

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 GEOTECNICA - SISMICA

Data emissione: 21/07/2022

REV.INT.: 01

n° Tavola

NOTE:

003

COMUNE DI PONTEDERA (PI)

LOCALITA' GELLO

RELAZIONE GEOTECNICA-SISMICA

Dott. Geol. Gabriele Anselmi



Dott. Ing. Marco Saleri



00	21/07//2021	Emissione	K.Adedze	M. Saleri	G. Anselmi
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	1
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
4	INQUADRAMENTO CATASTALE	4
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	5
5.1	CARTA GEOLOGICA	7
5.2	CARTA GEOMORFOLOGICA.....	9
5.3	CARTA IDROGEOLOGICA.....	11
6	CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE	15
7	MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DELLE MISURE IN SITO	16
7.1	PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT	16
7.2	MODULO ELASTICO (E) DA CPT	17
7.3	ANGOLO DI ATTRITO (φ') DA CPT.....	17
7.4	COESIONE EFFICACE (C') DA CPT.....	17
7.5	COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT.....	17
7.6	MODULO ELASTICO NON-DRENATO (EU) DA CPT.....	18
7.7	RISULTATI CPT.....	19
7.7.1	CPT 1.....	19
7.7.1.1	QC/FS	19
7.7.1.2	COESIONE EFFICACE C' DA CPT.....	20
7.7.1.3	MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO).....	21
7.7.1.4	COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT	22
7.7.1.5	MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT	23
7.7.2	CPT 2.....	24
7.7.2.1	QC/FS	24
7.7.2.2	COESIONE EFFICACE C' DA CPT.....	25
7.7.2.3	MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO).....	26
7.7.2.4	COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT	27
7.7.2.5	MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT	28
7.7.3	CPT 3.....	29
7.7.3.1	QC/FS	29
7.7.3.2	COESIONE EFFICACE C' DA CPT.....	30
7.7.3.3	MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO).....	31
7.7.3.4	COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT	32

7.7.3.5	MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT	33
7.7.4	CPT 4.....	34
7.7.4.1	QC/FS	34
7.7.4.2	COESIONE EFFICACE C' DA CPT	35
7.7.4.3	MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO).....	36
7.7.4.4	COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT	37
7.7.4.5	MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT	38
7.7.5	CPT 5.....	39
7.7.5.1	QC/FS	39
7.7.5.2	COESIONE EFFICACE C' DA CPT	40
7.7.5.3	MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO).....	41
7.7.5.4	COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT	42
7.7.5.5	MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT	43
7.8	PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE.....	44
8	STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO	46
9	SISMICITA'	47
9.1	ZONA SISMICA	47
9.2	CPTI15-DBMI15 V 2.0	57
9.3	INDAGINI SISMICHE IN SITO	63
9.3.1	RISULTATI DELL'INDAGINE MASW	63
9.3.1.1	RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI MASW	63
9.3.2	RISULTATI DELL'INDAGINE HVSR	67
9.3.2.1	RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI SISMICI HVSR.....	67
9.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	69
9.5	CATEGORIA TOPOGRAFICA.....	70
9.6	PARAMETRI SISMICI.....	71
9.6.1	VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	71
9.6.2	STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO	73
9.6.3	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	75
9.6.4	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO	81
9.6.4.1	COEFFICIENTI SISMICI.....	81
9.6.4.2	STABILITÀ DEI PENDII E FONDAZIONI.....	82
9.6.5	PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	83
10	PARAMETRI GEOTECNICI	89
10.1	PARAMETRI GEOTECNICI MEDI	89
10.2	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI.....	90
11	LIQUEFAZIONE	91
11.1	VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE	92
12	CONCLUSIONI.....	104

1 PREMESSA

La presente relazione geotecnica-sismica è stata redatta al fine di definire le caratteristiche geotecniche e sismiche 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.

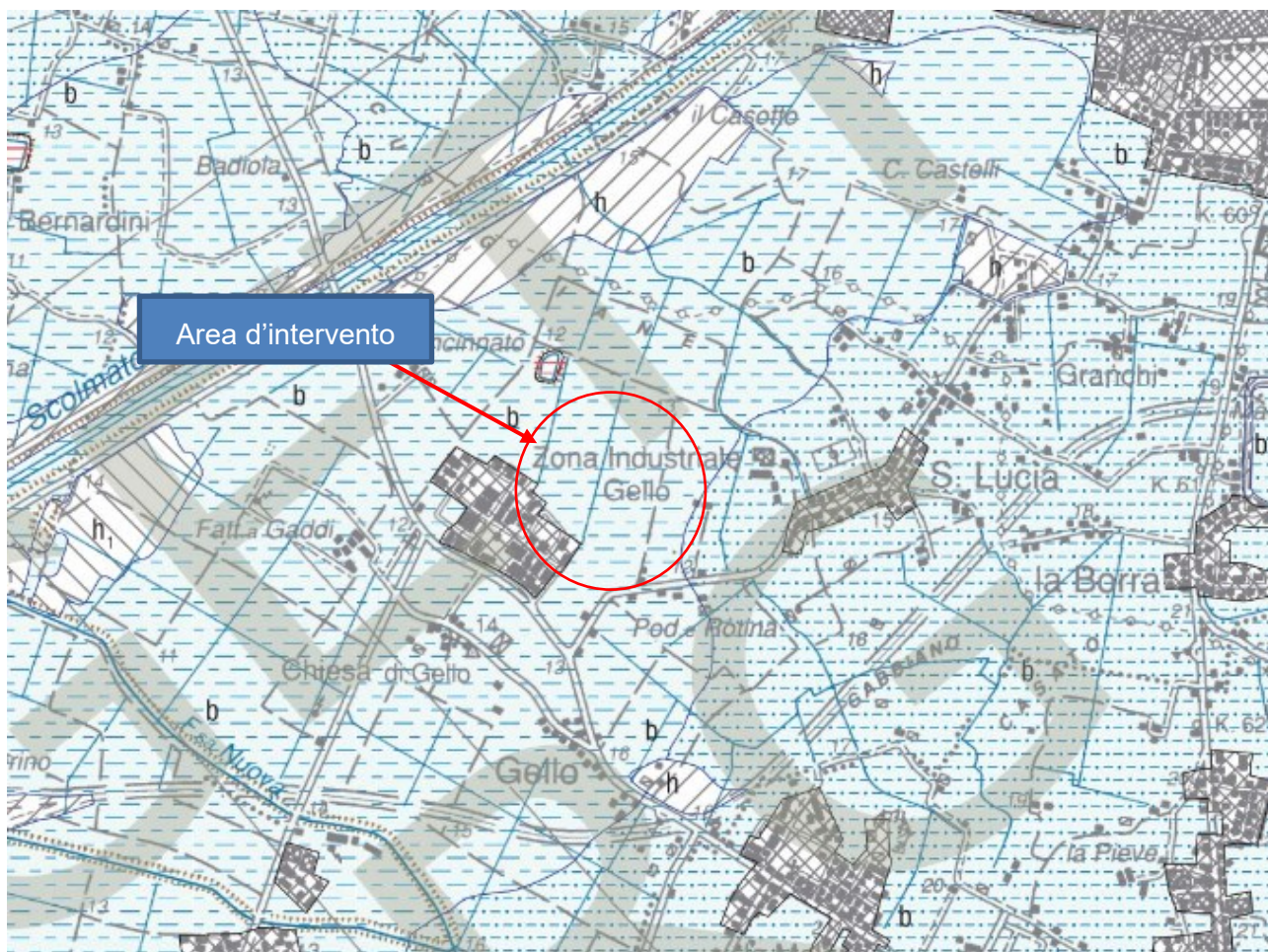


Figura 3-Stralcio Foglio 273 Pisa scala 1:50.000

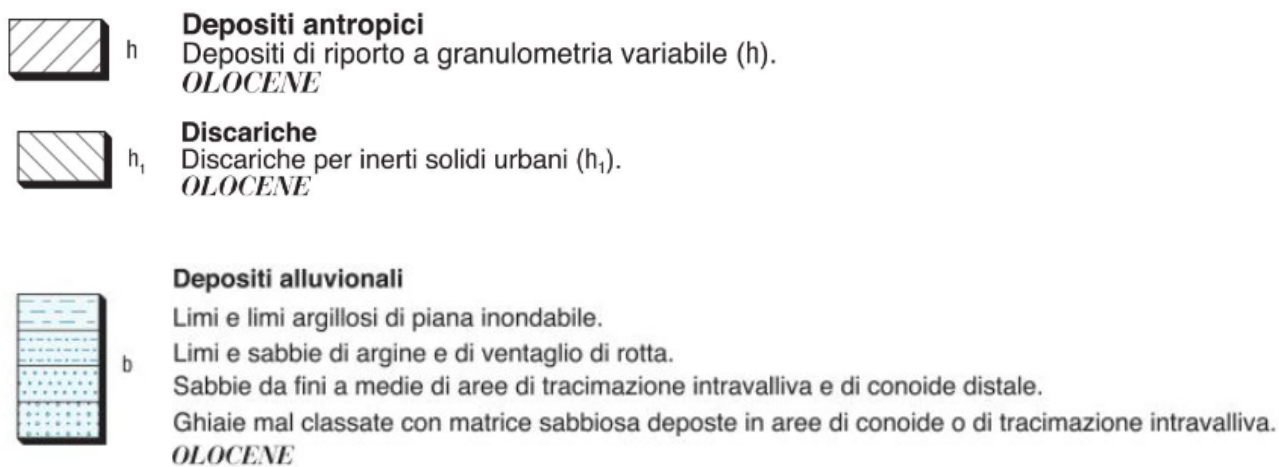


Figura 4-Legenda Foglio 273 Pisa scala 1:50.000

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

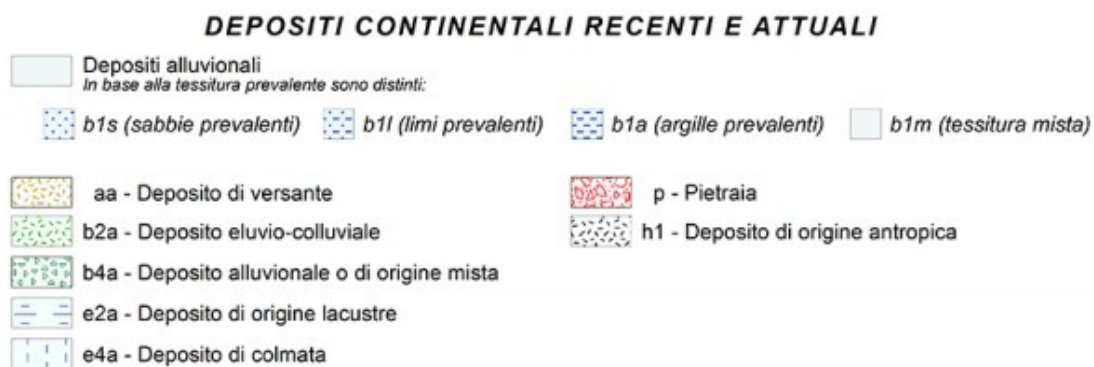


Figura 6-Legenda Carta geologica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

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.

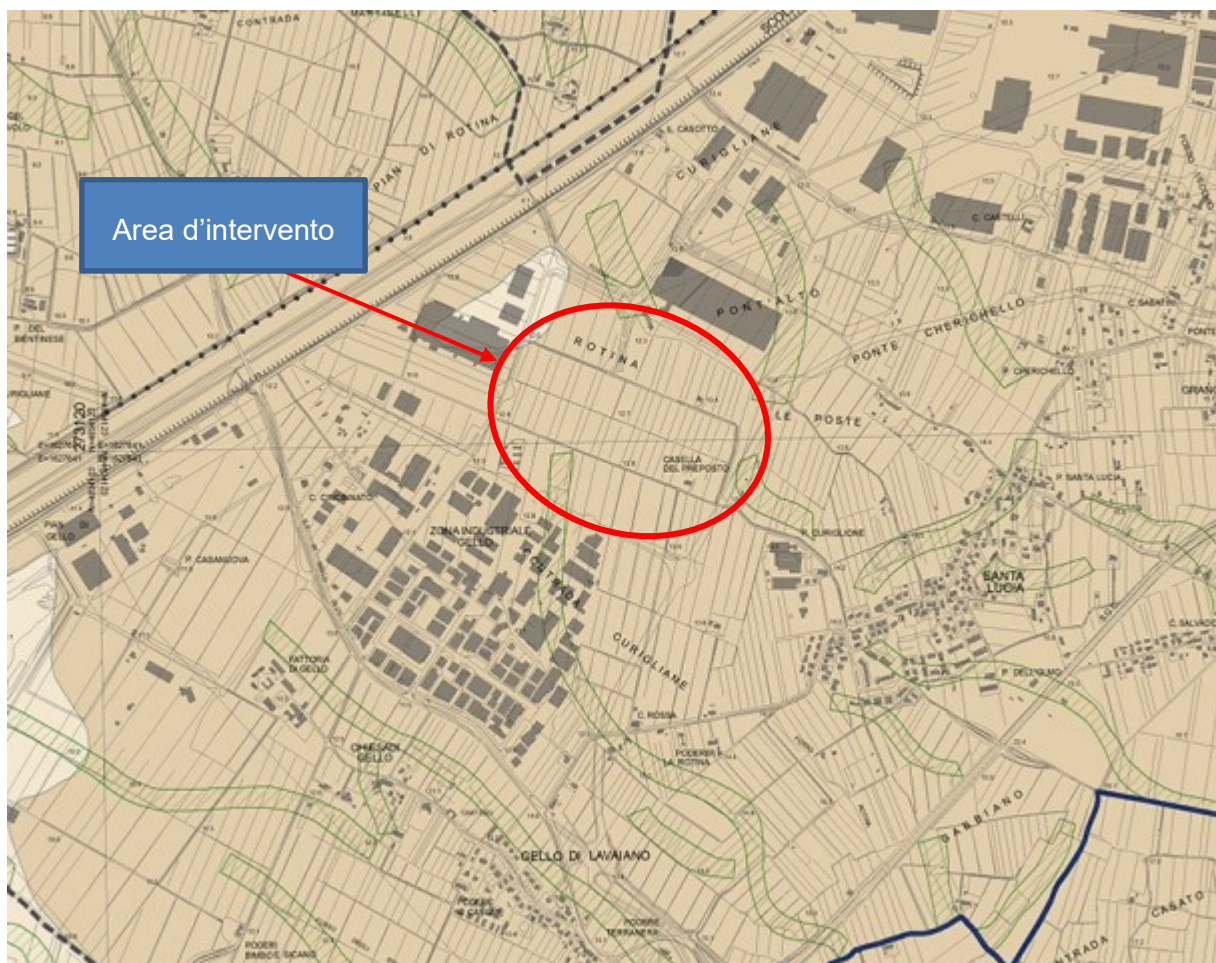


Figura 7-Carta Geomorfologica- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

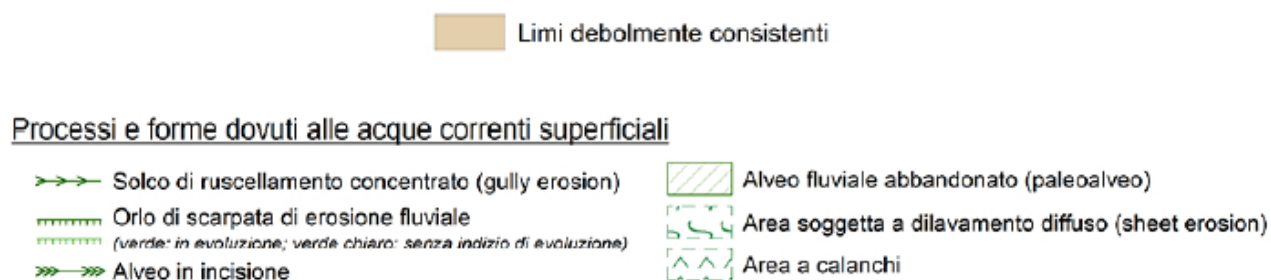


Figura 8-Legenda-Carta geomorfologica- Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

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:

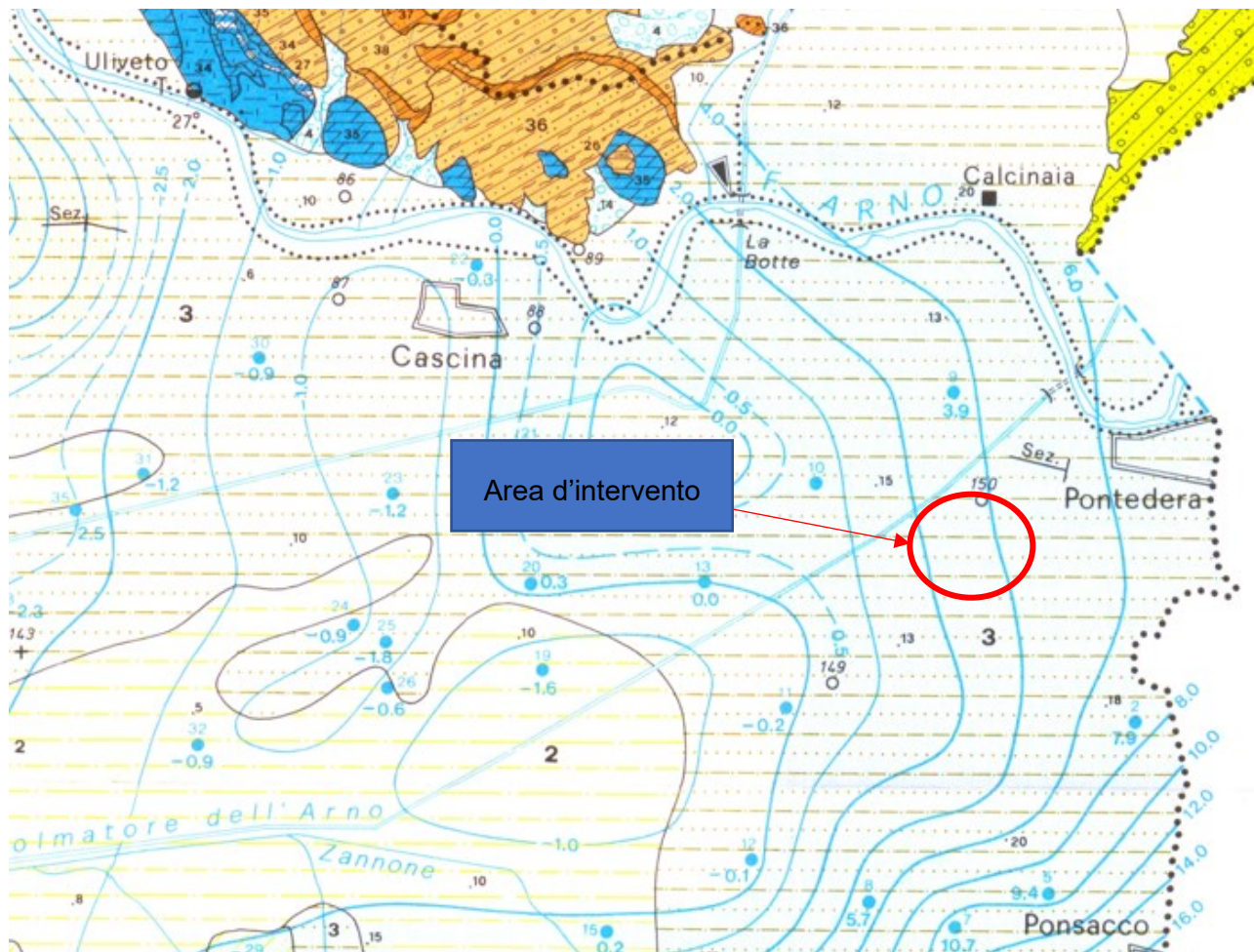


Figura 9: Carta della permeabilità delle rocce

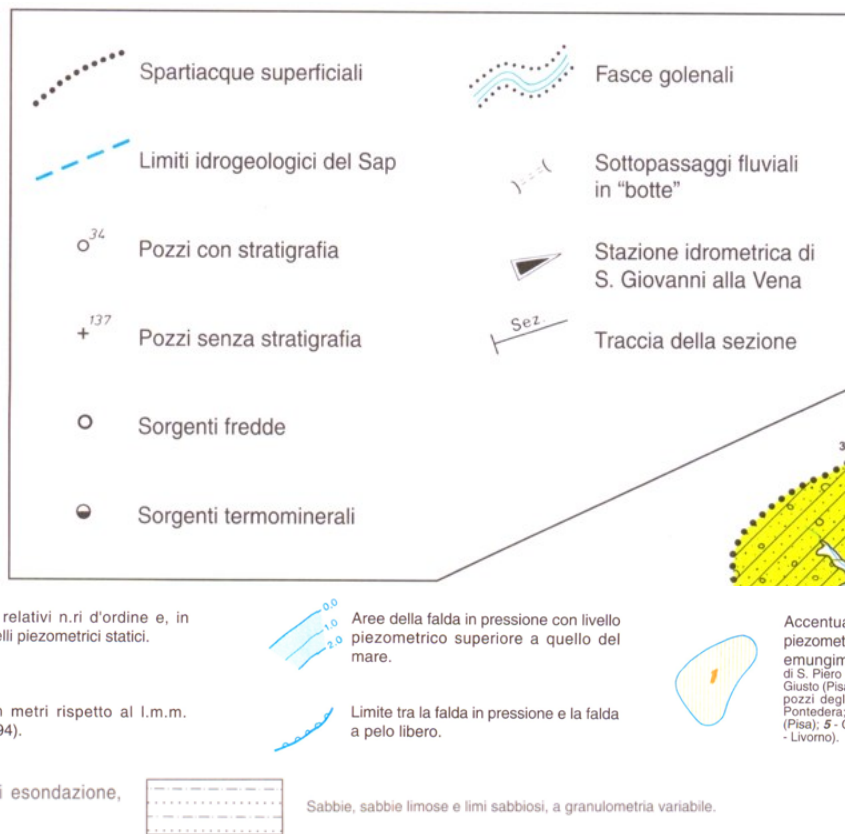


Figura 10-Legenda Carta della permeabilità delle rocce

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:



Figura 11-Carta Idrogeologica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

Unità idrogeologiche

- P2 - Unità a permeabilità primaria medio-alta
- P3 - Unità a permeabilità primaria da bassa a molto bassa o impermeabile
- P4 - Unità a permeabilità primaria da molto bassa a impermeabile

Figura 12-Legenda-Carta Idrogeologica-Piano Strutturale Intercomunale unione dei Comuni della Valdera

Da questa carta si percepisce che l'area d'intervento si trova su depositi con permeabilità primaria da bassa a molto bassa o impermeabile.

6 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

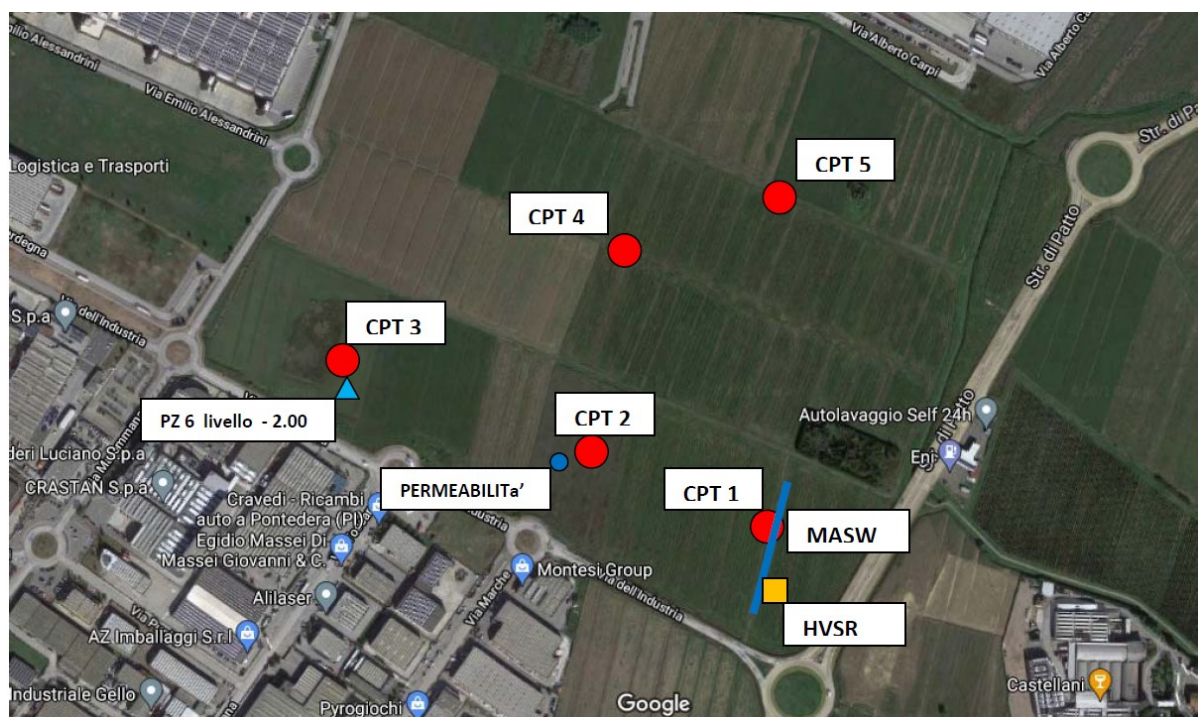


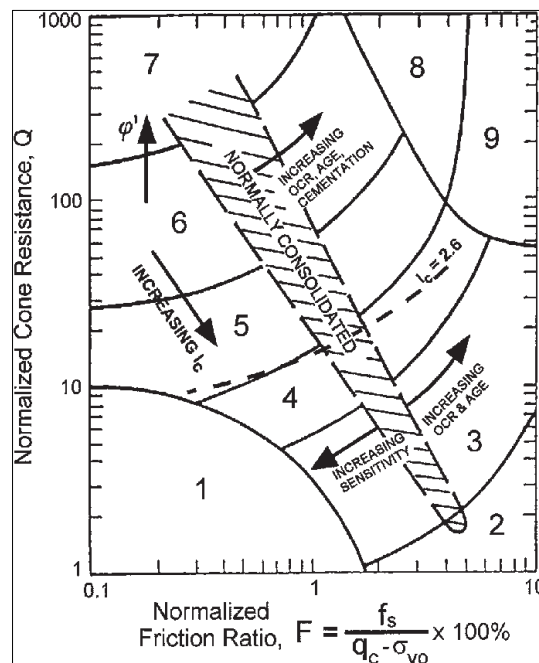
Figura 13: Ubicazione delle prove in situ nell'area di studio

7 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DELLE MISURE IN SITO

7.1 PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT

L'analisi dei risultati delle prove CPT consente la ricostruzione del terreno attraverso le correlazioni tra resistenza alla penetrazione e litologie indagate, come mostrato nei seguenti grafici, sfruttando i criteri illustrati da Robertson & Campanella (1990) e Schmertmann.

I parametri sono condizionati dalla risposta meccanica dei materiali alla penetrazione.



1. SENSITIVE, FINE GRADED	6. SANDS - CLEAN SAND TO SILTY SAND
2. ORGANIC SOILS - PEATS	7. GRAVELLY SAND TO SAND
3. CLAYS - CLAY TO SILTY CLAY	8. VERY STIFF SAND TO CLAYEY TO SILTY CLAY
4. SILT MIXTURES - CLAYEY SILT TO SILTY CLAY	9. VERY STIFF, FINE GRADED TO SANDY SILT
5. SAND MIXTURES - SILTY SAND	

Figura 14: Interpretazione delle litologie dei terreni attraverso I risultati di prove CPT, Robertson & Campanella (1990).

7.2 MODULO ELASTICO (E) DA CPT

Per il calcolo del modulo elastico in terreni coesivi è stata utilizzata la seguente formula:

$$E = M \cdot \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot (1 + \nu)}{(1 - \nu)}$$

Per i terreni incoerenti, quindi relativi alle sabbie, i dati raccolti durante l'esecuzione dei test CPT, sono stati analizzati con la seguente formula per i terreni granulari (Kulhawy):

$$E = q_c \cdot 10^{(1.09 - 0.0075 \cdot D_r)} / 1.15$$

7.3 ANGOLO DI ATTRITO (φ') DA CPT

La seguente formula è stata utilizzata per determinare l'angolo di attrito:

$$\varphi' = \max\left\{10.625 \cdot \frac{D_R}{100} + 25.795, \varphi'_{cv}\right\}$$

Dove

D_R è la densità relativa;

φ'_{cv} è l'angolo di attrito a volume costante =24°;

7.4 COESIONE EFFICACE (c') DA CPT

Per la determinazione della coesione efficace (c') riferita ai terreni coesivi, per le prove CPTu eseguite in sito, è stata adottata la seguente formulazione (Mesri e Abdel, 1993):

$$c' = 0.024 \cdot \sigma'_p$$

7.5 COESIONE NON DRENATA (C_u) DA CPT

La seguente formula è stata utilizzata per calcolare la resistenza al taglio non drenata:

$$C_u = (q_c - \sigma_v) / N_{kt}$$

Tipicamente, N_{kt} va da 10 a 18.

Per il calcolo di C_u in questo caso N_{kt} è stato considerato uguale a 15.

7.6 MODULO ELASTICO NON-DRENATO (E_u) DA CPT

Questo parametro può essere stimato indirettamente dai risultati del test CPT attraverso l'elaborazione dei valori di coesione non drenata (C_u).

Poiché le deformazioni avvengono a volume costante, l'incomprimibilità della struttura solida e dell'acqua interstiziale, con l'ipotesi di saturazione completa del terreno, impone la condizione che $v = 0,5$.

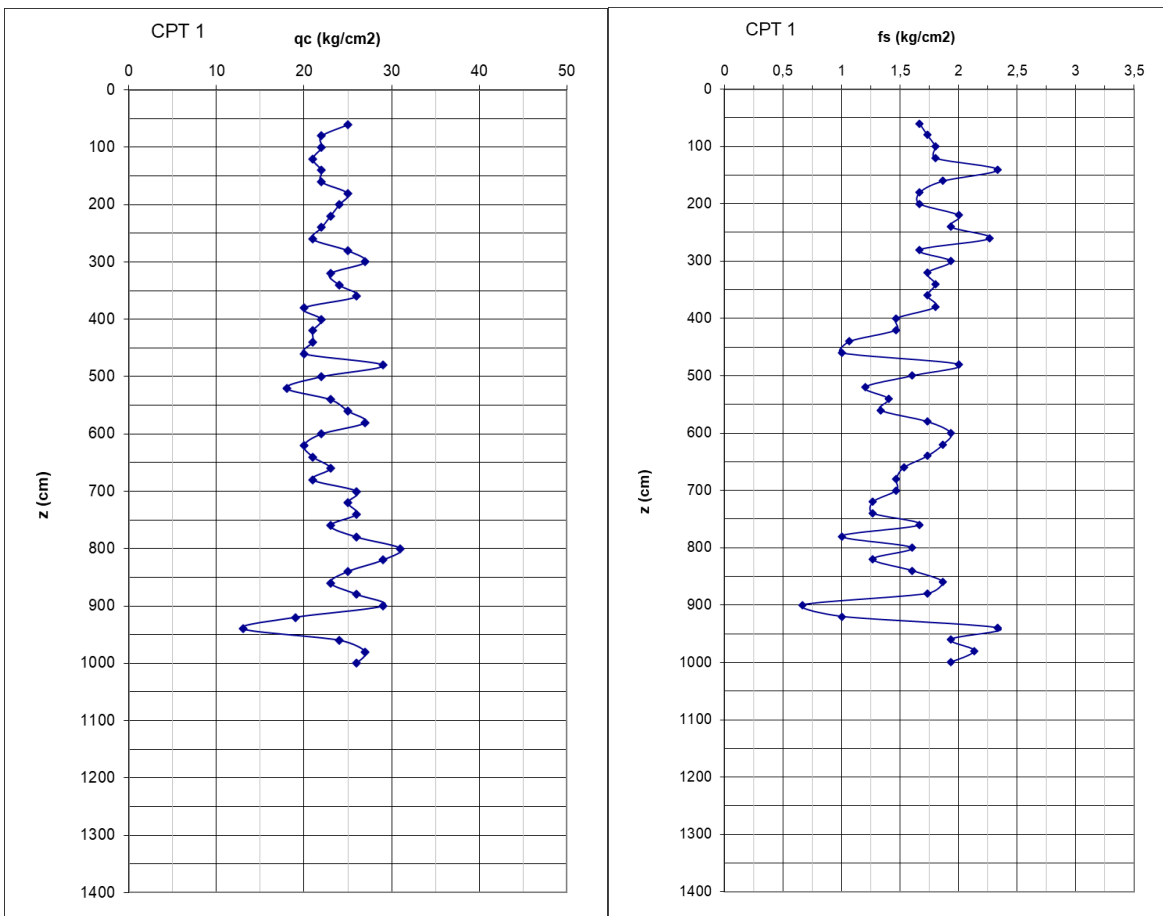
L'equazione empirica usata per l'elaborazione è la seguente:

$$E_u = 300 \cdot C_u$$

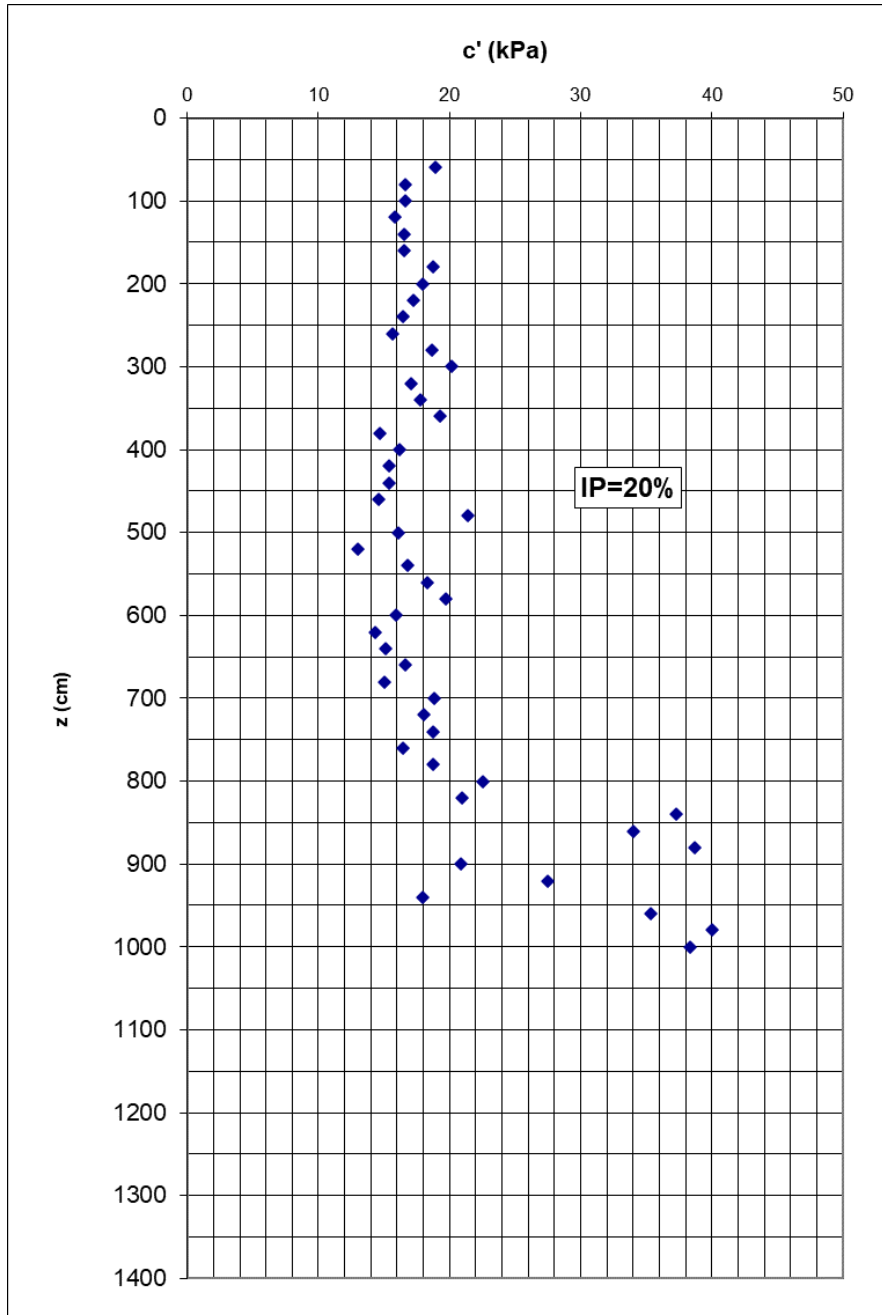
7.7 RISULTATI CPT

7.7.1 CPT 1

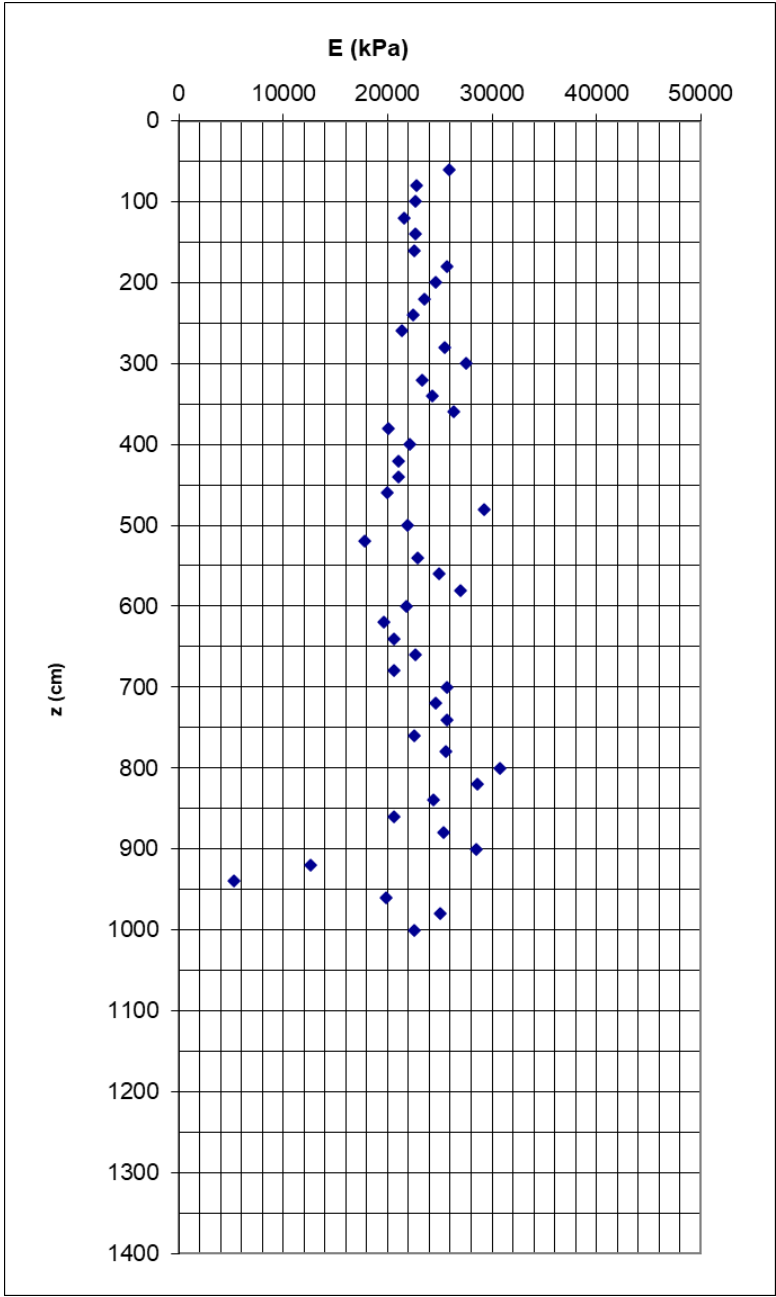
7.7.1.1 QC/FS



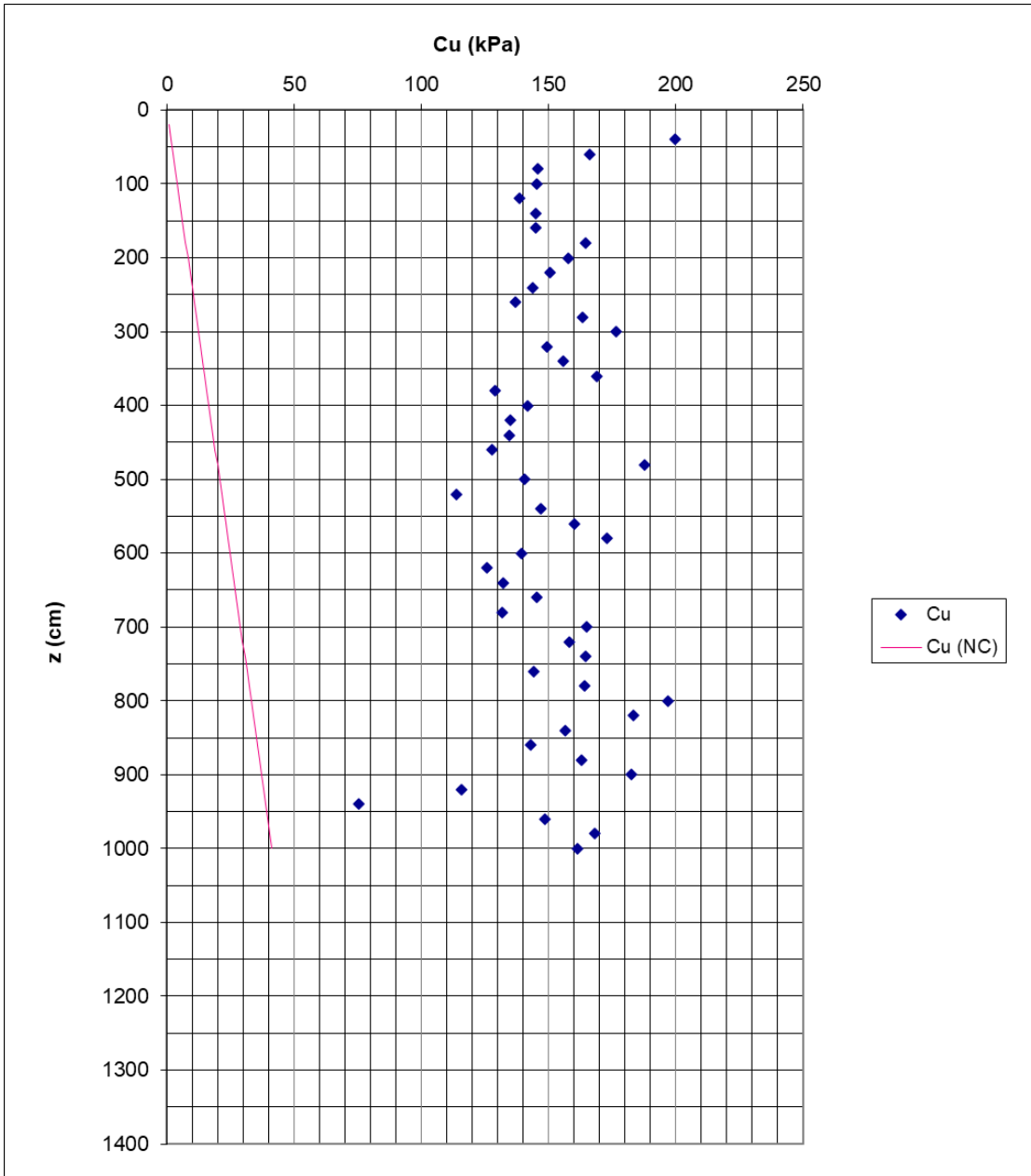
7.7.1.2 COESIONE EFFICACE C' DA CPT



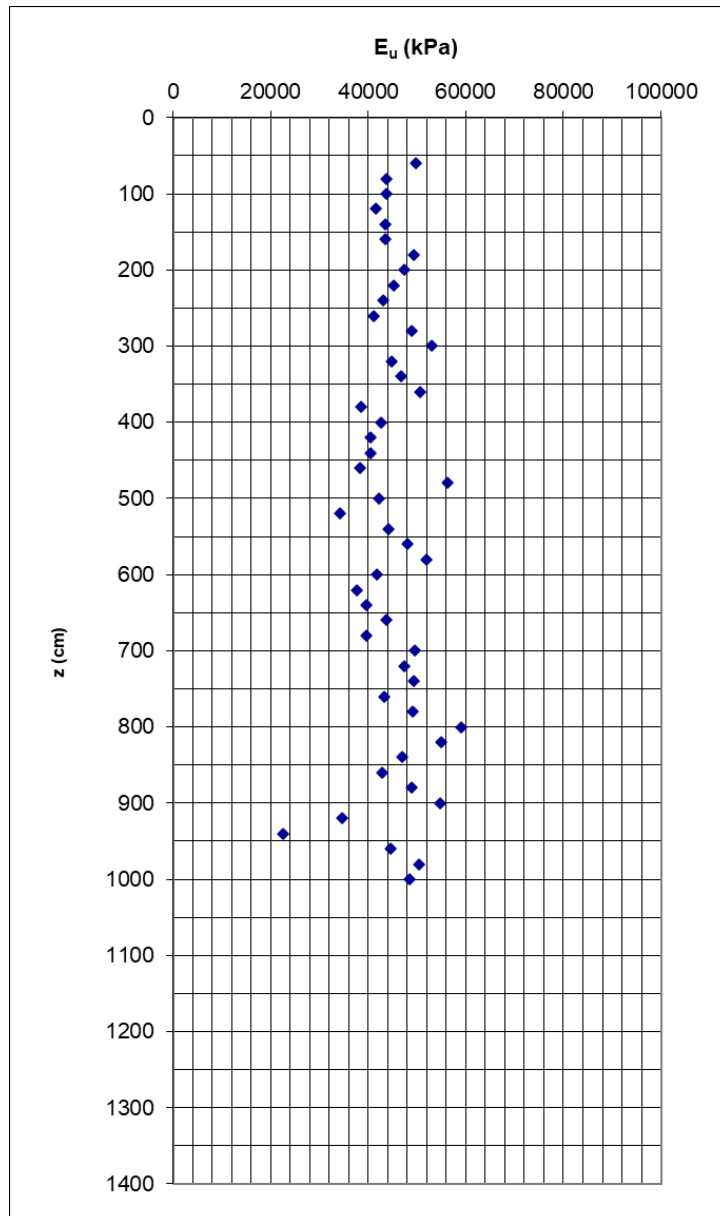
7.7.1.3 MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO)



7.7.1.4 COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT

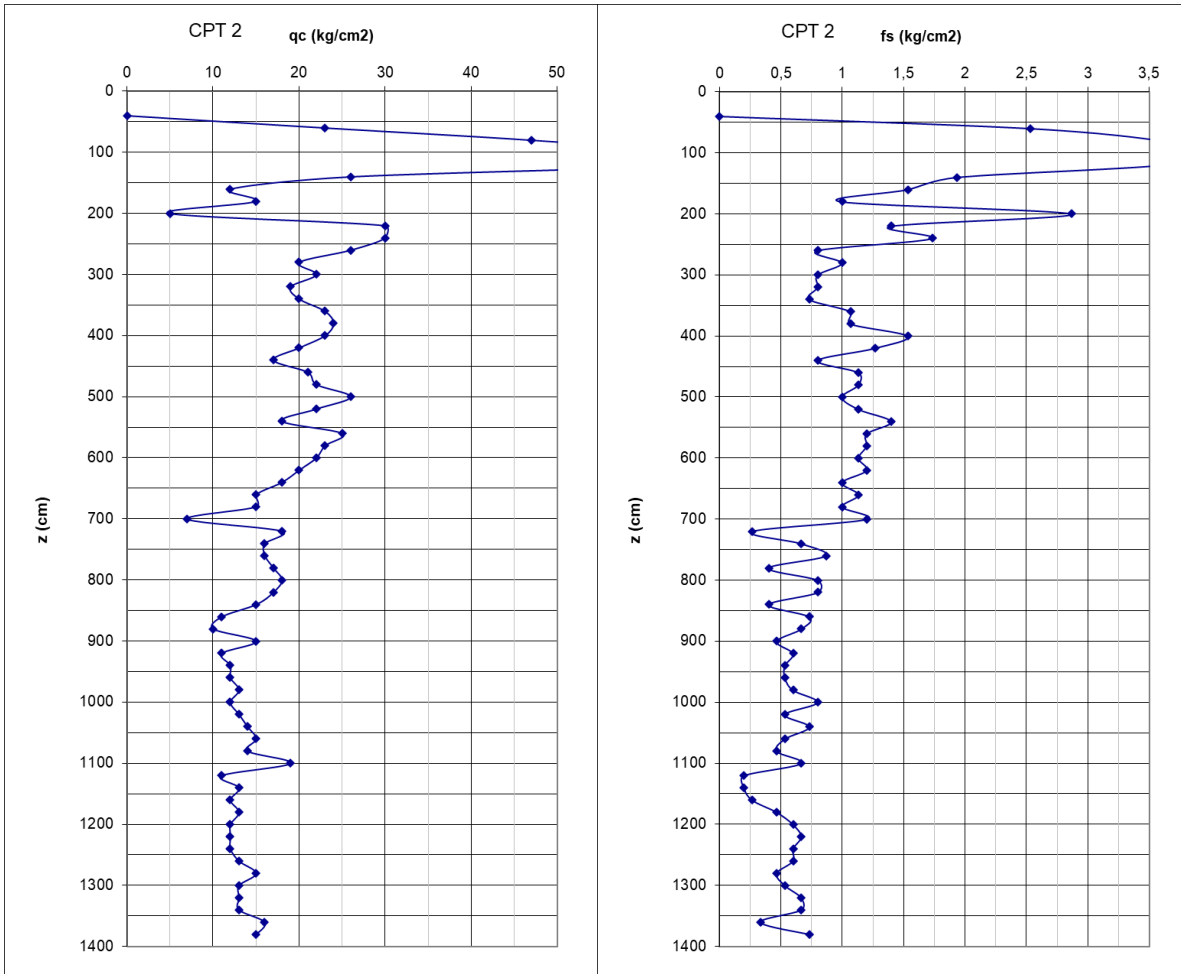


7.7.1.5 MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT

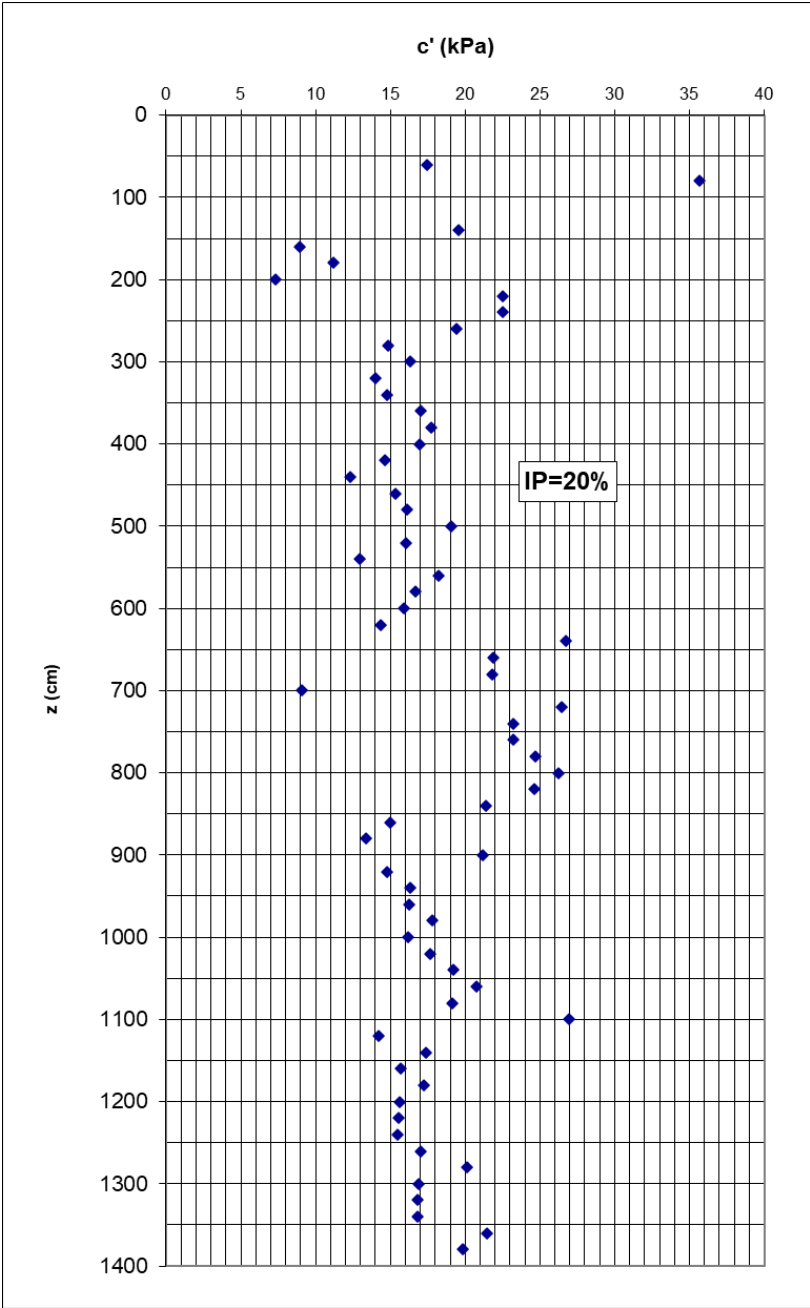


7.7.2 CPT 2

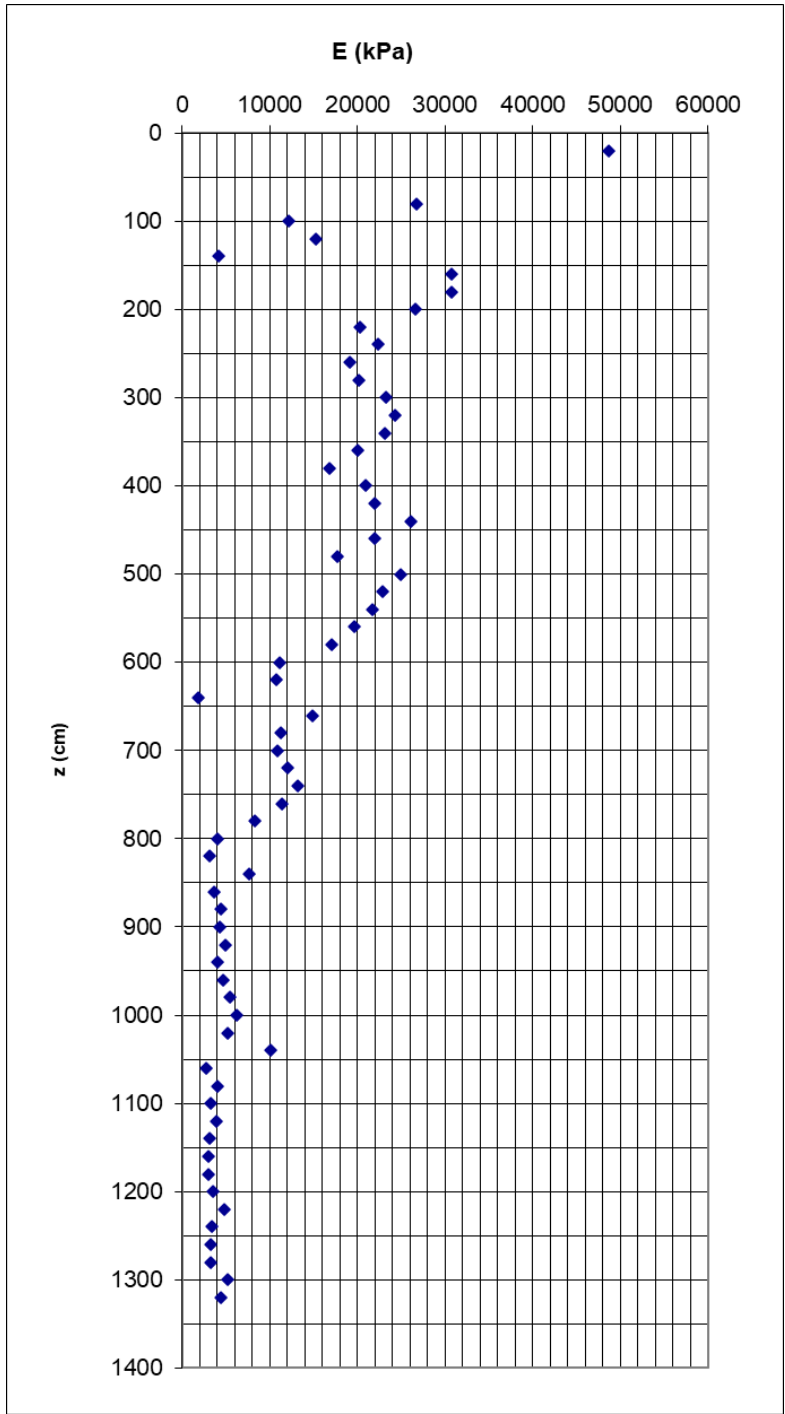
7.7.2.1 QC/FS



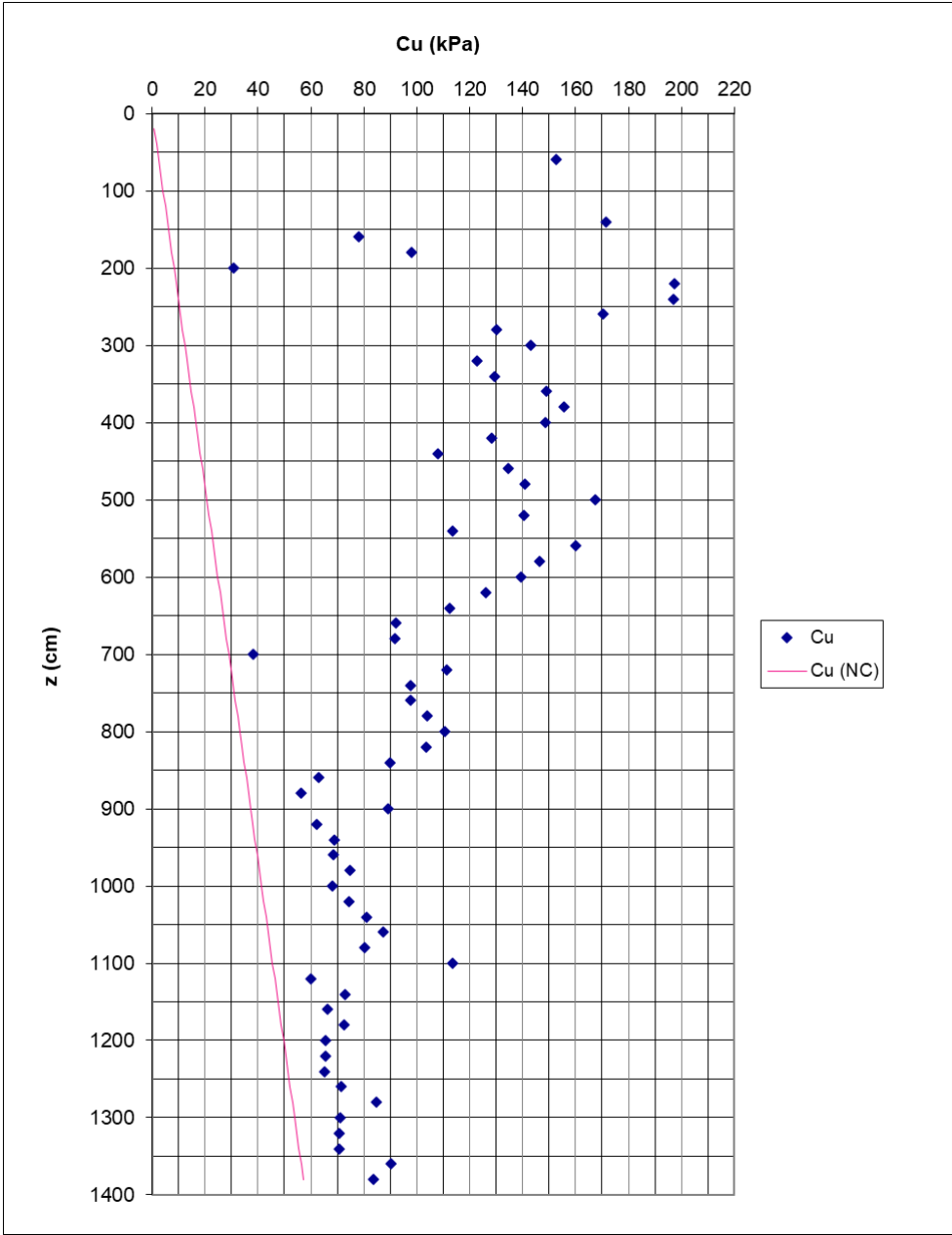
7.7.2.2 COESIONE EFFICACE C' DA CPT



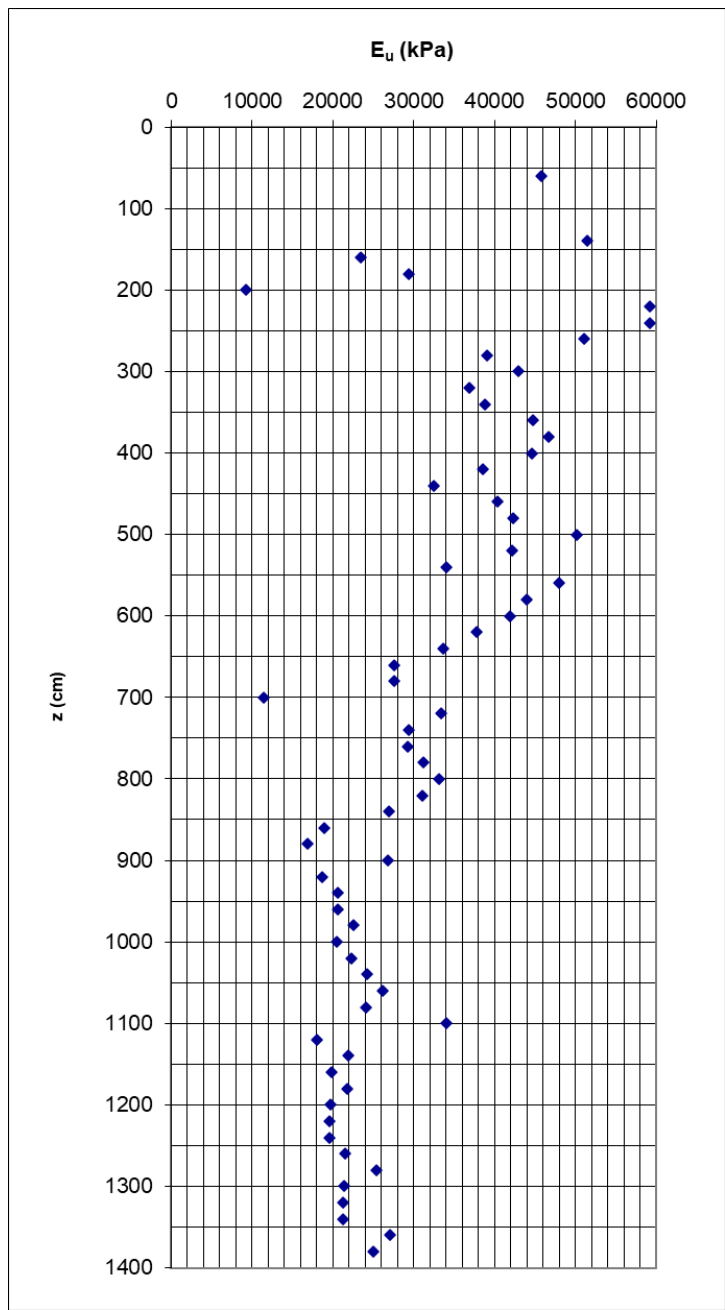
7.7.2.3 MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO)



7.7.2.4 COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT

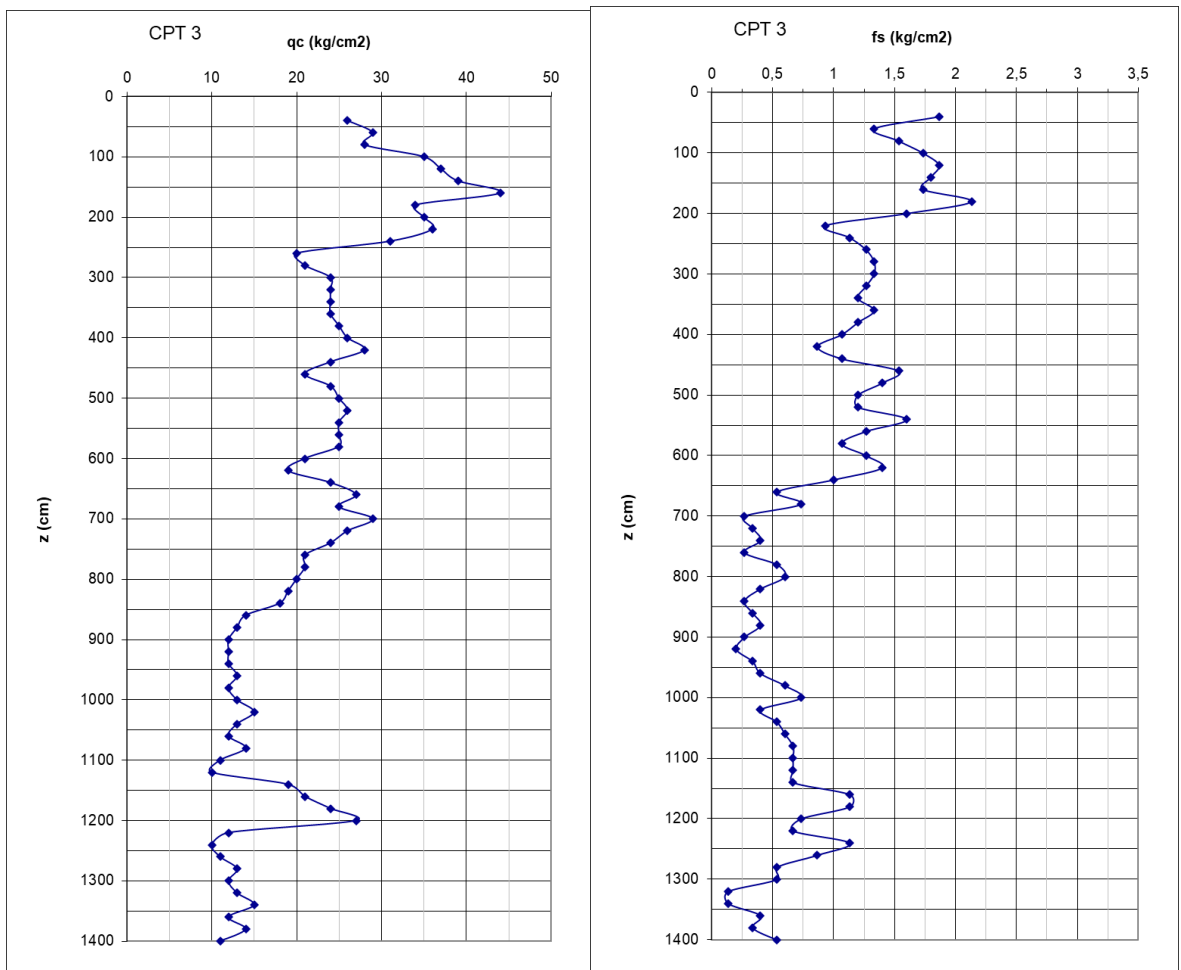


7.7.2.5 MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT

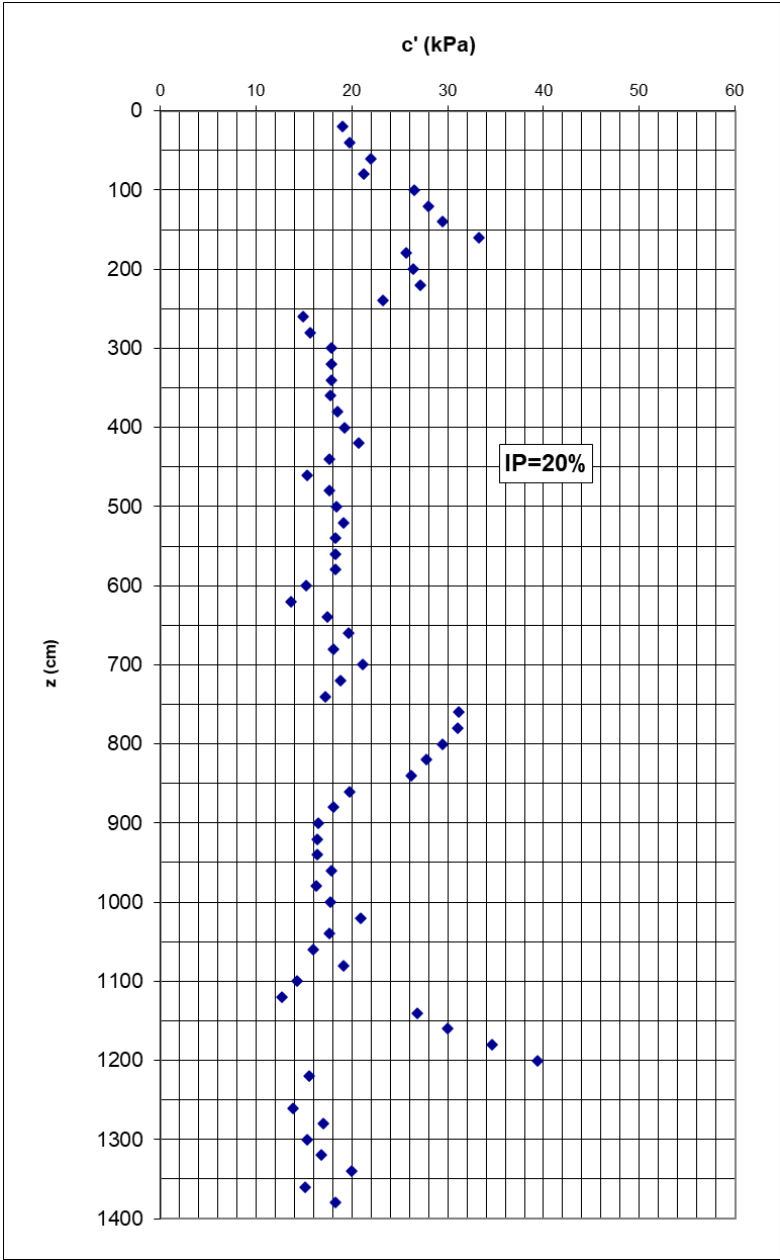


7.7.3 CPT 3

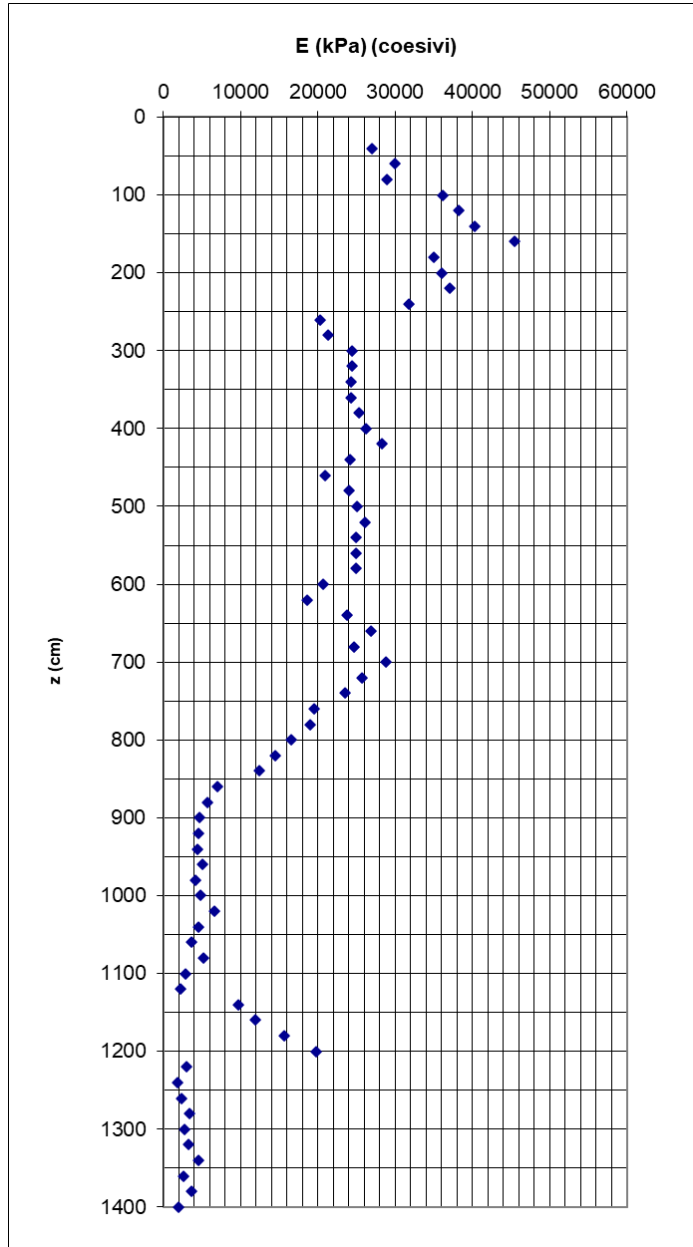
7.7.3.1 QC/FS



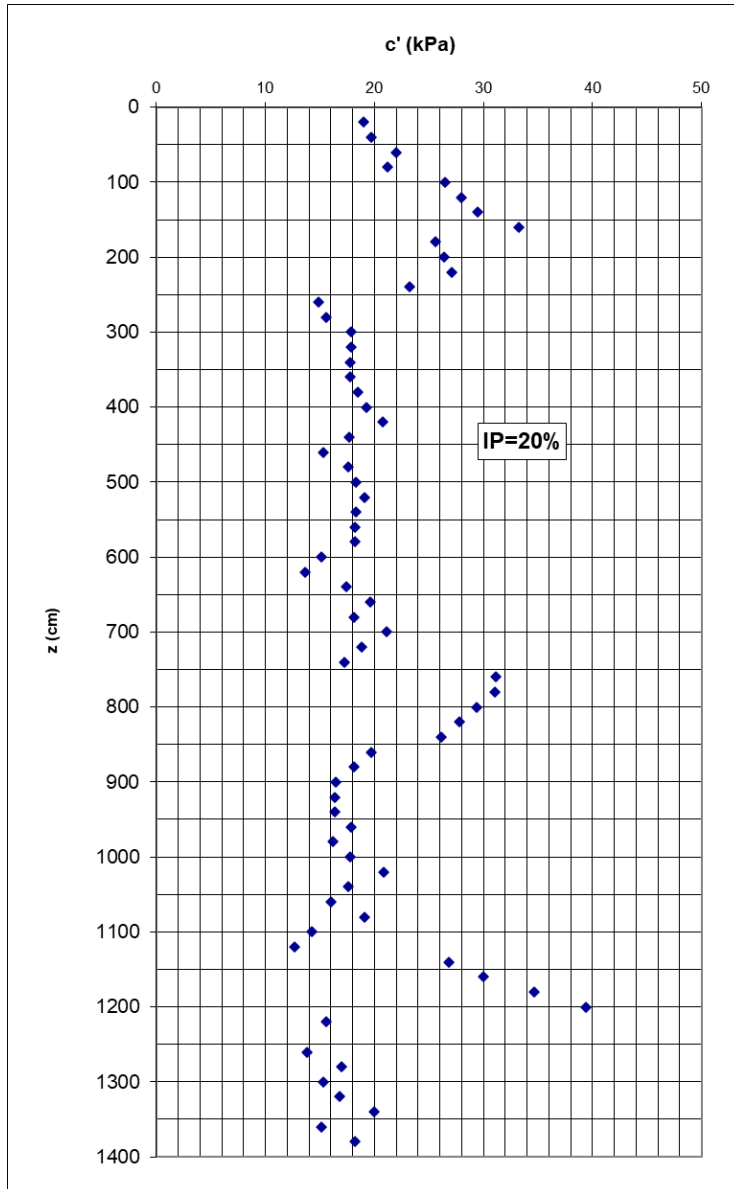
7.7.3.2 COESIONE EFFICACE C' DA CPT



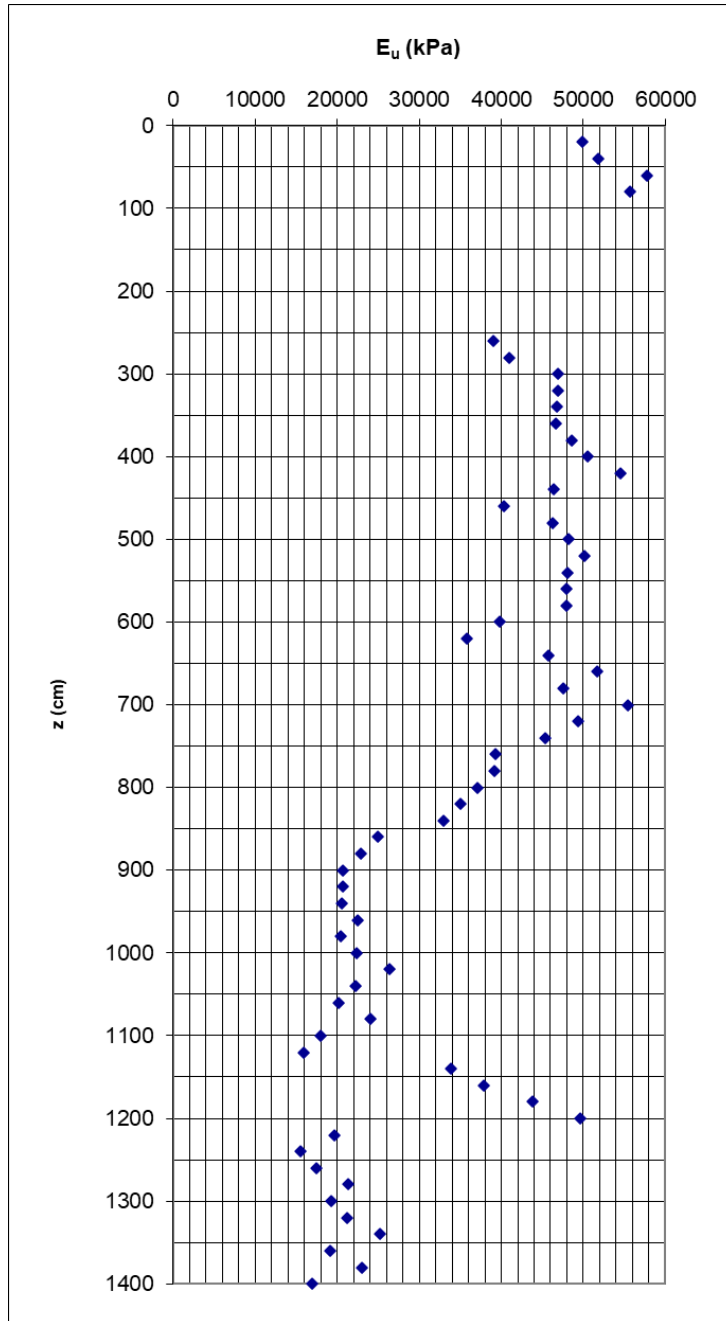
7.7.3.3 MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO)



7.7.3.4 COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT

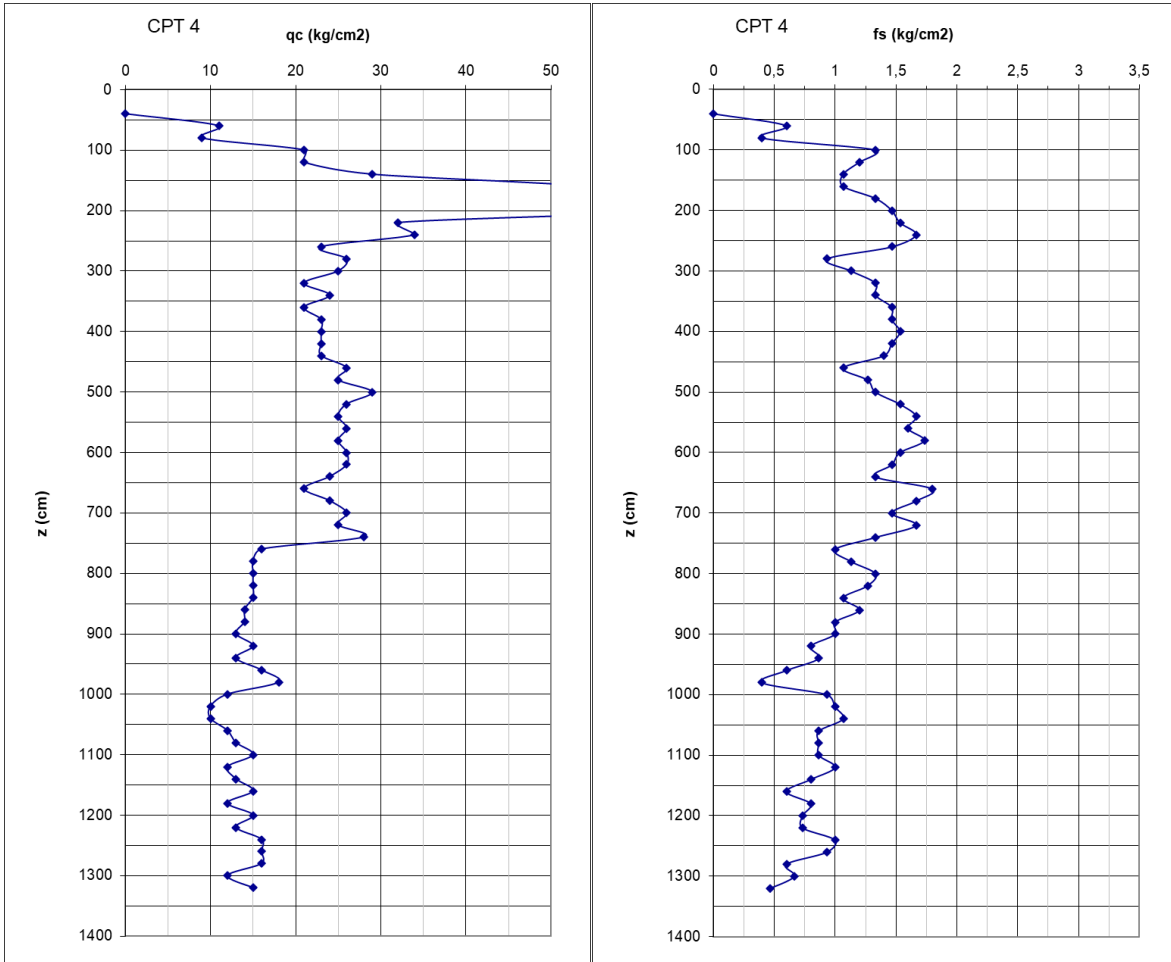


7.7.3.5 MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT

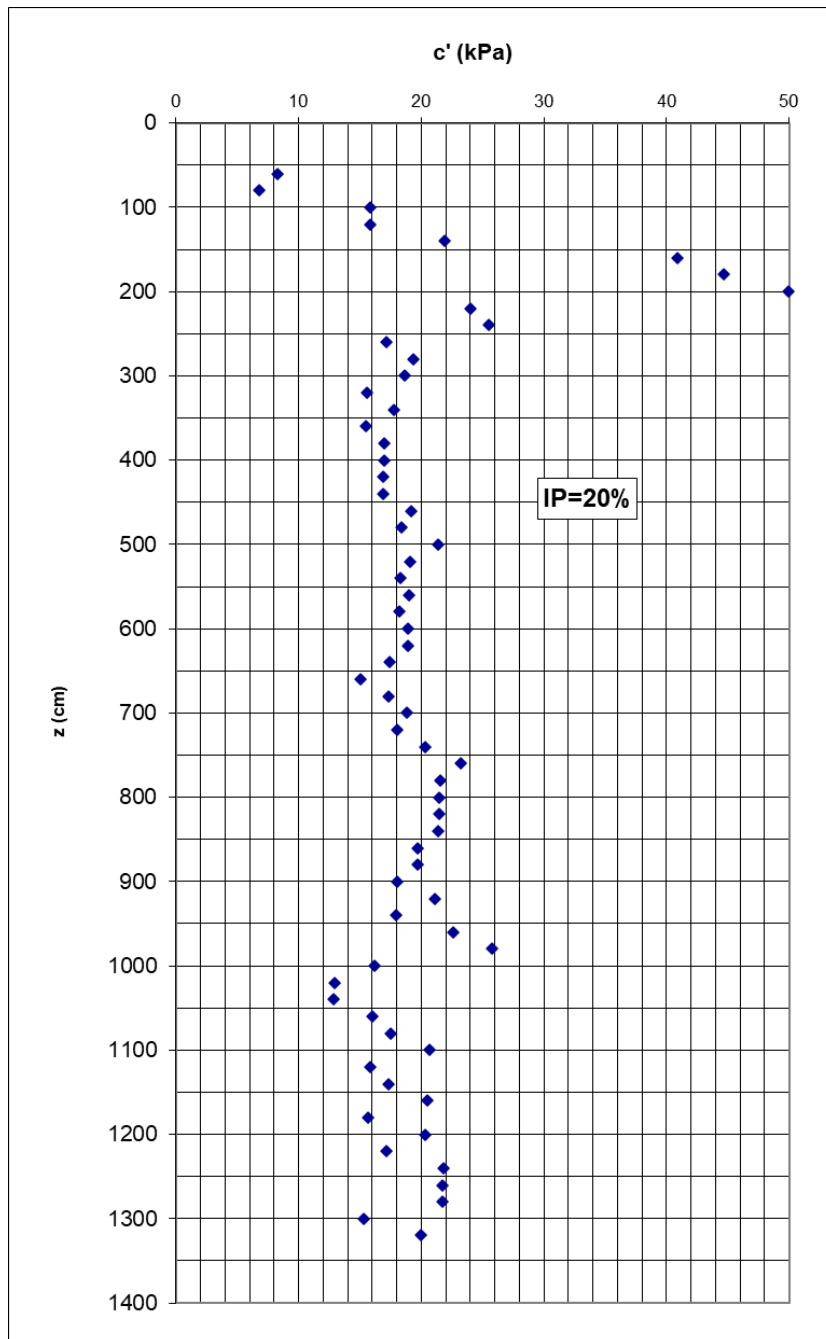


7.7.4 CPT 4

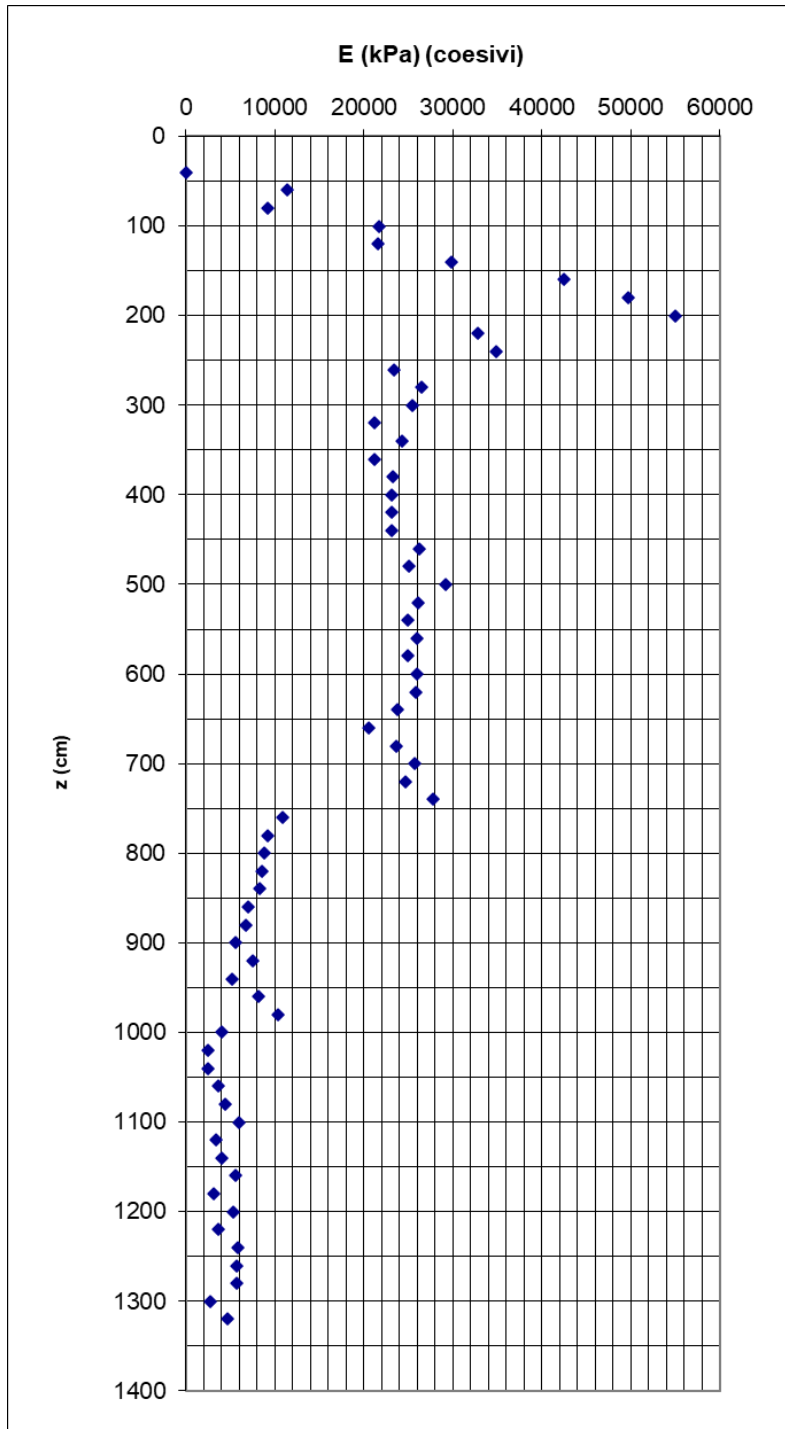
7.7.4.1 QC/FS



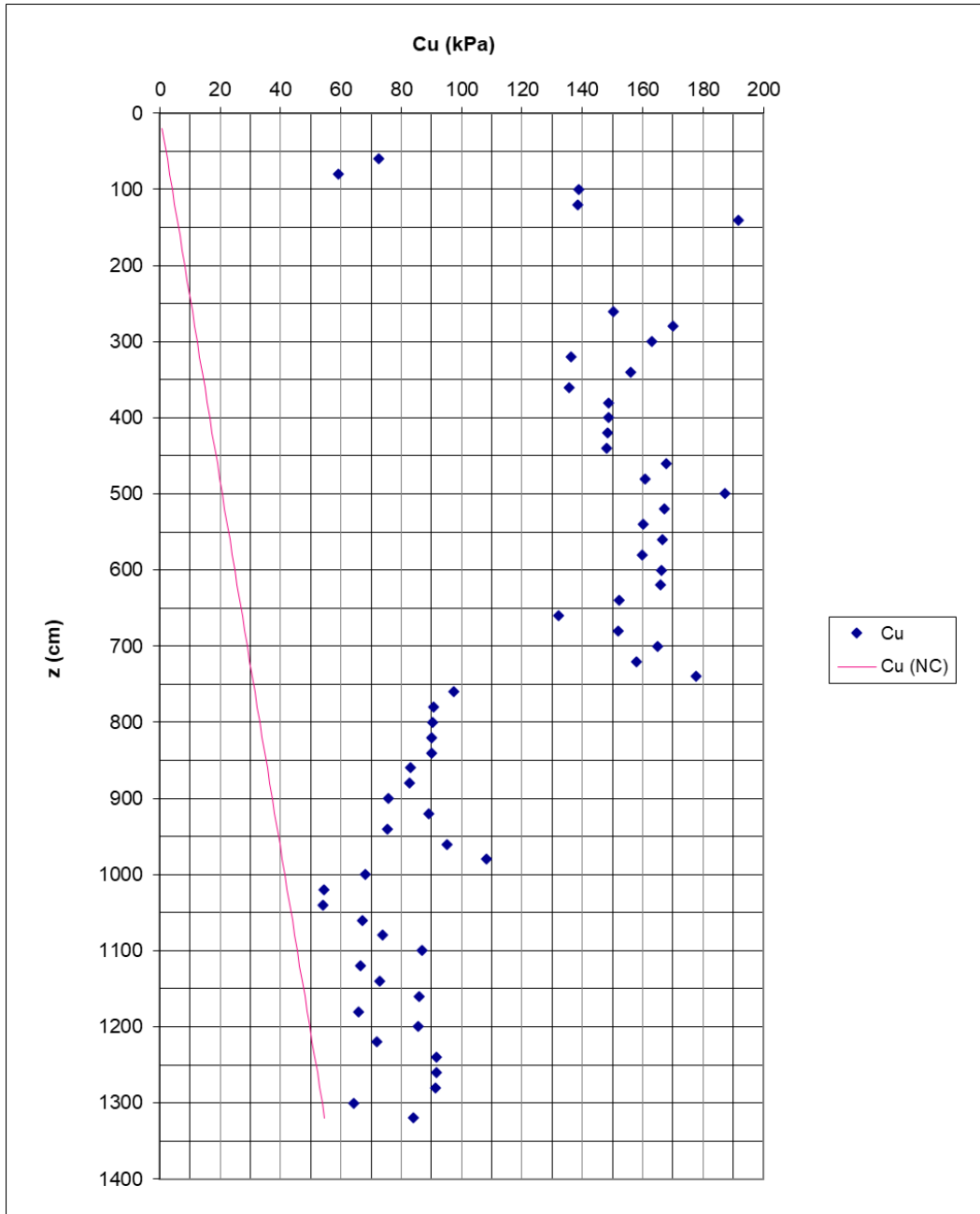
7.7.4.2 COESIONE EFFICACE C' DA CPT



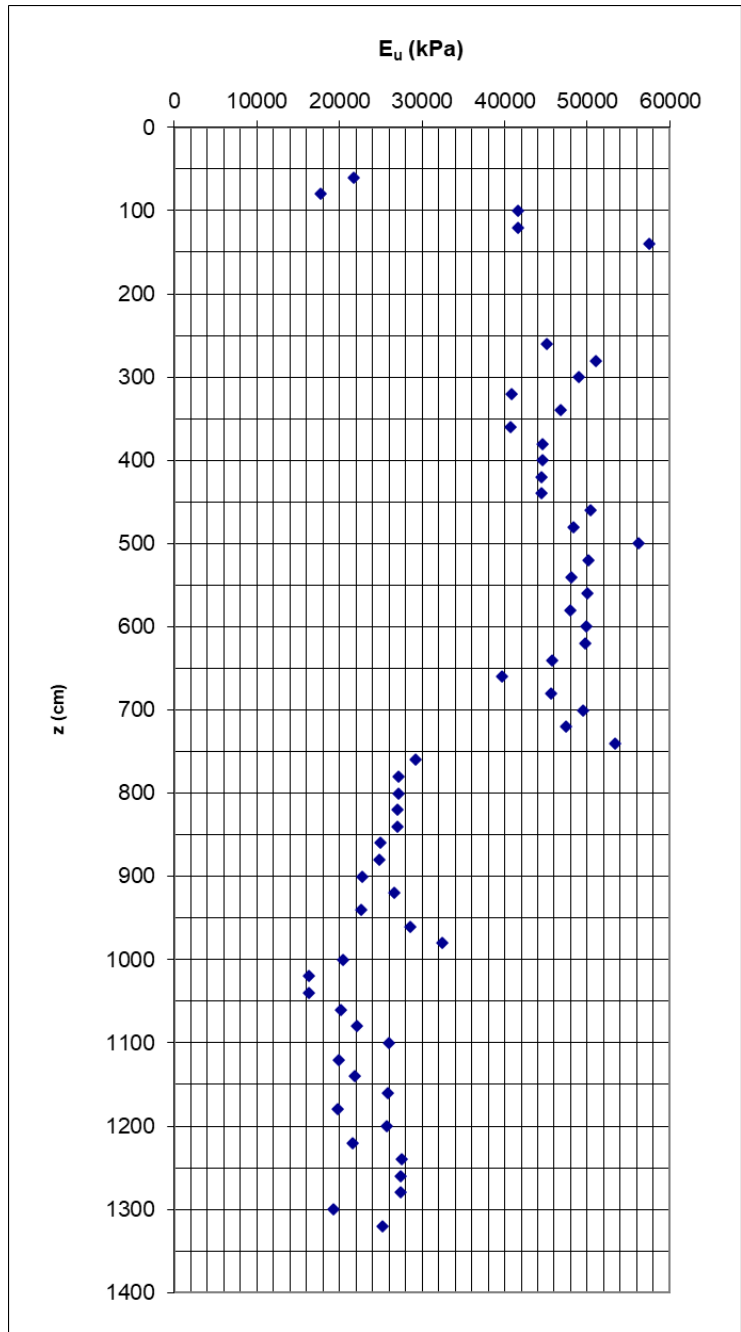
7.7.4.3 MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO)



7.7.4.4 COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT

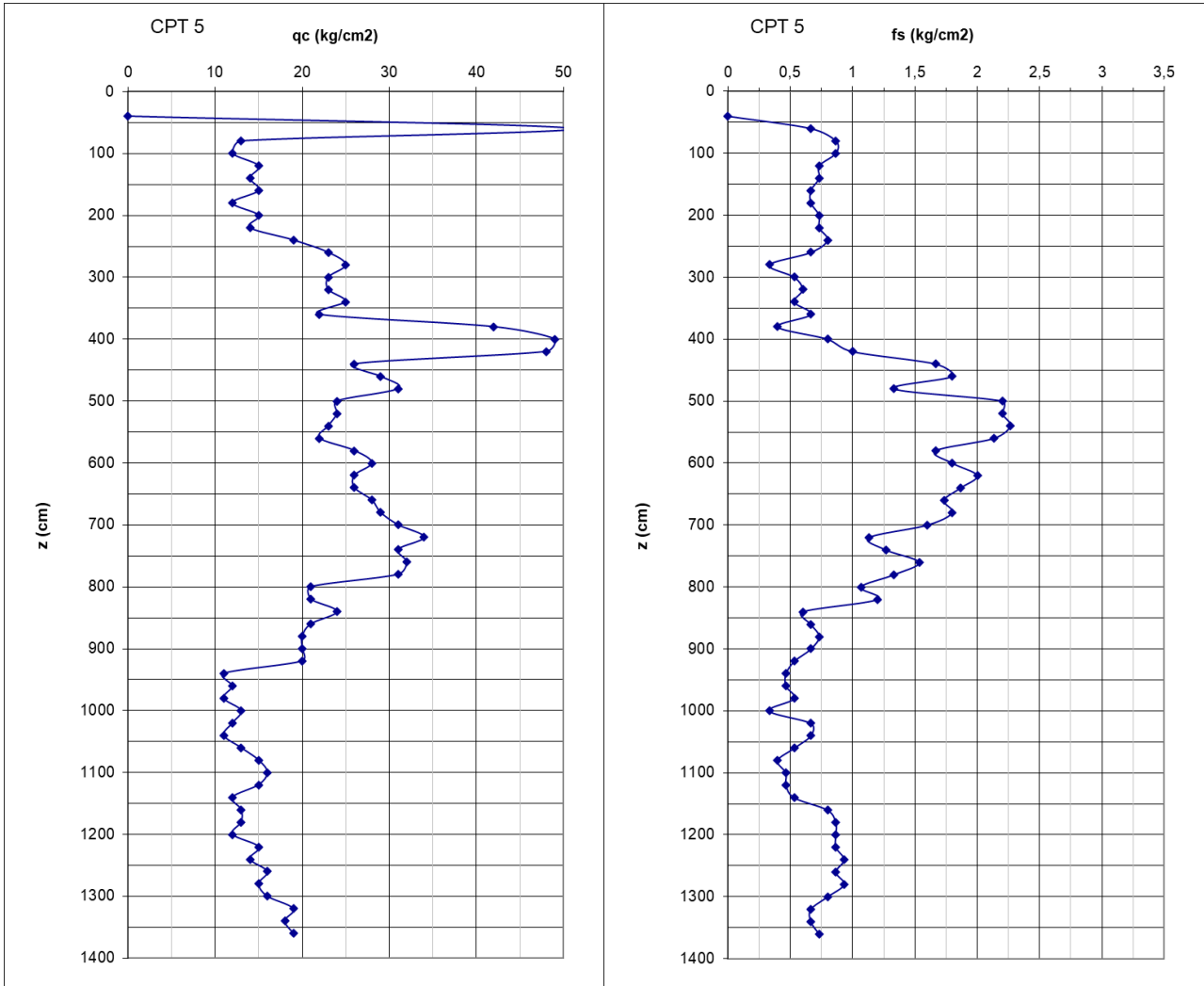


7.7.4.5 MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT

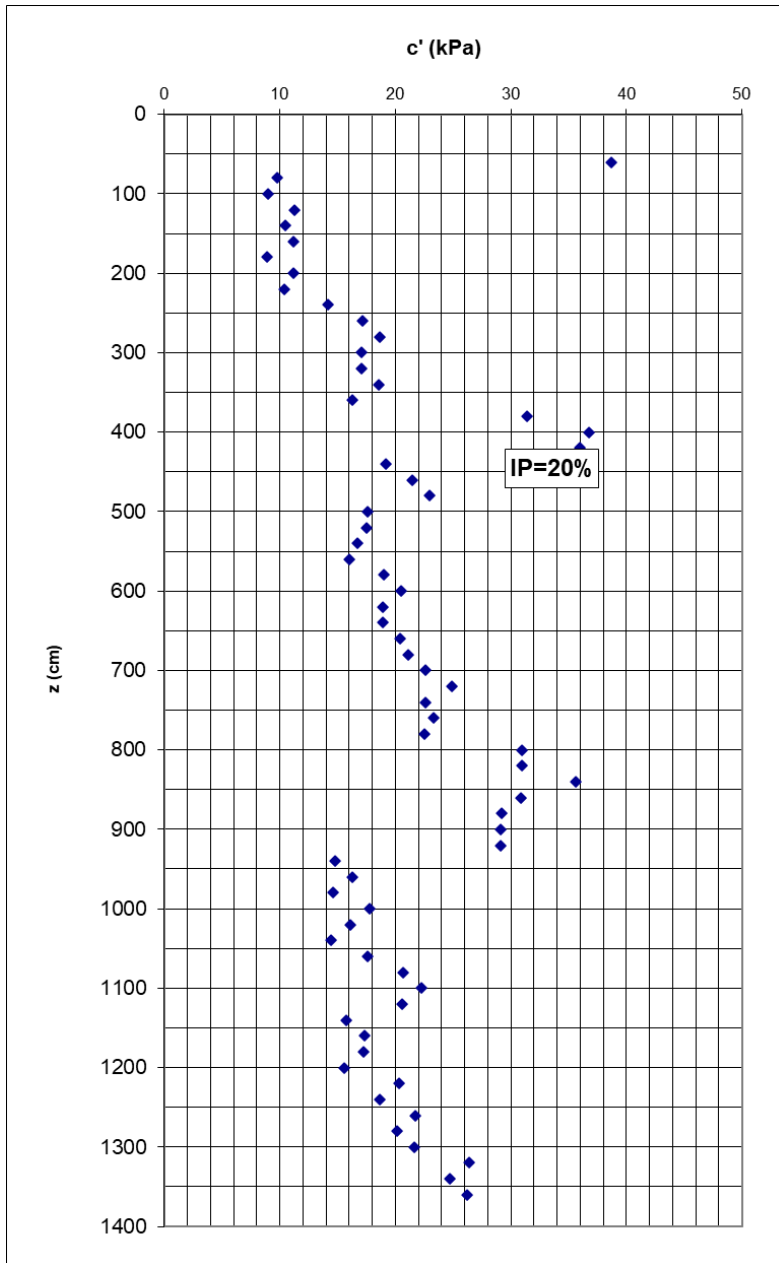


7.7.5 CPT 5

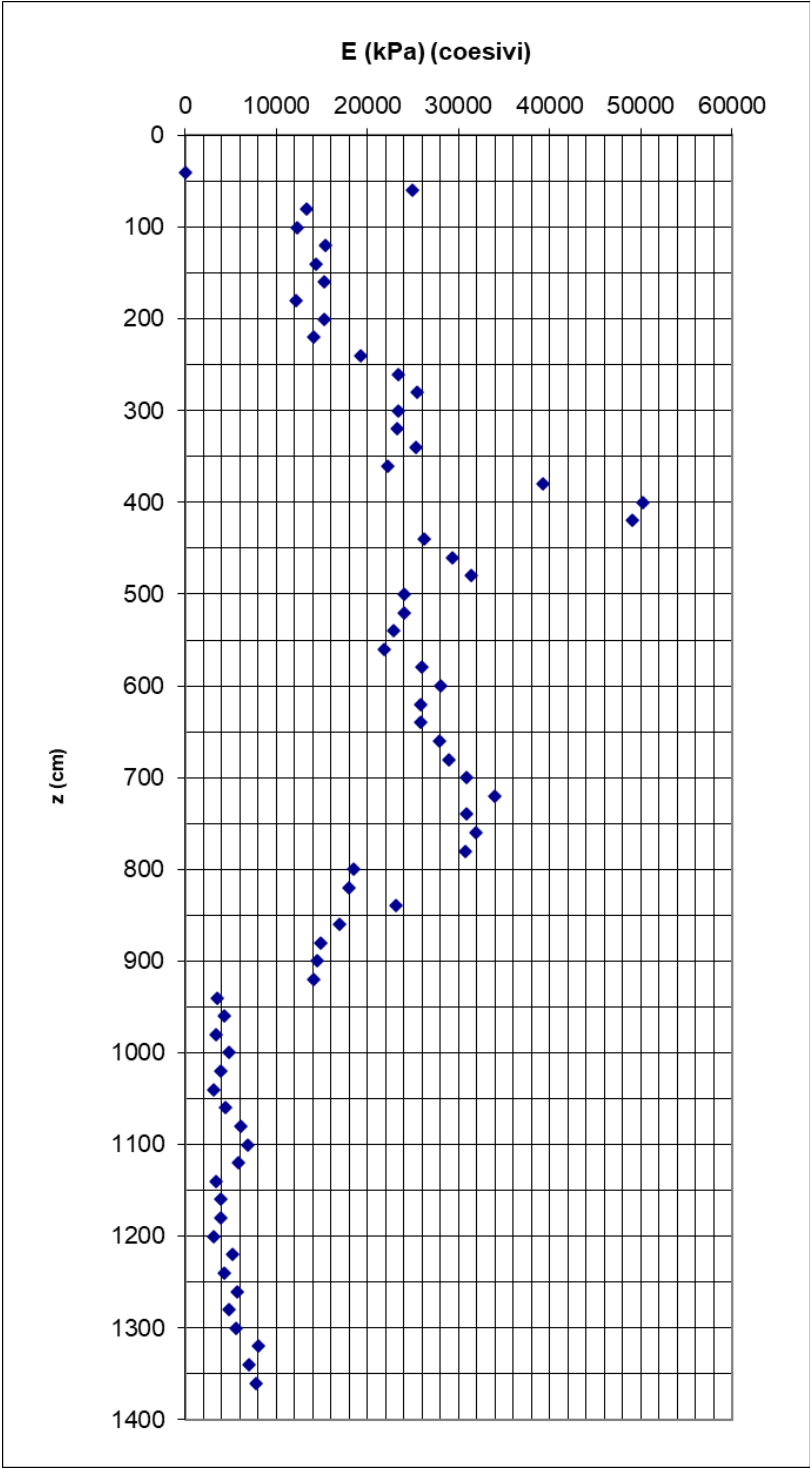
7.7.5.1 QC/FS



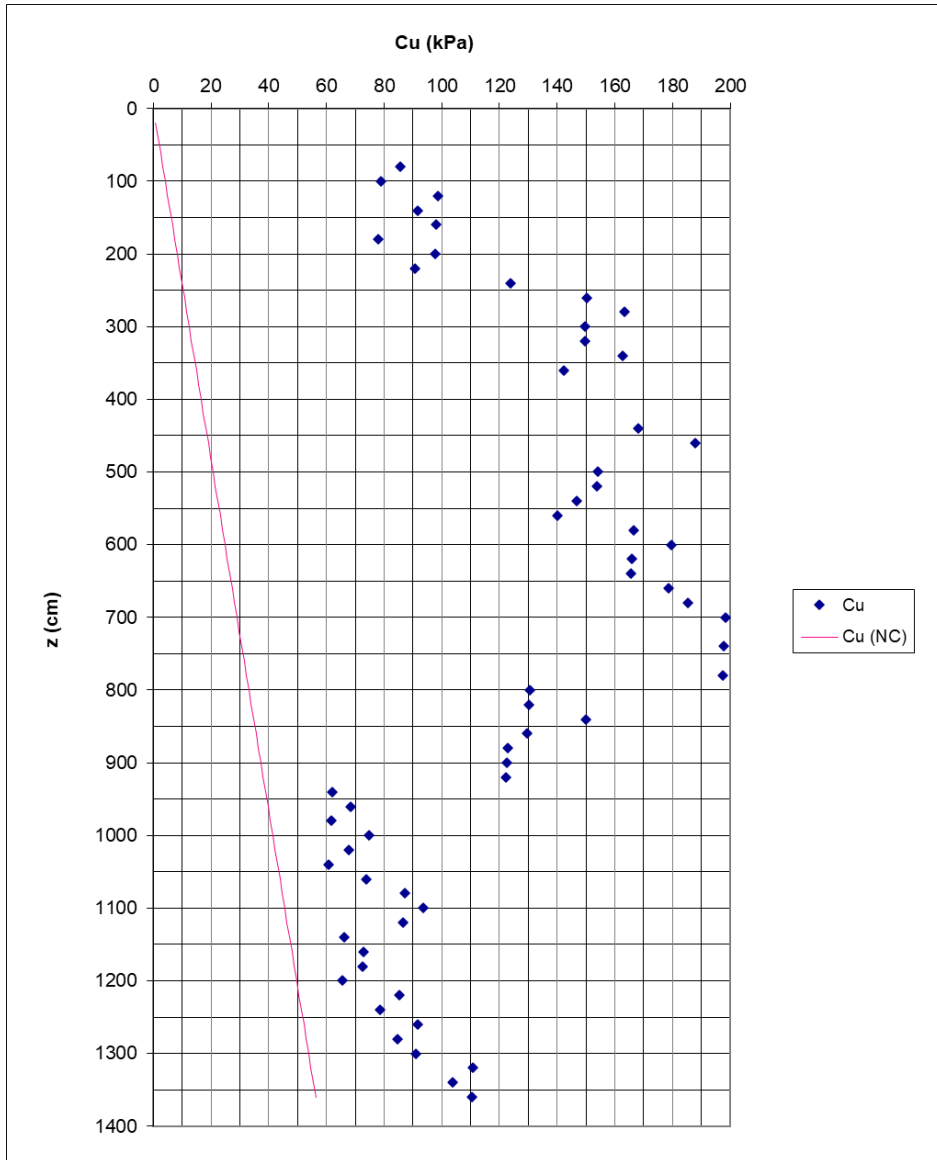
7.7.5.2 COESIONE EFFICACE C' DA CPT



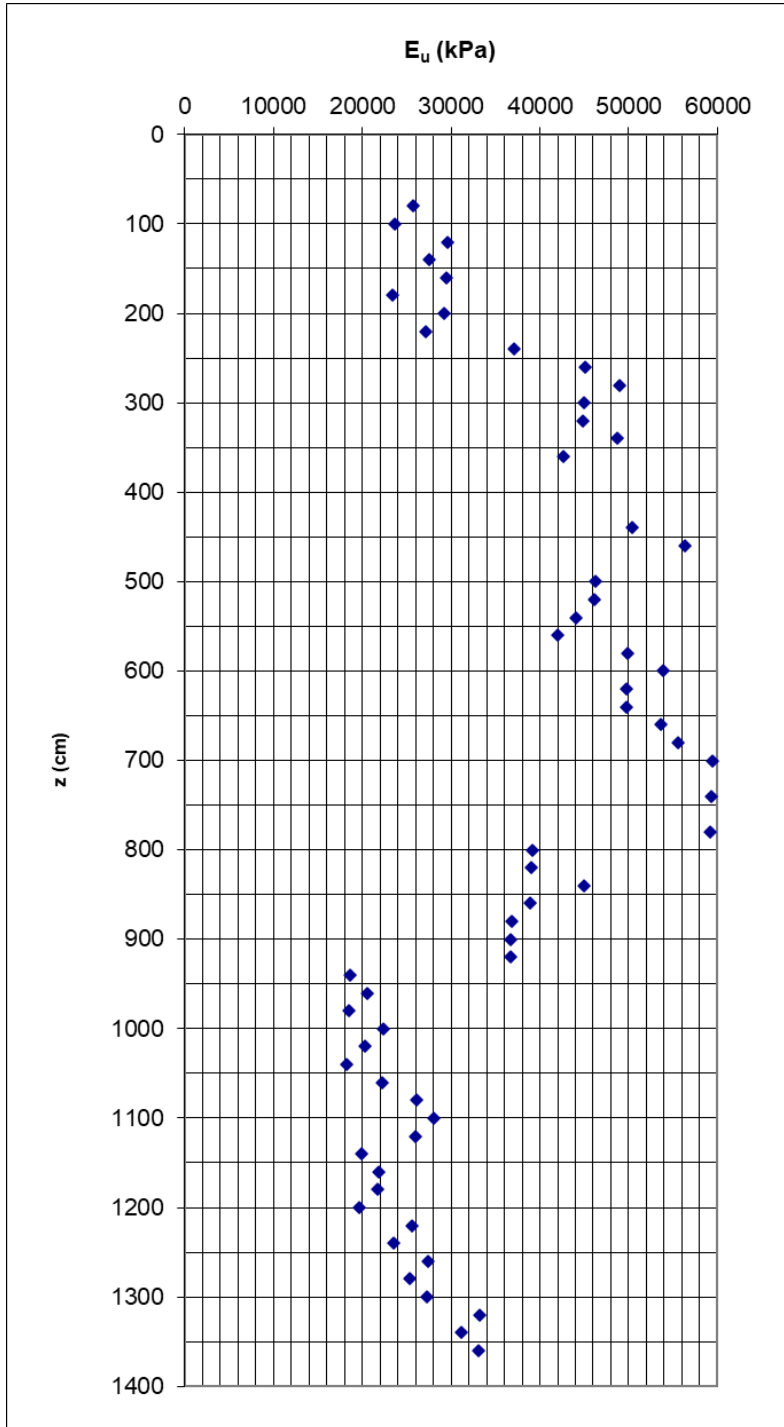
7.7.5.3 MODULO ELASTICO E (TERRENO COESIVO)



7.7.5.4 COESIONE NON DRENATA (CU) DA CPT



7.7.5.5 MODULO ELASTICO NON DRENATO (EU) DA CPT



7.8 PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE

Di seguito viene riportato il metodo interpretativo delle prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguite in foro di sondaggio.

DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (mm): d	50
LIVELLO FREATICO (m): F	2,00
PIANO CAMPAGNA (m): I	-0,30

TRATTO INDAGATO

Superiore (m): L	0,50	Lunghezza interessata (m): h	0,50
Inferiore (m): P	0,50		

DATI

Tempo (min.): t	30,0	Tempo (s):	1800
Profondità iniziale (m.): Hi			0,20
Profondità finale (m.): Hf			0,20
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGIO (m):			0,05

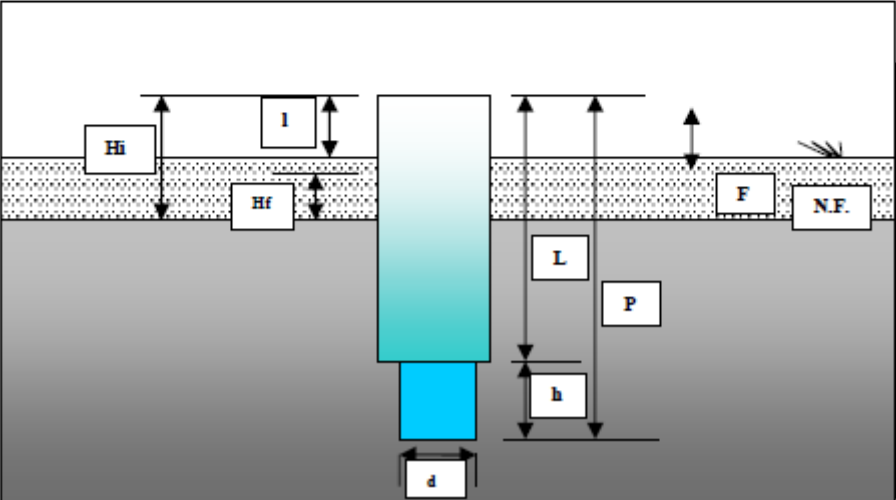
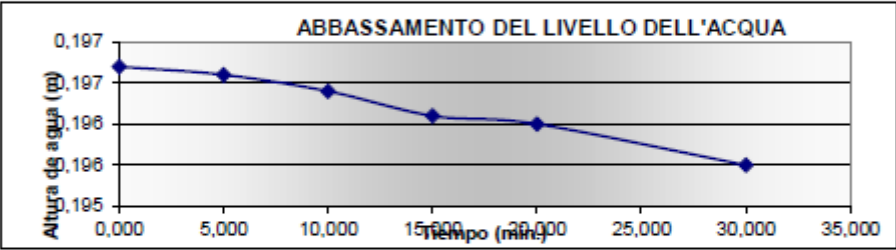
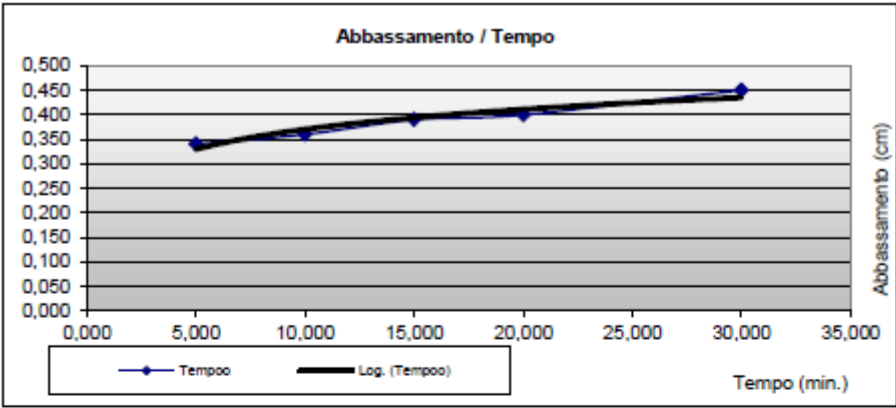
Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,000	0,000	0,330	0,330	0,197
5,000	5,000	0,340	0,010	0,197
10,000	5,000	0,360	0,020	0,196
15,000	5,000	0,390	0,030	0,196
20,000	5,000	0,400	0,010	0,196
30,000	10,000	0,450	0,050	0,196

RISULTATI

PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	6,3653E-09
-----------------------	-----------	------------

*Jiménez Salas
(1981).*

per $h/d > 4$:
$$K = \frac{(d)^2 \cdot \text{Ln} \left(\frac{2h}{d} \right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot \text{Ln} \frac{H_i}{H_f}$$



8 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

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

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

Tabella 1: Stratigrafia area d'interesse.

9 SISMICITA'

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

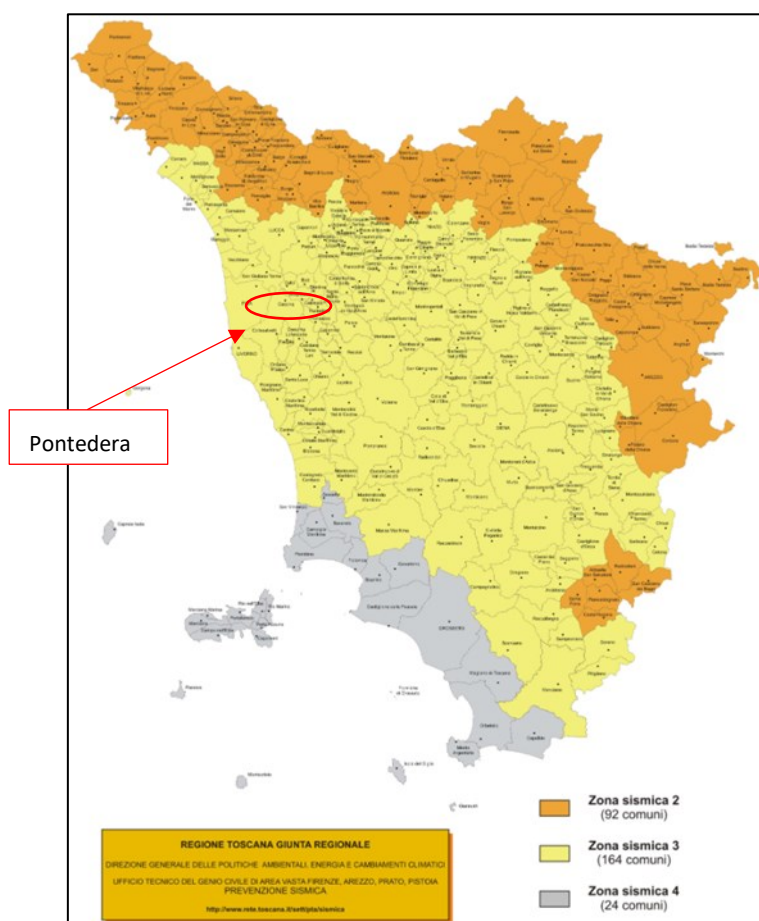


Figura 15: Classificazione sismica dei comuni della Toscana

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.

Zona sismica 3	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.

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.	ag > 0,25 g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	0,15 < ag ≤ 0,25 g	0,25 g	2.230
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	0,05 < ag ≤ 0,15 g	0,15 g	2.815
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	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**.

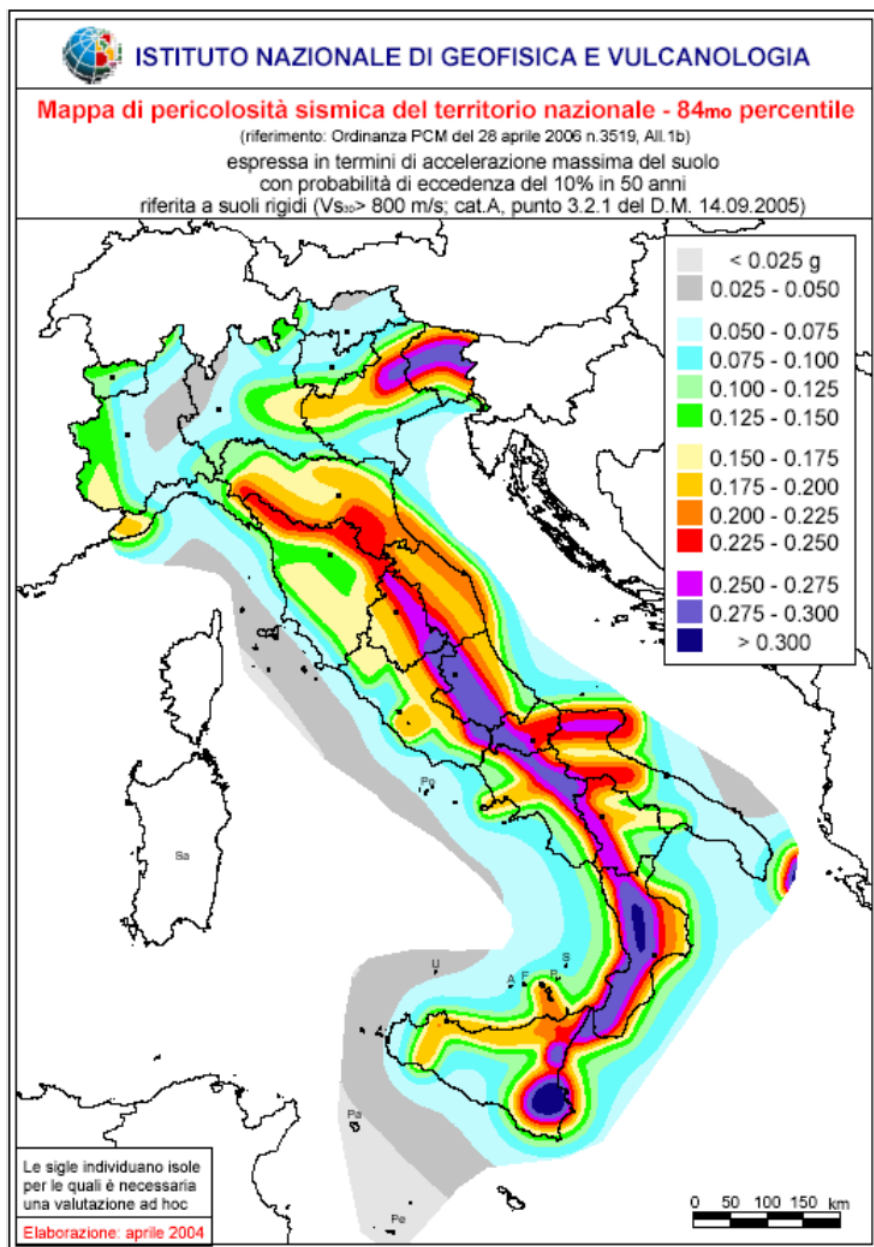


Figura 16: All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

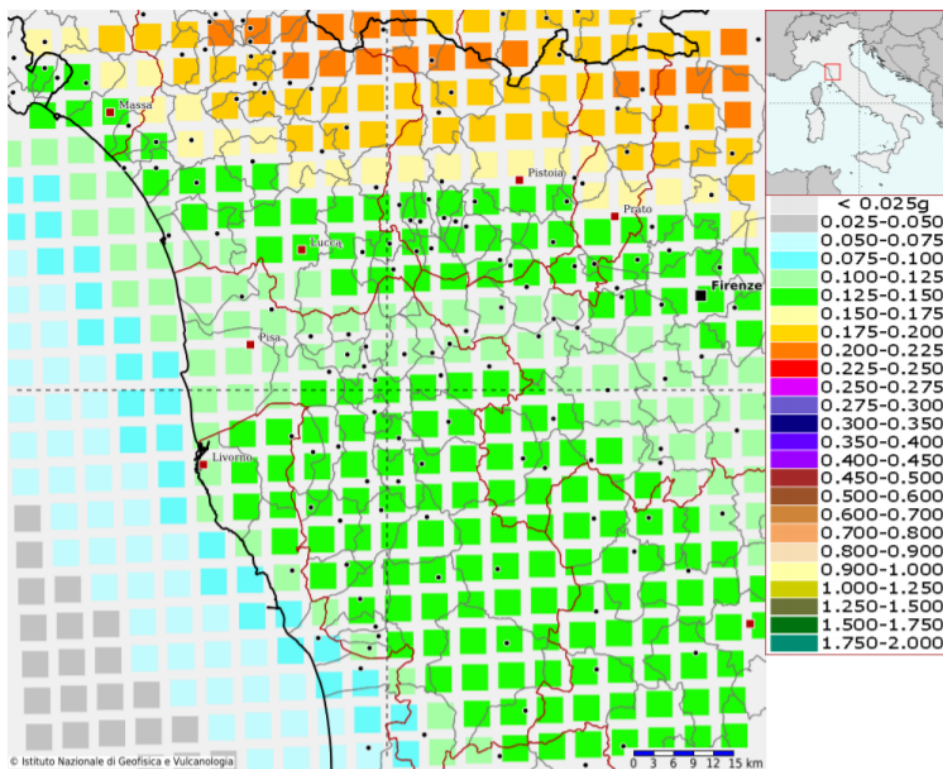
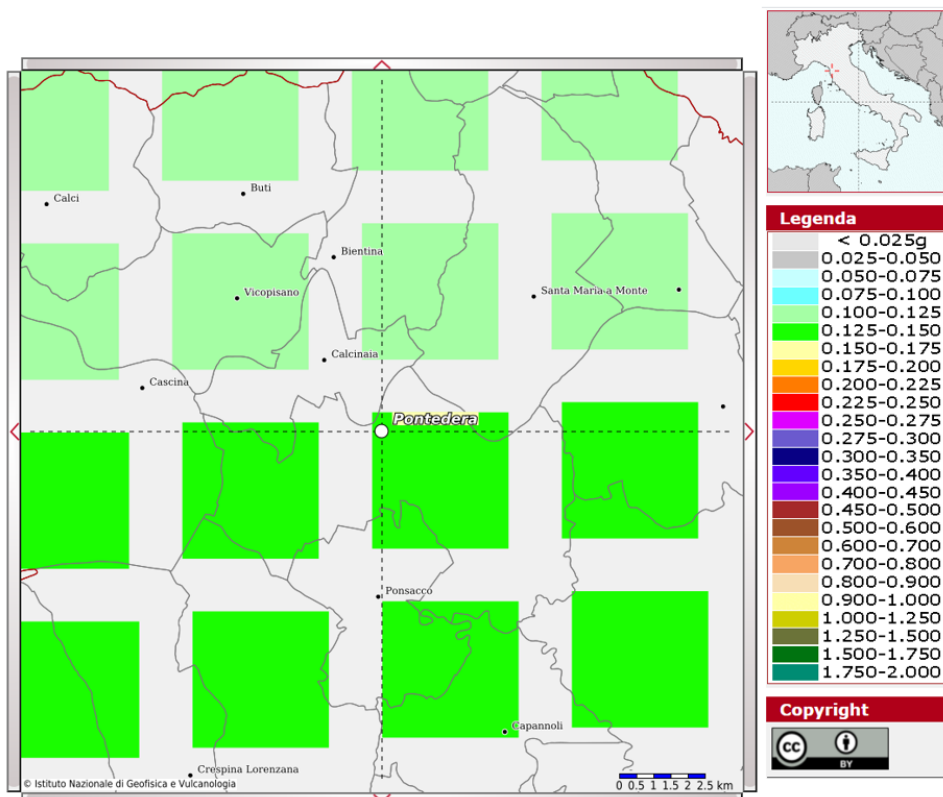


Figura 17:INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Pontedera

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.

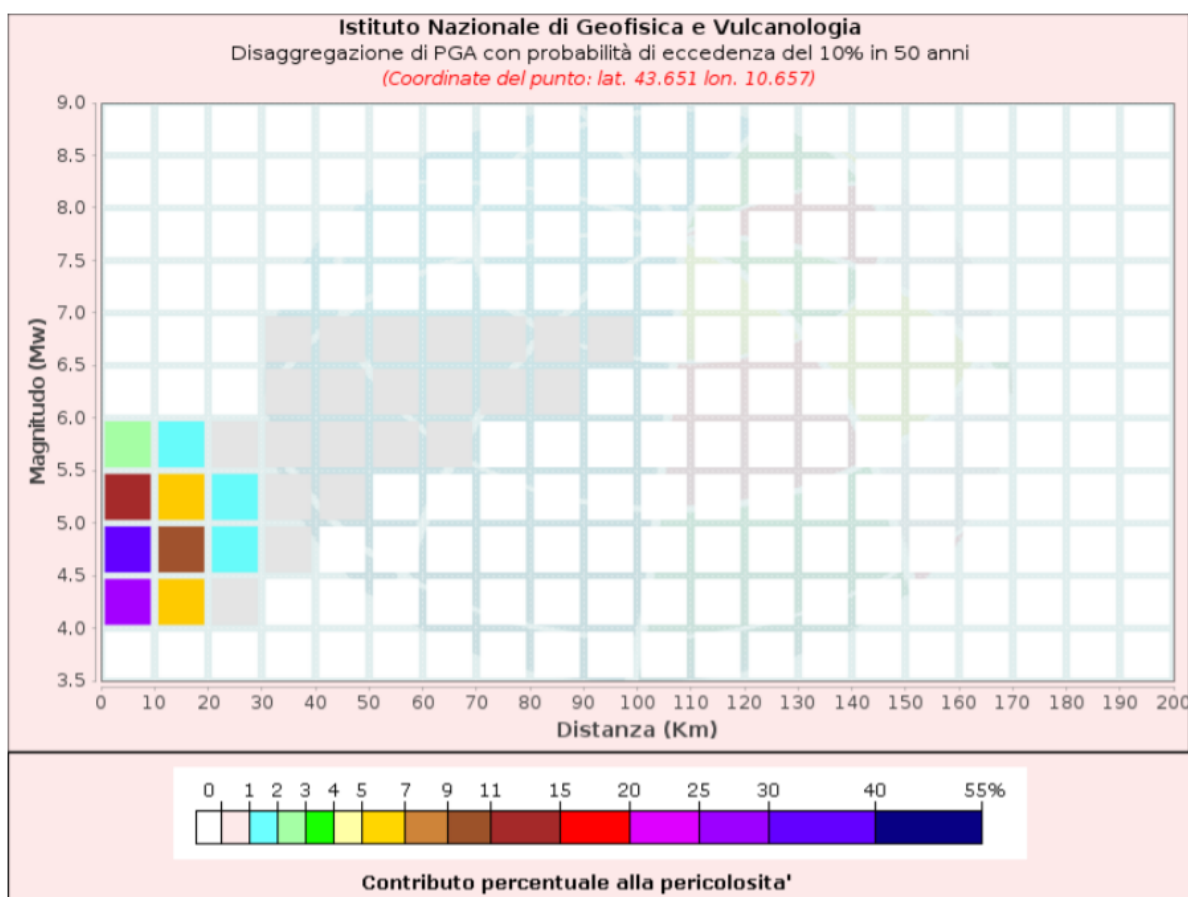


Figura 18: Disaggregazione del valore $a(g)$ con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

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

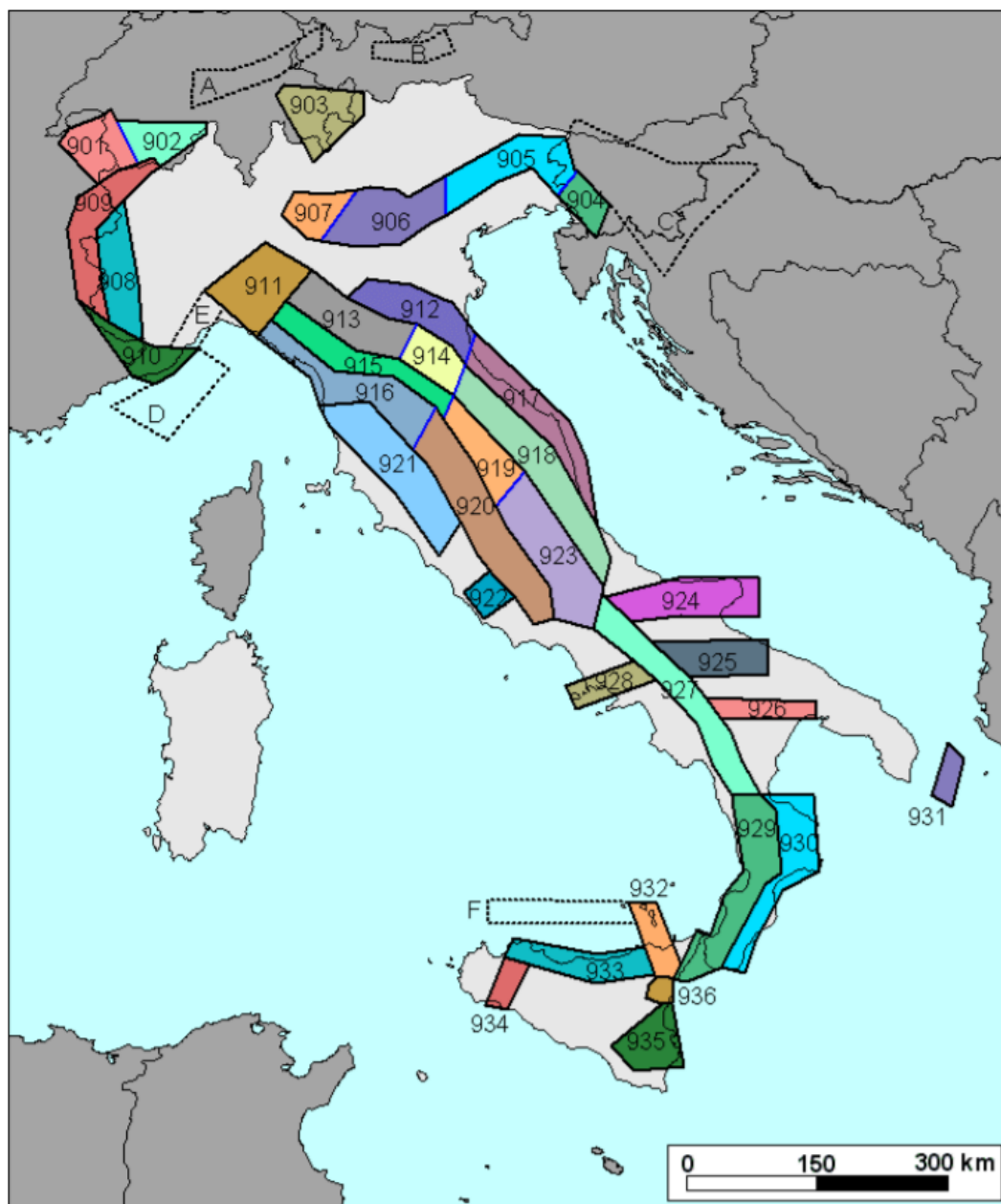


Figura 20: Zonazione sismogenetica ZS9

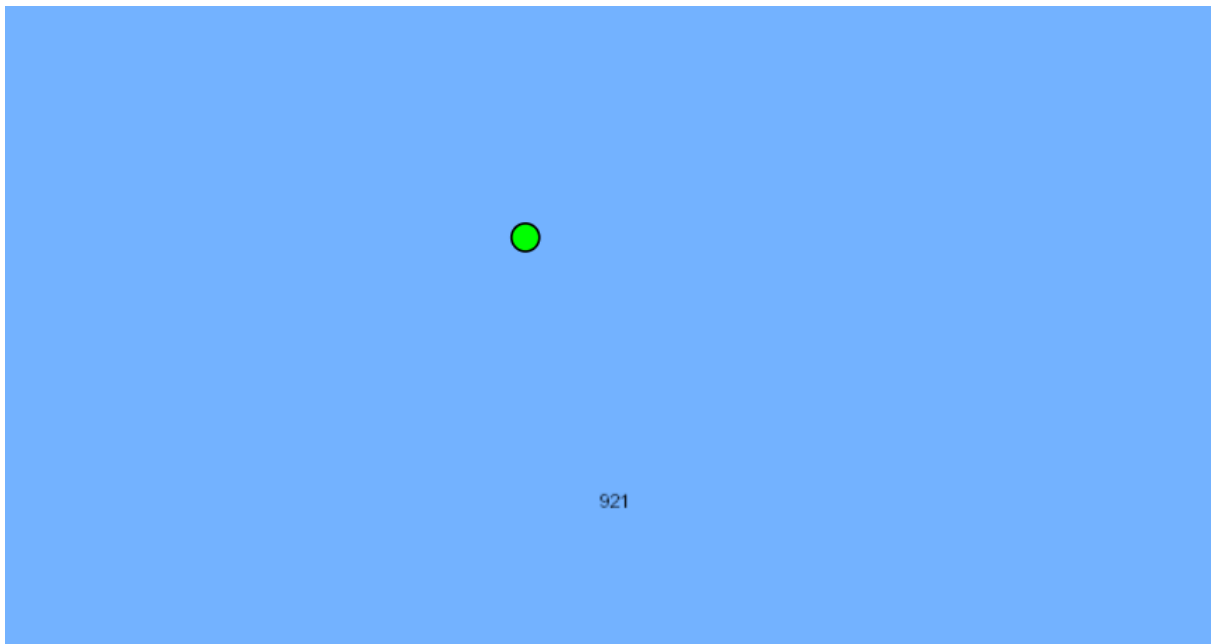


Figura 21: zonazione sismogenetica ZS9, dove l'area d'interesse è evidenziata da un cerchio verde.

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.

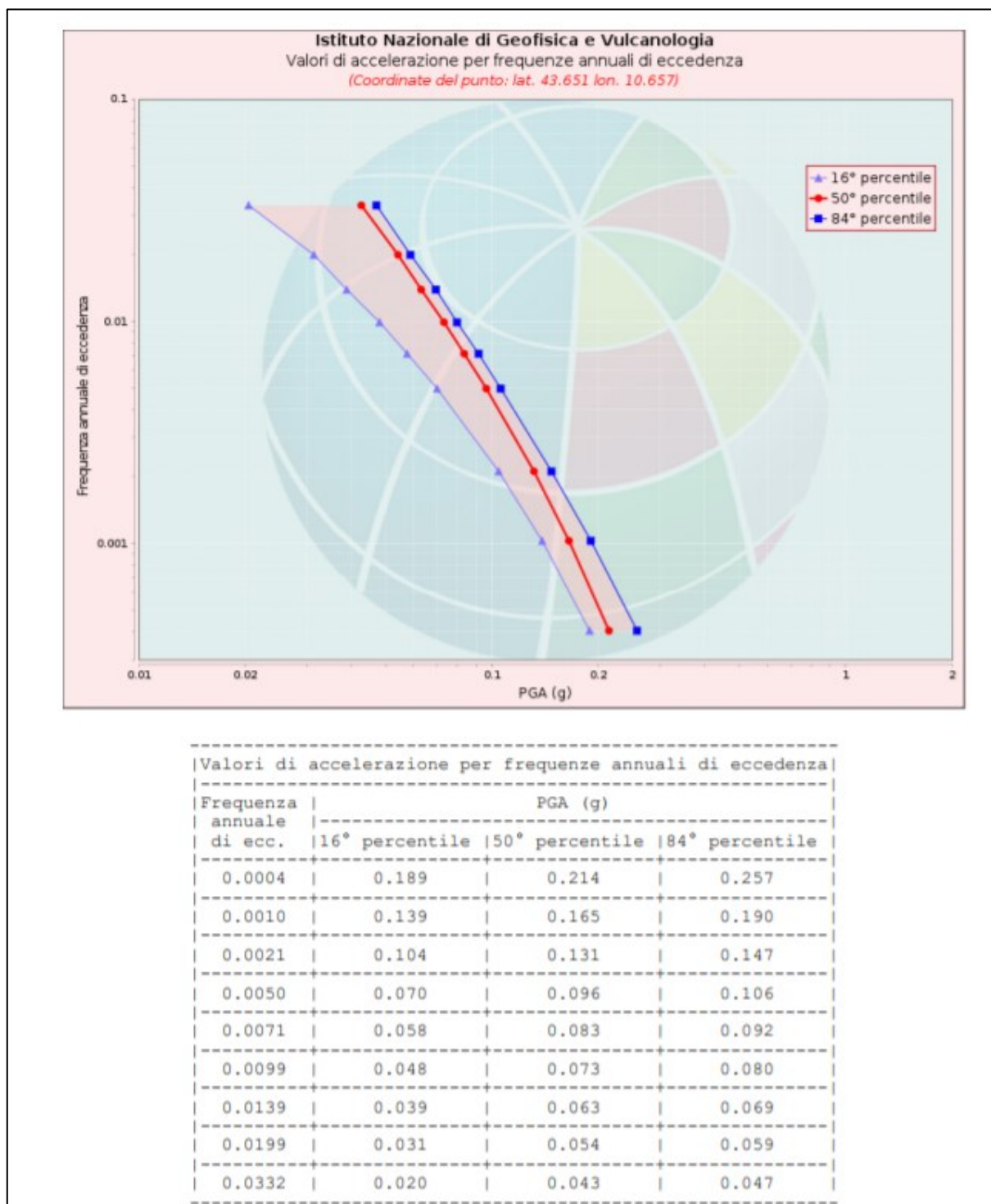


Figura 22: Curve di pericolosità

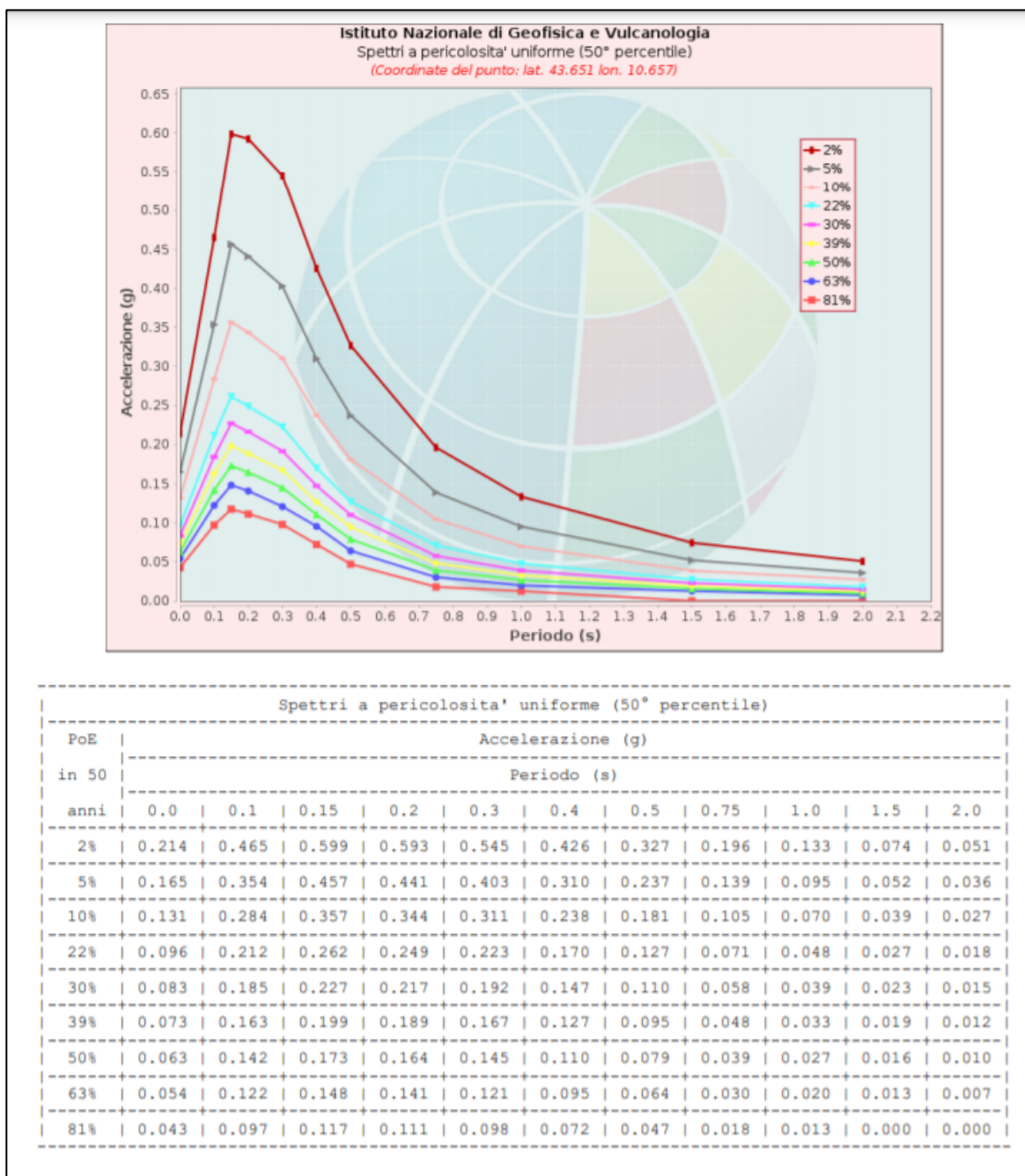


Figura 23: Spettri a pericolosità uniforme

9.2 CPTI15-DBMI15 V 2.0

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

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

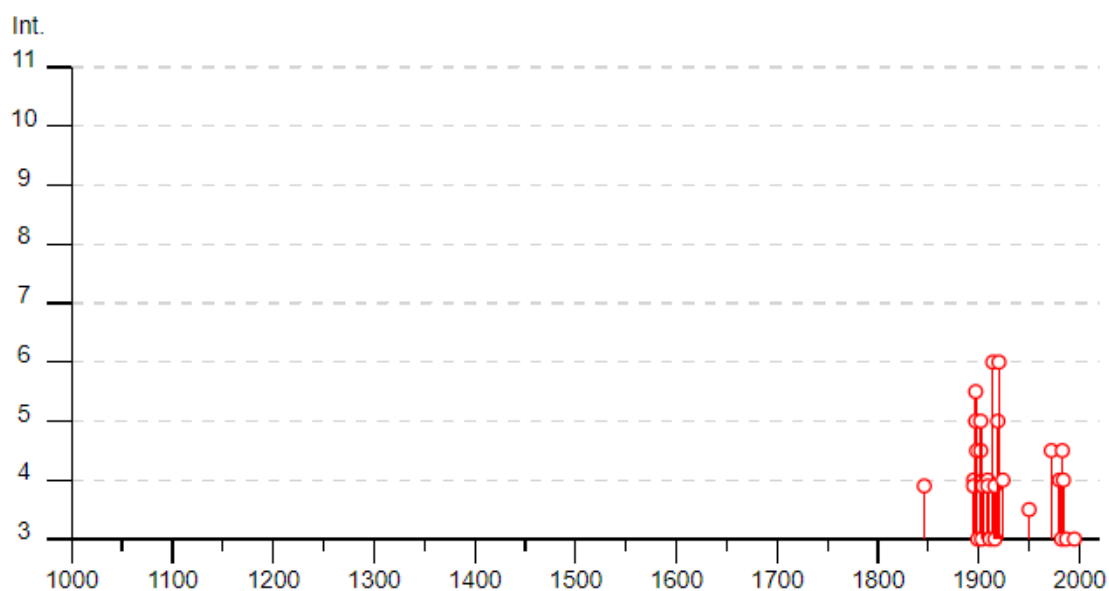
Il DBMI v2.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2017. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

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

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

Pontedera

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



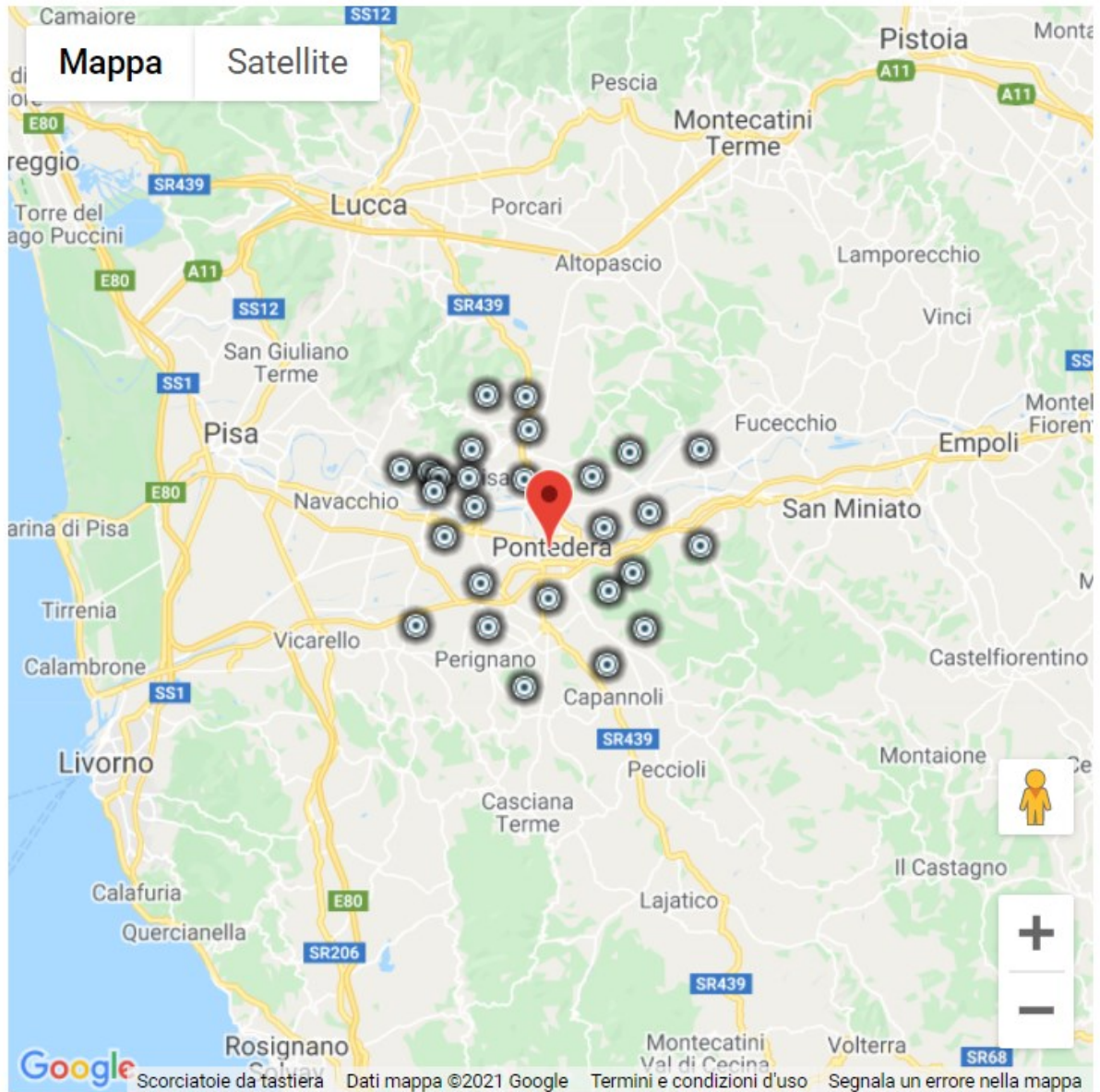
► Personalizza il diagramma

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

6	🔗	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
3	🔗	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
F	🔗	1916 08 16 07 06 14	Riminese	257	8	5.82
5	🔗	1919 06 29 15 06 13	Mugello	565	10	6.38
6	🔗	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	750	10	6.53
4	🔗	1924 06 12 21 03 48	Frignano	25	5-6	4.46
2	🔗	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
3-4	🔗	1950 04 01	Livornese	15	6	4.99
4-5	🔗	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	🔗	1980 06 07 18 35 01	Garfagnana	102	6-7	4.64
3	🔗	1982 09 01 15 33 18	Valle del Serchio	47	5-6	4.21
4-5	🔗	1983 11 09 16 29 52	Parmense	850	6-7	5.04
NF	🔗	1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4	🔗	1984 05 01 22 14 2	Costa pisano-livornese	16	5	3.89
3	🔗	1987 01 22 05 10 5	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
3	🔗	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 24: Dati desunti dalla consultazione del CPT115 e DBMI15 per l'area di Pontedera

9.3 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 25: Ubicazione indagine sismica

9.3.1 RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

9.3.1.1 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.

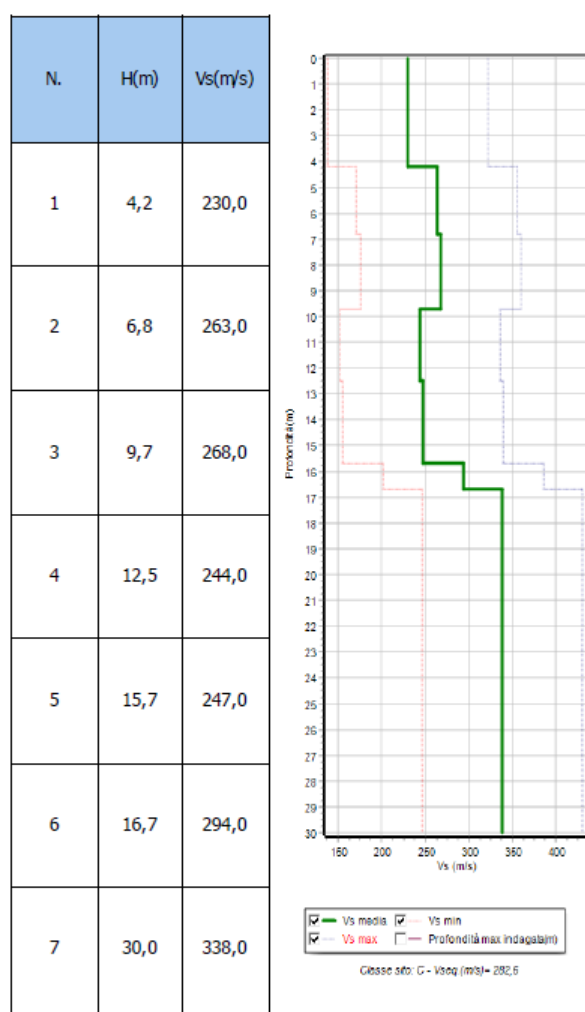


Figura 26: Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella base sismica.

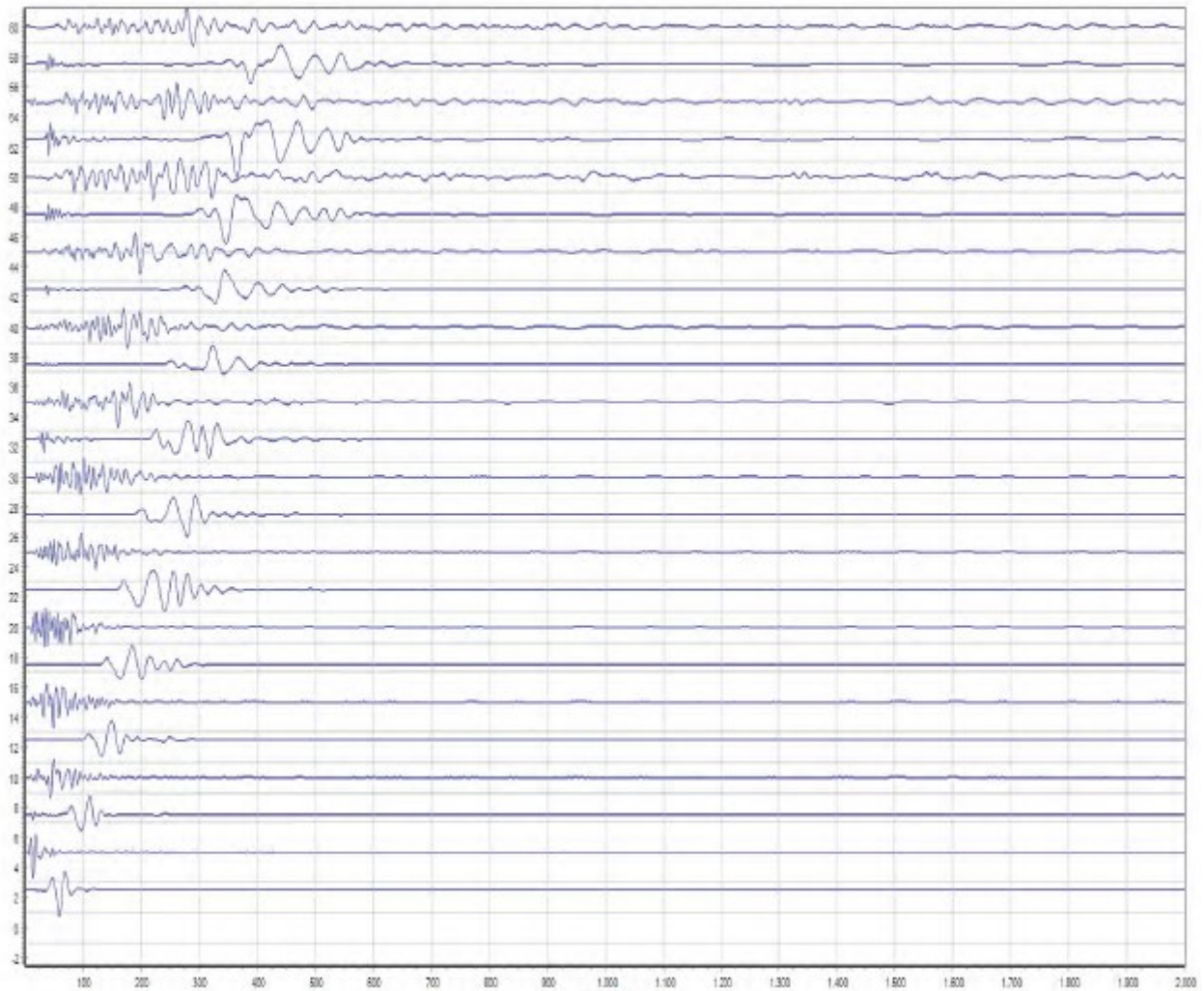


Figura 27: Sismogramma ZVF (onde Rayleigh) base sismica

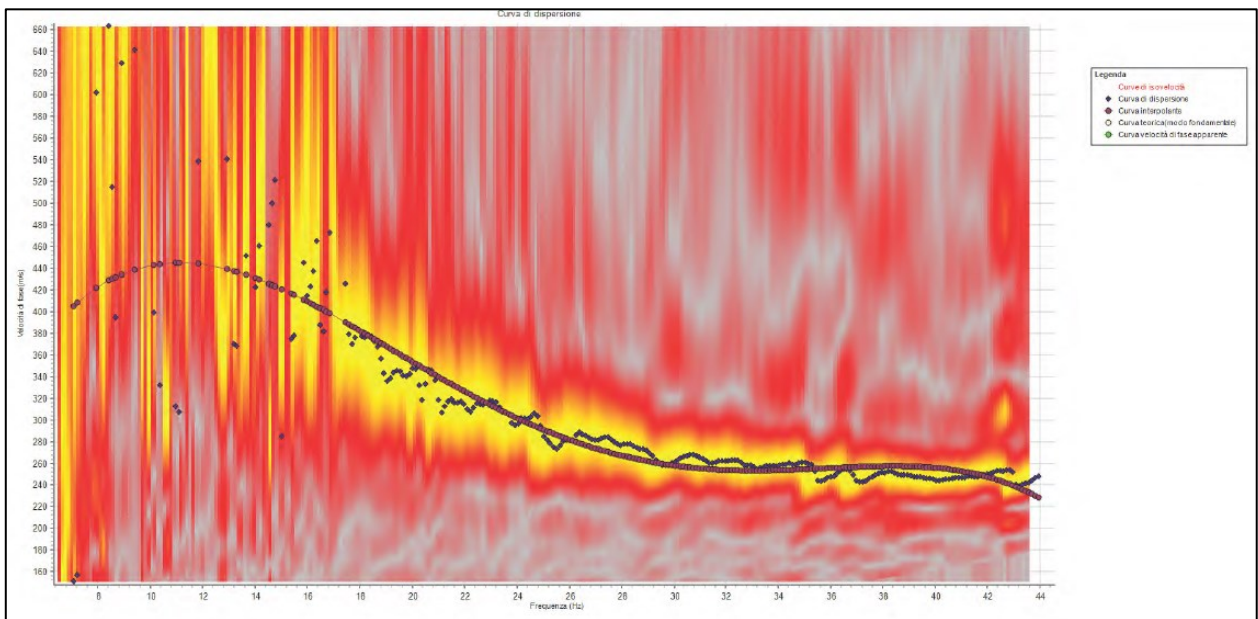
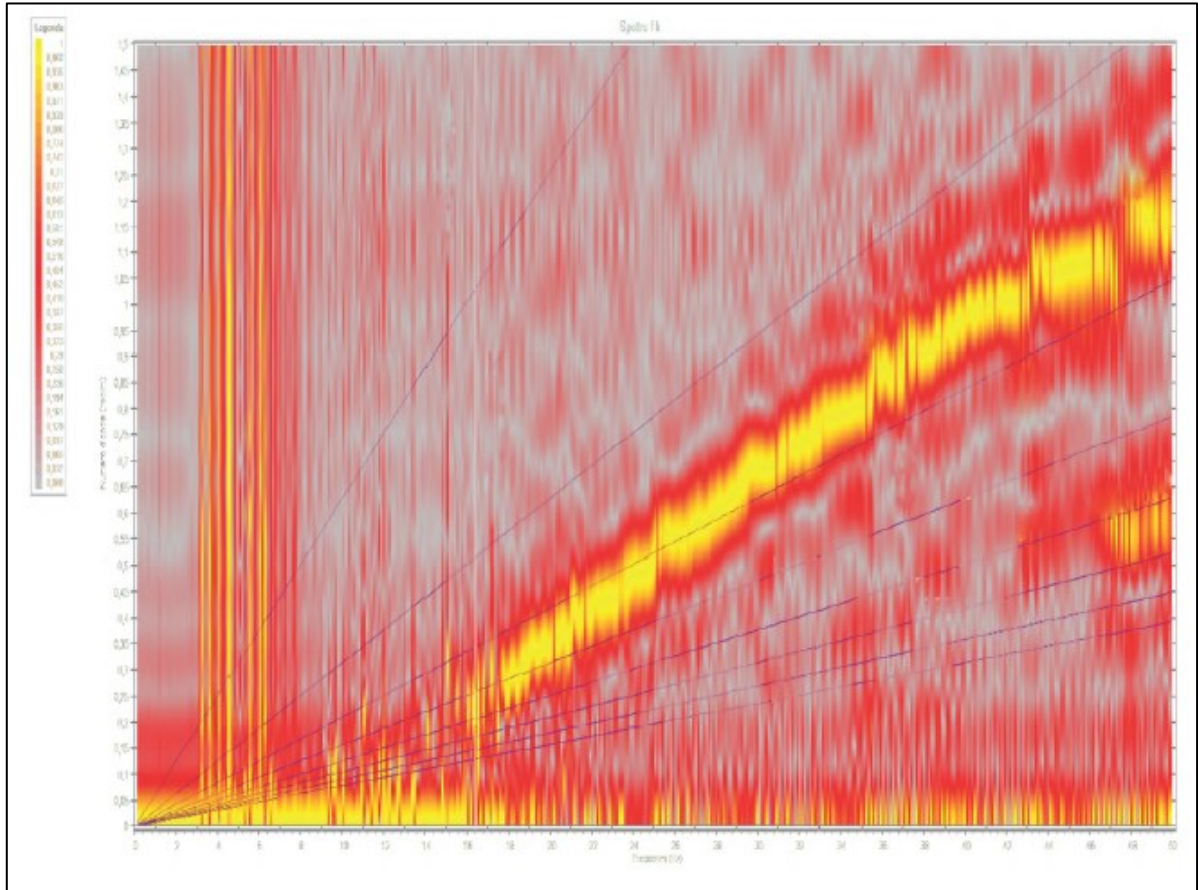


Figura 28: Spettro di velocità base sismica con picking

9.3.2 RISULTATI DELL'INDAGINE HVSR

9.3.2.1 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.

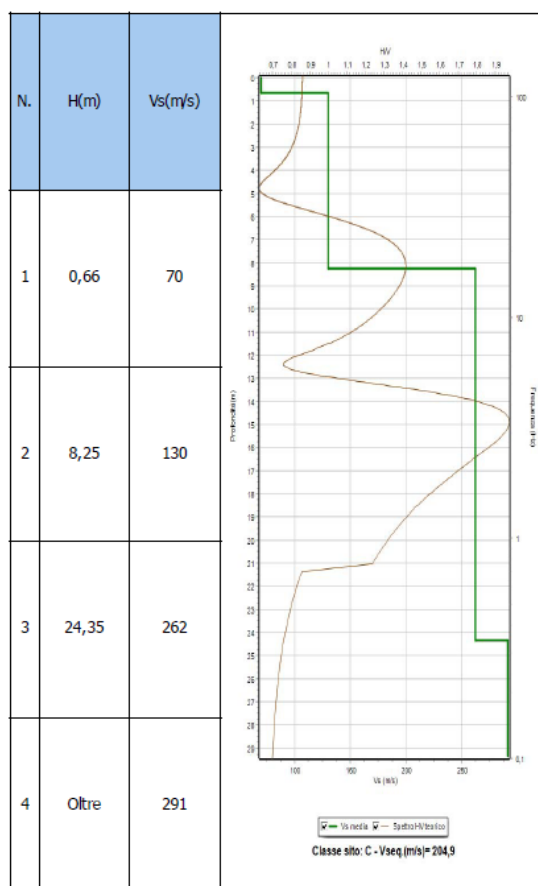


Figura 29: Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella base sismica.

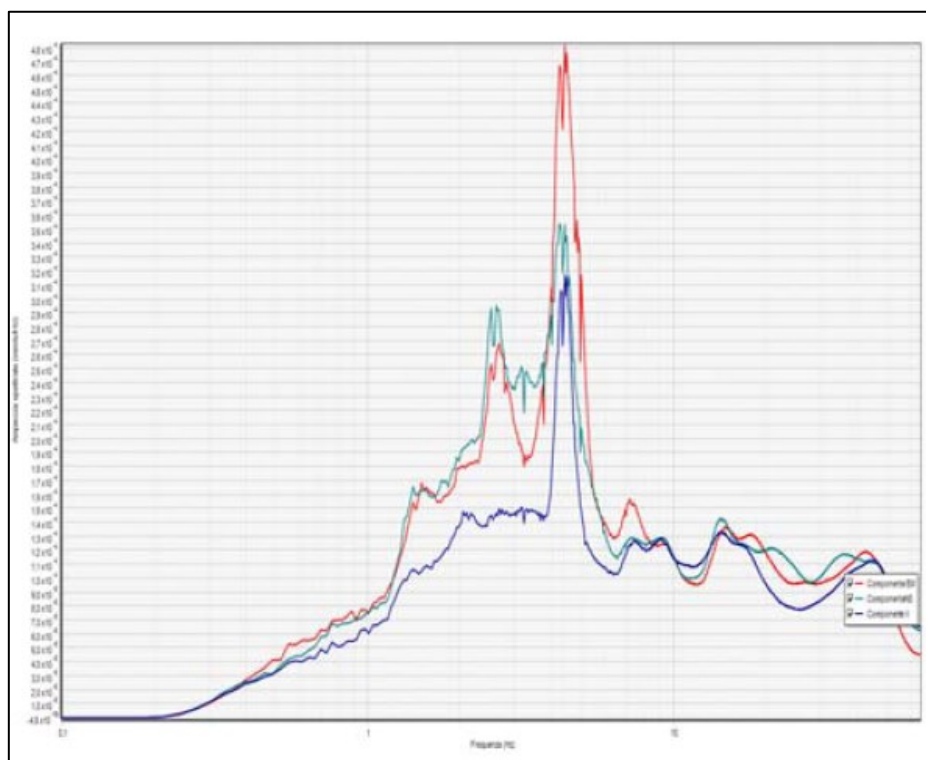
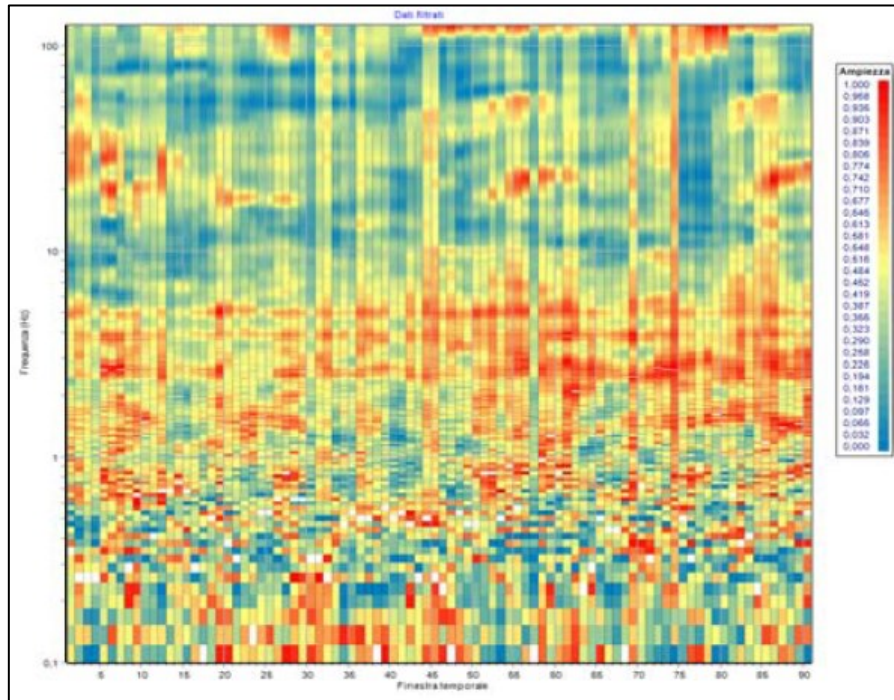


Figura 30: Spettro di velocità base sismica

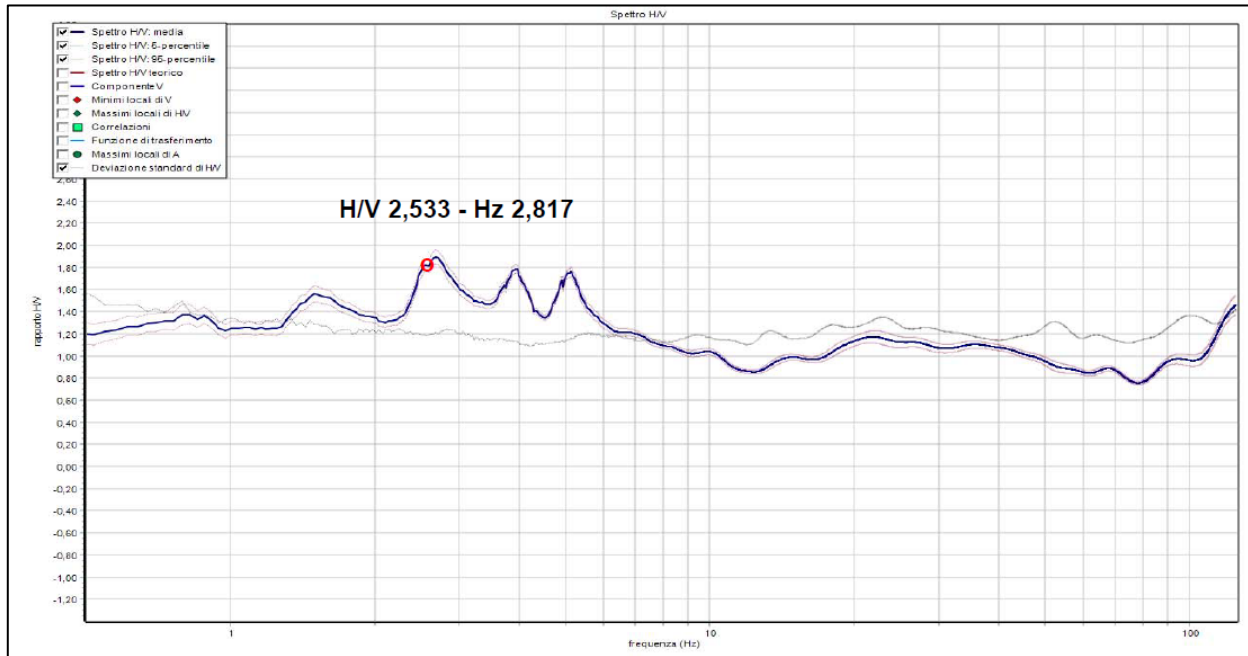


Figura 31: Diagramma rapporto H/V

9.4 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 32: Tabella 3.2.II “Categoria di sottosuolo” – D.M. 17.10.2018

9.5 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

9.6 PARAMETRI SISMICI

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

- in primo luogo, la vita nominale dell'opera, che congiuntamente alla classe d'uso, permette di determinare il periodo di riferimento;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative probabilità di superamento è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

9.6.1 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:

VR = periodo di riferimento

VN = vita nominale

CU = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale VN, 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 VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati di seguito. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

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

Tabella 3: Valori minimi della Vita nominale VN di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Nel caso specifico **VN = 50 anni**.

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

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

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso

IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. CU = 1.0;

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

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

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

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

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

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

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

Tabella 4: Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

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

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

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

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

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

Tabella 5: Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

9.6.3 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 T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

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

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

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

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

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

ID	LON	LAT	T _R = 30			T _R = 50			T _R = 72			T _R = 101		
			a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c	a _g	F ₀	T* _c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Tabella 6: Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

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

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

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_1, 2$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1, 2}$. Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle 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 (a_g, F_0, T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.

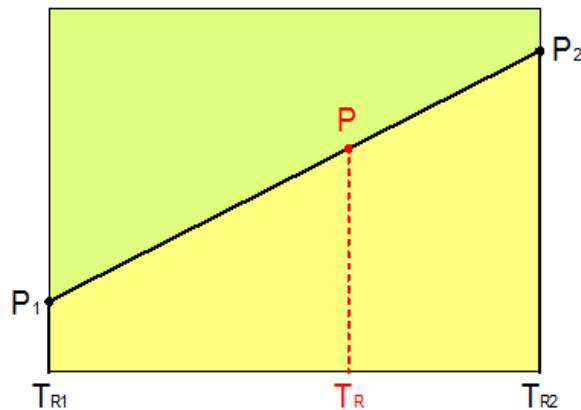


Figura 33: Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.

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

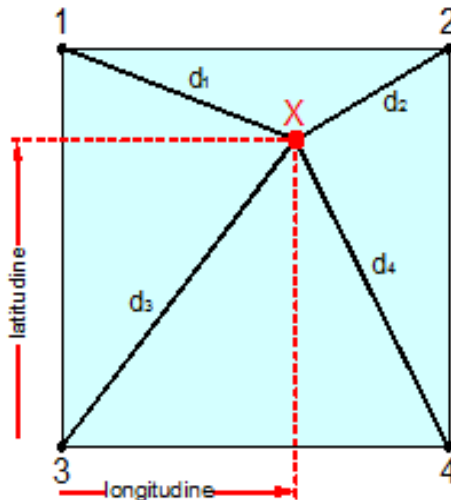


Figura 34: Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC 2018.

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

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

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

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

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

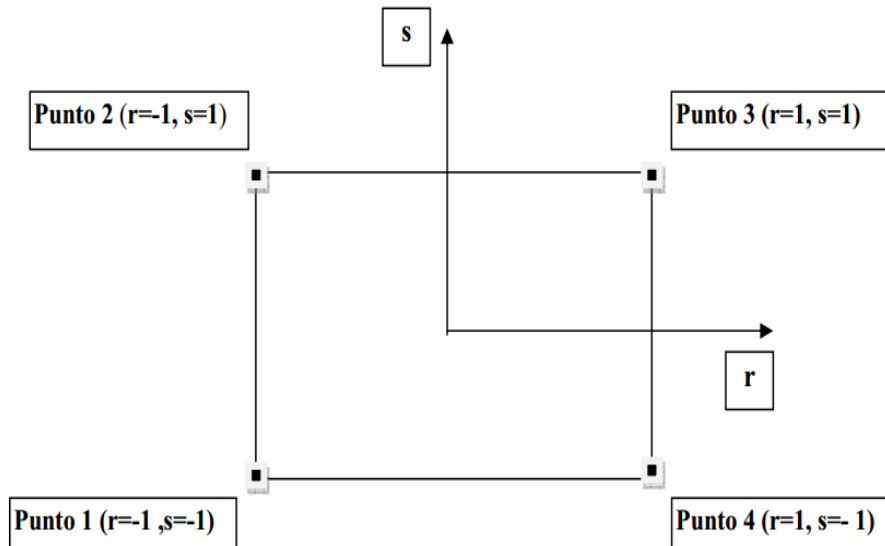


Figura 35: Applicazione dell'interpolazione bilineare.

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

- $h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4$
- $h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4$
- $h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4$
- $h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4$

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

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

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

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s , si determinano i parametri a_g, F_0, T_C^* dall'equazione:

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

Dove p rappresenta il parametro cercato.

9.6.4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

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

9.6.4.1 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 (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

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

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

9.6.4.2 STABILITÀ DEI PENDII E FONDAZIONI

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

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

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

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

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella tabella sottostante

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

Tabella 7: 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.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

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

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

9.6.5 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50 [anni]
Classe d'uso:	II
Coefficiente d'uso (Cu):	1
Periodo di riferimento (Vr):	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475 [anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	43.6493492 [°]
Longitudine (WGS84):	10.6018019 [°]
Latitudine (ED50):	43.6503143 [°]
Longitudine (ED50):	10.6027975 [°]

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	20493	43.648910	10.587950	1204.79
2	20494	43.650590	10.657050	4365.08
3	20272	43.700570	10.654710	6975.38
4	20271	43.698880	10.585590	5574.58

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

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.042	2.553	0.231
SLD	50	0.053	2.522	0.247
	72	0.062	2.530	0.254
	101	0.072	2.503	0.258
	140	0.082	2.509	0.262
	201	0.095	2.496	0.266
SLV	475	0.129	2.496	0.274
SLC	975	0.162	2.526	0.282
	2475	0.214	2.546	0.292

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.043	2.544	0.237
SLD	50	0.054	2.529	0.248
	72	0.063	2.532	0.255
	101	0.073	2.508	0.259
	140	0.083	2.510	0.263
	201	0.096	2.498	0.266
SLV	475	0.131	2.496	0.275
SLC	975	0.165	2.526	0.282
	2475	0.214	2.578	0.292

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.042	2.560	0.237
SLD	50	0.052	2.561	0.252
	72	0.059	2.577	0.262
	101	0.067	2.560	0.267
	140	0.076	2.566	0.270
	201	0.087	2.560	0.275
SLV	475	0.115	2.564	0.285
SLC	975	0.155	2.421	0.289
	2475	0.205	2.417	0.297

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.041	2.566	0.236
SLD	50	0.051	2.555	0.251
	72	0.058	2.568	0.261
	101	0.066	2.558	0.265
	140	0.075	2.560	0.270
	201	0.085	2.558	0.275
SLV	475	0.116	2.526	0.284
SLC	975	0.154	2.416	0.288
	2475	0.206	2.396	0.295

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.042	2.554	0.233
SLD	50	0.053	2.532	0.248
SLV	475	0.127	2.507	0.277
SLC	975	0.161	2.500	0.284

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Categoria sottosuolo: **C**

Categoria topografica:

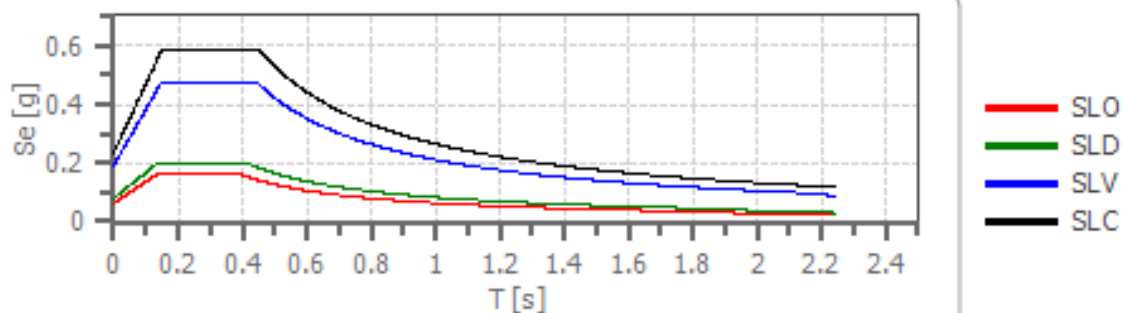
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.016	0.046	0.056
0.006	0.008	0.023	0.028	
amax [m/s ²]	0.614	0.779	1.862	2.306
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



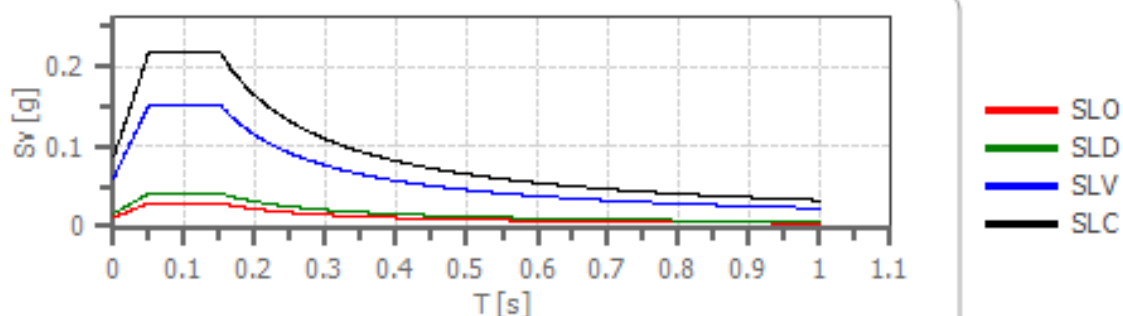
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.042	2.554	0.233	1.500	1.700	1.000	1.500	1.000	0.132	0.397	1.767	0.063	0.160
SLD	1.0	0.053	2.532	0.248	1.500	1.660	1.000	1.500	1.000	0.137	0.412	1.812	0.079	0.201
SLV	1.0	0.127	2.507	0.277	1.500	1.600	1.000	1.500	1.000	0.148	0.443	2.106	0.190	0.476
SLC	1.0	0.161	2.500	0.284	1.460	1.590	1.000	1.460	1.000	0.150	0.451	2.244	0.235	0.588

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{1/2}$: 1.000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

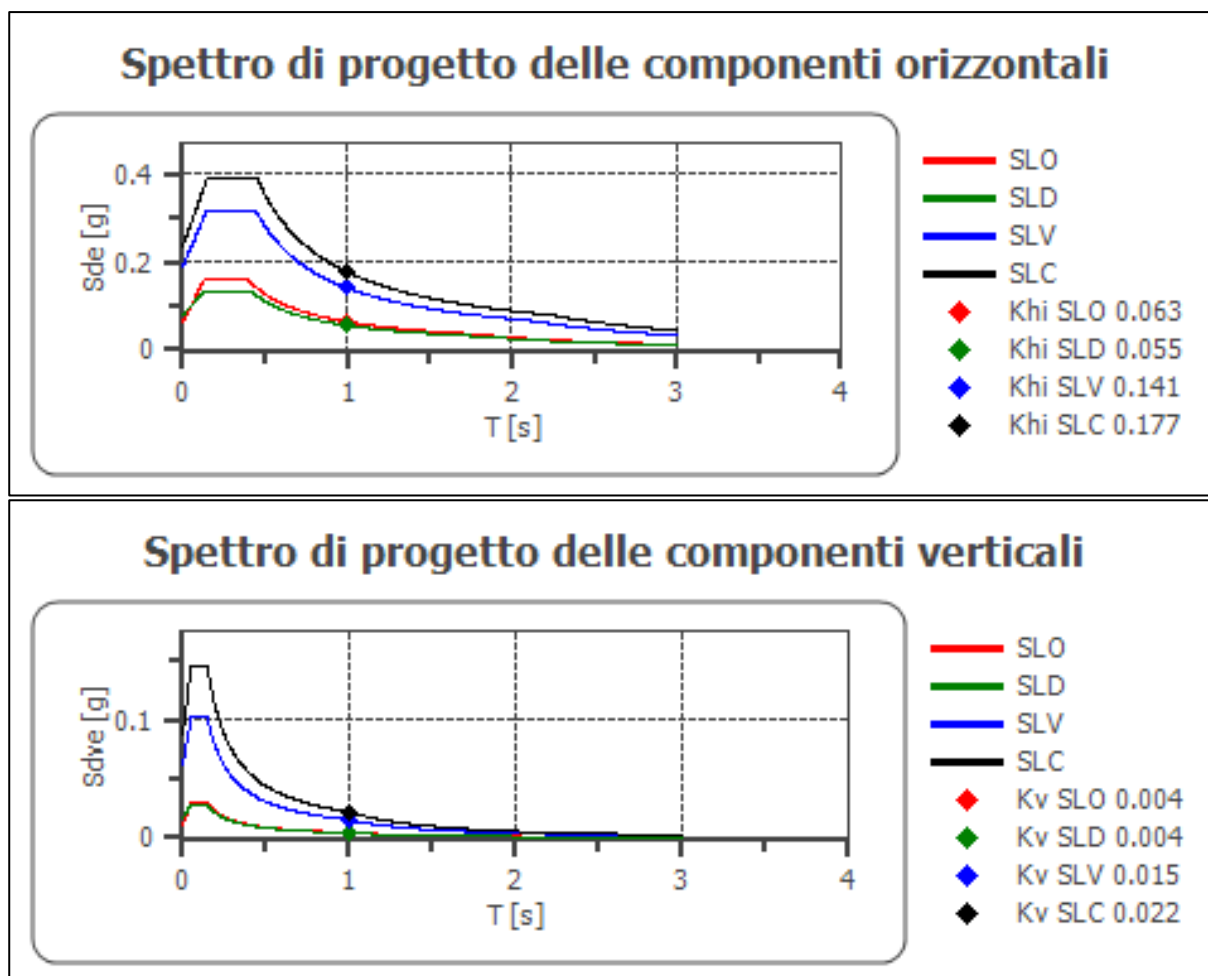


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.042	2.554	0.233	1	1.700	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.012	0.029
SLD	1.0	0.053	2.532	0.248	1	1.660	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.016	0.042
SLV	1.0	0.127	2.507	0.277	1	1.600	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.061	0.152
SLC	1.0	0.161	2.500	0.284	1	1.590	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.087	0.218

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]	0.063	0.055	0.141	0.177
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.004	0.004	0.015	0.022



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.042	2.554	0.233	1.500	1.700	1.000	1.500	1.000	0.132	0.397	1.767	0.063	0.160
SLO verticale	1.0	0.042	2.554	0.233	1.500	1.700	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.012	0.029
SLD orizzontale	1.0	0.053	2.532	0.248	1.500	1.660	1.000	1.500	1.500	0.137	0.412	1.812	0.079	0.134
SLD verticale	1.0	0.053	2.532	0.248	1.500	1.660	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.016	0.028
SLV orizzontale	1.0	0.127	2.507	0.277	1.500	1.600	1.000	1.500	1.500	0.148	0.443	2.106	0.190	0.317
SLV verticale	1.0	0.127	2.507	0.277	1.500	1.600	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.061	0.102
SLC orizzontale	1.0	0.161	2.500	0.284	1.460	1.590	1.000	1.460	1.500	0.150	0.451	2.244	0.235	0.392
SLC verticale	1.0	0.161	2.500	0.284	1.460	1.590	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.087	0.145

10 PARAMETRI GEOTECNICI

10.1 Parametri geotecnici medi

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	c_u [kPa]	ϕ' [°]	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

γ = peso di volume

c' = coesione

c_u = coesione non drenata

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

E_u = modulo elastico non-drenato

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

10.2 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

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

Strato	Litologia	Profondità[m]	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	c_u [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	E_u [MPa]
1	Terreno vegetale	0,0m – 0,20m	-	-	-	-	-	-
2	Argilla sovracconsolidata	>0,20m – 15m	18	20	100	24	20	40

γ = peso di volume

c' = coesione

c_u = coesione non drenata

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico

E_u = modulo elastico non-drenato

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

11 LIQUEFAZIONE

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

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 37 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 36 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

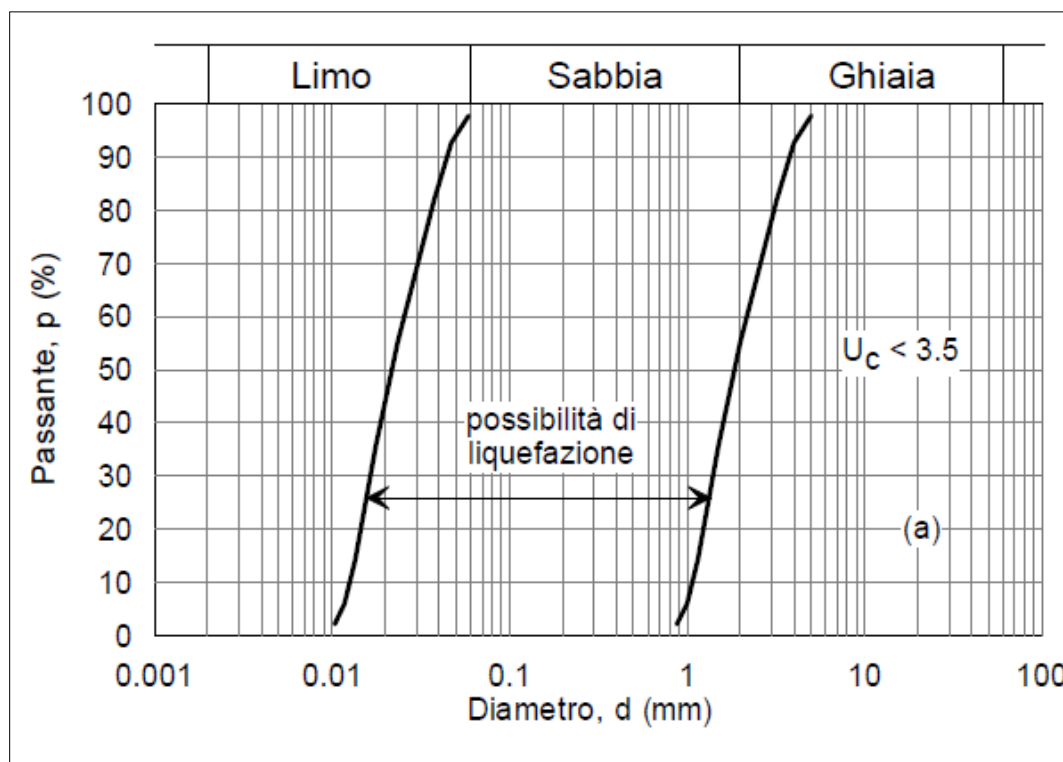


Figura 36: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

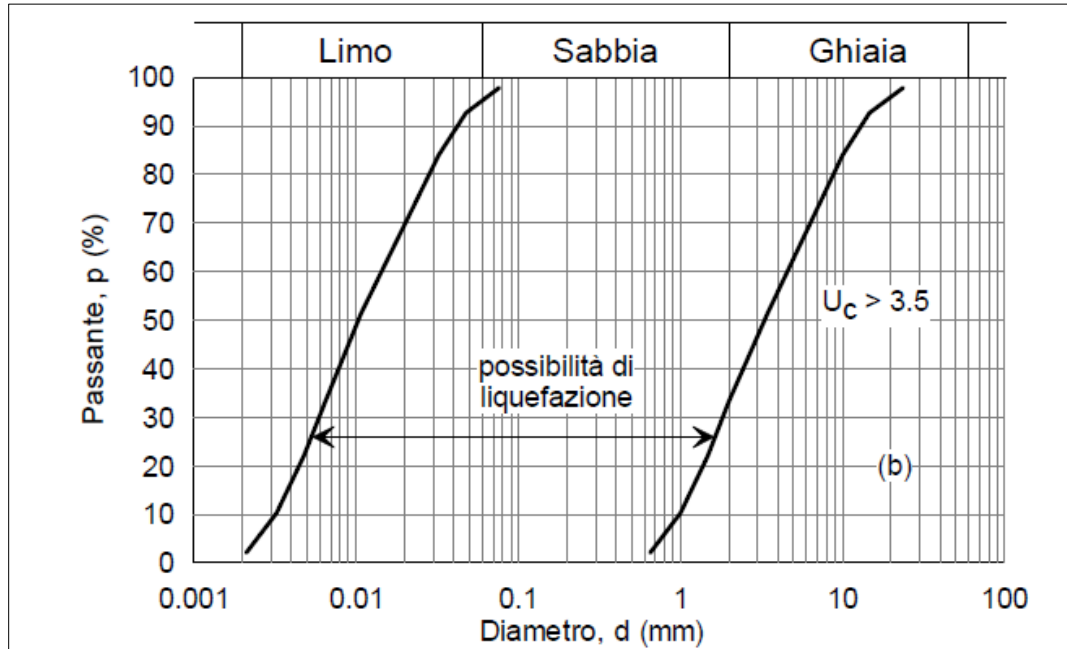


Figura 37: Figura 7.11.1 NTC 2018-Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione.

11.1 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.

$$CSR \geq 0.80 CRR$$

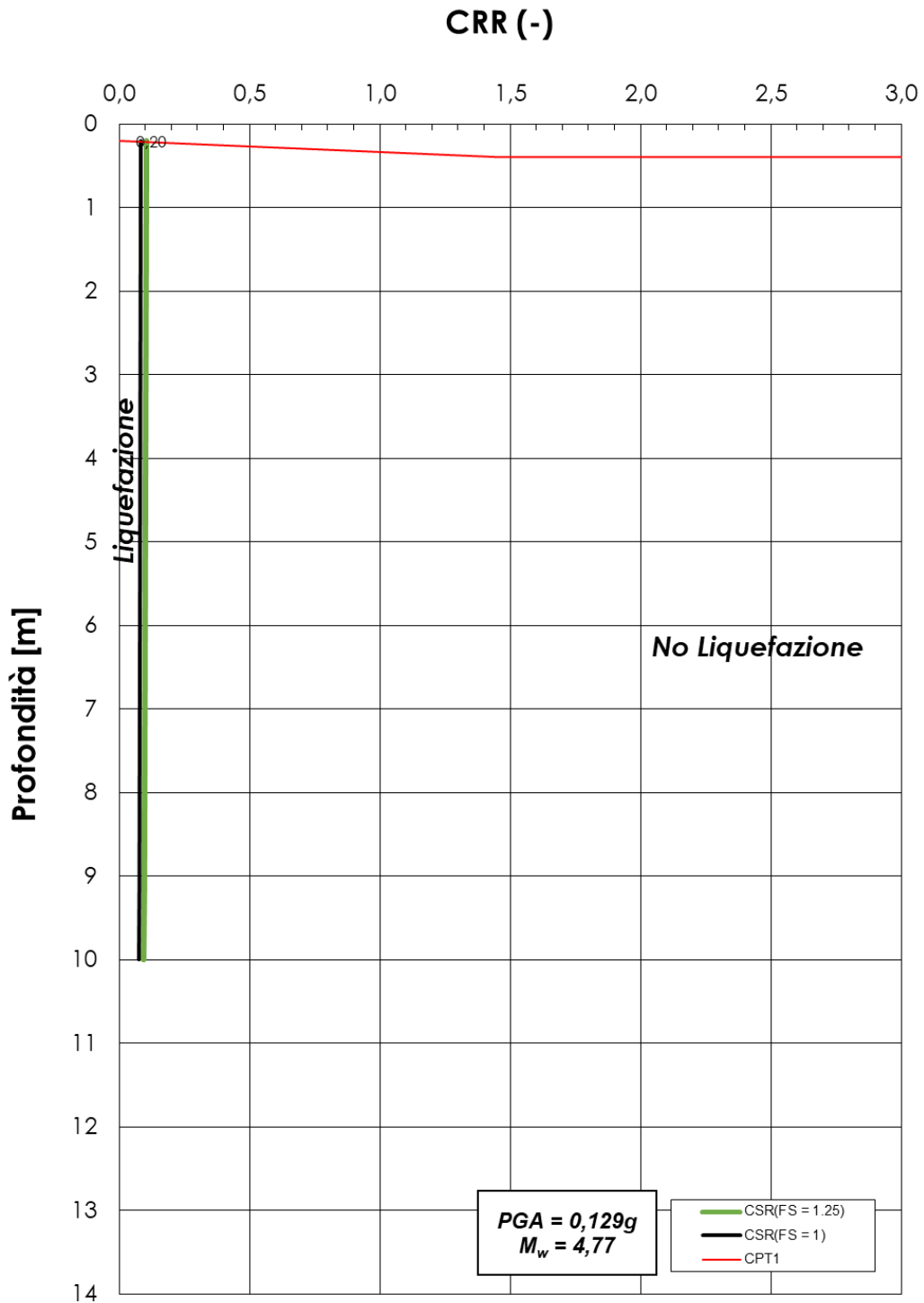
Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite paria $F_s = CRR/CSR = 1.25$.

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

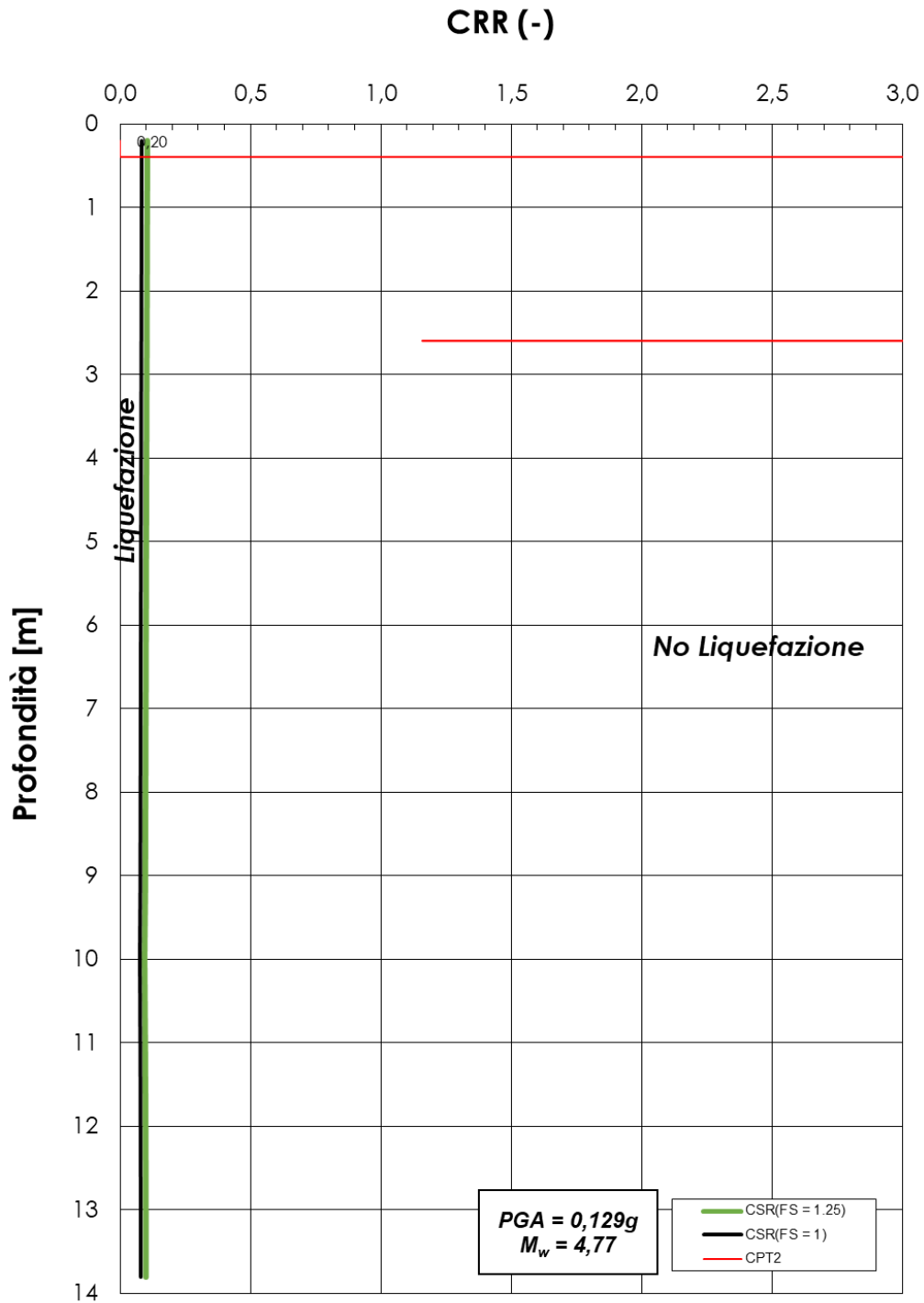
➤ **CPT 1**

depth [m]	CPT1			K_α	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



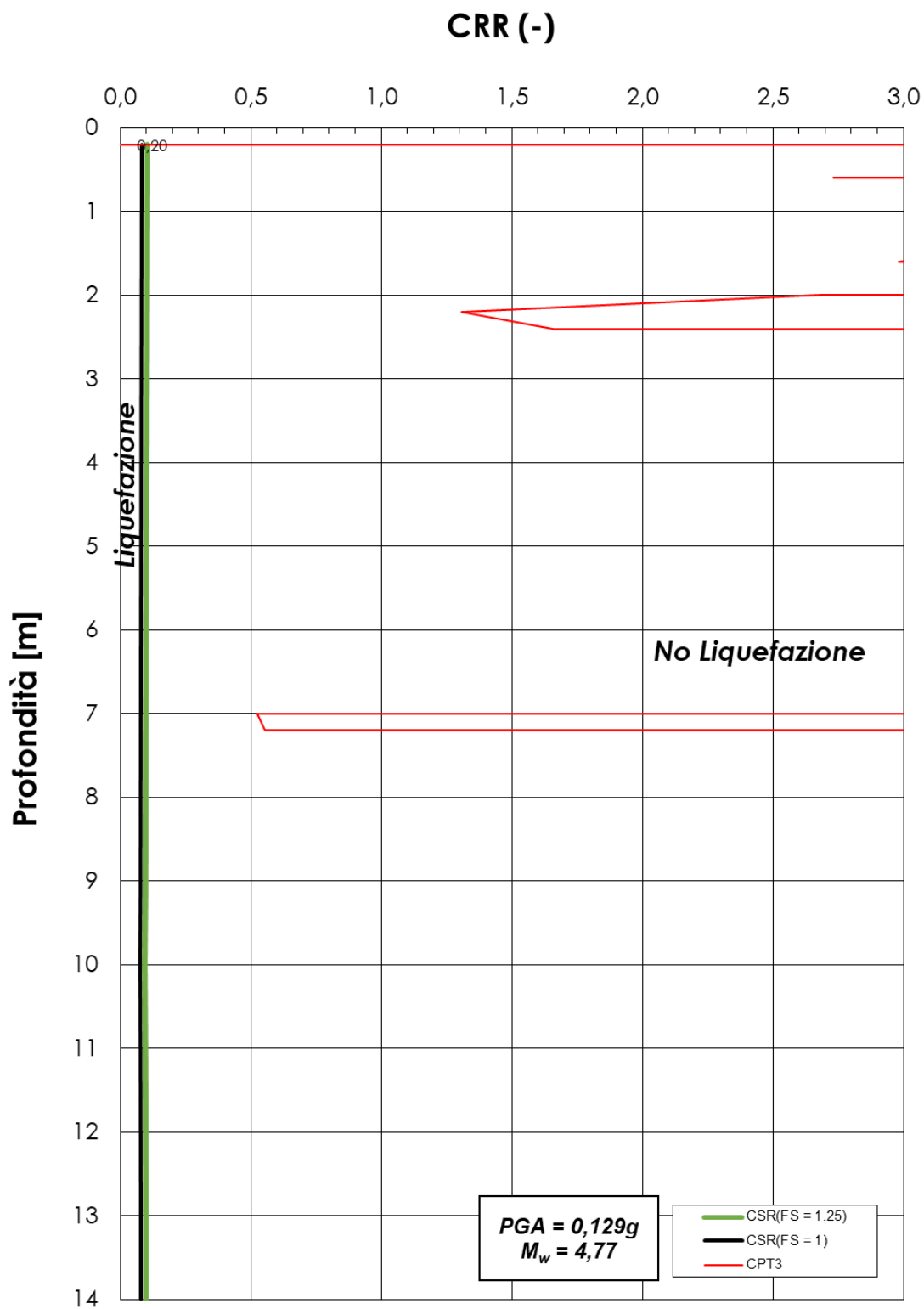
➤ **CPT 2**

CPT2											
depth [m]	q _{c1N} [t]	Q [t]	F [%]	I _c [t]	I _c [t]	q _{c1N} [t]	K _C [t]	K _a	f _d	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	0,094
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



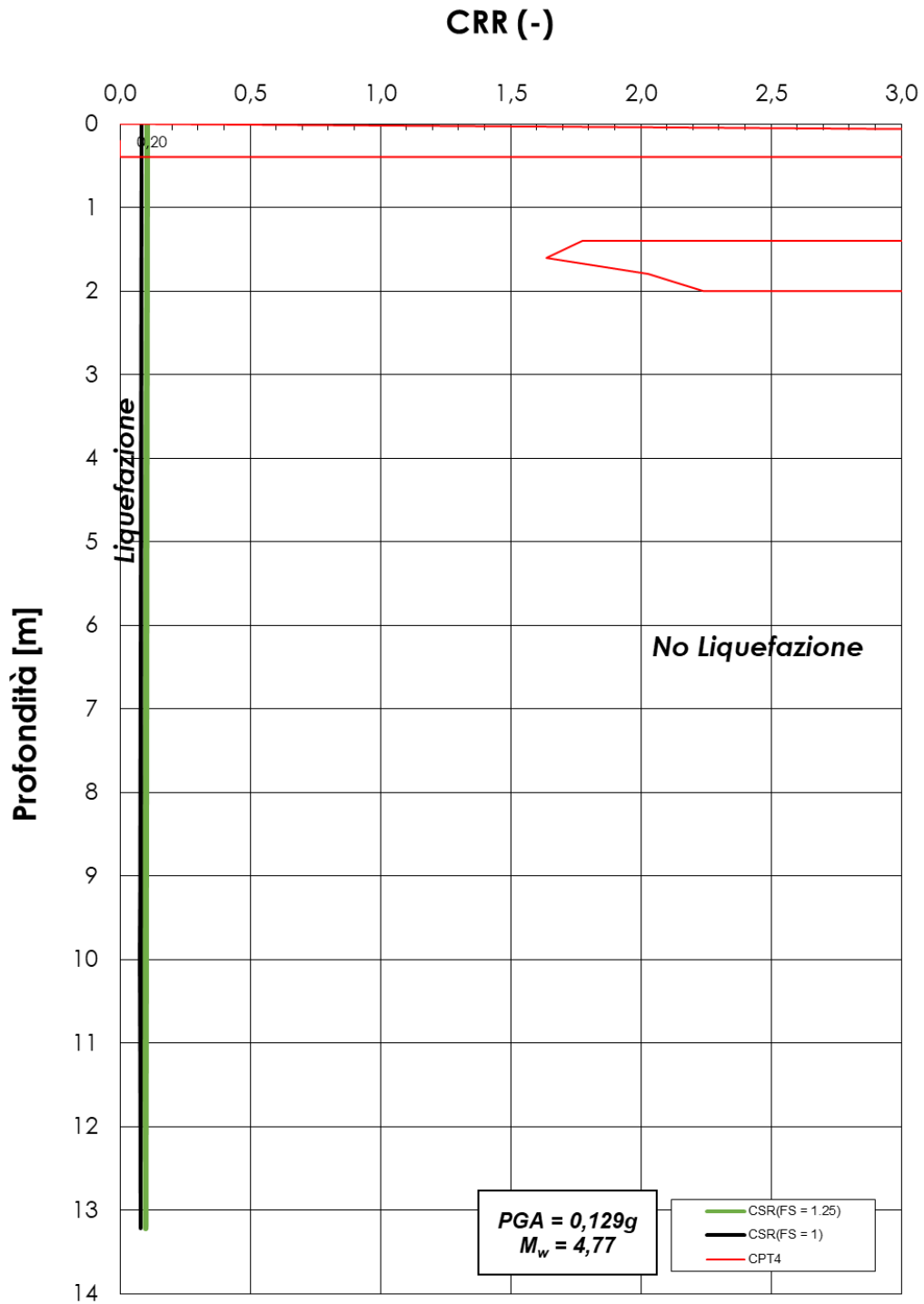
➤ **CPT 3**

CPT3								K _a	r _d	CSR FS = 1	CSR FS = 1.25
depth [m]	q _{cIN} []	Q []	F [%]	I _c []	I _c []	q _{cIN} []	K _c []				
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



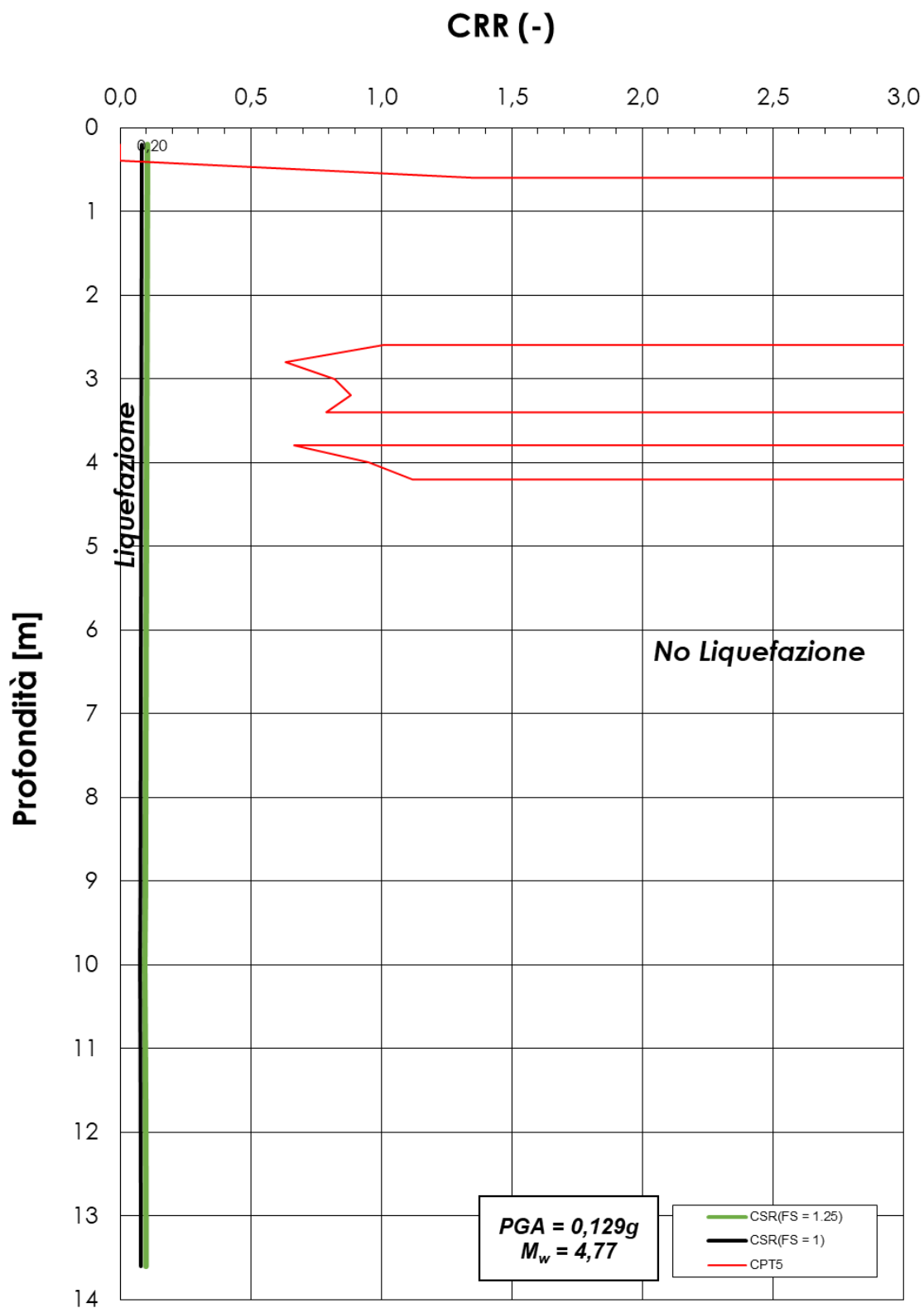
➤ **CPT 4**

CPT 4											
depth [m]	q _{cIN} [-]	Q [-]	F [%]	I _c [-]	I _c [-]	q _{cIN} [-]	K _c [-]	K _a	r _d	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 _{eIN} [-]	Q [-]	F [%]	l _c [-]	l _c [-]	q _{eIN} [-]	K _c [-]	K _a	r _d	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



12 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.
- 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.