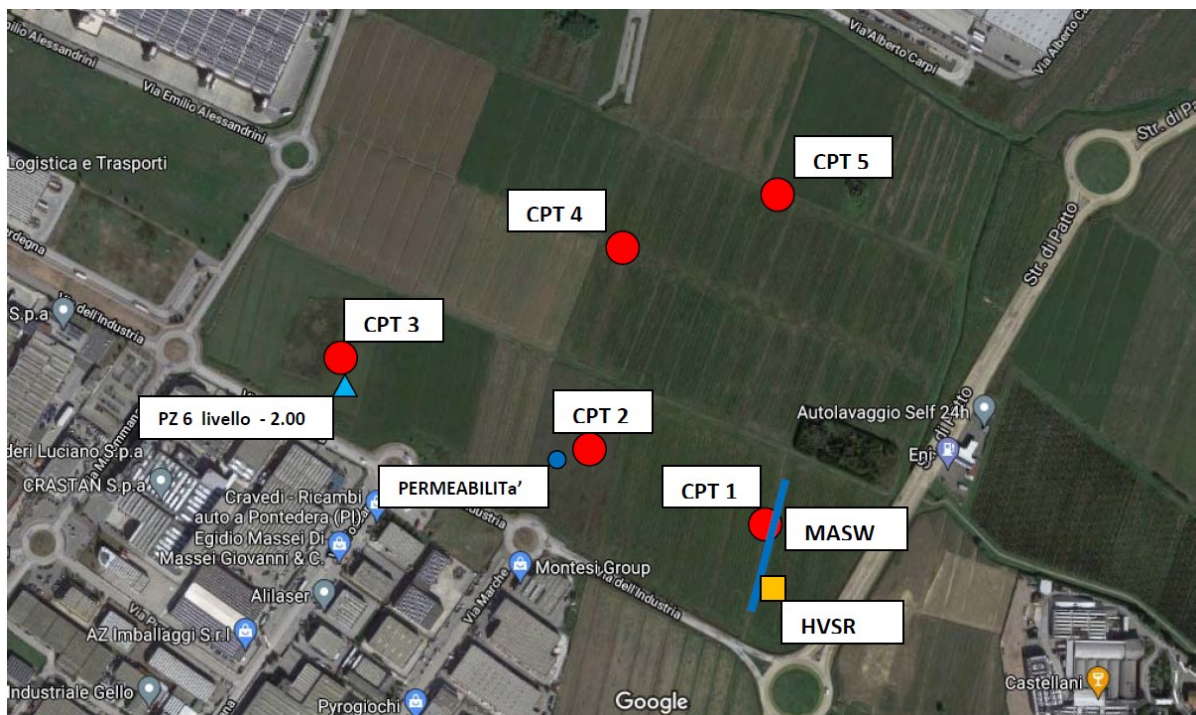
Osservando la carta di uso del suolo si nota che l'area d'intervento è attualmente caratterizzata dalla presenza di seminativi semplici, in parte a ricolonizzazione naturale. Nella parte più a ovest dell'area si nota la presenza di un piccolo bacino.

## 12 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione dei terreni del sito in esame è stata eseguita una campagna di indagine geognostica nel mese di Luglio 2021.

Durante la campagna sono state eseguite le seguenti indagini di sito:

- N. 5 prove penetrometriche statiche CPT fino alla profondità di 14,00 m
- N.1 prova di permeabilità Lefranc a carico variabile
- N.1 indagine sismica MASW
- N.1 indagini sismica HVSR



*Figura 27: Ubicazione delle prove in situ nell'area di studio*



### 13 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Sulla base dei risultati delle indagini condotte in sito è stata dedotta la seguente stratigrafia di riferimento generale:

<b>Strato</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b>Litologia</b>
1	0,0m – 0,20m	Terreno vegetale
2	>0,20m – 15m	Argilla sovraconsolidata

*Tabella 1: Stratigrafia area d'interesse.*

**14 SISMICITA'**

**14.1 ZONA SISMICA**

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” riferita all'intero territorio nazionale, il territorio comunale di Pontedera è classificato in **zona sismica 3** a cui corrisponde un valore massimo di ag pari a 0,129g.

<p><b>Zona sismica</b> <b>3</b></p>	<p>Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.</p>
---	--

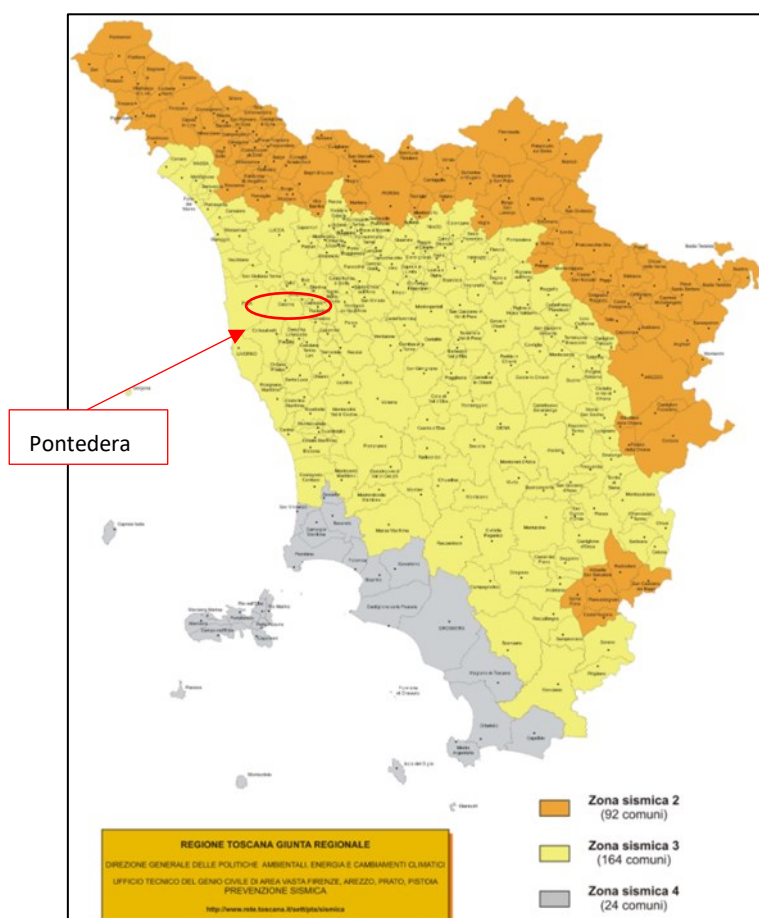


Figura 28: Classificazione sismica dei comuni della Toscana

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 Pontedera, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 421 del 26 maggio 2014.

<b>Zona sismica</b> <b>3</b>	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
---------------------------------	---

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 (ag)** su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

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

*Tabella 2: zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006.*

La figura seguente mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, successivamente è riportata l'immagine dell'area di interesse e l'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni del comune di Pontedera, pari a **PGA = 0.05-0.15**, valore caratteristico della **zona sismica di tipo 3**.

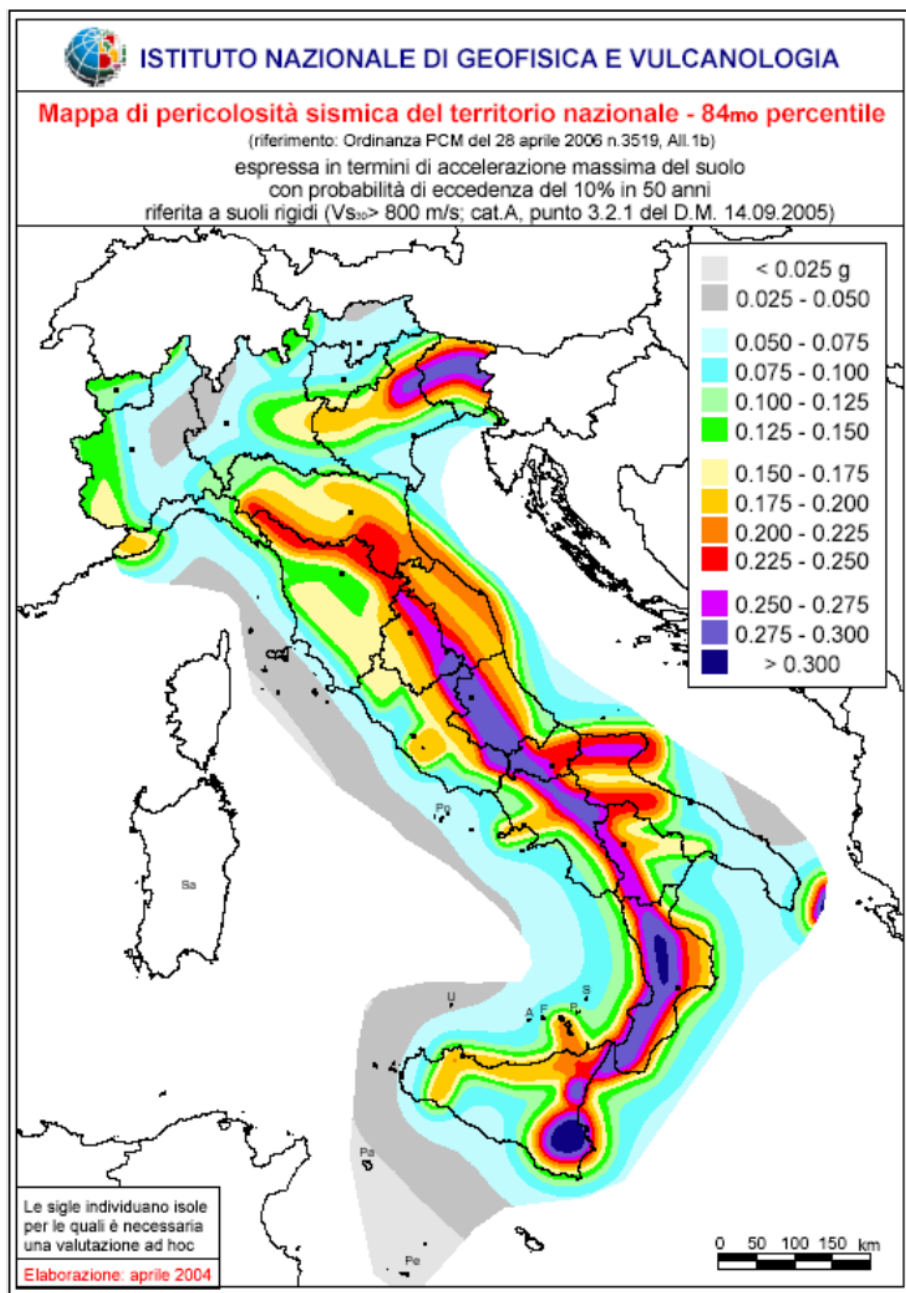


Figura 29: All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

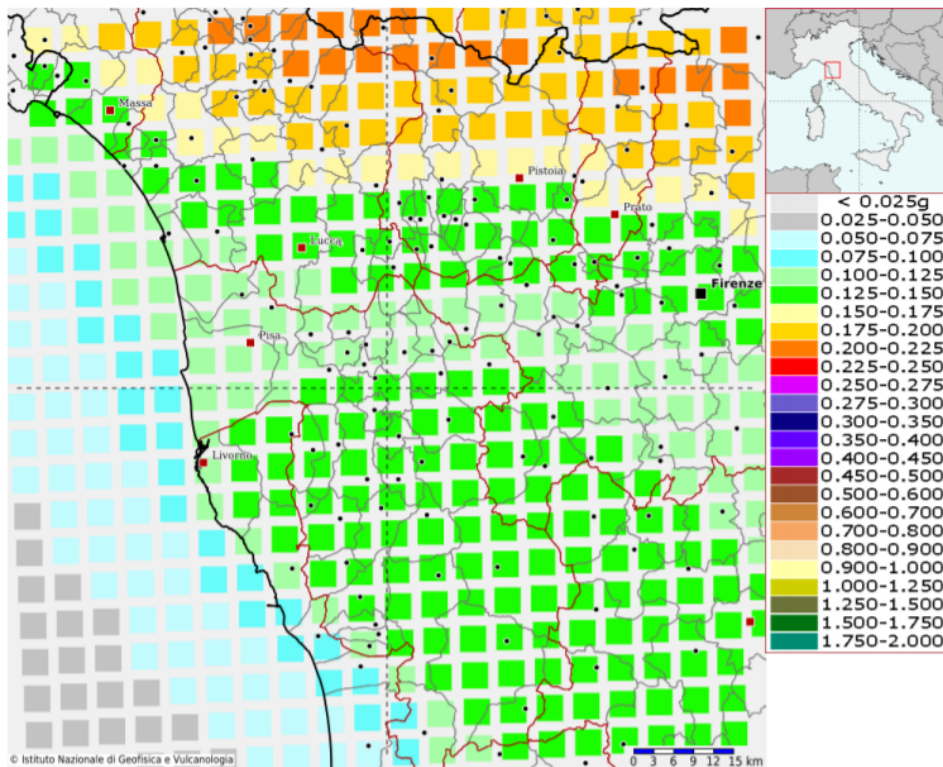
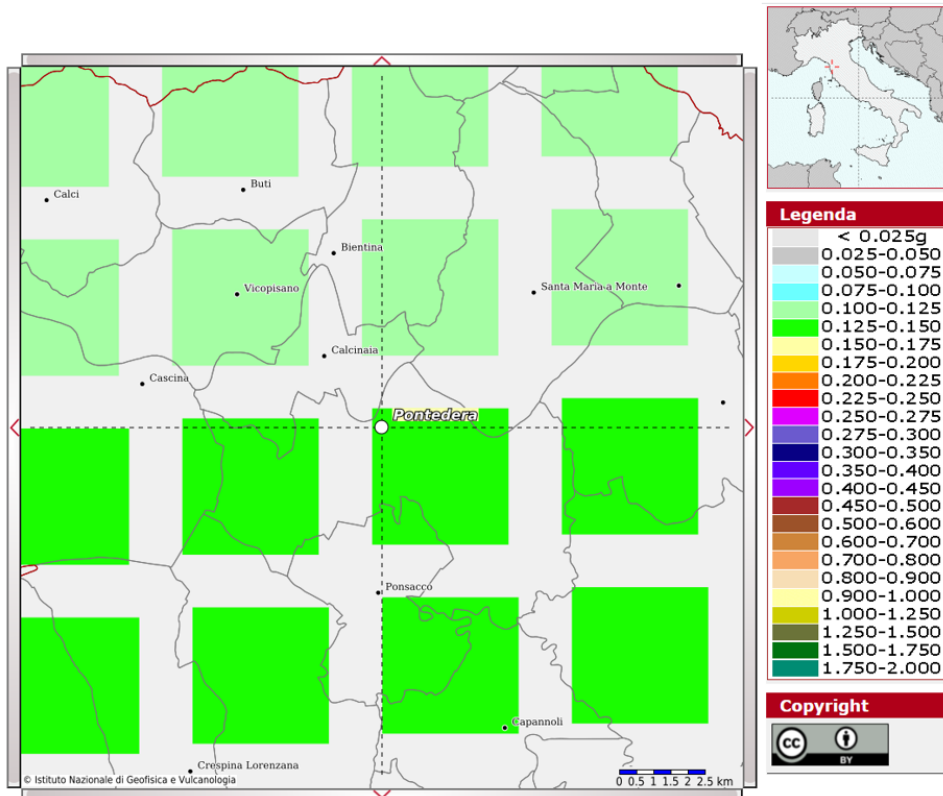


Figura 30:INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Pontedera

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).

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

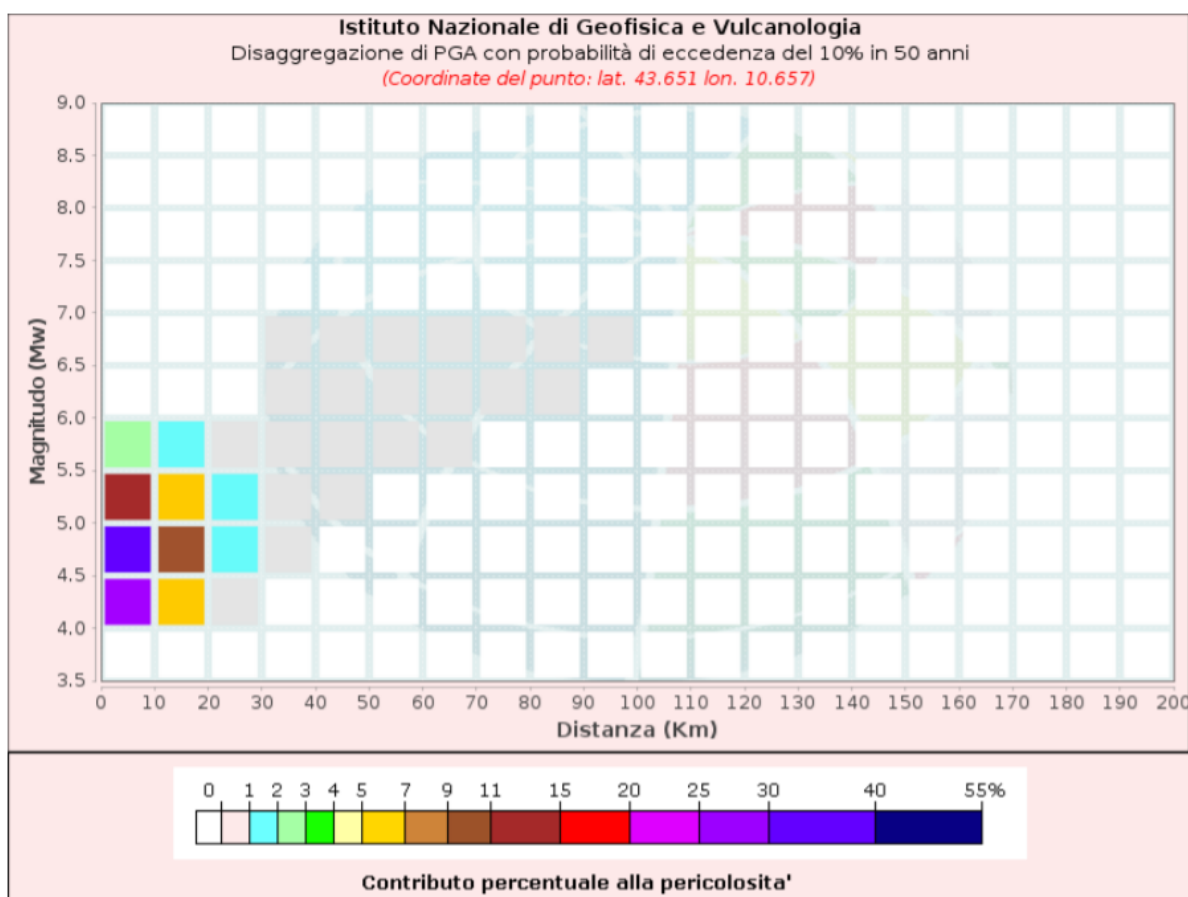


Figura 31: Disaggregazione del valore  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

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	25.3000	33.1000	11.0000	2.1500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	5.1900	10.4000	6.0200	1.7300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1500	1.2400	1.5500	0.6410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0179	0.2610	0.2160	0.0700	0.0133	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0217	0.1790	0.2410	0.0499	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0435	0.1500	0.0364	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0609	0.0189	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0145	0.0076	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0026	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.77 ; distanza = 8.3 ; epsilon = 0.864

Figura 32: Disaggregazione del valore  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

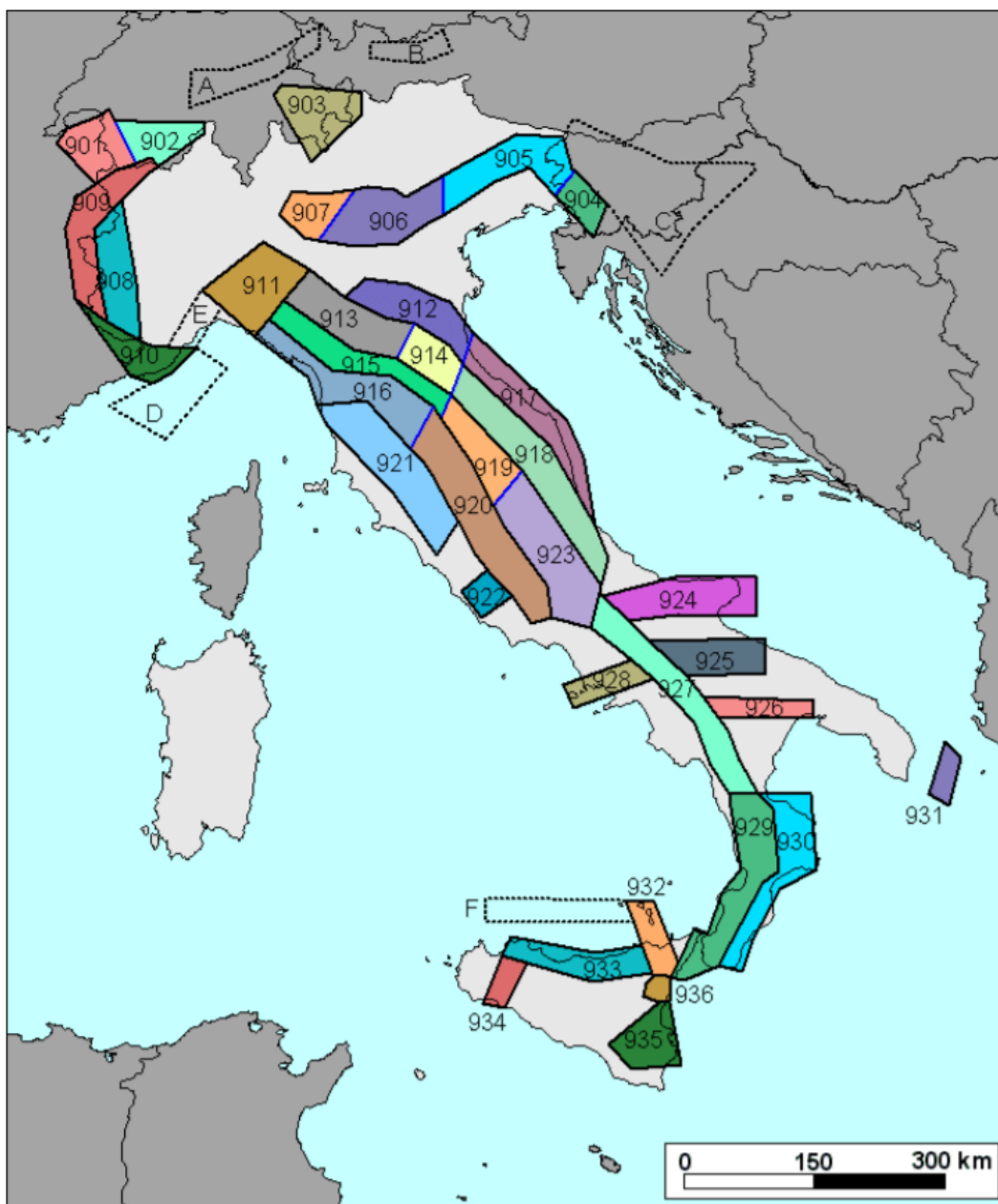
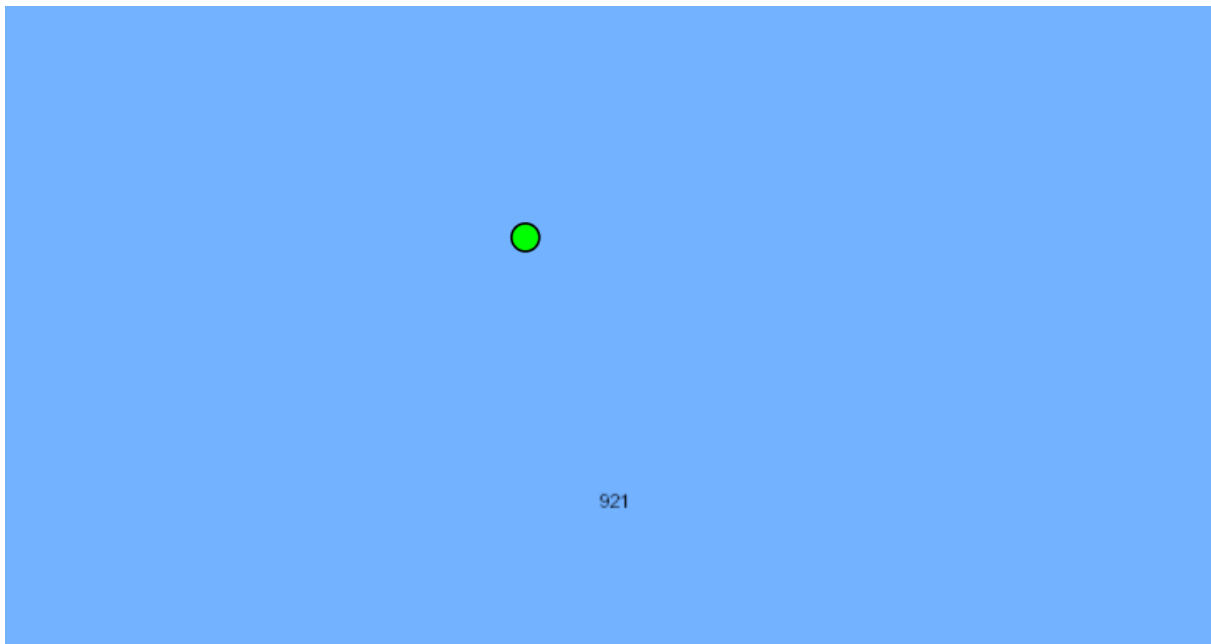


Figura 33: Zonazione sismogenetica ZS9





*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.

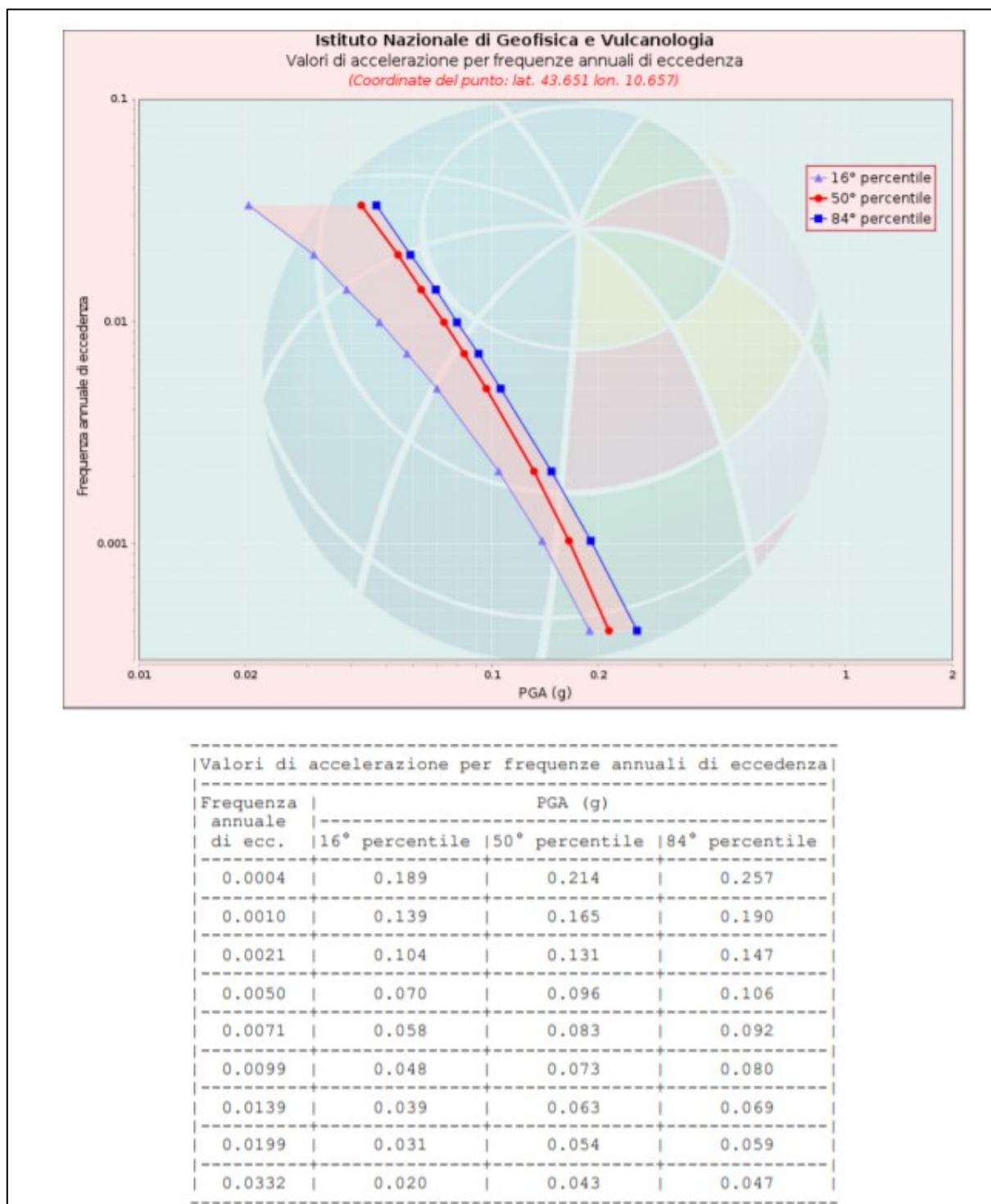


Figura 35: Curve di pericolosità

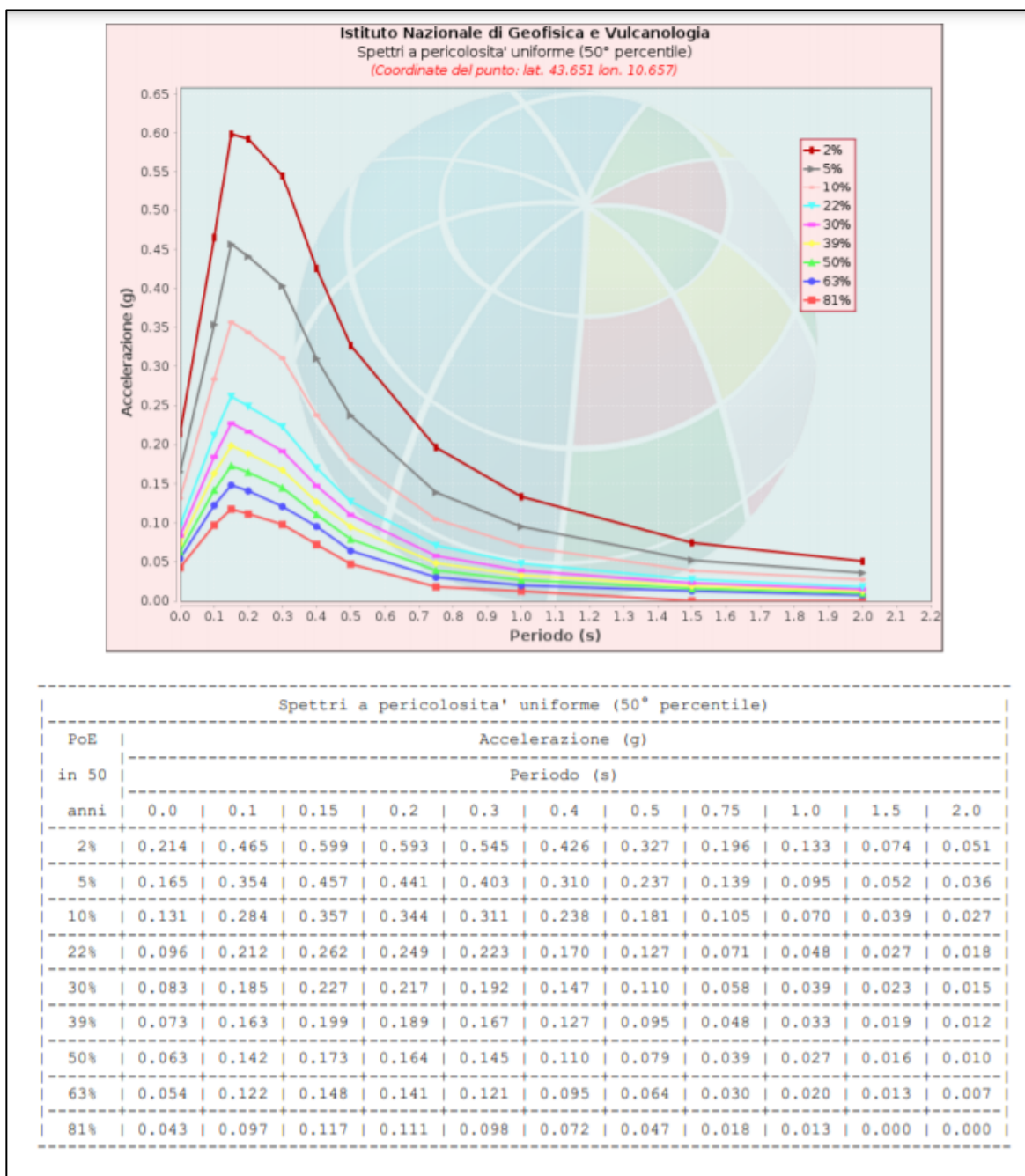


Figura 36: Spettri a pericolosità uniforme

## 14.2 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.

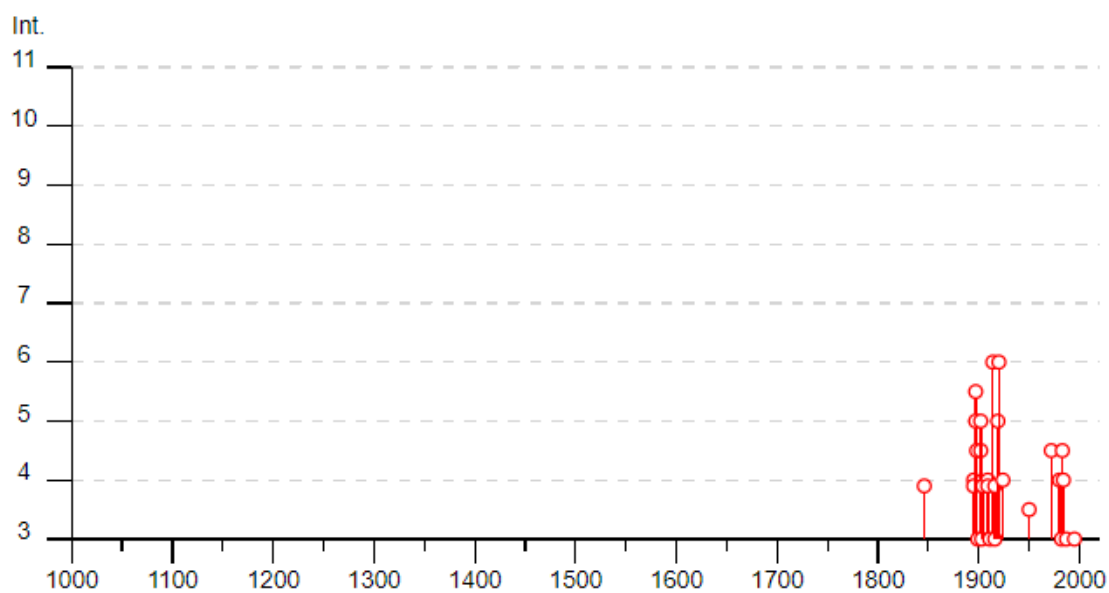
Il DBMI v2.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2017. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

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/).

## Pontedera

PlaceID	IT_46344
Coordinate (lat, lon)	43.661, 10.635
Comune (ISTAT 2015)	Pontedera
Provincia	Pisa
Regione	Toscana
Numero di eventi riportati	35



► Personalizza il diagramma

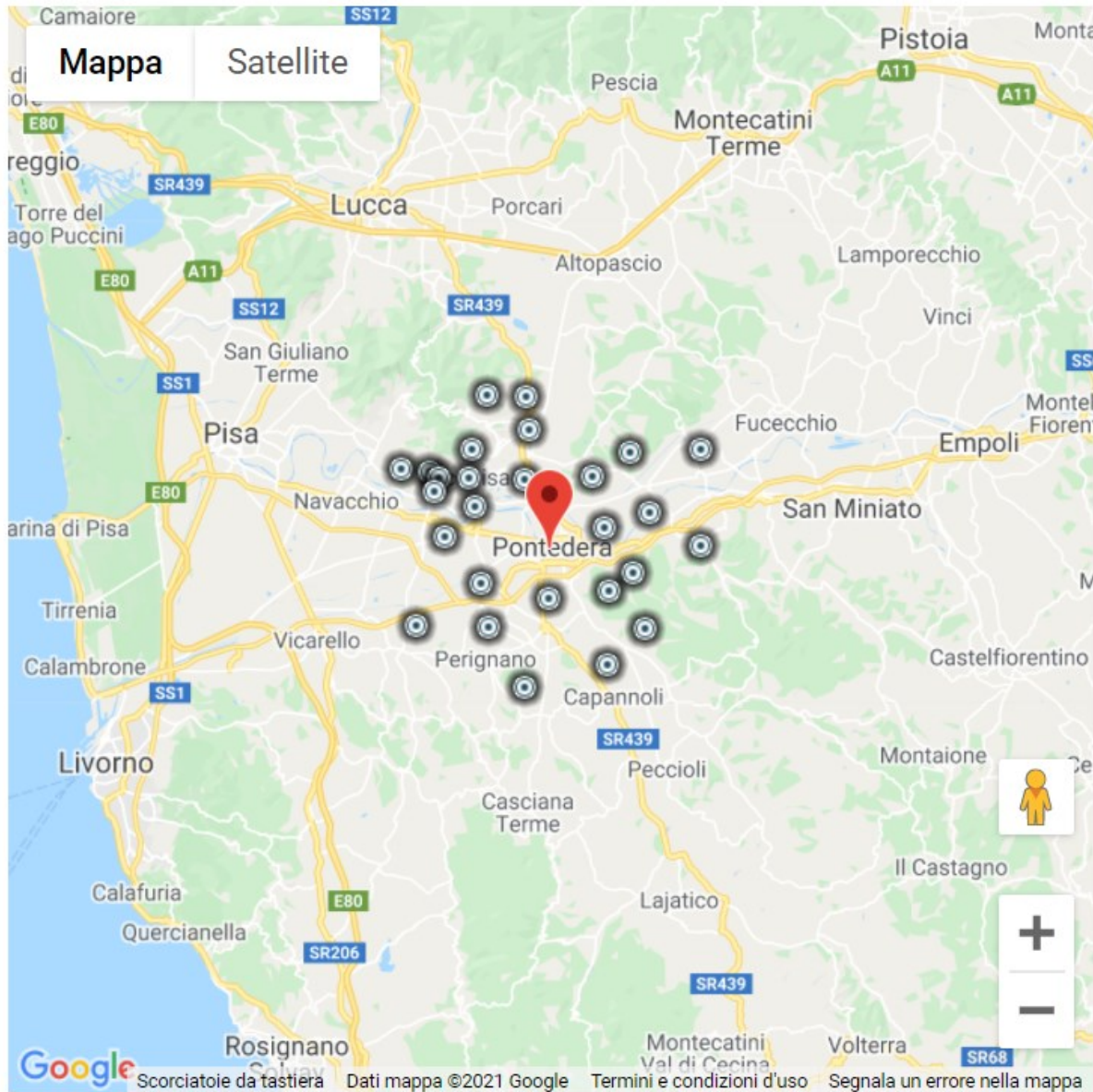
Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	<a href="#">1846</a>	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04
2	<a href="#">1887</a>	11	14	05	48	05	Fiorentino	101	6	4.47
NF	<a href="#">1892</a>	12	29	13	47	48	Castel del Rio	36	5-6	4.37
4	<a href="#">1895</a>	05	18	19	55	12	Fiorentino	401	8	5.50
F	<a href="#">1895</a>	08	07	19	49	32	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
5-6	<a href="#">1897</a>	07	27	09	02	14	Valdarno inferiore	33	5-6	4.27
5	<a href="#">1897</a>	09	06	03	10	44	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4-5	<a href="#">1898</a>	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3	<a href="#">1899</a>	06	26	23	17	22	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4-5	<a href="#">1902</a>	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
5	<a href="#">1902</a>	08	04	22	36	10	Lunigiana	60	6	4.78
3	<a href="#">1903</a>	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
2	<a href="#">1904</a>	02	25	18	47	50	Reggiano	62	6	4.81
F	<a href="#">1904</a>	06	10	11	15	28	Frignano	101	6	4.82
F	<a href="#">1904</a>	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
4	<a href="#">1909</a>	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
F	<a href="#">1909</a>	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
NF	<a href="#">1911</a>	02	19	07	18	30	Forlivese	181	7	5.26
3	<a href="#">1911</a>	09	13	22	29	02	Chianti	115	7	5.08

6	<a href="#">🔗</a>	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
3	<a href="#">🔗</a>	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
F	<a href="#">🔗</a>	1916 08 16 07 06 14	Riminese	257	8	5.82
5	<a href="#">🔗</a>	1919 06 29 15 06 13	Mugello	565	10	6.38
6	<a href="#">🔗</a>	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	750	10	6.53
4	<a href="#">🔗</a>	1924 06 12 21 03 48	Frignano	25	5-6	4.46
2	<a href="#">🔗</a>	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
3-4	<a href="#">🔗</a>	1950 04 01	Livornese	15	6	4.99
4-5	<a href="#">🔗</a>	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	<a href="#">🔗</a>	1980 06 07 18 35 01	Garfagnana	102	6-7	4.64
3	<a href="#">🔗</a>	1982 09 01 15 33 18	Valle del Serchio	47	5-6	4.21
4-5	<a href="#">🔗</a>	1983 11 09 16 29 52	Parmense	850	6-7	5.04
NF	<a href="#">🔗</a>	1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4	<a href="#">🔗</a>	1984 05 01 22 14 2	Costa pisano-livornese	16	5	3.89
3	<a href="#">🔗</a>	1987 01 22 05 10 5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
3	<a href="#">🔗</a>	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7	4.82

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Calcinaia	13	3
La Rotta	6	3
Montecalvoli	1	4
Fornacette	3	5
Ponsacco	14	5
Treggiaia	2	5
San Giovanni alla Vena	3	5
Lavaiano	1	6
Bientina	7	6
Montecastello	4	6
Castel del Bosco	1	6
Santa Maria a Monte	11	6
Latignano	9	6
Vicopisano	18	6
Cucigliana	1	7
Cascina	23	7
Perignano	1	7
Cascine	2	7
Lugnano	2	8
Buti	11	8
Forcoli	2	8
Marti	4	9
Capannoli	12	9
San Frediano a Settimo	1	9
Castelfranco di Sotto	8	10
Cevoli	1	10
Cenaia	4	10





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

*Figura 37: Dati desunti dalla consultazione del CPT115 e DBMI15 per l'area di Pontedera*

### 14.3 INDAGINI SISMICHE IN SITO

Per la definizione dei parametri dinamici e per la classificazione del suolo di fondazione ai fini sismici è stata condotta la seguente indagine in sito:

- N.1 indagine sismica superficiale per onde superficiali MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), di lunghezza pari a 50m, finalizzata ad ottenere i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s, eq}$ .
- N.1 indagine sismica HVSr



Figura 38: Ubicazione indagine sismica

#### 14.3.1 RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

##### 14.3.1.1 RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI MASW

Al fine di fornire i valori delle  $V_s$ , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica di lunghezza pari a 30m con distanza intergeofonica pari a 4.0 metri. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde

Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata ad un estremo dello stendimento ad una distanza di 4.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Si riporta i risultati ottenuti dalla prova Masw eseguita nell'area oggetto di studio.

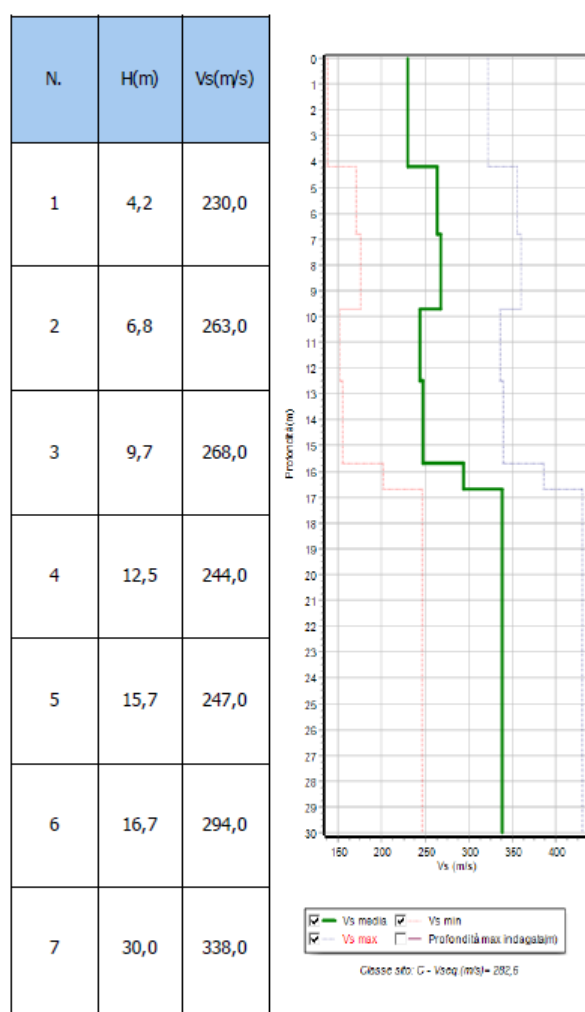
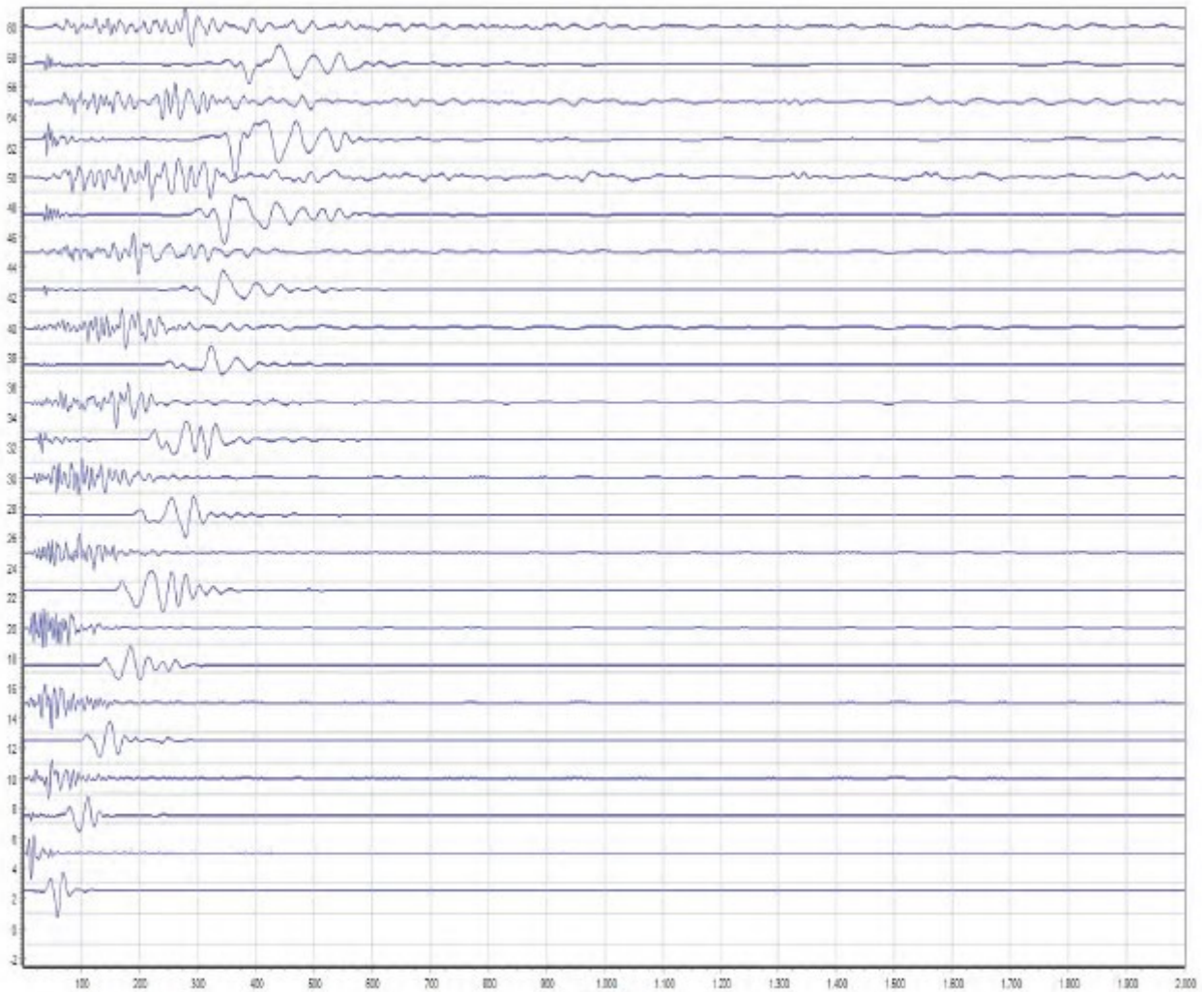


Figura 39: Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella base sismica.



*Figura 40: Sismogramma ZVF (onde Rayleigh) base sismica*

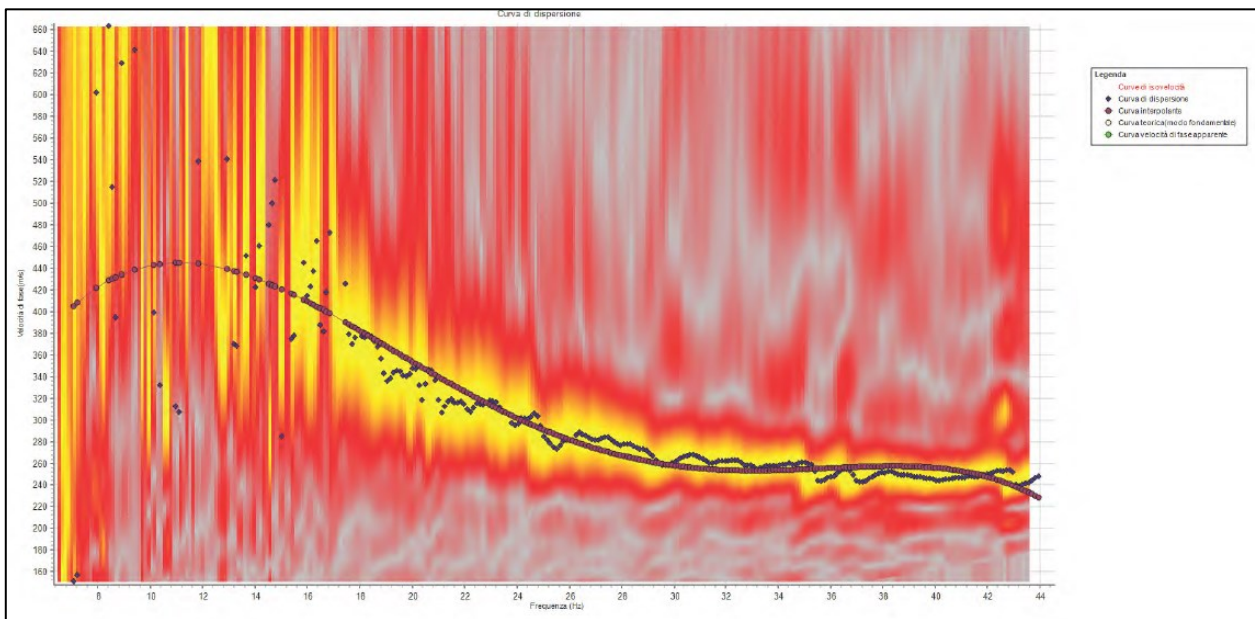
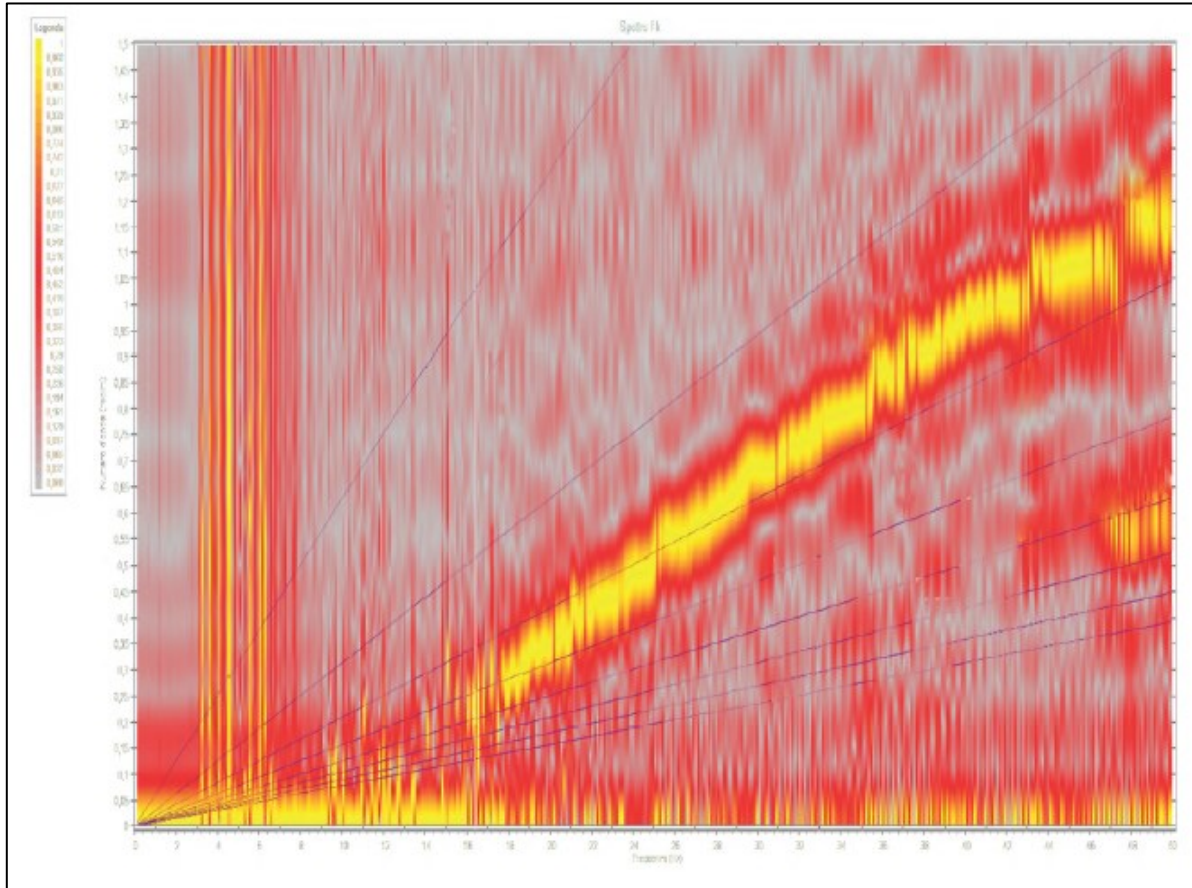


Figura 41: Spettro di velocità base sismica con picking

### 14.3.2 RISULTATI DELL'INDAGINE HVSR

#### 14.3.2.1 RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI HVSR

La prova HVSR o anche detta H/V (metodo Nakamura 1989) consiste nella misura dei microtremori ambientali nelle tre dimensioni spaziali (x,y,z) e la sua elaborazione consente di analizzare gli spettri di frequenza, restituendo un grafico del rapporto in ampiezza tra componenti orizzontali (H) e componente verticale (V).

Dal grafico estratto si evidenzia l'andamento del rapporto in frequenza tra componenti orizzontali e verticale (H/V) alle varie frequenze, mettendo in luce la frequenza alla quale il moto del terreno viene amplificato per risonanza (frequenza fondamentale).

Si riporta i risultati ottenuti dalla prova HVSR eseguita nell'area oggetto di studio.

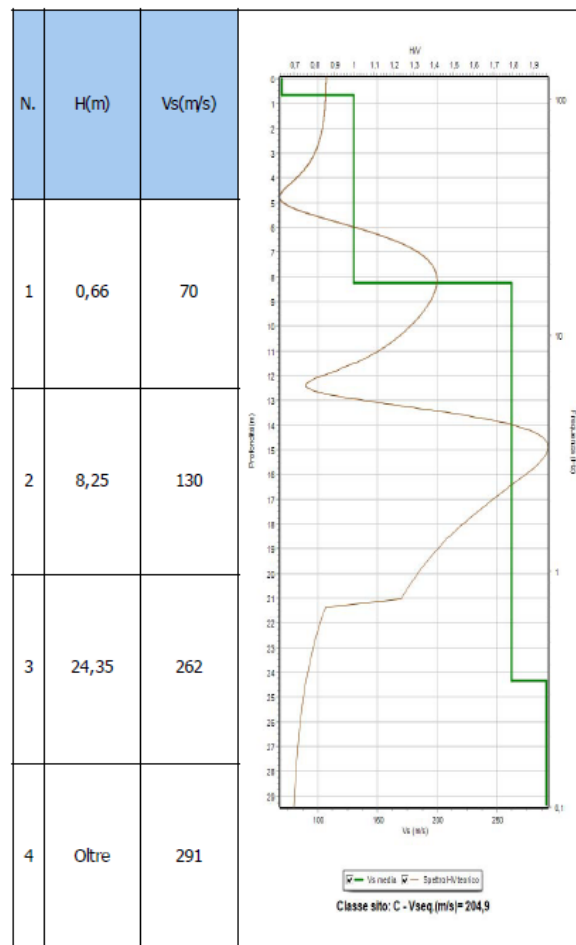


Figura 42: Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella base sismica.

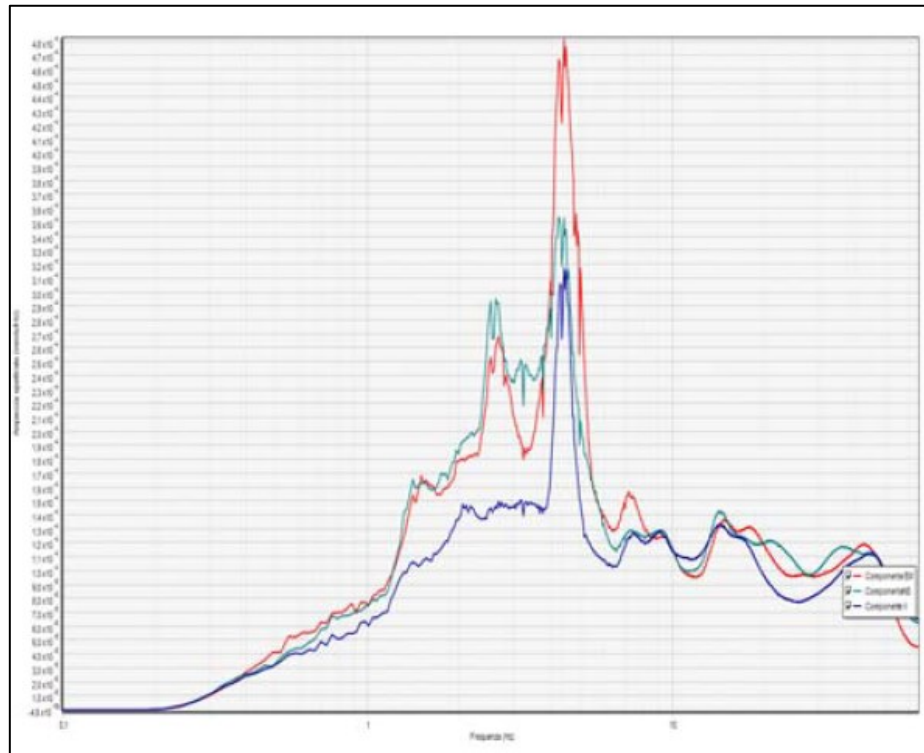
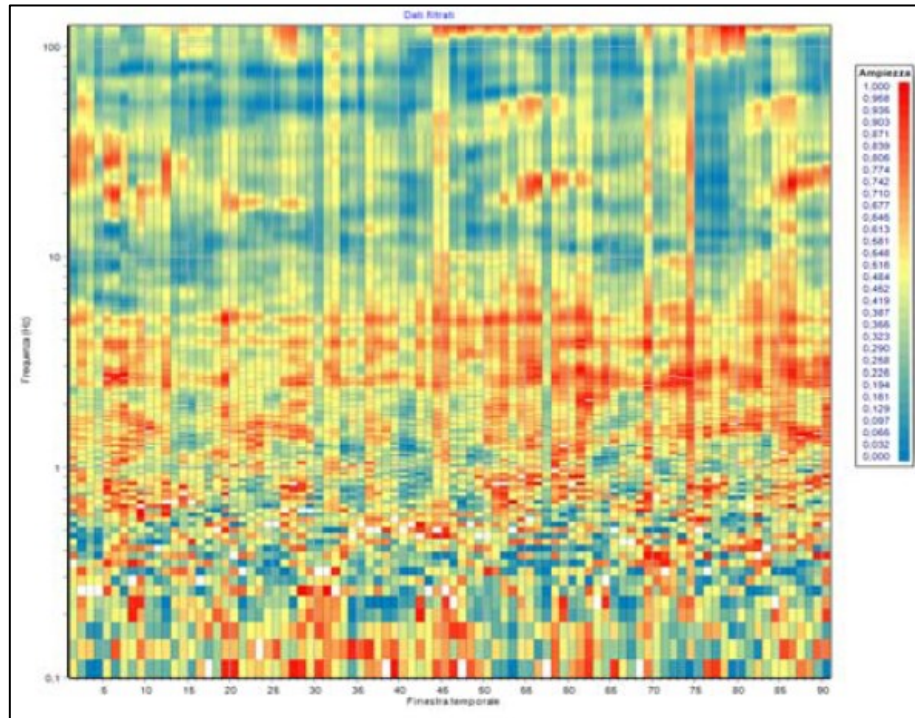


Figura 43: Spettro di velocità base sismica

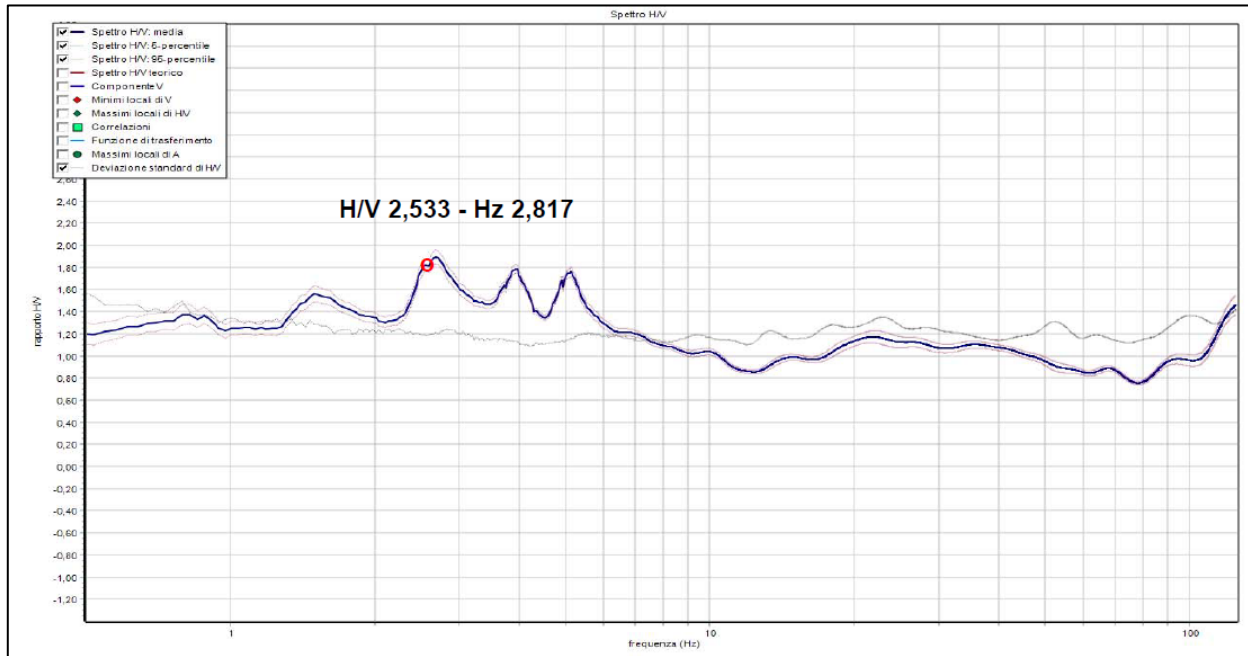


Figura 44: Diagramma rapporto H/V

#### 14.4 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,30, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

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

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



$h_i$  = Spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio  $i$ -esima

$N$  = Numero di strati

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

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dagli stendimenti 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 prova MASW, valori delle  $V_{s30}$  pari a 282,6 m/s riferita all'attuale piano campagna;
- Per la prova HVSR, valori delle  $V_{s30}$  pari a 204,9 m/s riferita all'attuale piano campagna;

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 C**: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

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

Figura 45: Tabella 3.2.II “Categoria di sottosuolo” – D.M. 17.10.2018

## 14.5 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

## 15 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

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

Strato	Litologia	Profondità[ m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'$ [MPa]	$E_u$ [MPa]
1	Terreno vegetale	0,0m – 0,20m	-	-	-	-	-	-
2	Argilla sovraconsolidata	>0,20m – 15m	18	20-30	100-200	24-28	20-60	40-100

$\gamma$  = peso di volume

$c'$  = coesione

$C_u$  = coesione non drenata

$\phi'$  = angolo d'attrito

$E'$  = modulo elastico

$E_u$  = modulo elastico non-drenato

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

## 16 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  $qc1N > 180$  dove  $(N1)60$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 47 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 46 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

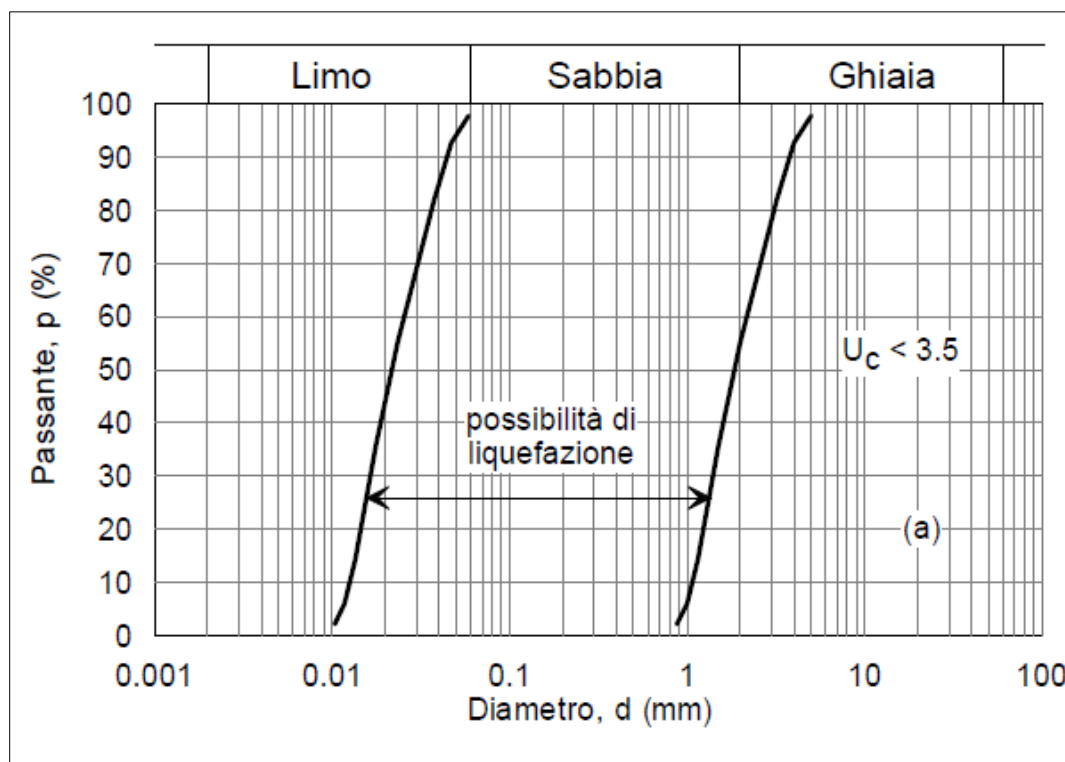


Figura 46: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

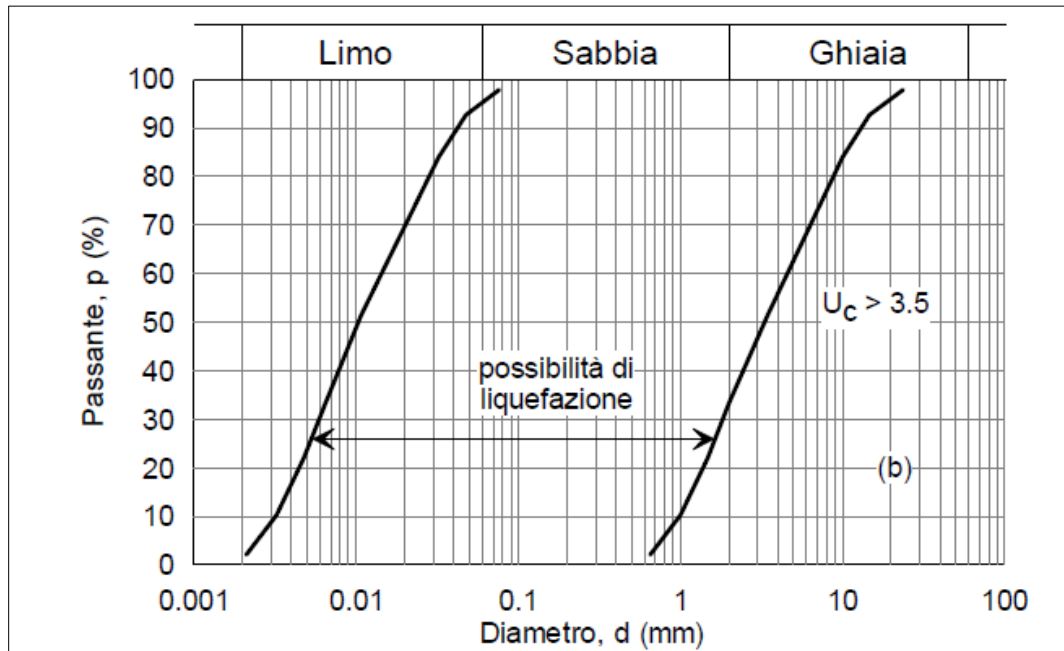


Figura 47: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

## 16.1 VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE

La verifica consiste nella stima alle varie profondità di un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto fra la resistenza alla liquefazione del terreno (CRR) e lo sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma (CSR).

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Le verifiche possono essere di tipo puntuale (singoli livelli) o globale (sull'intera colonna stratigrafica).

Il parametro CRR può essere ottenuto attraverso correlazioni semi-empiriche con prove in sito (prove penetrometriche statiche, dinamiche (SPT) o mediante misura delle velocità delle onde S. La grandezza CSR è funzione dell'accelerazione sismica orizzontale max in superficie e della magnitudo. Le NTC 2018 non indicano un valore specifico di  $F_s$  di riferimento, lasciando al progettista la scelta e la motivazione del margine di sicurezza.

L'Eurocodice 8 suggerisce, nel caso di impiego di correlazioni semi-empiriche, che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto superi l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.

$$CSR \geq 0.80 CRR$$

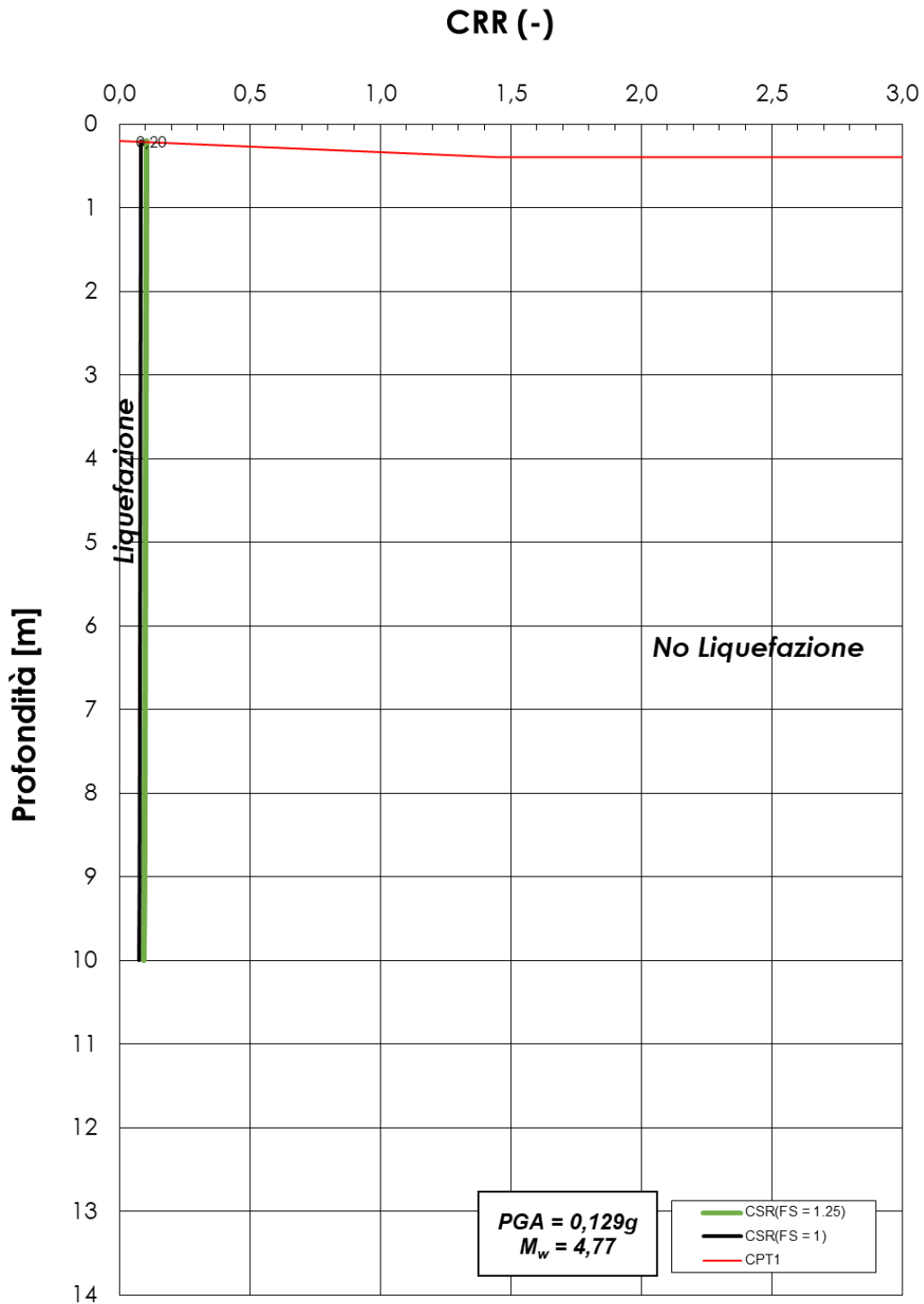
Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite paria  $F_s = CRR/CSR = 1.25$ .

In accordo con l' Eurocodice 8, per considerare i depositi non liquefacibili, il valore di  $F_s$  calcolato deve essere maggiore di 1,25.

Sempre in accordo con la normativa vigente si è adottata una procedura di calcolo semplificata

➤ **CPT 1**

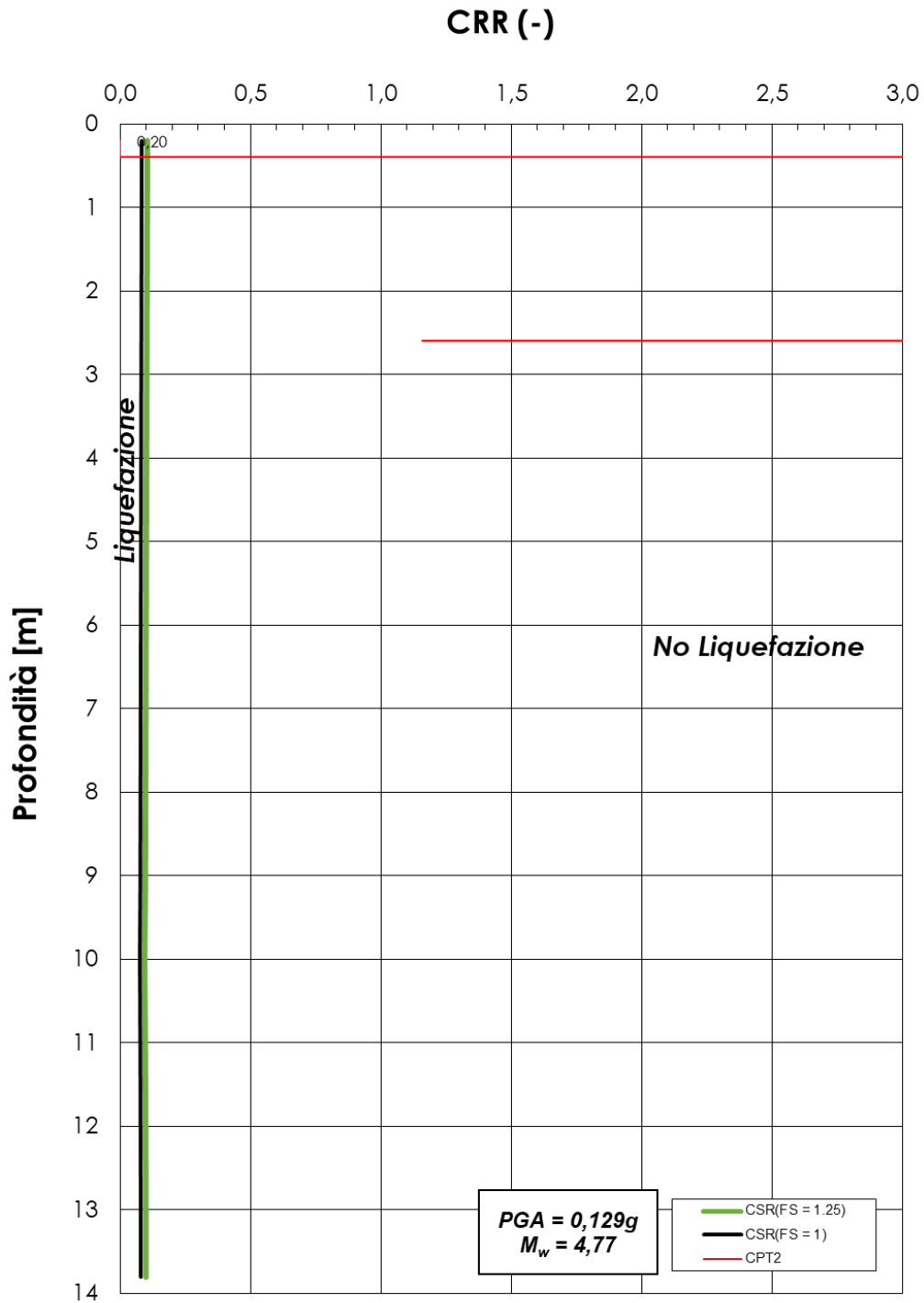
depth [m]	CPT1			$K_{\alpha}$	$r_d$	CSR	CSR
	$q_{c1N}$ [-]	Q [-]	F [%]			FS = 1	FS = 1.25
0,20	-	0	0,0	1,00	1,00	0,084	0,105
0,40	56	405	2,7	1,00	1,00	0,084	0,104
0,60	45	227	6,7	1,00	1,00	0,083	0,104
0,80	39	150	7,9	1,00	0,99	0,083	0,104
1,00	37	120	8,2	1,00	0,99	0,083	0,104
1,20	35	96	8,6	1,00	0,99	0,083	0,104
1,40	35	86	10,7	1,00	0,99	0,083	0,104
1,60	34	75	8,5	1,00	0,99	0,083	0,104
1,80	38	76	6,7	1,00	0,99	0,083	0,103
2,00	36	66	7,0	1,00	0,98	0,083	0,103
2,20	33	57	8,8	1,00	0,98	0,082	0,103
2,40	31	50	8,9	1,00	0,98	0,082	0,103
2,60	29	44	10,9	1,00	0,98	0,082	0,103
2,80	34	49	6,7	1,00	0,98	0,082	0,103
3,00	35	49	7,2	1,00	0,98	0,082	0,102
3,20	30	39	7,6	1,00	0,98	0,082	0,102
3,40	30	39	7,6	1,00	0,97	0,082	0,102
3,60	32	40	6,7	1,00	0,97	0,082	0,102
3,80	24	29	9,1	1,00	0,97	0,081	0,102
4,00	26	30	6,8	1,00	0,97	0,081	0,102
4,20	24	27	7,1	1,00	0,97	0,081	0,101
4,40	24	26	5,2	1,00	0,97	0,081	0,101
4,60	22	24	5,1	1,00	0,96	0,081	0,101
4,80	32	33	7,0	1,00	0,96	0,081	0,101
5,00	24	24	7,4	1,00	0,96	0,081	0,101
5,20	19	19	6,8	1,00	0,96	0,081	0,101
5,40	24	23	6,2	1,00	0,96	0,080	0,100
5,60	25	24	5,4	1,00	0,96	0,080	0,100
5,80	27	25	6,5	1,00	0,96	0,080	0,100
6,00	22	20	9,0	1,00	0,95	0,080	0,100
6,20	19	17	9,6	1,00	0,95	0,080	0,100
6,40	20	18	8,5	1,00	0,95	0,080	0,100
6,60	22	19	6,8	0,99	0,95	0,080	0,100
6,80	19	17	7,2	0,99	0,95	0,079	0,099
7,00	24	20	5,8	0,98	0,95	0,079	0,099
7,20	22	19	5,2	0,98	0,94	0,079	0,099
7,40	23	19	5,0	0,97	0,94	0,079	0,099
7,60	20	16	7,4	0,97	0,94	0,079	0,099
7,80	22	18	3,9	0,96	0,94	0,079	0,099
8,00	26	21	5,3	0,96	0,94	0,079	0,098
8,20	24	19	4,5	0,95	0,94	0,079	0,098
8,40	21	16	6,6	0,95	0,94	0,078	0,098
8,60	19	14	8,4	0,95	0,93	0,078	0,098
8,80	21	16	6,9	0,94	0,93	0,078	0,098
9,00	23	17	2,4	0,94	0,93	0,078	0,098
9,20	15	11	5,5	0,93	0,93	0,078	0,097
9,40	10	7	19,1	0,93	0,92	0,077	0,097
9,60	18	13	8,3	0,92	0,92	0,077	0,096
9,80	20	15	8,1	0,92	0,91	0,076	0,096
10,00	19	14	7,7	0,91	0,91	0,076	0,095





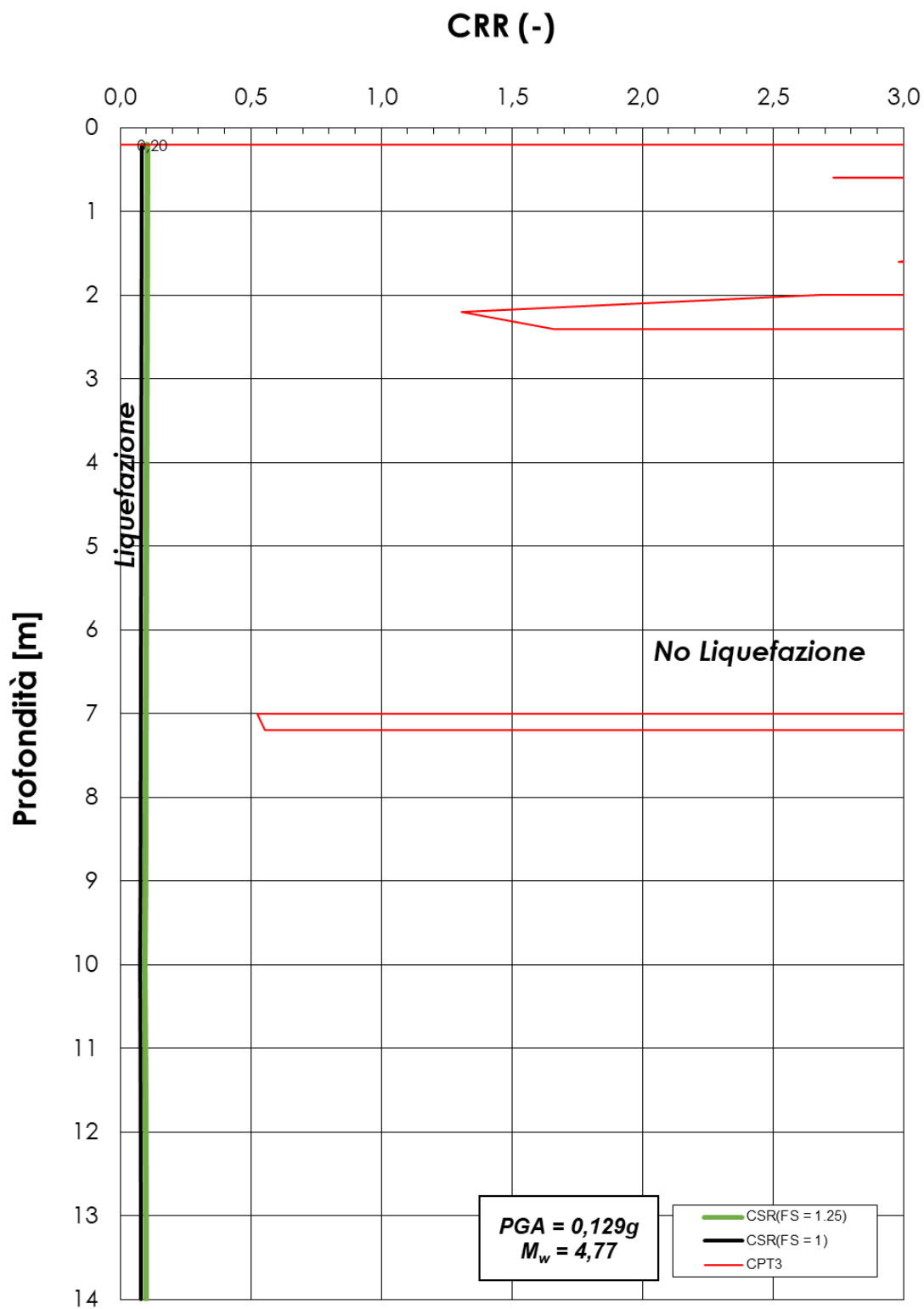
➤ **CPT 2**

CPT2											
depth [m]	q <sub>c1N</sub> [t]	Q [t]	F [%]	I <sub>c</sub> [t]	I <sub>c</sub> [t]	q <sub>c1N</sub> [t]	K <sub>C</sub> [t]	K <sub>a</sub>	f <sub>d</sub>	CSR FS = 1	CSR FS = 1.25
0,20	-	0	0,0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	1,00	1,00	0,084	0,105
0,40	0	0	0,0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	1,00	1,00	0,084	0,104
0,60	42	209	11,0	2,54	2,92	122	NL	1,00	1,00	0,083	0,104
0,80	82	321	7,7	2,31	2,62	201	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,00	110	357	6,0	2,20	2,45	110	2,54	1,00	0,99	0,083	0,104
1,20	109	302	5,5	2,19	2,43	109	2,42	1,00	0,99	0,083	0,104
1,40	42	102	7,5	2,55	2,79	73	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,60	19	41	12,9	2,98	2,98	41	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,80	23	46	6,7	2,73	2,73	46	NL	1,00	0,99	0,083	0,103
2,00	8	13	59,2	3,80	3,80	13	NL	1,00	0,98	0,083	0,103
2,20	43	75	4,7	2,47	2,63	61	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,40	42	69	5,8	2,57	2,71	57	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,60	36	55	3,1	2,43	2,57	36	3,14	1,00	0,98	0,082	0,103
2,80	27	39	5,1	2,69	2,69	39	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
3,00	29	40	3,7	2,58	2,69	35	NL	1,00	0,98	0,082	0,102
3,20	25	32	4,3	2,69	2,69	32	NL	1,00	0,98	0,082	0,102
3,40	25	32	3,7	2,66	2,66	32	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,60	28	35	4,7	2,70	2,70	35	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,80	29	35	4,5	2,69	2,69	35	NL	1,00	0,97	0,081	0,102
4,00	27	31	6,8	2,85	2,85	31	NL	1,00	0,97	0,081	0,102
4,20	23	26	6,4	2,89	2,89	26	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,40	19	21	4,8	2,87	2,87	21	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,60	23	25	5,5	2,85	2,85	25	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
4,80	24	25	5,2	2,84	2,84	25	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,00	28	28	3,9	2,71	2,71	28	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,20	23	23	5,3	2,87	2,87	23	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,40	19	18	8,0	3,07	3,07	18	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,60	25	24	4,9	2,83	2,83	24	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,80	23	22	5,3	2,89	2,89	22	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
6,00	22	20	5,3	2,91	2,91	20	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,20	19	17	6,2	3,00	3,00	17	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,40	17	15	5,7	3,03	3,03	15	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,60	14	12	7,8	3,19	3,19	12	NL	0,99	0,95	0,080	0,100
6,80	14	12	6,9	3,16	3,16	12	NL	0,99	0,95	0,079	0,099
7,00	7	5	18,6	3,72	3,72	5	NL	0,98	0,95	0,079	0,099
7,20	16	13	1,5	2,73	2,73	13	NL	0,98	0,94	0,079	0,099
7,40	14	12	4,3	3,04	3,04	12	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,60	14	11	5,6	3,12	3,12	11	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,80	15	12	2,4	2,89	2,89	12	NL	0,96	0,94	0,079	0,099
8,00	15	12	4,6	3,04	3,04	12	NL	0,96	0,94	0,079	0,098
8,20	14	11	4,9	3,09	3,09	11	NL	0,95	0,94	0,079	0,098
8,40	13	9	2,8	3,00	3,00	9	NL	0,95	0,94	0,078	0,098
8,60	9	7	7,1	3,36	3,36	7	NL	0,95	0,93	0,078	0,098
8,80	8	6	7,2	3,41	3,41	6	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,00	12	9	3,3	3,06	3,06	9	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,20	9	6	5,8	3,33	3,33	6	NL	0,93	0,93	0,078	0,097
9,40	10	7	4,7	3,26	3,26	7	NL	0,93	0,92	0,077	0,097
9,60	10	6	4,7	3,26	3,26	6	NL	0,92	0,92	0,077	0,096
9,80	10	7	4,9	3,25	3,25	7	NL	0,92	0,91	0,076	0,096
10,00	9	6	7,1	3,39	3,39	6	NL	0,91	0,91	0,076	0,095
10,20	10	7	4,4	3,23	3,23	7	NL	0,91	0,90	0,076	0,096
10,40	11	7	5,6	3,27	3,27	7	NL	0,91	0,90	0,077	0,096
10,60	11	8	3,8	3,15	3,15	8	NL	0,91	0,89	0,077	0,096
10,80	11	7	3,6	3,16	3,16	7	NL	0,90	0,89	0,077	0,097
11,00	14	10	3,7	3,06	3,06	10	NL	0,90	0,88	0,078	0,097
11,20	8	5	2,0	3,14	3,14	5	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,40	10	6	1,7	3,03	3,03	6	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,60	9	6	2,4	3,15	3,15	6	NL	0,90	0,86	0,078	0,098
11,80	10	6	3,9	3,23	3,23	6	NL	0,89	0,86	0,079	0,098
12,00	9	6	5,4	3,35	3,35	6	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,20	9	6	6,0	3,38	3,38	6	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,40	9	6	5,5	3,36	3,36	6	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,60	9	6	5,0	3,31	3,31	6	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,80	11	7	3,3	3,16	3,16	7	NL	0,88	0,83	0,079	0,099
13,00	9	6	4,5	3,29	3,29	6	NL	0,88	0,83	0,080	0,099
13,20	9	6	5,6	3,35	3,35	6	NL	0,88	0,82	0,080	0,100
13,40	9	6	5,6	3,35	3,35	6	NL	0,88	0,82	0,080	0,100
13,60	11	7	2,2	3,05	3,05	7	NL	0,88	0,81	0,080	0,100
13,80	11	7	5,3	3,29	3,29	7	NL	0,87	0,81	0,080	0,100



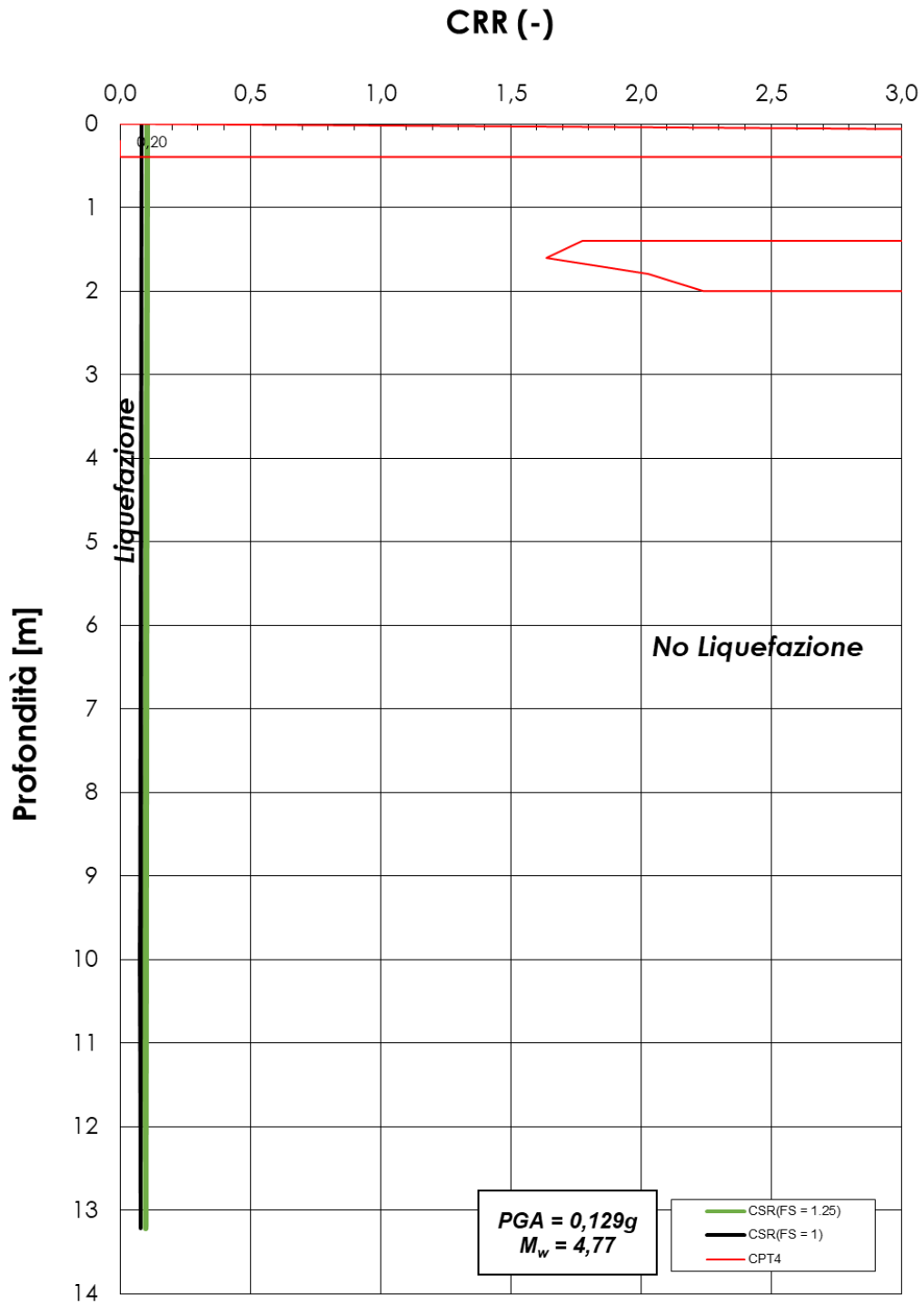
➤ **CPT 3**

CPT3								K <sub>a</sub>	r <sub>d</sub>	CSR	
depth [m]	q <sub>cIN</sub> [ ]	Q [ ]	F [%]	I <sub>c</sub> [ ]	I <sub>c</sub> [ ]	q <sub>cIN</sub> [ ]	K <sub>c</sub> [ ]			FS = 1	FS = 1.25
0,20	-	657	9,6	2,30	#VALORE!	#VALORE!	#####	1,00	1,00	0,084	0,105
0,40	49	351	7,2	2,27	2,74	187	NL	1,00	1,00	0,084	0,104
0,60	52	263	4,6	2,16	2,57	52	3,15	1,00	1,00	0,083	0,104
0,80	49	191	5,5	2,29	2,65	120	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,00	59	192	5,0	2,25	2,56	59	3,08	1,00	0,99	0,083	0,104
1,20	61	169	5,1	2,29	2,56	61	3,07	1,00	0,99	0,083	0,104
1,40	63	153	4,6	2,28	2,52	63	2,88	1,00	0,99	0,083	0,104
1,60	69	151	4,0	2,23	2,44	69	2,50	1,00	0,99	0,083	0,104
1,80	52	104	6,3	2,49	2,68	80	NL	1,00	0,99	0,083	0,103
2,00	52	96	4,6	2,40	2,57	52	3,17	1,00	0,98	0,083	0,103
2,20	52	90	2,6	2,23	2,40	52	2,31	1,00	0,98	0,082	0,103
2,40	44	71	3,7	2,41	2,56	44	3,07	1,00	0,98	0,082	0,103
2,60	28	42	6,4	2,74	2,74	42	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,80	28	41	6,4	2,75	2,75	41	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
3,00	32	44	5,6	2,69	2,69	44	NL	1,00	0,98	0,082	0,102
3,20	31	41	5,3	2,69	2,69	41	NL	1,00	0,98	0,082	0,102
3,40	30	39	5,1	2,69	2,69	39	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,60	30	36	5,6	2,74	2,74	36	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,80	30	36	4,9	2,70	2,70	36	NL	1,00	0,97	0,081	0,102
4,00	31	36	4,2	2,66	2,66	36	NL	1,00	0,97	0,081	0,102
4,20	32	36	3,1	2,57	2,60	35	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,40	27	30	4,5	2,74	2,74	30	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,60	23	25	7,4	2,95	2,95	25	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
4,80	26	27	5,9	2,85	2,85	27	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,00	27	27	4,9	2,79	2,79	27	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,20	27	27	4,7	2,78	2,78	27	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,40	26	25	6,5	2,90	2,90	25	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,60	25	24	5,2	2,84	2,84	24	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,80	25	23	4,3	2,80	2,80	23	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
6,00	21	19	6,2	2,97	2,97	19	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,20	19	17	7,6	3,08	3,08	17	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,40	23	20	4,3	2,84	2,84	20	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,60	25	22	2,0	2,61	2,61	22	NL	0,99	0,95	0,080	0,100
6,80	23	20	3,0	2,75	2,75	20	NL	0,99	0,95	0,079	0,099
7,00	26	23	0,9	2,43	2,37	26	2,20	0,98	0,95	0,079	0,099
7,20	23	20	1,3	2,56	2,49	23	2,73	0,98	0,94	0,079	0,099
7,40	21	18	1,7	2,66	2,66	18	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,60	18	15	1,3	2,66	2,66	15	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,80	18	14	2,6	2,83	2,83	14	NL	0,96	0,94	0,079	0,099
8,00	17	13	3,1	2,90	2,90	13	NL	0,96	0,94	0,079	0,098
8,20	16	12	2,2	2,84	2,84	12	NL	0,95	0,94	0,079	0,098
8,40	15	11	1,5	2,79	2,79	11	NL	0,95	0,94	0,078	0,098
8,60	12	9	2,5	3,01	3,01	9	NL	0,95	0,93	0,078	0,098
8,80	11	8	3,3	3,11	3,11	8	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,00	10	7	2,4	3,07	3,07	7	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,20	10	7	1,8	3,02	3,02	7	NL	0,93	0,93	0,078	0,097
9,40	10	7	3,0	3,14	3,14	7	NL	0,93	0,92	0,077	0,097
9,60	10	7	3,3	3,14	3,14	7	NL	0,92	0,92	0,077	0,096
9,80	9	6	5,3	3,30	3,30	6	NL	0,92	0,91	0,076	0,096
10,00	10	7	6,0	3,31	3,31	7	NL	0,91	0,91	0,076	0,095
10,20	11	8	2,8	3,07	3,07	8	NL	0,91	0,90	0,076	0,096
10,40	10	7	4,4	3,24	3,24	7	NL	0,91	0,90	0,077	0,096
10,60	9	6	5,4	3,32	3,32	6	NL	0,91	0,89	0,077	0,096
10,80	11	7	5,1	3,25	3,25	7	NL	0,90	0,89	0,077	0,097
11,00	8	5	6,6	3,41	3,41	5	NL	0,90	0,88	0,078	0,097
11,20	8	5	7,3	3,48	3,48	5	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,40	14	9	3,7	3,07	3,07	9	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,60	15	10	5,6	3,15	3,15	10	NL	0,90	0,86	0,078	0,098
11,80	17	12	4,9	3,07	3,07	12	NL	0,89	0,86	0,079	0,098
12,00	19	13	2,8	2,88	2,88	13	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,20	9	6	6,0	3,38	3,38	6	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,40	8	5	12,6	3,65	3,65	5	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,60	8	5	8,7	3,51	3,51	5	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,80	9	6	4,5	3,28	3,28	6	NL	0,88	0,83	0,079	0,099
13,00	9	5	4,9	3,34	3,34	5	NL	0,88	0,83	0,080	0,099
13,20	9	6	1,1	2,99	2,99	6	NL	0,88	0,82	0,080	0,100
13,40	11	7	1,0	2,90	2,90	7	NL	0,88	0,82	0,080	0,100
13,60	9	5	3,7	3,28	3,28	5	NL	0,88	0,81	0,080	0,100
13,80	10	6	2,6	3,14	3,14	6	NL	0,87	0,81	0,080	0,100
14,00	8	5	5,4	3,42	3,42	5	NL	0,87	0,80	0,080	0,100



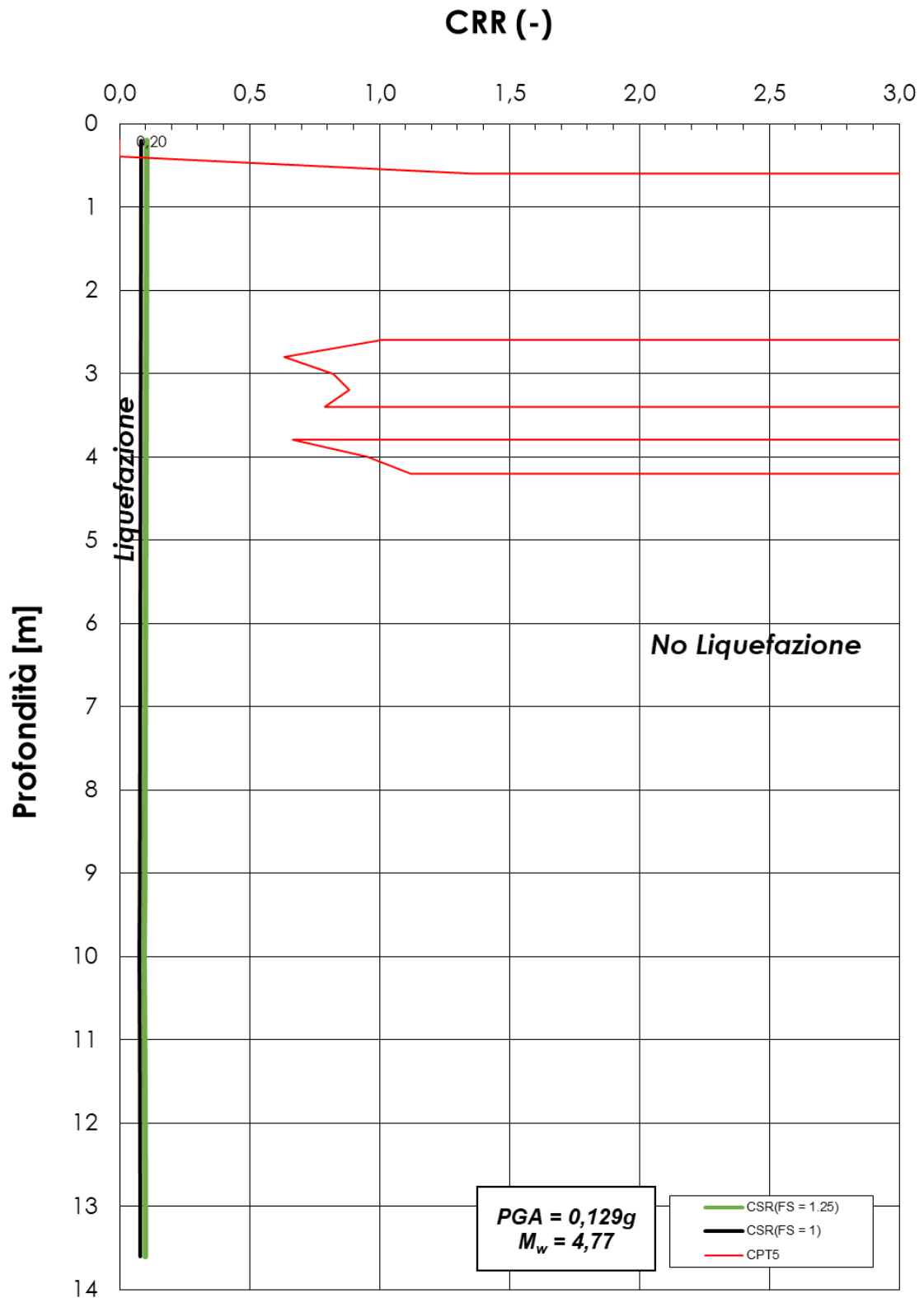
➤ **CPT 4**

CPT 4											
depth [m]	q <sub>cIN</sub> [-]	Q [-]	F [%]	I <sub>c</sub> [-]	I <sub>c</sub> [-]	q <sub>cIN</sub> [-]	K <sub>c</sub> [-]	K <sub>a</sub>	r <sub>d</sub>	CSR FS = 1	CSR FS = 1.25
0,20	-	0	0,0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	1,00	1,00	0,084	0,105
0,40	0	0	0,0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	1,00	1,00	0,084	0,104
0,60	20	100	5,5	2,45	2,92	59	NL	1,00	1,00	0,083	0,104
0,80	16	61	4,5	2,52	2,94	39	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,00	36	115	6,4	2,47	2,79	76	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,20	35	96	5,7	2,48	2,76	67	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,40	47	114	3,7	2,28	2,54	47	2,97	1,00	0,99	0,083	0,104
1,60	84	186	2,0	1,93	2,17	84	1,59	1,00	0,99	0,083	0,104
1,80	89	181	2,3	1,99	2,19	89	1,64	1,00	0,99	0,083	0,103
2,00	97	182	2,2	1,98	2,16	97	1,57	1,00	0,98	0,083	0,103
2,20	46	80	4,8	2,47	2,62	65	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,40	48	78	4,9	2,48	2,62	64	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,60	32	48	6,4	2,70	2,70	48	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,80	35	51	3,6	2,50	2,62	44	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
3,00	33	46	4,6	2,61	2,61	46	NL	1,00	0,98	0,082	0,102
3,20	27	36	6,4	2,79	2,79	36	NL	1,00	0,98	0,082	0,102
3,40	30	39	5,6	2,72	2,72	39	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,60	26	32	7,1	2,86	2,86	32	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,80	28	33	6,5	2,82	2,82	33	NL	1,00	0,97	0,081	0,102
4,00	27	31	6,8	2,85	2,85	31	NL	1,00	0,97	0,081	0,102
4,20	27	30	6,5	2,85	2,85	30	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,40	26	29	6,2	2,85	2,85	29	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,60	29	31	4,2	2,70	2,70	31	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
4,80	27	28	5,1	2,79	2,79	28	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,00	31	32	4,7	2,73	2,73	32	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,20	27	27	6,0	2,85	2,85	27	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,40	26	25	6,8	2,91	2,91	25	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,60	26	25	6,3	2,89	2,89	25	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,80	25	23	7,1	2,95	2,95	23	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
6,00	26	24	6,0	2,90	2,90	24	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,20	25	23	5,8	2,89	2,89	23	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,40	23	20	5,7	2,93	2,93	20	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,60	20	17	8,8	3,11	3,11	17	NL	0,99	0,95	0,080	0,100
6,80	22	19	7,1	3,01	3,01	19	NL	0,99	0,95	0,079	0,099
7,00	24	20	5,8	2,93	2,93	20	NL	0,98	0,95	0,079	0,099
7,20	22	19	6,8	3,01	3,01	19	NL	0,98	0,94	0,079	0,099
7,40	25	21	4,9	2,88	2,88	21	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,60	14	11	6,5	3,16	3,16	11	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,80	13	10	7,9	3,25	3,25	10	NL	0,96	0,94	0,079	0,099
8,00	13	10	9,3	3,30	3,30	10	NL	0,96	0,94	0,079	0,098
8,20	13	10	8,8	3,29	3,29	10	NL	0,95	0,94	0,079	0,098
8,40	13	9	7,4	3,26	3,26	9	NL	0,95	0,94	0,078	0,098
8,60	12	9	9,0	3,34	3,34	9	NL	0,95	0,93	0,078	0,098
8,80	12	8	7,5	3,30	3,30	8	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,00	11	8	8,1	3,35	3,35	8	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,20	12	9	5,6	3,21	3,21	9	NL	0,93	0,93	0,078	0,097
9,40	10	7	7,1	3,33	3,33	7	NL	0,93	0,92	0,077	0,097
9,60	12	9	3,9	3,11	3,11	9	NL	0,92	0,92	0,077	0,096
9,80	14	10	2,3	2,94	2,94	10	NL	0,92	0,91	0,076	0,096
10,00	9	6	8,3	3,43	3,43	6	NL	0,91	0,91	0,076	0,095
10,20	8	5	10,9	3,57	3,57	5	NL	0,91	0,90	0,076	0,096
10,40	8	5	11,6	3,59	3,59	5	NL	0,91	0,90	0,077	0,096
10,60	9	6	7,8	3,42	3,42	6	NL	0,91	0,89	0,077	0,096
10,80	10	7	7,1	3,37	3,37	7	NL	0,90	0,89	0,077	0,097
11,00	11	8	6,1	3,28	3,28	8	NL	0,90	0,88	0,078	0,097
11,20	9	6	9,0	3,47	3,47	6	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,40	10	6	6,6	3,36	3,36	6	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,60	11	7	4,3	3,20	3,20	7	NL	0,90	0,86	0,078	0,098
11,80	9	6	7,2	3,42	3,42	6	NL	0,89	0,86	0,079	0,098
12,00	11	7	5,2	3,26	3,26	7	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,20	10	6	6,1	3,35	3,35	6	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,40	12	8	6,7	3,30	3,30	8	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,60	11	7	6,2	3,29	3,29	7	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,80	11	7	4,0	3,18	3,18	7	NL	0,88	0,83	0,079	0,099
13,00	9	5	6,1	3,39	3,39	5	NL	0,88	0,83	0,080	0,099
13,20	11	7	3,3	3,16	3,16	7	NL	0,88	0,82	0,080	0,100



➤ **CPT 5**

CPT5											
depth [m]	q <sub>eIN</sub> [-]	Q [-]	F [%]	l <sub>c</sub> [-]	l <sub>c</sub> [-]	q <sub>eIN</sub> [-]	K <sub>c</sub> [-]	K <sub>a</sub>	r <sub>d</sub>	CSR FS = 1	CSR FS = 1.25
0,20	-	0	0,0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	1,00	1,00	0,084	0,105
0,40	0	0	0,0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	1,00	1,00	0,084	0,104
0,60	92	463	1,3	1,56	2,01	92	1,32	1,00	1,00	0,083	0,104
0,80	23	89	6,7	2,55	2,94	56	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,00	21	65	7,3	2,66	2,66	65	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,20	25	68	4,9	2,52	2,82	48	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,40	23	55	5,3	2,60	2,60	55	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,60	24	51	4,5	2,57	2,81	39	NL	1,00	0,99	0,083	0,104
1,80	18	36	5,6	2,74	2,74	36	NL	1,00	0,99	0,083	0,103
2,00	22	41	4,9	2,67	2,67	41	NL	1,00	0,98	0,083	0,103
2,20	20	35	5,3	2,74	2,74	35	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,40	27	43	4,3	2,60	2,60	43	NL	1,00	0,98	0,082	0,103
2,60	32	48	2,9	2,45	2,59	32	3,28	1,00	0,98	0,082	0,103
2,80	34	49	1,3	2,23	2,37	34	2,18	1,00	0,98	0,082	0,103
3,00	30	42	2,3	2,44	2,55	30	3,01	1,00	0,98	0,082	0,102
3,20	30	39	2,6	2,49	2,59	30	3,24	1,00	0,98	0,082	0,102
3,40	31	40	2,2	2,43	2,51	31	2,82	1,00	0,97	0,082	0,102
3,60	27	33	3,1	2,59	2,66	31	NL	1,00	0,97	0,082	0,102
3,80	50	61	1,0	2,07	2,14	50	1,53	1,00	0,97	0,081	0,102
4,00	57	67	1,6	2,18	2,23	57	1,75	1,00	0,97	0,081	0,102
4,20	55	63	2,1	2,27	2,32	55	2,00	1,00	0,97	0,081	0,101
4,40	30	32	6,5	2,82	2,82	32	NL	1,00	0,97	0,081	0,101
4,60	32	34	6,3	2,79	2,79	34	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
4,80	34	35	4,4	2,67	2,67	35	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,00	26	26	9,3	3,00	3,00	26	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,20	25	25	9,3	3,01	3,01	25	NL	1,00	0,96	0,081	0,101
5,40	24	23	10,0	3,06	3,06	23	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,60	22	21	9,9	3,08	3,08	21	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
5,80	26	24	6,5	2,91	2,91	24	NL	1,00	0,96	0,080	0,100
6,00	28	25	6,5	2,90	2,90	25	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,20	25	23	7,8	2,99	2,99	23	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,40	25	22	7,3	2,98	2,98	22	NL	1,00	0,95	0,080	0,100
6,60	26	23	6,3	2,92	2,92	23	NL	0,99	0,95	0,080	0,100
6,80	27	23	6,3	2,92	2,92	23	NL	0,99	0,95	0,079	0,099
7,00	28	24	5,3	2,85	2,85	24	NL	0,98	0,95	0,079	0,099
7,20	30	26	3,4	2,70	2,70	26	NL	0,98	0,94	0,079	0,099
7,40	27	23	4,2	2,80	2,80	23	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,60	28	23	4,9	2,85	2,85	23	NL	0,97	0,94	0,079	0,099
7,80	26	22	4,4	2,83	2,83	22	NL	0,96	0,94	0,079	0,099
8,00	18	14	5,2	3,02	3,02	14	NL	0,96	0,94	0,079	0,098
8,20	18	14	5,9	3,07	3,07	14	NL	0,95	0,94	0,079	0,098
8,40	20	15	2,6	2,80	2,80	15	NL	0,95	0,94	0,078	0,098
8,60	17	13	3,3	2,92	2,92	13	NL	0,95	0,93	0,078	0,098
8,80	16	12	3,8	2,99	2,99	12	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,00	16	12	3,5	2,97	2,97	12	NL	0,94	0,93	0,078	0,098
9,20	16	12	2,8	2,92	2,92	12	NL	0,93	0,93	0,078	0,097
9,40	9	6	4,6	3,28	3,28	6	NL	0,93	0,92	0,077	0,097
9,60	10	6	4,2	3,23	3,23	6	NL	0,92	0,92	0,077	0,096
9,80	9	6	5,2	3,33	3,33	6	NL	0,92	0,91	0,076	0,096
10,00	10	7	2,7	3,12	3,12	7	NL	0,91	0,91	0,076	0,095
10,20	9	6	6,0	3,34	3,34	6	NL	0,91	0,90	0,076	0,096
10,40	9	6	6,6	3,40	3,40	6	NL	0,91	0,90	0,077	0,096
10,60	10	7	4,4	3,24	3,24	7	NL	0,91	0,89	0,077	0,096
10,80	11	8	2,8	3,08	3,08	8	NL	0,90	0,89	0,077	0,097
11,00	12	8	3,1	3,08	3,08	8	NL	0,90	0,88	0,078	0,097
11,20	11	7	3,3	3,13	3,13	7	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,40	9	6	4,8	3,31	3,31	6	NL	0,90	0,87	0,078	0,098
11,60	10	6	6,6	3,36	3,36	6	NL	0,90	0,86	0,078	0,098
11,80	10	6	7,2	3,39	3,39	6	NL	0,89	0,86	0,079	0,098
12,00	9	6	7,9	3,45	3,45	6	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,20	11	7	6,2	3,30	3,30	7	NL	0,89	0,85	0,079	0,099
12,40	10	7	7,2	3,37	3,37	7	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,60	11	7	5,8	3,27	3,27	7	NL	0,89	0,84	0,079	0,099
12,80	11	7	6,7	3,33	3,33	7	NL	0,88	0,83	0,079	0,099
13,00	11	7	5,3	3,25	3,25	7	NL	0,88	0,83	0,080	0,099
13,20	13	9	3,7	3,10	3,10	9	NL	0,88	0,82	0,080	0,100
13,40	13	8	3,9	3,14	3,14	8	NL	0,88	0,82	0,080	0,100
13,60	13	9	4,1	3,13	3,13	9	NL	0,88	0,81	0,080	0,100





## 17 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto si conclude quanto segue:

- L'area di studio ricade si trova all'interno dei depositi continentali alluvionali recenti e attuali con tessitura a limo prevalente ed argilla sovraconsolidata.
- Per la caratterizzazione dei parametri geotecnici da adottare per la progettazione delle opere civili sono state eseguite prove penetrometriche statiche, indagini sismiche MASW e HVSR e una prova di permeabilità Lefranc a carico variabile per la classificazione del suolo sismico
- La falda è stata individuata a 2 m da p.c. grazie al piezometro 6 presente nell'area e confermato dai pozzi presenti nelle vicinanze.
- Il suolo è da considerarsi, dal punto di vista sismico, di Tipo **C**
- Il terreno non è liquefacibile
- L'area di interesse ha una accelerazione al suolo con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a  $PGA = 0.05-0.15$ , valore caratteristico della zona sismica di tipo 3.
- L'area d'intervento ricade in parte in pericolosità sismica locale media e in parte in pericolosità sismica locale elevata.

Per quanto riguarda l'area in oggetto, rientrando per lo più in pericolosità sismica locale elevata bisogna prestare attenzione in quanto le zone rientranti in questa pericolosità sono zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi, terreni suscettibili di liquefazione dinamica (in questo caso no, vista la granulometria fine), zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

- L'area d'intervento ricade quasi completamente in pericolosità idraulica media cioè caratterizzata da alluvioni poco frequenti ma per una piccola parte nella zona sud-est in pericolosità elevata caratterizzata quindi da alluvioni frequenti.
- Prevediamo l'esecuzione dei pali battuti con fondello a perdere di diametro 510 cm e lunghezza 10 – 12 m dal piano campagna
- Per la zona di pavimento prevediamo trattamento a calce al di sotto del piano di scotico senza utilizzo di palificazione.