

**PROVINCIA DI LA SPEZIA
COMUNE DI LA SPEZIA**

Piano Urbanistico Operativo

**Distretto di trasformazione AD1, subdistretto
AD1/C, area compresa tra Via Maralunga e la Via
Carducci**

TALEA SPA

Indagine Geologico – Tecnica a supporto del PUO

I Tecnici

dott. geol. Paolo PETRI ORGL n° 94

**Studio di Geologia Tecnica ed
Ambientale Dott. Paolo PETRI**
(Sistemi Informativi Geografici, Geotecnica,
Modellistica Idrogeologica)

Iscritto Ordine Regionale dei Geologi della Liguria n° 94
P.IVA: 01390700118 - COD.FISC. PTRPLA47C18E463M
Via Antonio Pacinotti, 18 - 19124 La Spezia - mobile:
+39/3356002176

e_mail: paolopetri@logicadelterritorio.com
pec: paolopetri@epap.sicurezzapostale.it

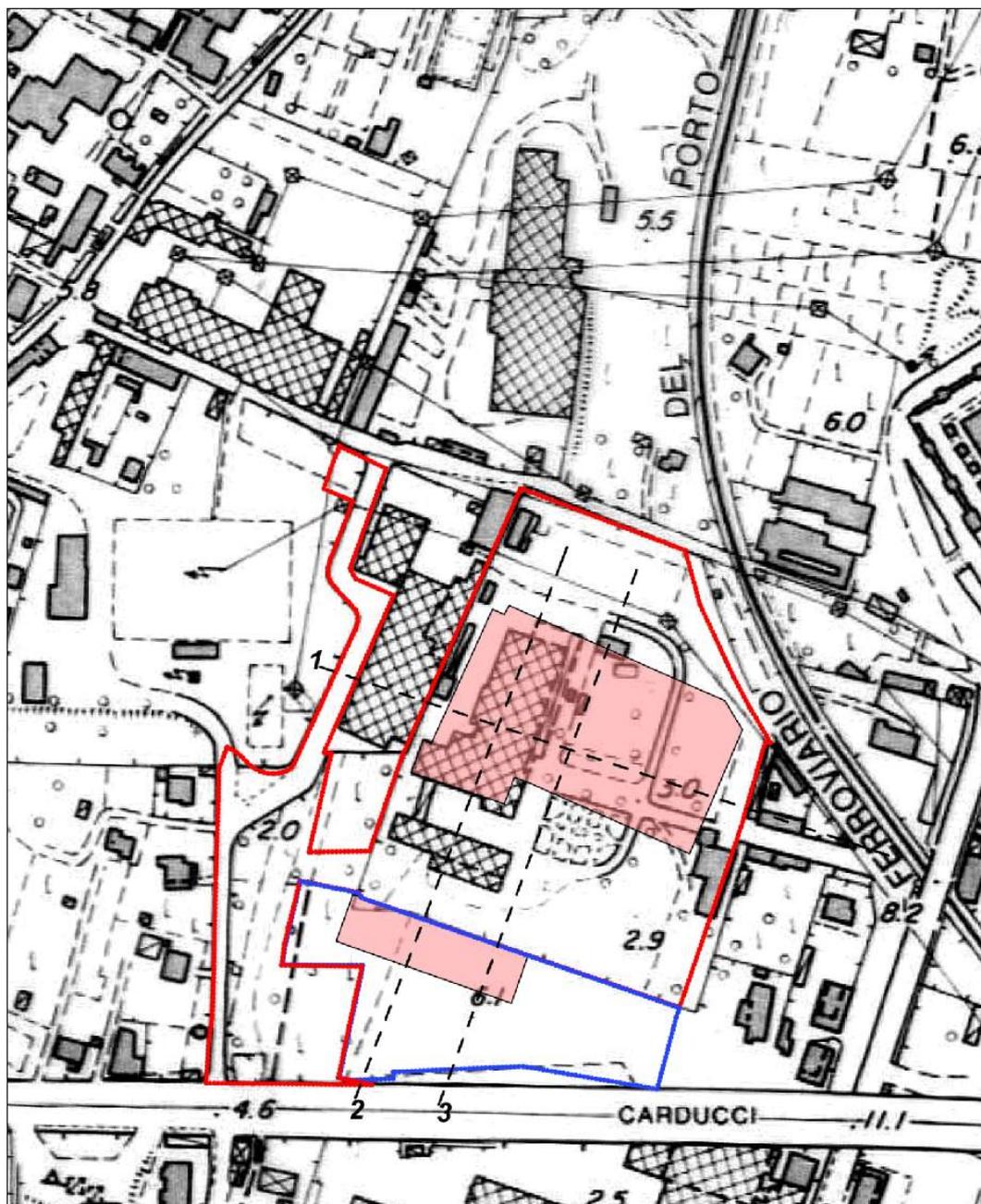
DENOMINAZIONE	Rev	Data	Oggetto della revisione
<i>01. Relazione Geologica</i>	01	Novembre 2016	Revisione

1	Premessa	3
2	Metodologia	5
3	Geologia, geomorfologia ed idrogeologia dell'area	5
4	Suscettibilità Piano Urbanistico Comunale	8
5	Zonizzazione Piano Assetto Idrogeologico -ADB ambito 20	9
6	Fase di Progetto - PUO	11
6.1	Indagini geognostiche - prove penetrometriche CPTU	12
6.2	Risultati sintetici Prove CPTU (Vedi allegato)	13
6.3	Risultati delle prove CPTU	28
6.4	CPTU_1, 2, 3, 4, 5 - Assemblati	29
7	Classificazione e caratterizzazione sismica del sito in esame	34
7.1	Indagini Sismiche e definizione della categoria del sottosuolo	36
7.2	METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	37
8	Considerazioni in merito alla indagine geognostica e geofisica	42
8.1	Sezioni stratigrafiche	43
9	Norme di attuazione	47
10	Conclusioni	48

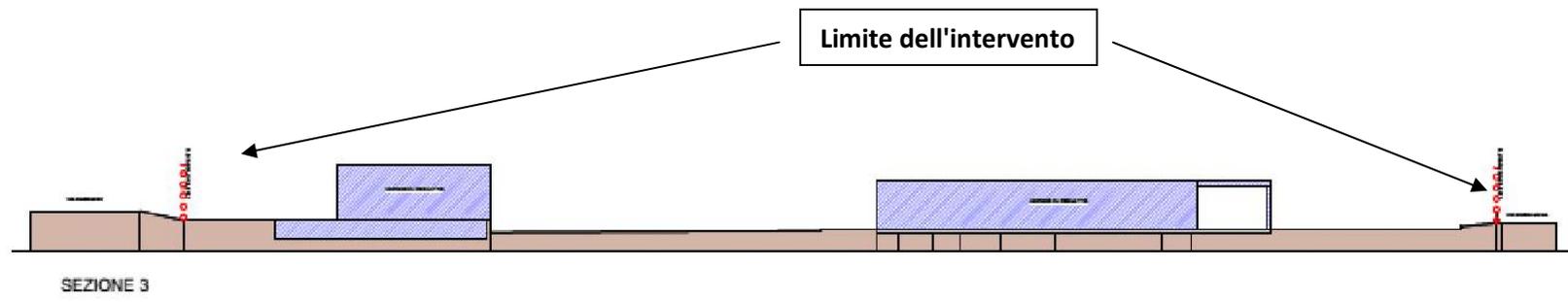
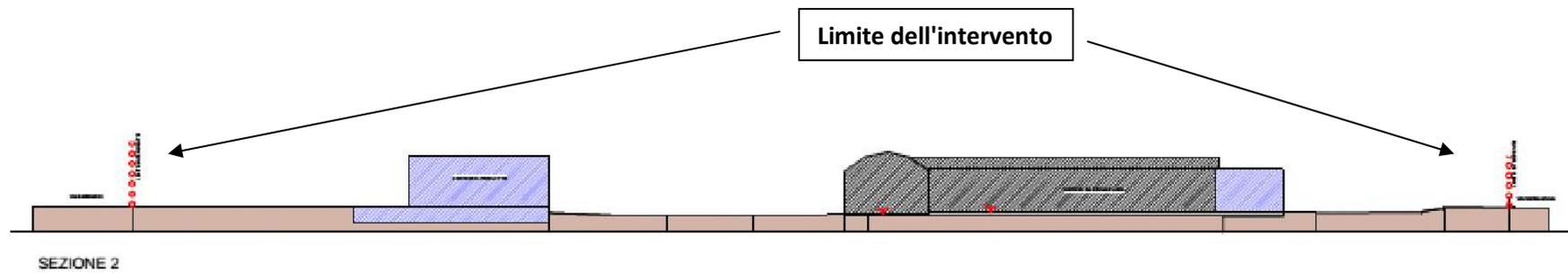
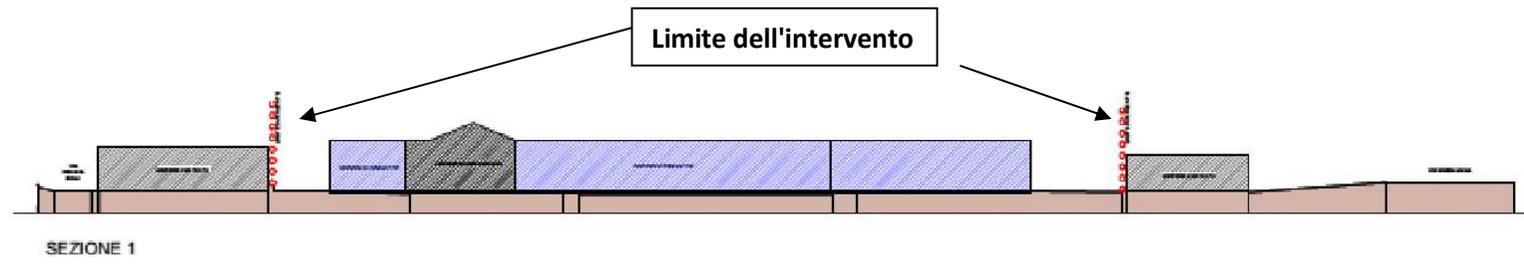
1 Premessa

L'area oggetto della presente indagine è ubicata in La Spezia (area ex SIO) ubicata fra il raccordo autostradale Fornola-La Spezia Via Carducci), Via Privata Maralunga e Via Privata Cieli, come da Tav. 1 - Ubicazione area di intervento

L'intervento consiste nella realizzazione di due strutture edilizie commerciali ubicate come da Tav. 1 e in Tav. 2 sono presentate le relative sezioni schematiche



Tav 1- Ubicazione area di intervento - Traccia sezioni Schematiche



Tav 2 - sezioni schematiche

La presente indagine ha lo scopo di rispondere a quanto richiesto alla normativa vigente in merito al Piano Urbanistico Operativo, e inquadrare la problematica in riferimento alla nuova normativa sulle costruzioni di cui al D. 14 Gennaio 2008, la normativa di riferimento risulta essere la seguente:

- Legge Regionale n° 24/87;
- Circolare n° 4551 del 12.12.1989;
- D.M. 11 marzo 1988;
- D.M. 14 Gennaio 2008;
- Delibera Giunta Regionale n° 1308 del 24 Ottobre 2008

2 Metodologia

La metodologia di indagine è stata conseguentemente impostata per rispondere alle normative vigenti, e la presente relazione esamina l'intervento individuando le problematiche di ordine sismico, geologico-tecnico, geomorfologico ed idrogeologico, connesse con il progetto.

In particolar modo lo studio nelle sue varie componenti è stato così organizzato:

1. Analisi generale dell'areale sotto il profilo geologico, geomorfologico ed idrogeologico;
2. Definizione dei parametri sismici di riferimento secondo la nuova normativa, mediante l'esecuzione di una stesa sismica Masw e n° 1 stazione in sismica passiva HVSR;
3. Analisi delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni mediante esecuzione di n° 5 prove penetrometriche statiche eseguite con piezocono.
4. Caratterizzazione geomeccanica dei terreni in esame.
5. Prescrizioni Tecniche da osservarsi in fase esecutiva

3 Geologia, geomorfologia ed idrogeologia dell'area

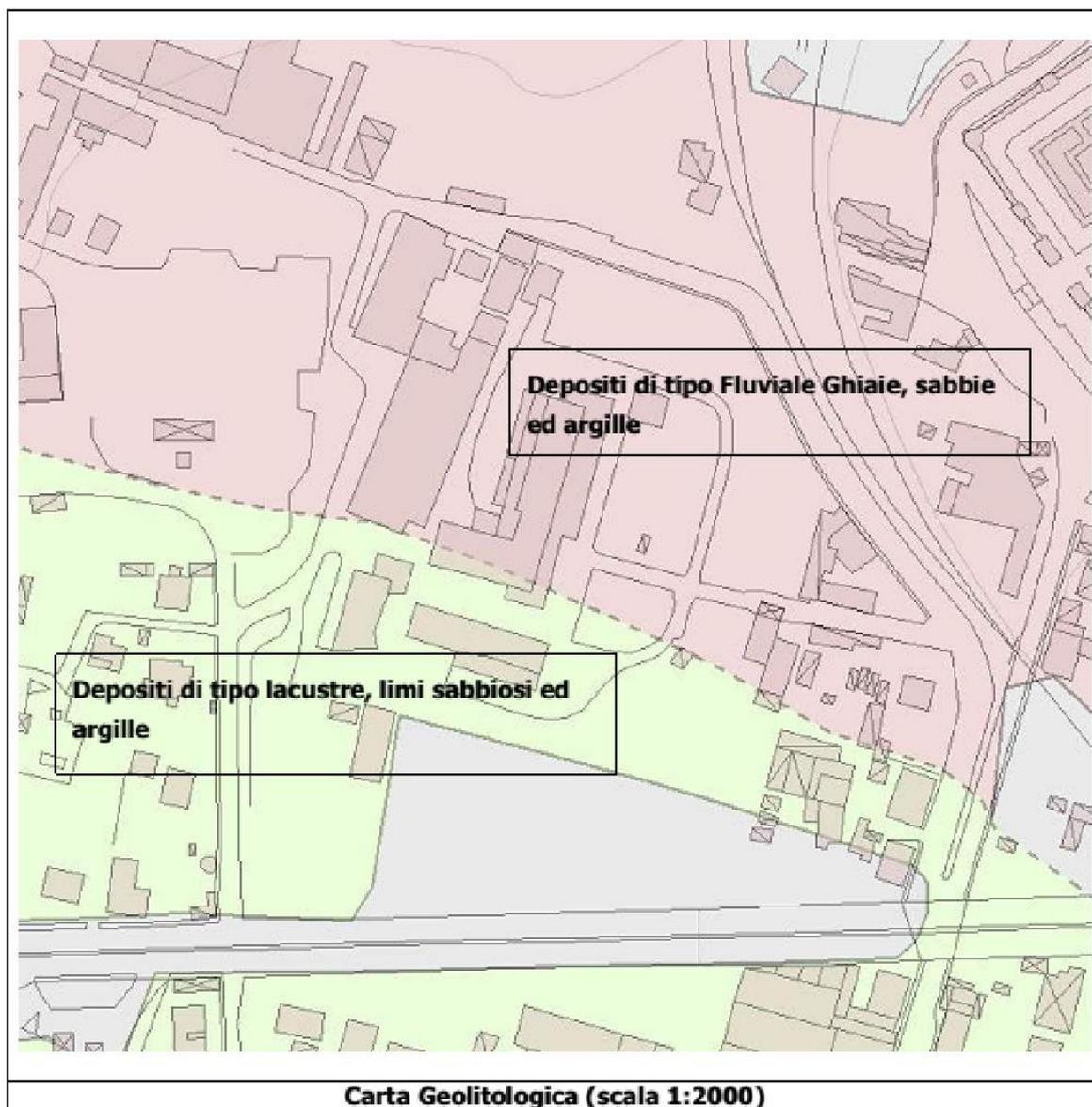
L'inquadramento generale sul piano geologico, geomorfologico ed idrogeologico ha utilizzato le informazioni derivate dalle cartografie tematiche di supporto al Piano Urbanistico del Comune di La Spezia in quanto la semplicità formale della componente Geologica, Geomorfologica ed Idrogeologica non ha richiesto ulteriori approfondimenti se non indagini puntuali atte a verificare le caratteristiche fisico-meccaniche del sito in esame.

L'area è ubicata alla quota di circa 3,00 metri s.l.m. nella piana di La Spezia ad est del torrente Dorgia Vecchia.

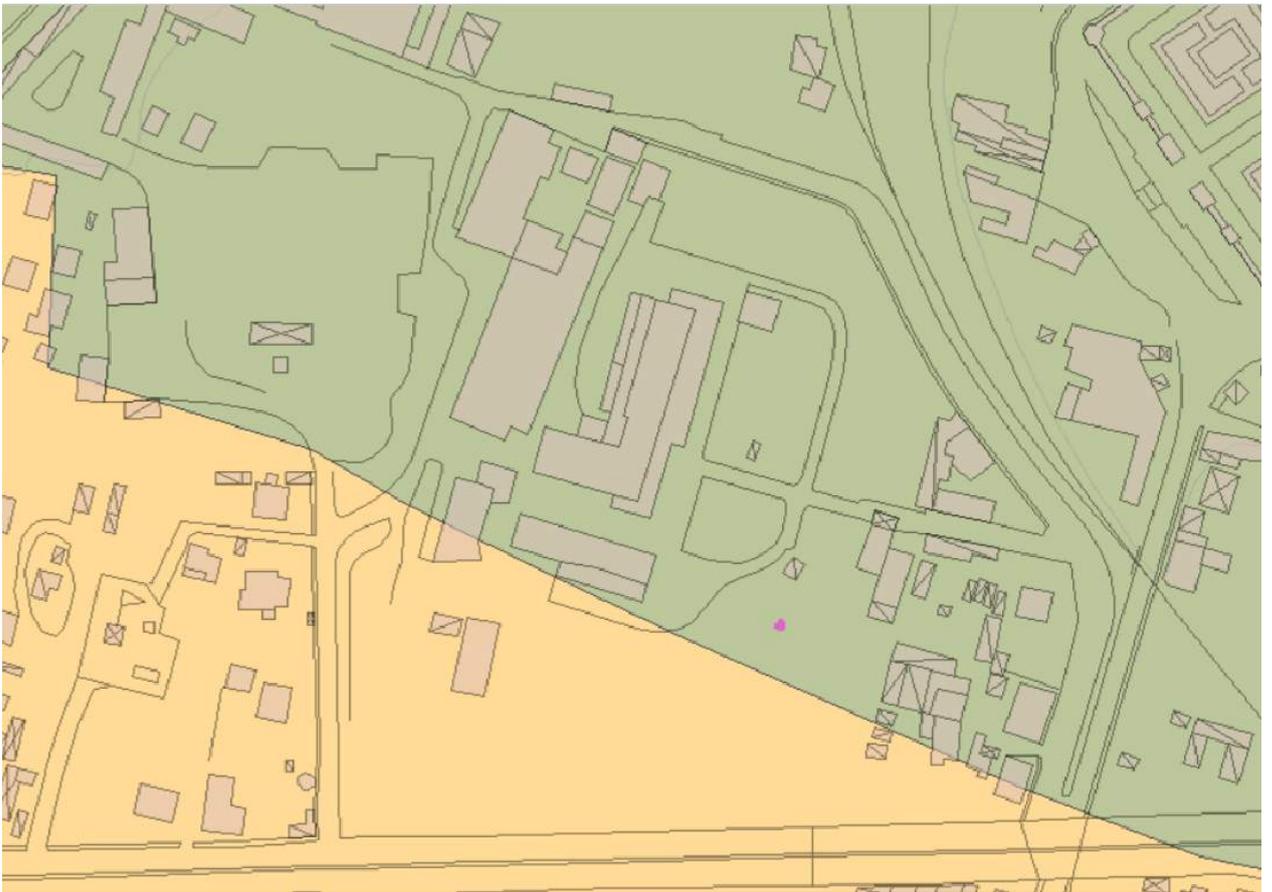
Sul piano Geologico viene indicata dalla Carta Geolitologica del Comune la presenza di due distinte situazioni caratterizzate l'una da Depositi di origine prevalentemente fluviale a granulometria variabile da ghiaie ad argille, la seconda da depositi di origine prevalentemente lacustre caratterizzati da frazioni limo-sabbiose ed argillose con torbe con presenza di resti fossili e vegetali.

Sotto il profilo Geomorfologico l'area si presenta pianeggiante, stabile.

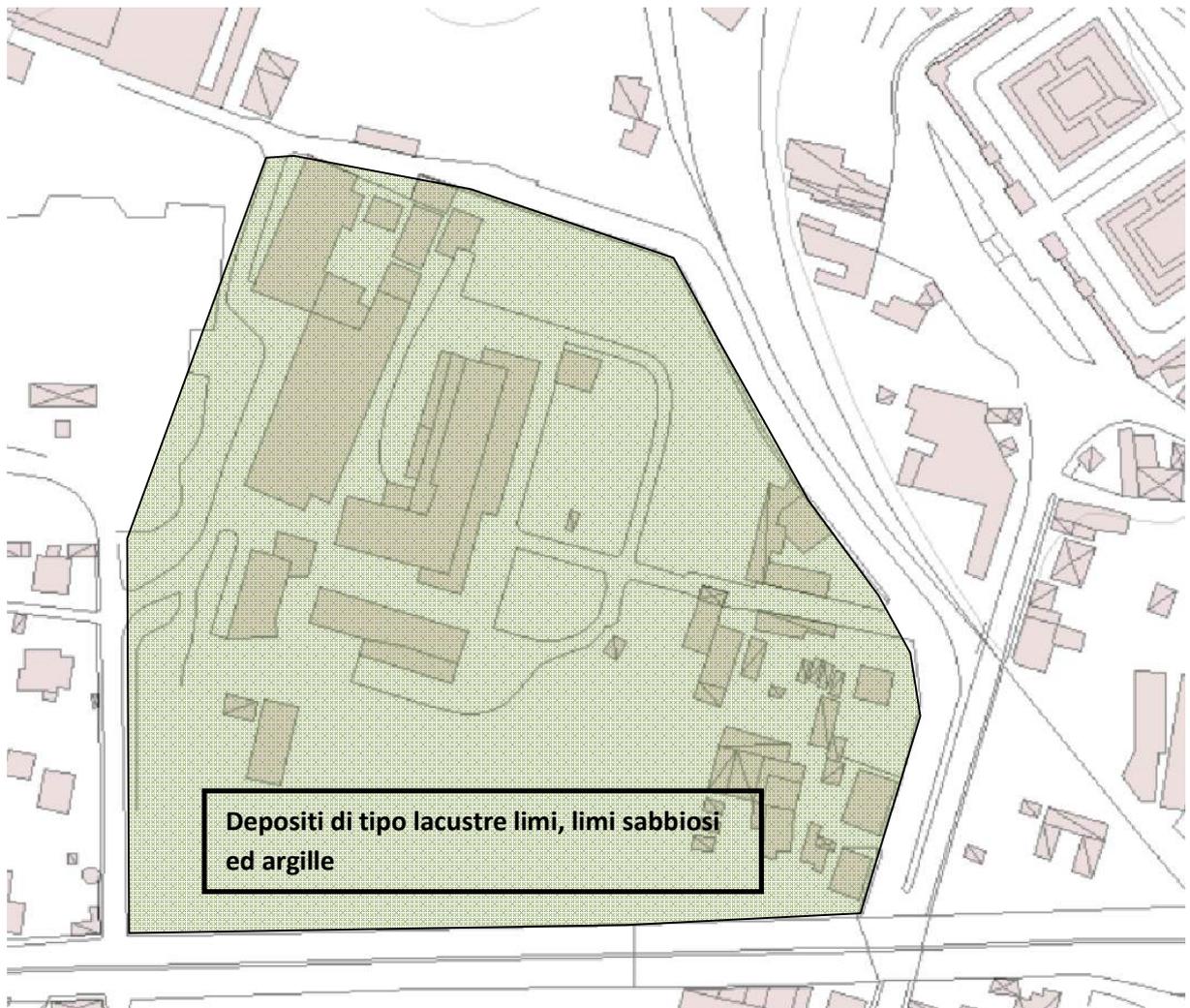
L'assetto Idrogeologico evidenzia come terreni di questo tipo presentino una permeabilità condizionata dalle condizioni stratigrafiche riscontrate passando da condizioni di permeabilità per porosità a condizioni di scarsa permeabilità nel caso di limi argillosi ed argille. I terreni vista la scarsa profondità della falda risultano sempre saturi e la falda è posizionata a circa 1,00 metro dal piano campagna.



Alla luce delle indagini eseguite si propende per un allargamento della fascia caratterizzata da Depositi di tipo lacustre, limi sabbiosi ed argille modificando la tavola Geologica del PUC ed estendendo i Depositi di tipo lacustre limi sabbiosi ed argille



TAV 3 Carta Zonizzazione Geologica estratto PUC Comune della Spezia



TAV 4 - Modifica proposta Carta Zonizzazione Geologica Puc della Spezia

4 Suscettibilità Piano Urbanistico Comunale

Dalla carta "Zonizzazione geologica e suscettibilità d'uso del suolo" di supporto al PUC (della quale in allegato si riporta la porzione di diretto interesse) si apprende che la località d'intervento ricade in suscettibilità d'uso condizionata (Pericolosità: media Classe: C0 e C2)

Alla luce dei nuovi dati acquisiti l'area interessata dalla presenza di argille limose, limi e sabbie limose occupa una zona ben più ampia di quanto previsto allo strumento urbanistico ragione per la quale tutta l'area viene proposta che sia classificata C2, da cui la normativa vigente prevede:

SUSCETTIBILITA' D'USO CONDIZIONATA

Aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio - alta difficoltà ed onerosità, previo accertamento preliminare della effettiva compatibilità generale (C2)

Corrispondono a porzioni di territorio con una pericolosità medio alta, anche per opere di modesta entità, che può essere superata solo con interventi di medio – alta difficoltà ed onerosità. Le opere ed i suddetti interventi non dovranno, in alcun modo, incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionarne la propensione all'edificabilità. In alcuni casi le opere e/o gli interventi dovranno essere preceduti da un accertamento preliminare della effettiva compatibilità generale.

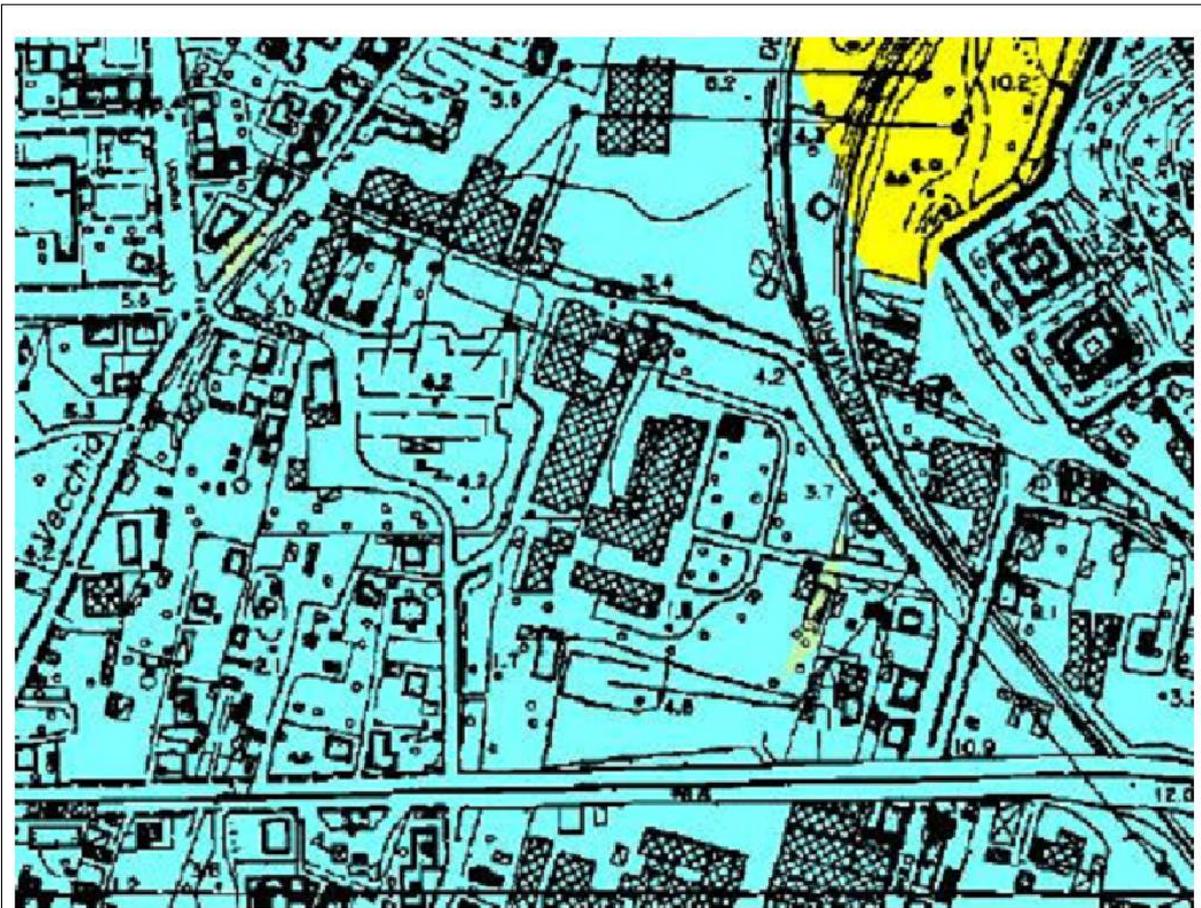
TIPO IVb: ogni altro intervento modificatori e ogni altra costruzione edilizia di qualsiasi destinazione e fruizione, i quali comportino scavi e sbancamenti, o riporti, o strutture murarie di sostegno, o scarpate libere, o volumi edilizi eccedenti i limiti considerati nei punti precedenti.

MODO 5/b: in relazione alle diverse fasi, nel modo 5/b, dovrà essere fornito:

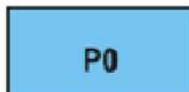
- *nella fase di progetto*: relazione geologica e geologico - tecnica esecutiva di 3° livello;
- *nella fase di realizzazione*: relazione geologica - tecnica esecutiva alla eventuale campagna integrativa di indagini geognostiche di tipo "completo";
- *nella fase di fine lavori, collaudo e consegna*: relazione geologica di fine lavori e collaudo.

5 Zonizzazione Piano Assetto Idrogeologico -ADB ambito 20

Le problematiche di ordine geologico-geomorfologico evidenziate dal Piano Urbanistico Comunale vengono confermate alla zonizzazione proposta dal Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Provincia della Spezia

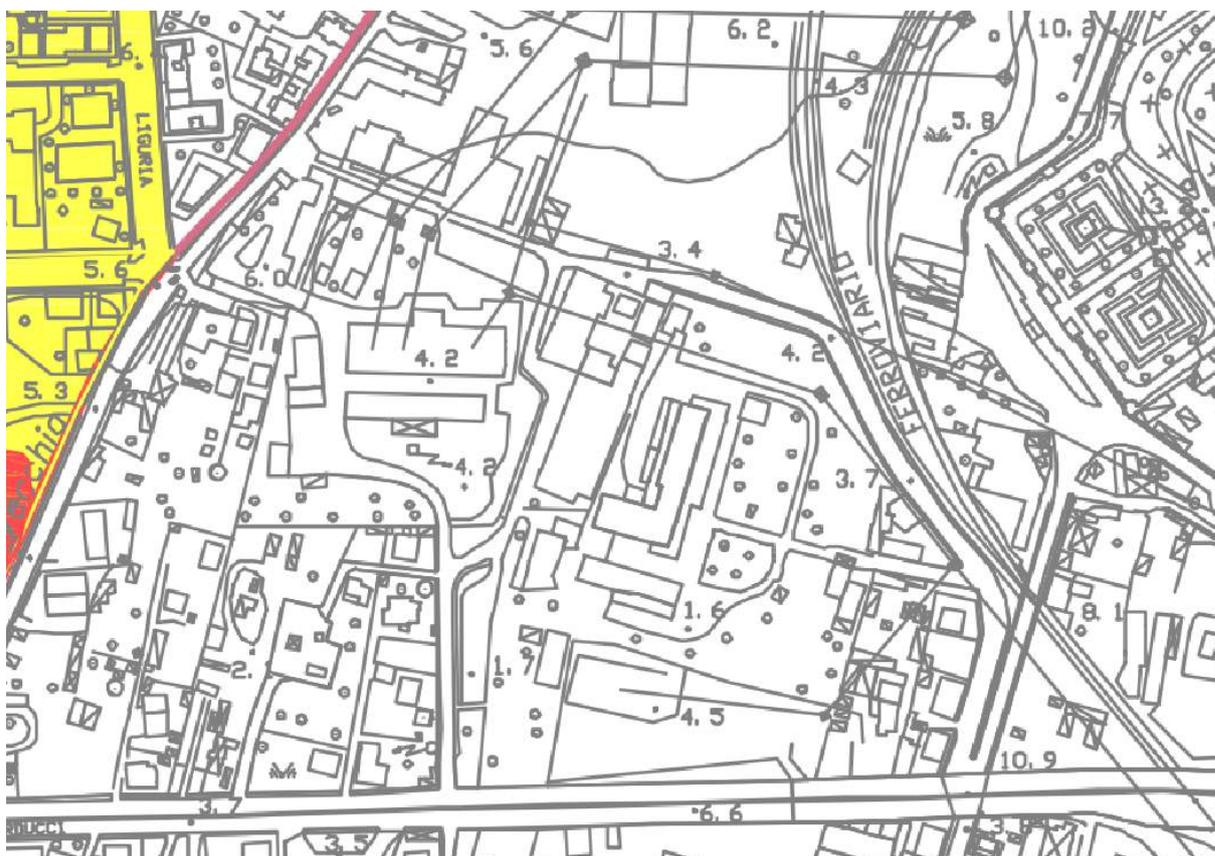


Stralcio carta della suscettività al dissesto (da Adb – Provincia La Spezia)



Suscettività al Dissesto Molto Bassa

Dalla cartografia prodotta si evince che l'area non è soggetta a problemi connessi con fenomeni di suscettività Geomorfologica



Tav 5 - Carta Rischio Idraulico - ADB ambito 20

Anche la carta del Rischio Idraulico mostra come la zona non sia interessata da questi fenomeni.

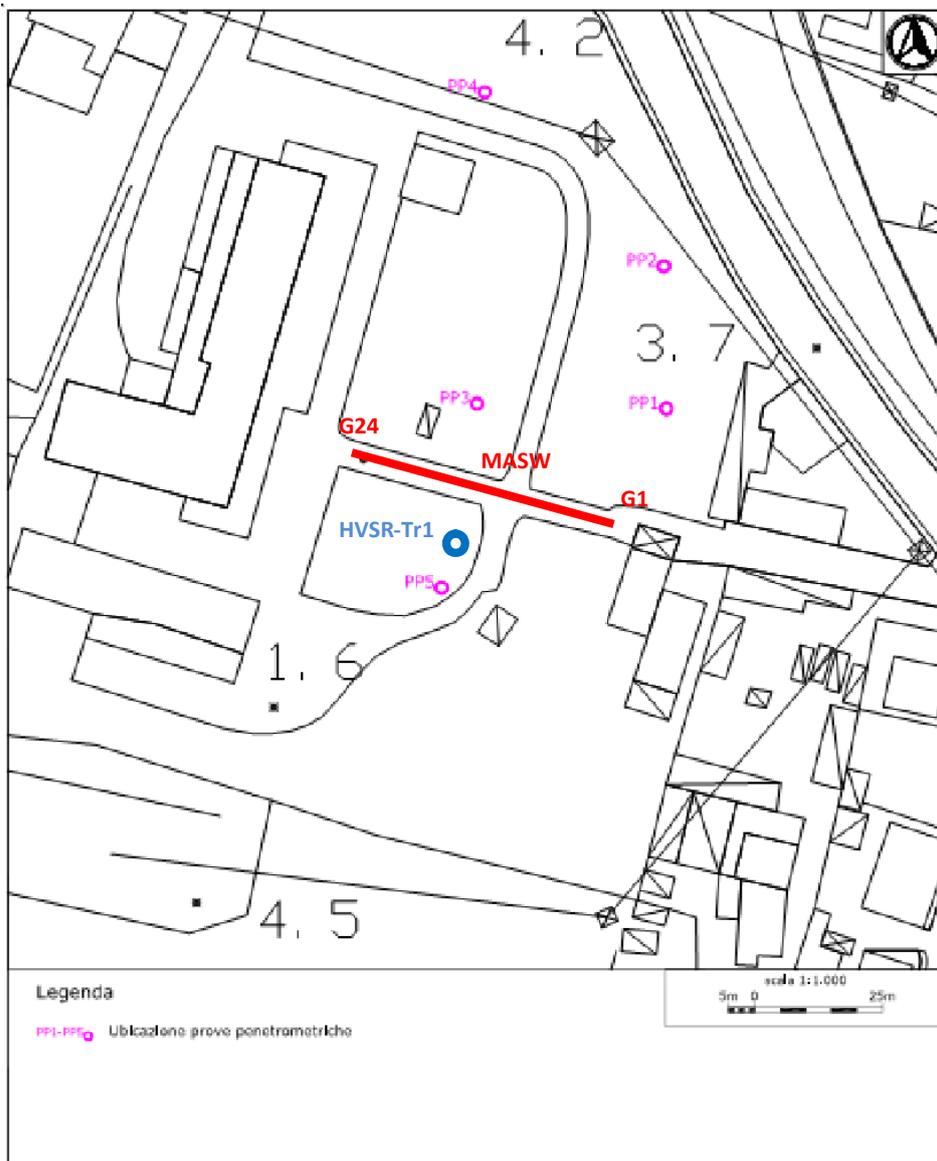
6 Fase di Progetto - PUO

Nella fase attuale, cioè di Piano Urbanistico Operativo si è provveduto alla esecuzione di una serie di indagini geognostiche e geofisiche atte a caratterizzare compiutamente l'areale e che ci ha permesso di suggerire all'amministrazione una modifica della destinazione della Suscettibilità come sopra riportato.

Le indagini come sopra accennato sono consistite in:

- Esecuzione di n° 5 prove penetrometriche statiche con punta Piezometrica;
- Esecuzione di n° 1 Indagine MASW
- Esecuzione di n° 1 indagine HVSR

come dalla tavola seguente di ubicazione indagini



6.1 Indagini geognostiche - prove penetrometriche CPTU

Per lo studio stratigrafico ed una prima parametrizzazione fisico meccanica dell'area si è ricorsi alla esecuzione di n° 5 Prove Penetrometriche statiche con punta piezometrica in quanto, come presupponibile i terreni investigati sono caratterizzati da basse resistenze alla punta, e da fitte variazioni da limi argillosi ad argille limose con sabbie più o meno fini che avrebbero reso l'interpretazione stratigrafica estremamente difficoltosa se non discutibile.

Infatti le prove evidenziano una miscela di terre prevalentemente coesive caratterizzate da Argille limose o Limi argillosi con intercalazioni di livelli francamente argillosi o limosi a livello da centimetrico a decimetrico.

Qui di seguito vengono presentati i risultati delle singole prove e alla fine viene proposta una interpretazione sintetica di ogni singola prova rielaborando i dati forniti, in quanto essendo dati rilevati per ogni cm. di profondità la dispersione dei dati è tale da renderli di difficile interpretazione.

Utilizzando il piezocono (punta elettrica) sono notevolmente migliorati i dati ottenuti nelle prove statiche sia in termini di precisione di misura che come frequenza di campionamento dei dati. Con il piezocono Pagani è infatti possibile acquisire, durante il movimento continuo di spinta, le grandezze qc (resistenza di punta) ed fs (attrito laterale) ad ogni centimetro di profondità contro i 20

centimetri ottenibili dalla punta meccanica di tipo Begemann. Il sistema acquisisce inoltre il valore della U (Pressione Idrostatica nei Pori), l'angolo di inclinazione della batteria di aste ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento di spinta).

Caratteristiche del piezocono			
<i>Canali di misura:</i>		<i>Dimensioni:</i>	
Resistenza di punta (qc):	50; 100 MPa	Angolo di apertura cono:	60°
Attrito laterale (fs):	1,6 MPa (titanio)	Diametro:	36 mm
Pressione nei pori (U):	2,5 MPa	Sezione di spinta:	10 cm ²
Inclinazione:	0 - 20°	Superficie laterale:	150 cm ²
Tip area factor (a):	0,80	Peso:	2,1 kg
Sleeve area factor (b):	0	Lunghezza:	413 mm

Prima dell'esecuzione delle prove è stato effettuato un prescavo con la creazione di apposite piazzole per una profondità media di circa 1.50 metri

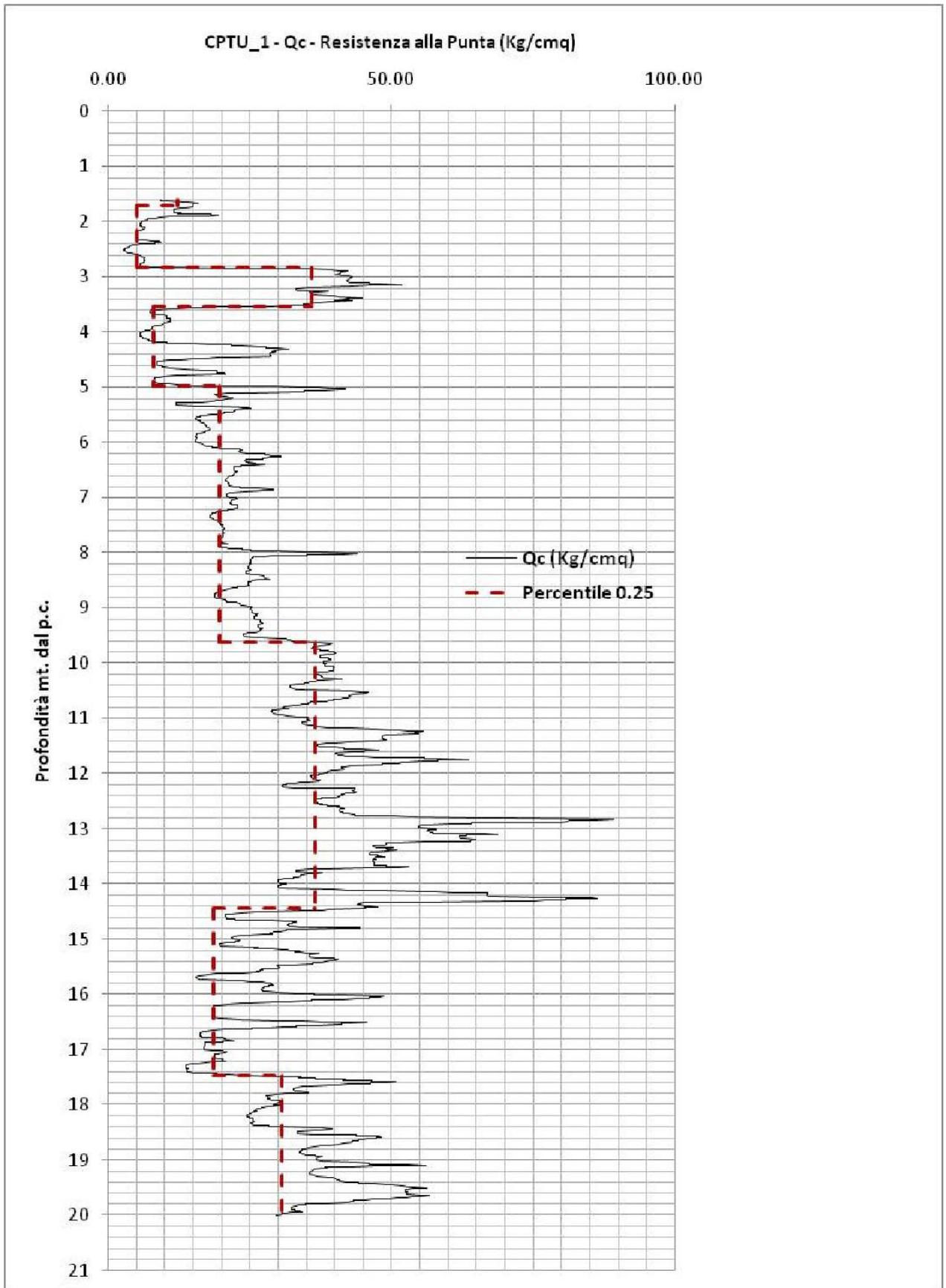
6.2 Risultati sintetici Prove CPTU (Vedi allegato)

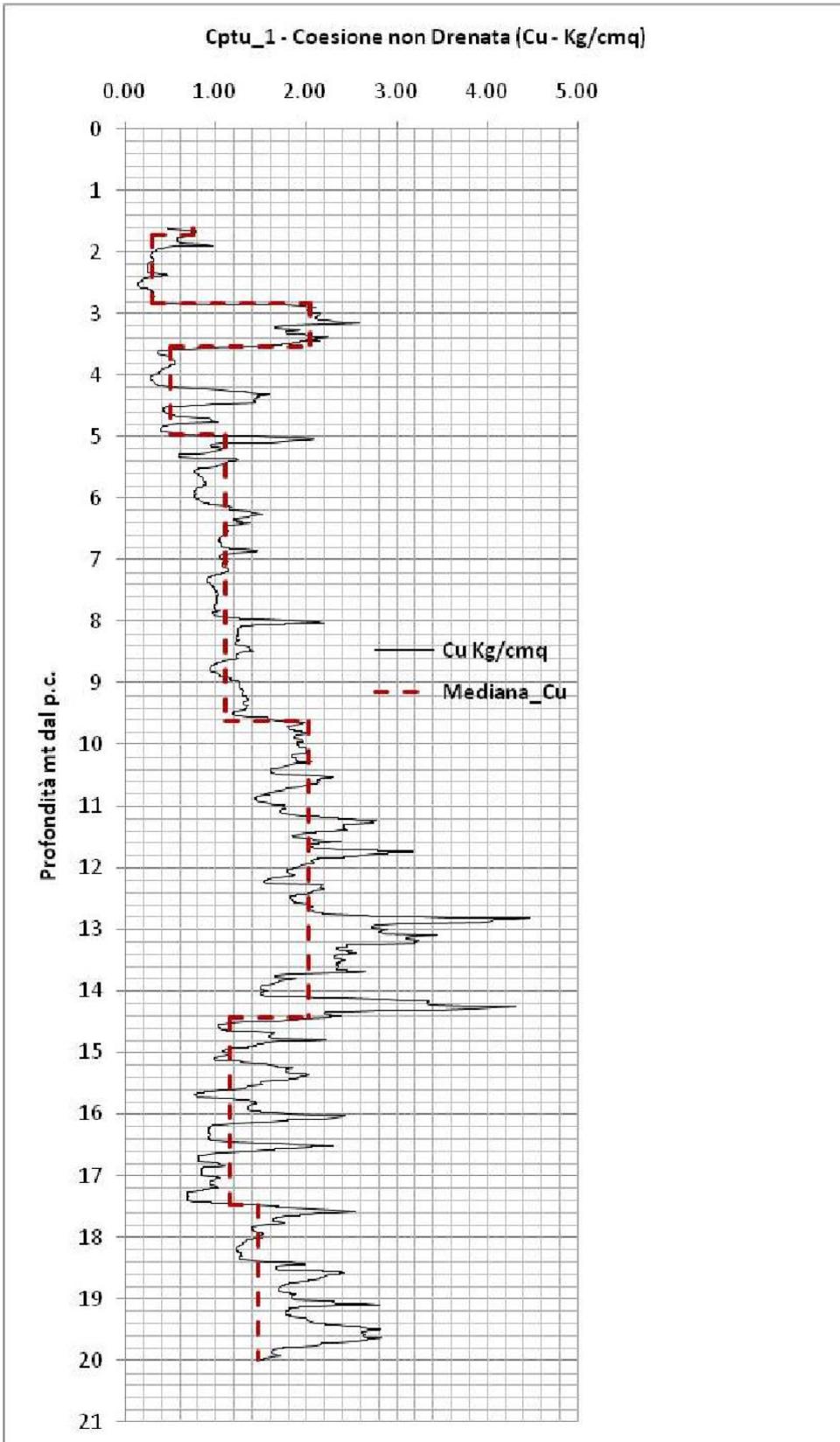
Qui di seguito vengono presentati i risultati sintetici e rielaborati delle singole prove al fine di fornire una visione più organica senza peraltro perdere il dettaglio centimetrico delle singole prove.

I valori presentati e plottati sono stati ottenuti dai valori originari interpolando i valori per le singole prove adottando il quartile (percentile 25%) per la Qc (Resistenza alla punta), e la mediana per i valori della Cu (Coesione non drenata) e di M (Compressibilità Edometrica) tutti valori sono espressi in Kg/cmq.

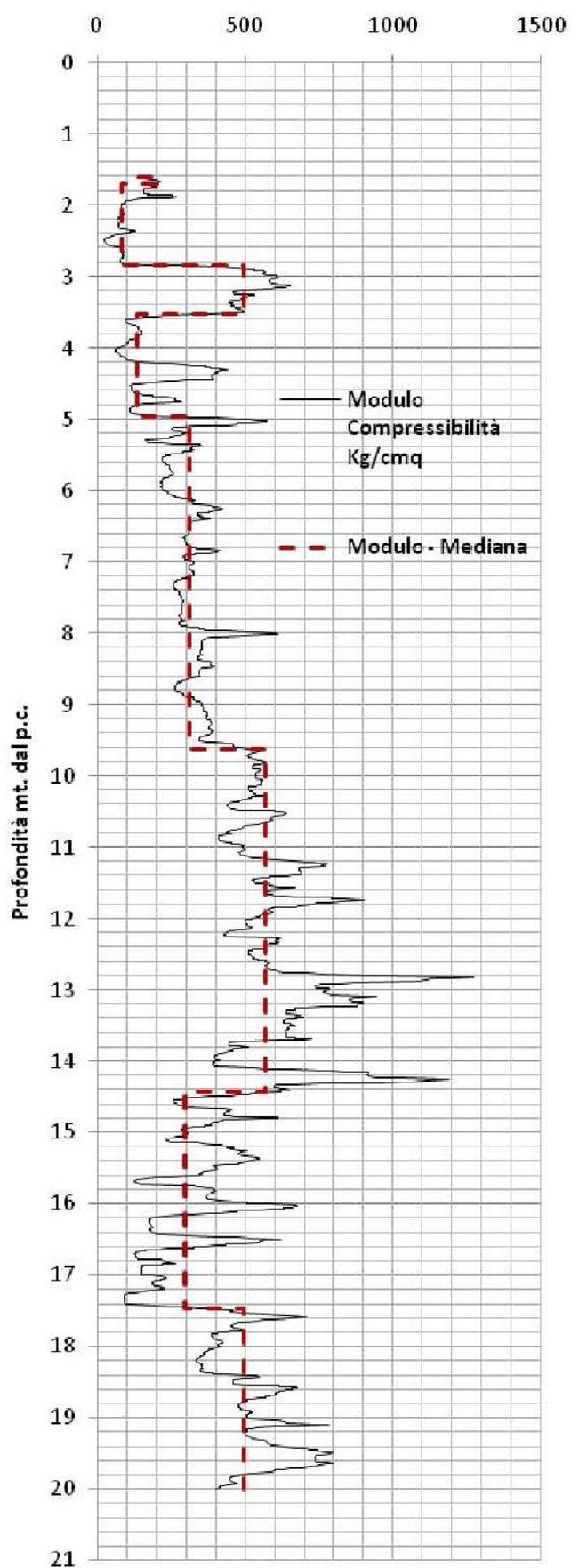
E' stata operata una tale scelta in quanto le fitte intercalazioni rischiavano di far perdere una visione di insieme delle singole prove e la scelta di plottare i valori della Coesione NON drenata è conseguenza della analisi delle singole verticali investigate che mettono in risalto che la zona è caratterizzata da terreni prevalentemente coesivi con fitte intercalazioni (da centimetriche a decimetriche di sabbie fini in qualche caso compatte) che comunque garantiscono un buon drenaggio dei terreni nella fase di consolidazione sotto carico.

Prova CPTU 1

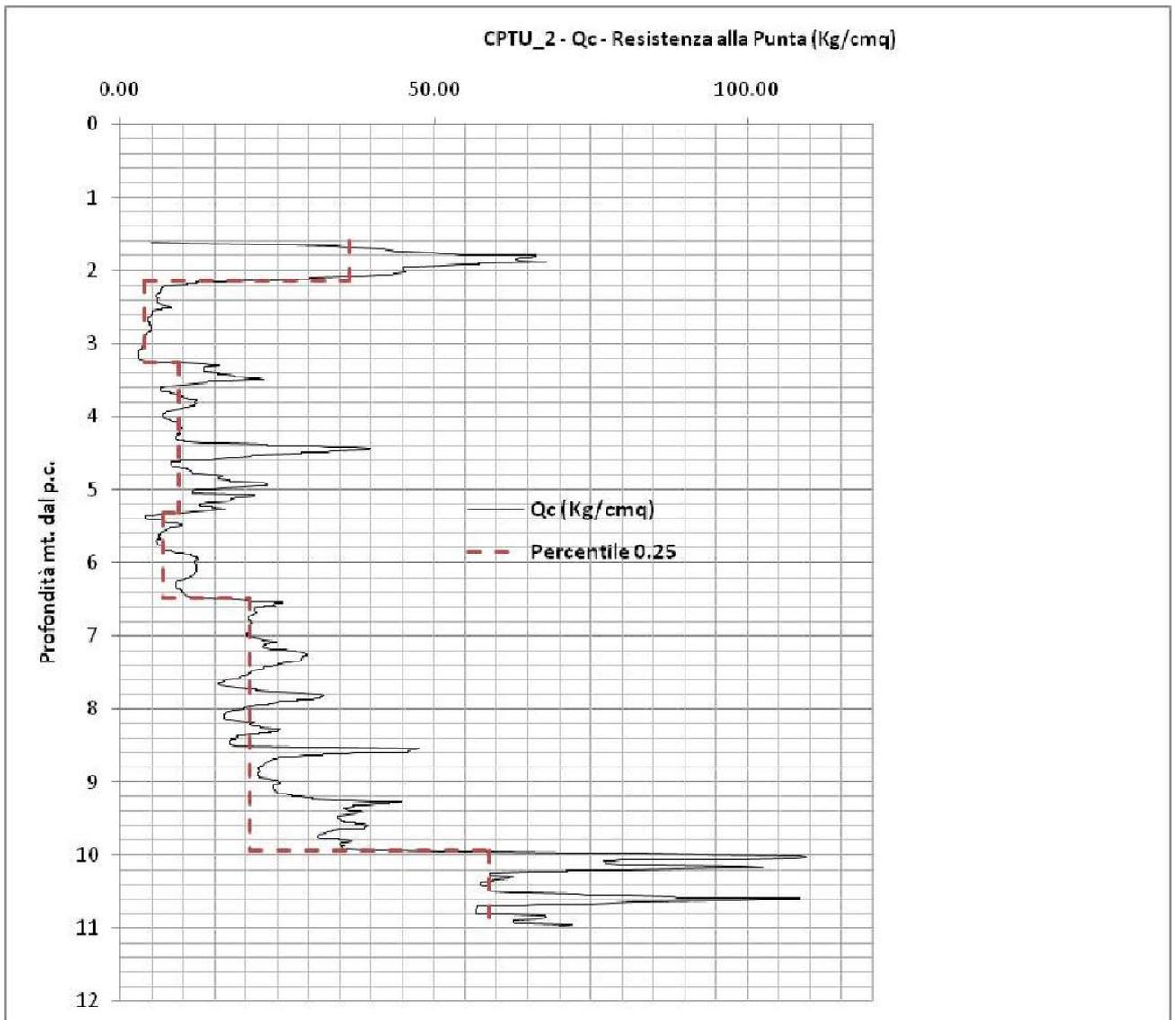


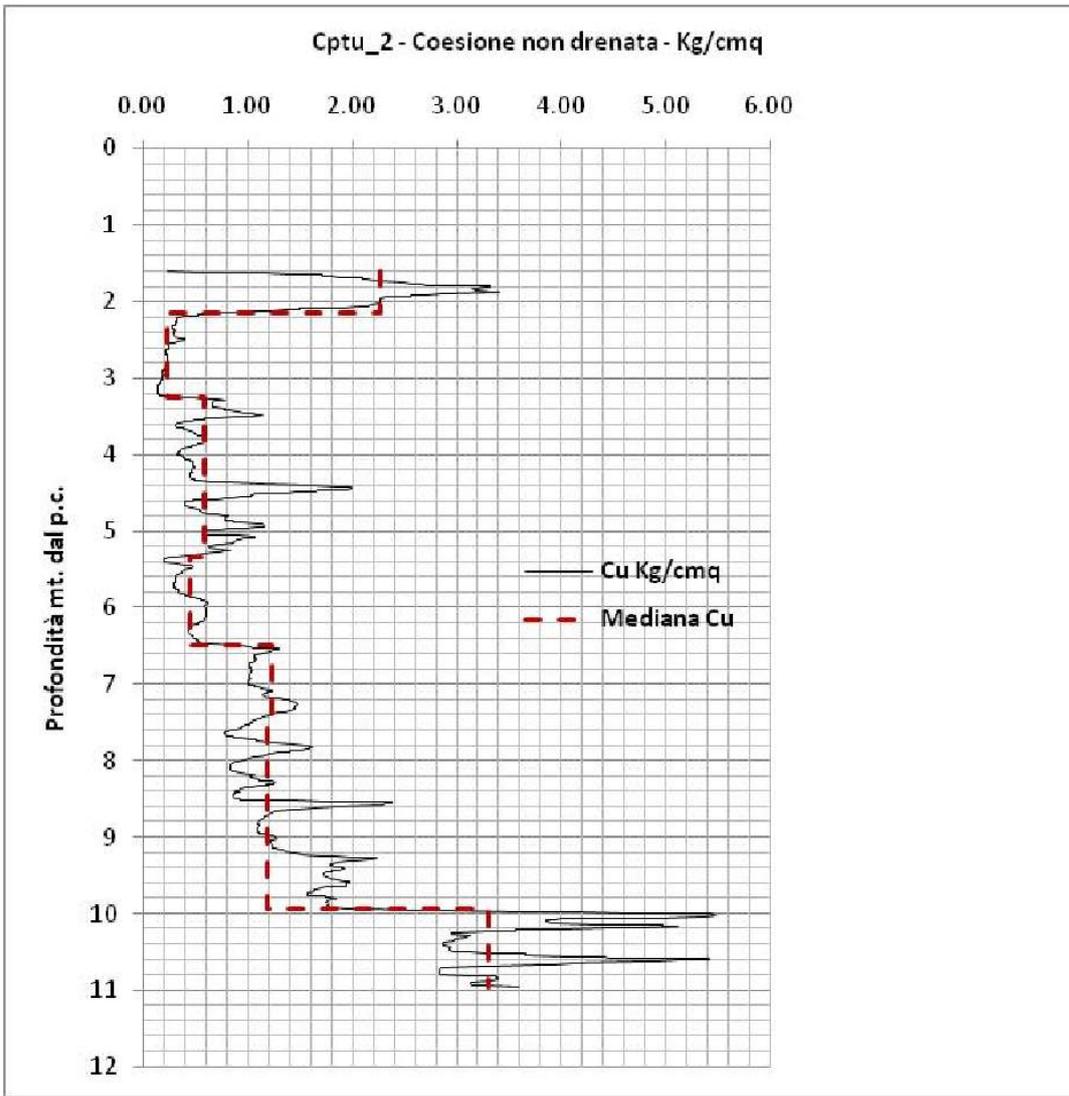


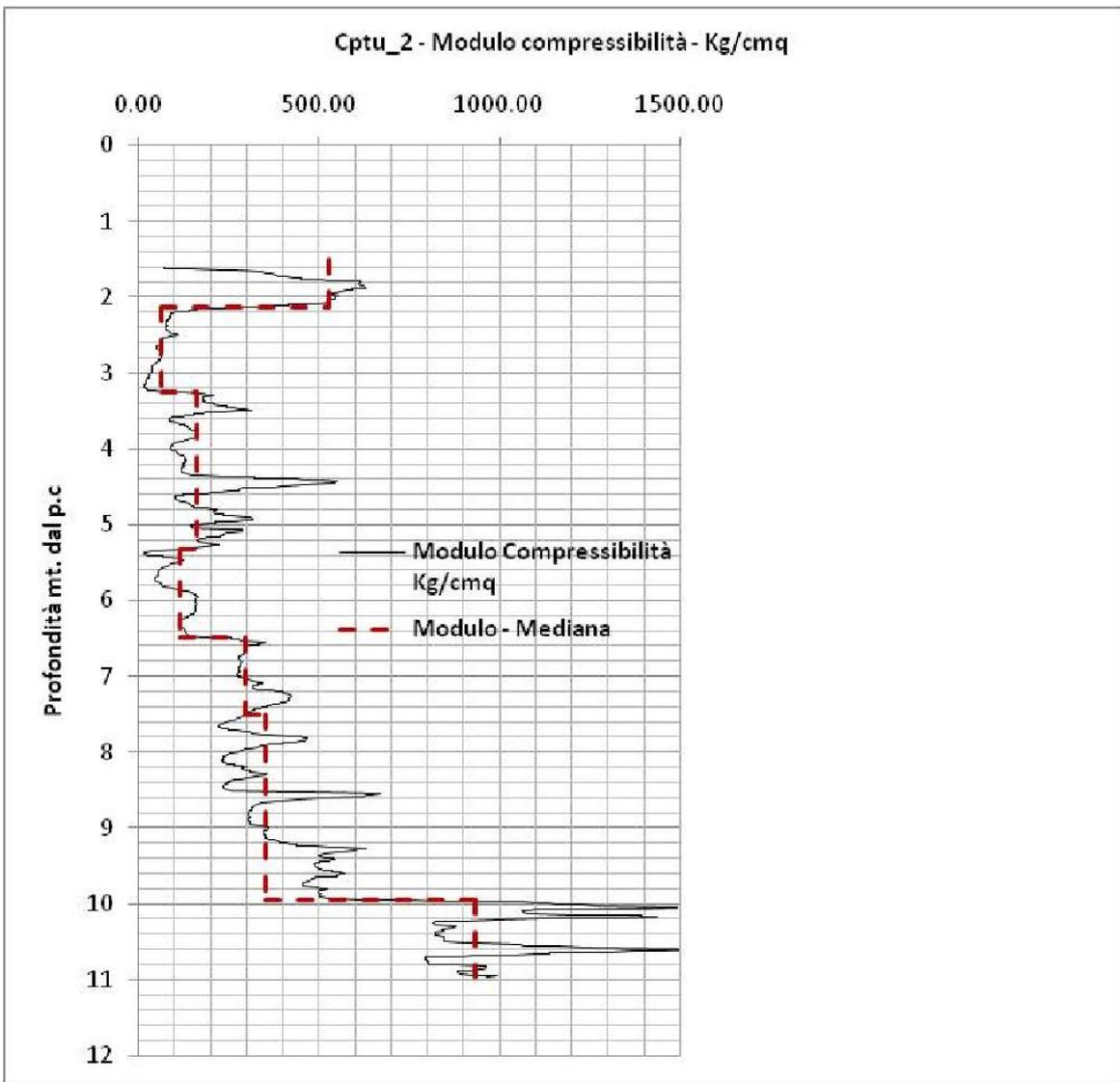
CPTU_1 - Modulo Compressibilità Kg/cm²



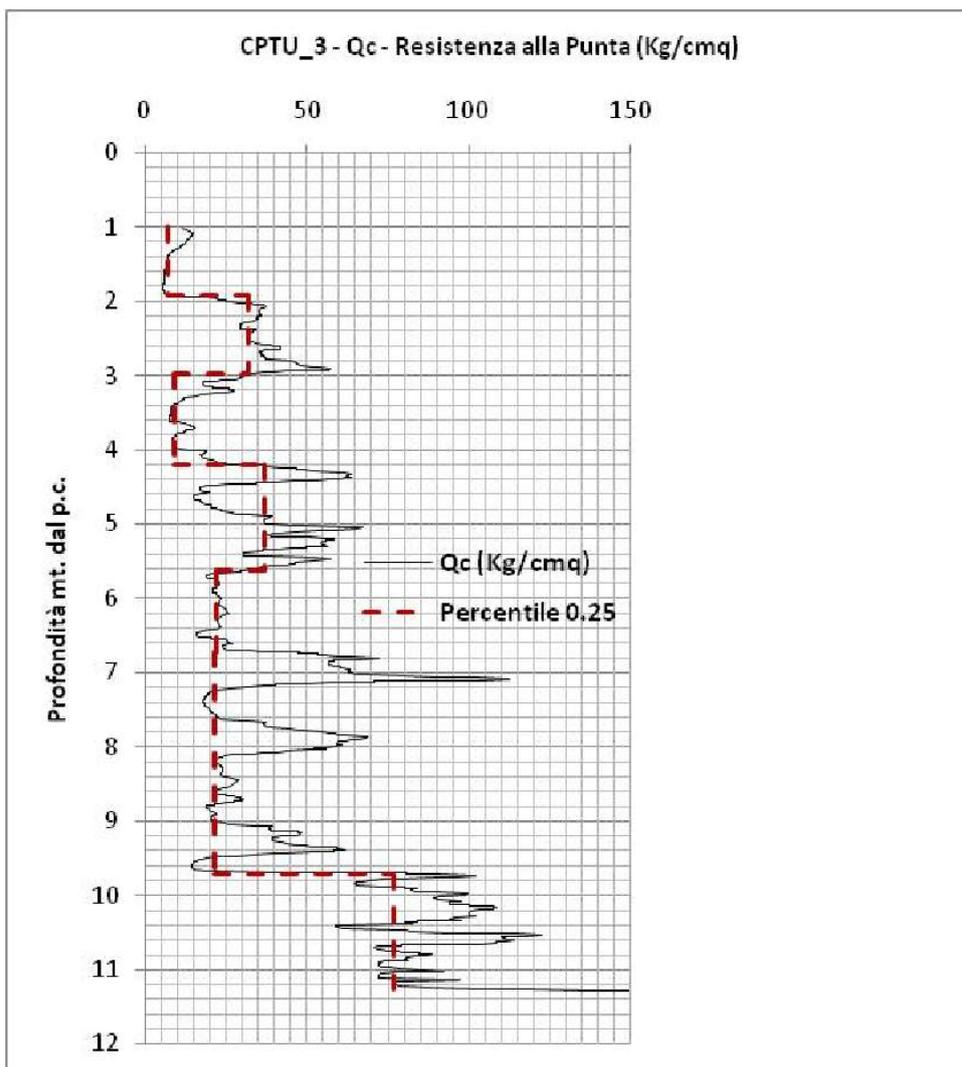
CPTU 2

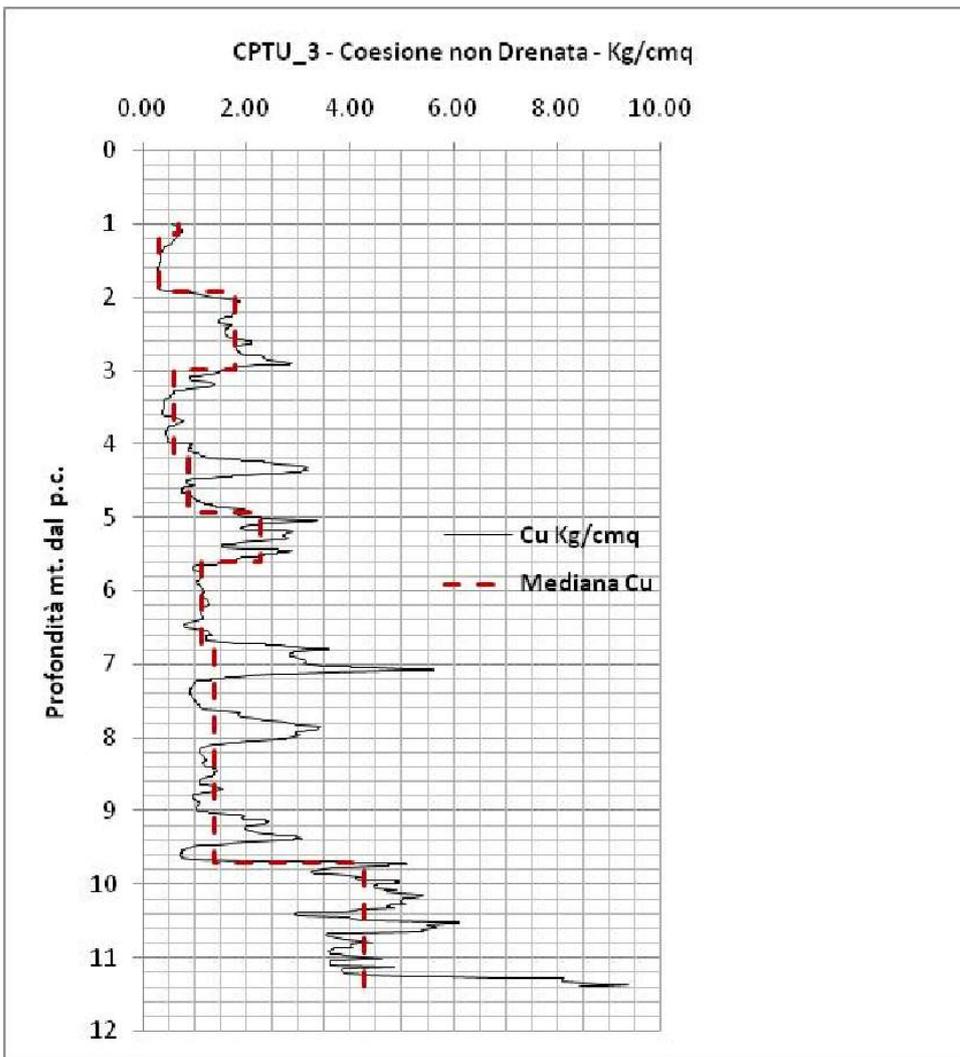


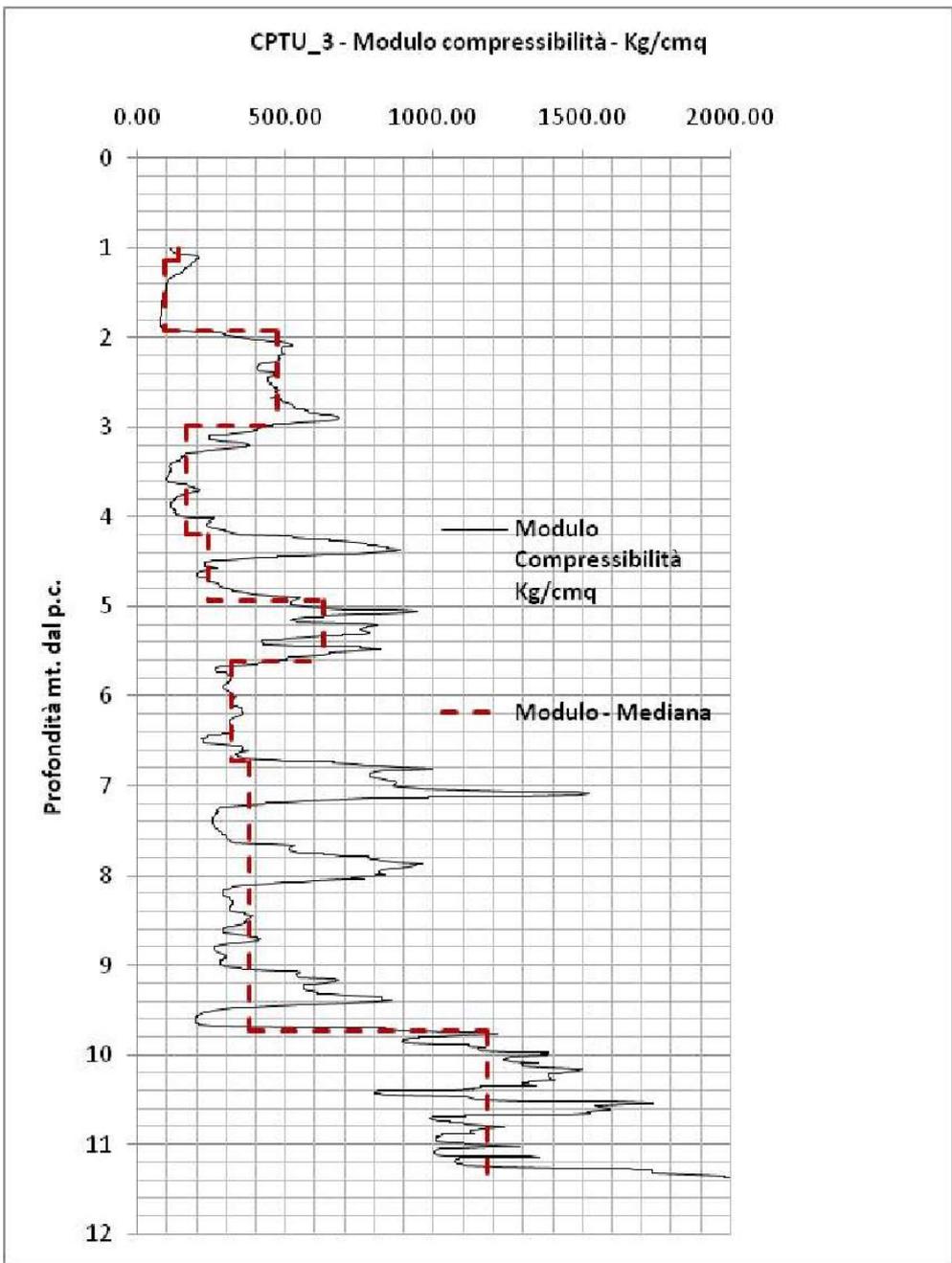




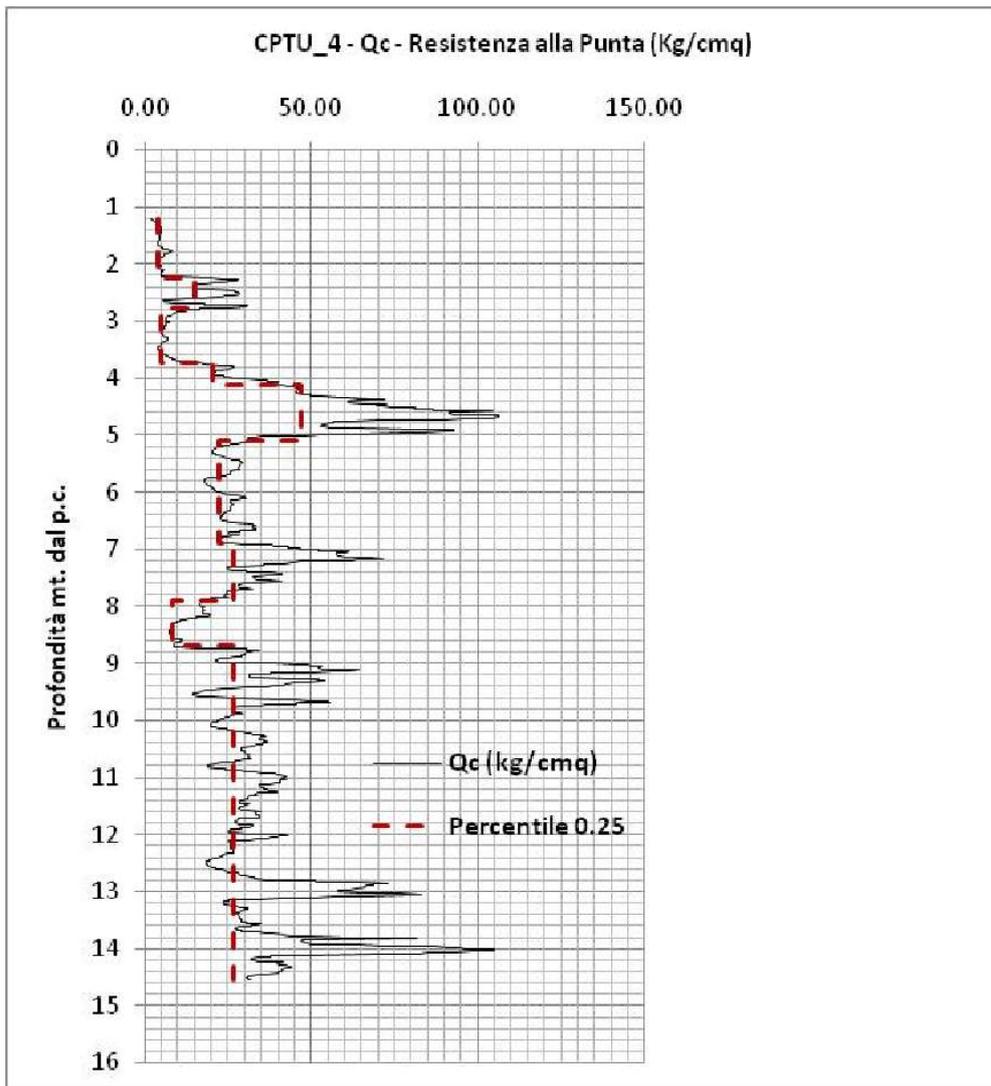
CPTU 3



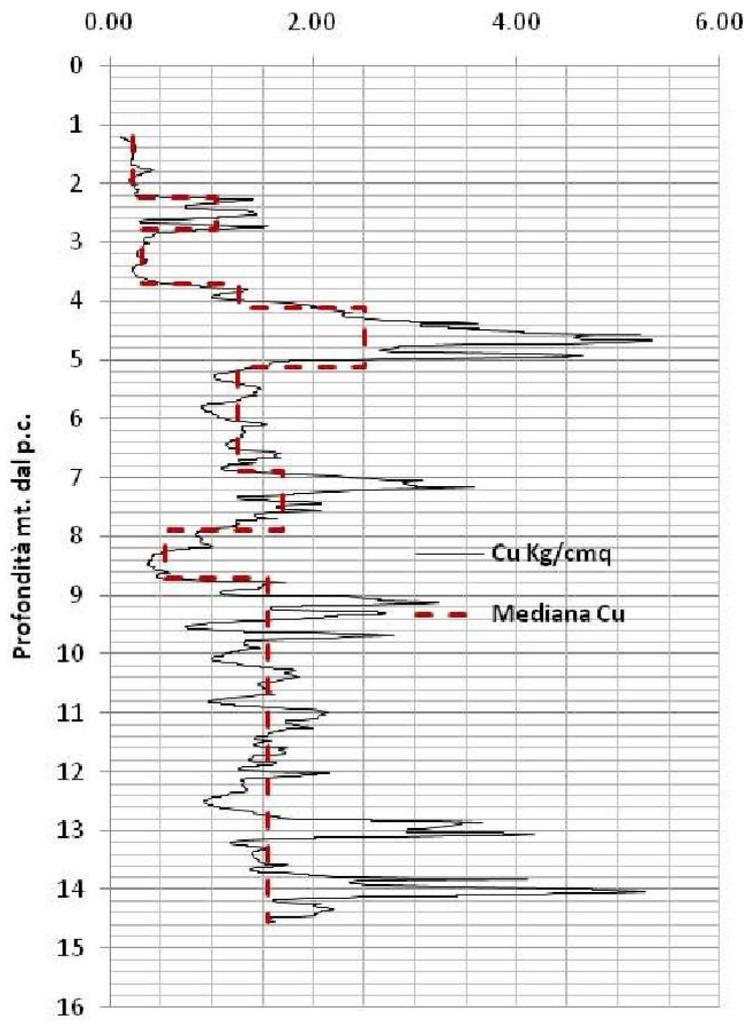




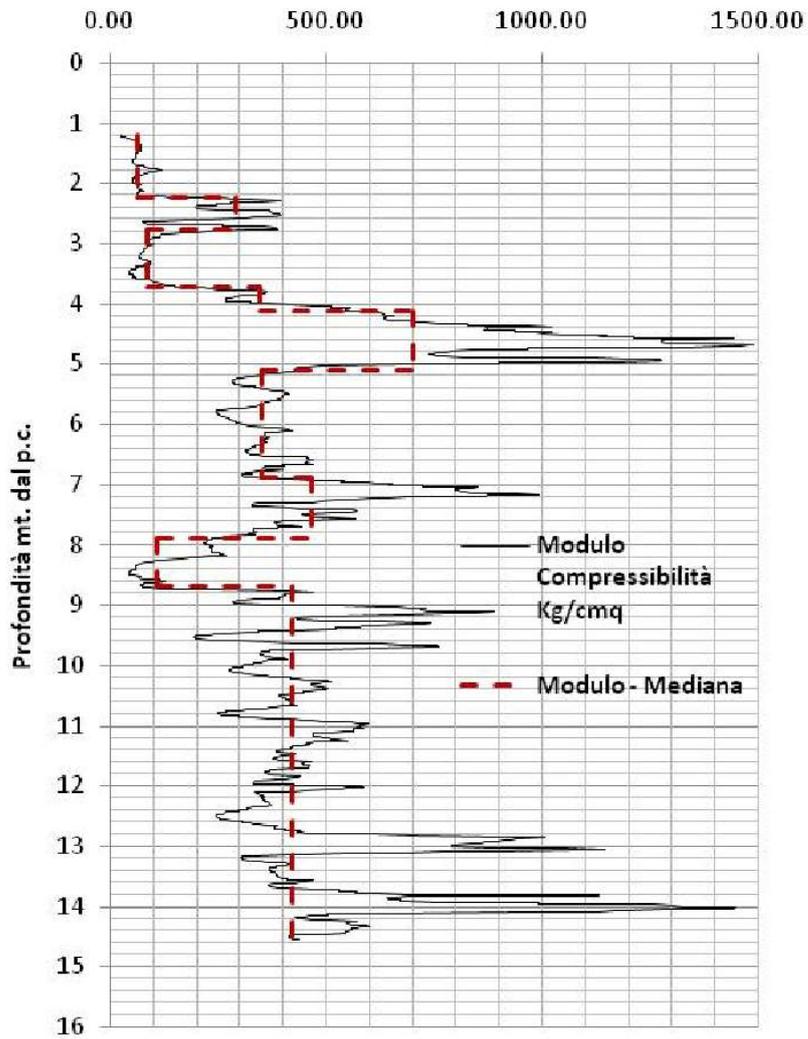
CPTU 4



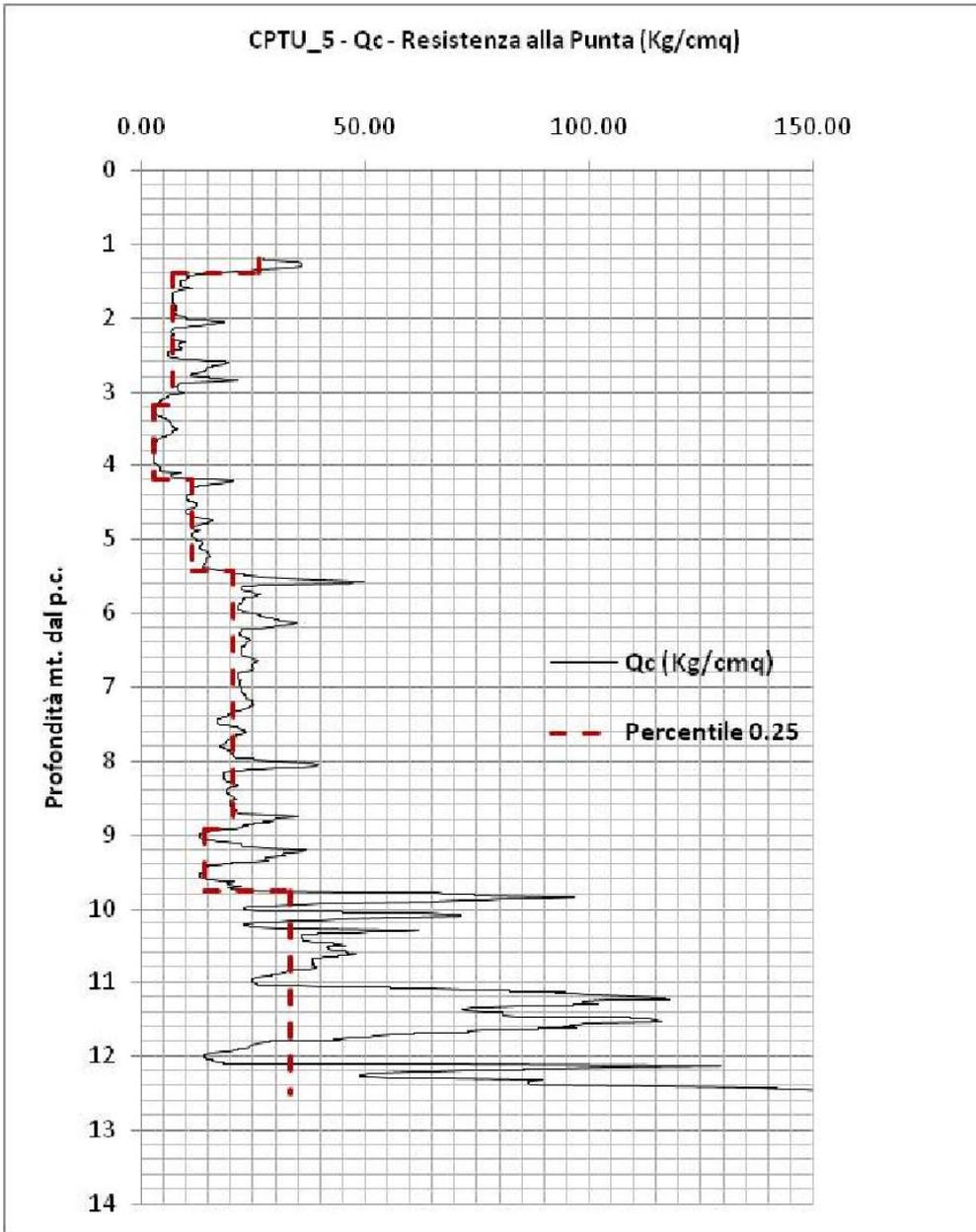
CPTU_4 - Coesione non Drenata - Kg/cmq

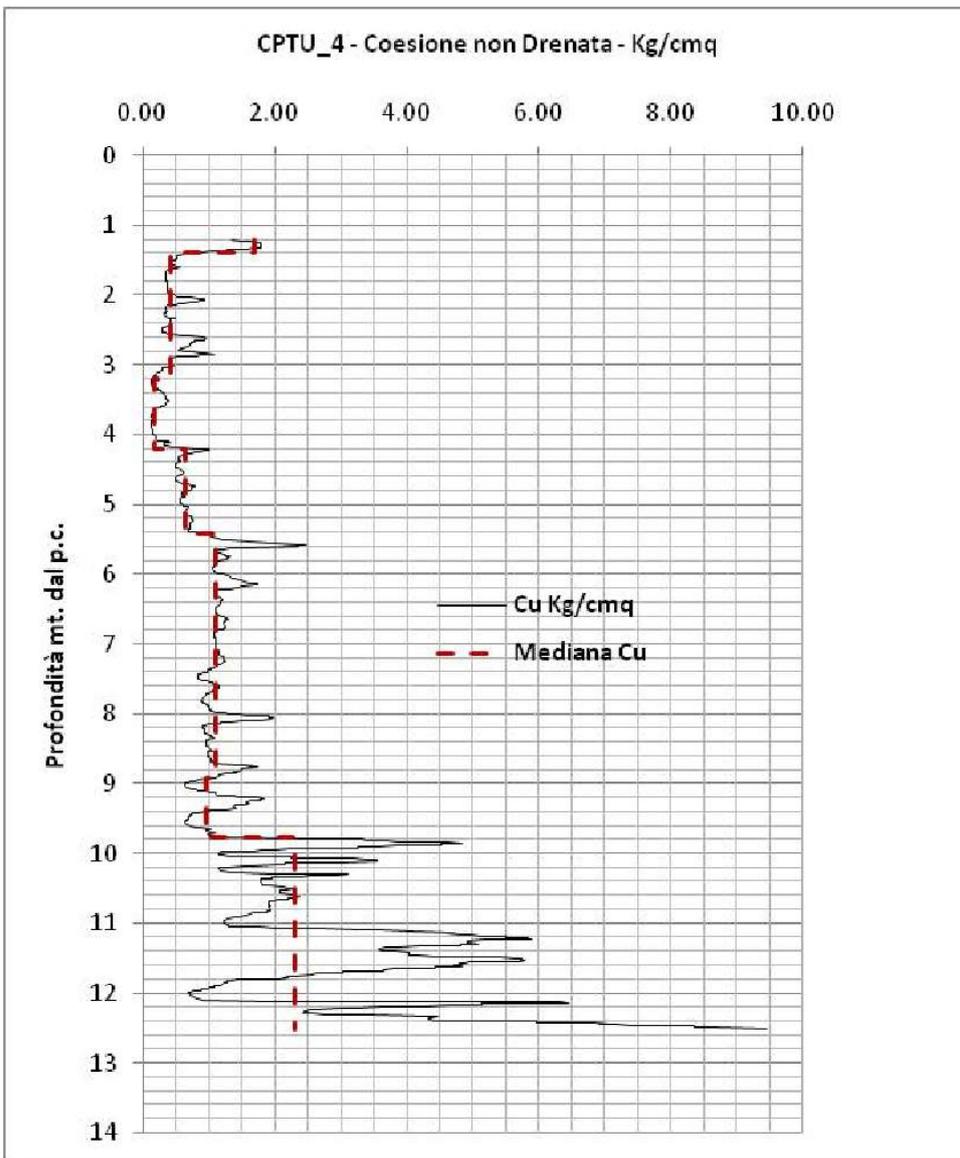


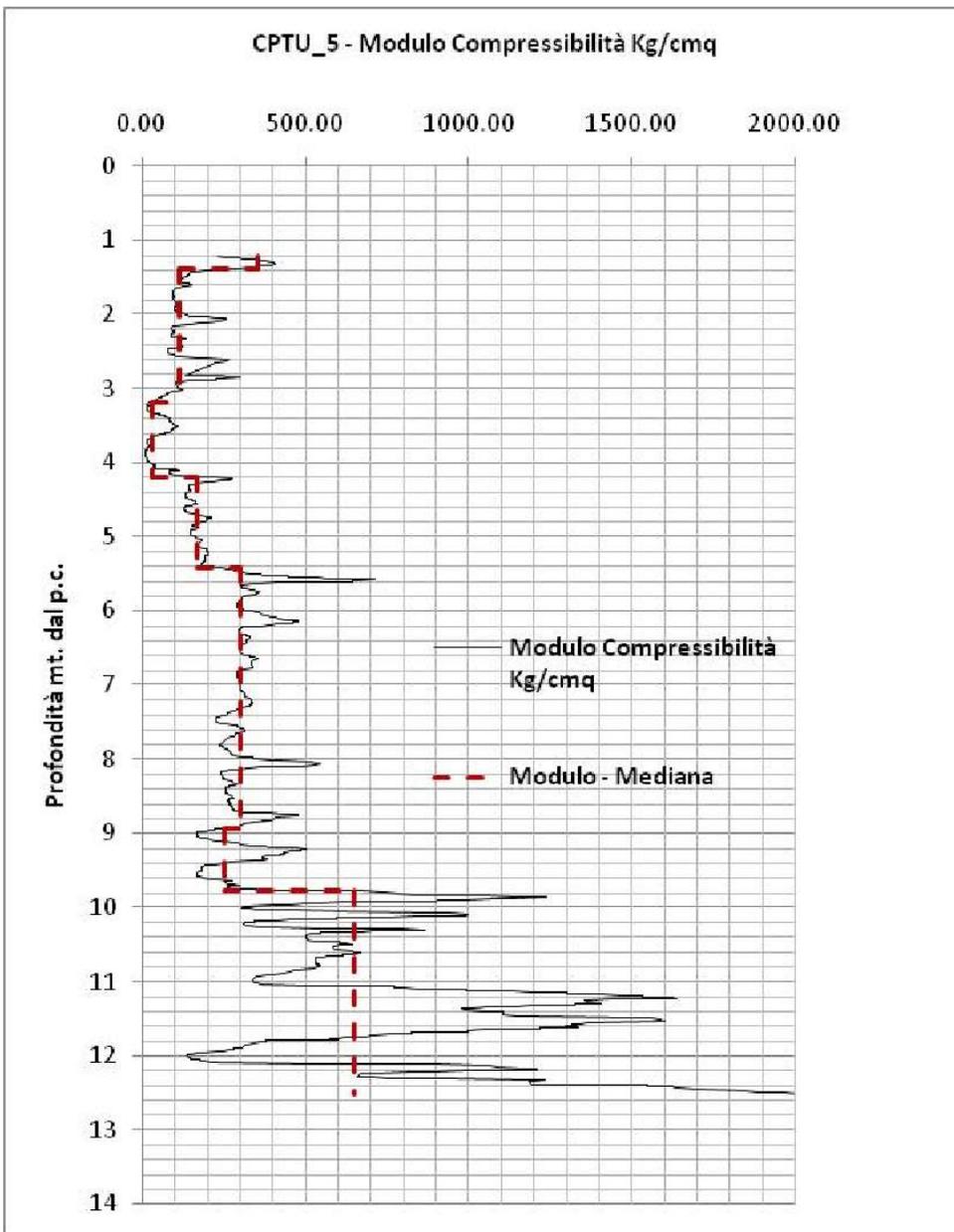
CPTU_4 - Modulo di Compressibilità



CPTU 5







6.3 Risultati delle prove CPTU

Come già più volte asserito siamo di fronte ad deposito di tipo intertidale passaggio fra lacustre e marino (probabile sedimentazione di limi ed argille di un mare poco profondo con intercalazioni di sabbie più o meno fini).

Sul Piano geomeccanico si evidenzia in tutte le prove una situazione abbastanza critica nella zona più superficiale fino ad una profondità compresa fra 4.00 e 6.50 metri a seconda della verticale investigata

Prova CPTU	Prof. in mt. dal p.c.
1	- 5.00
2	- 6.40
3	- 4.00/5.00

4	- 4.00
5	- 5.50

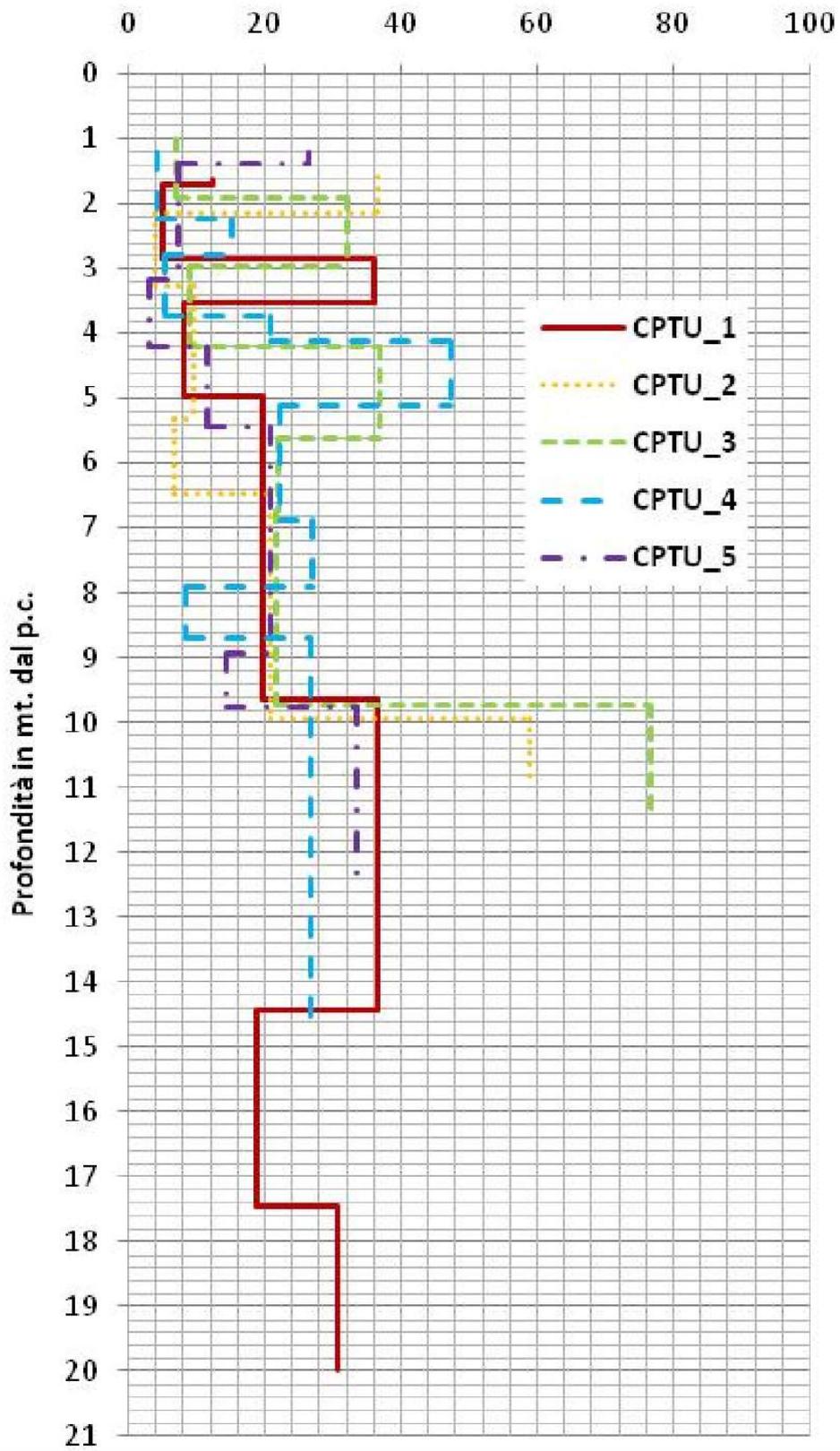
In tale zona sia i valori della coesione NON drenata che dei Moduli di compressibilità edometrica si presentano piuttosto bassi.

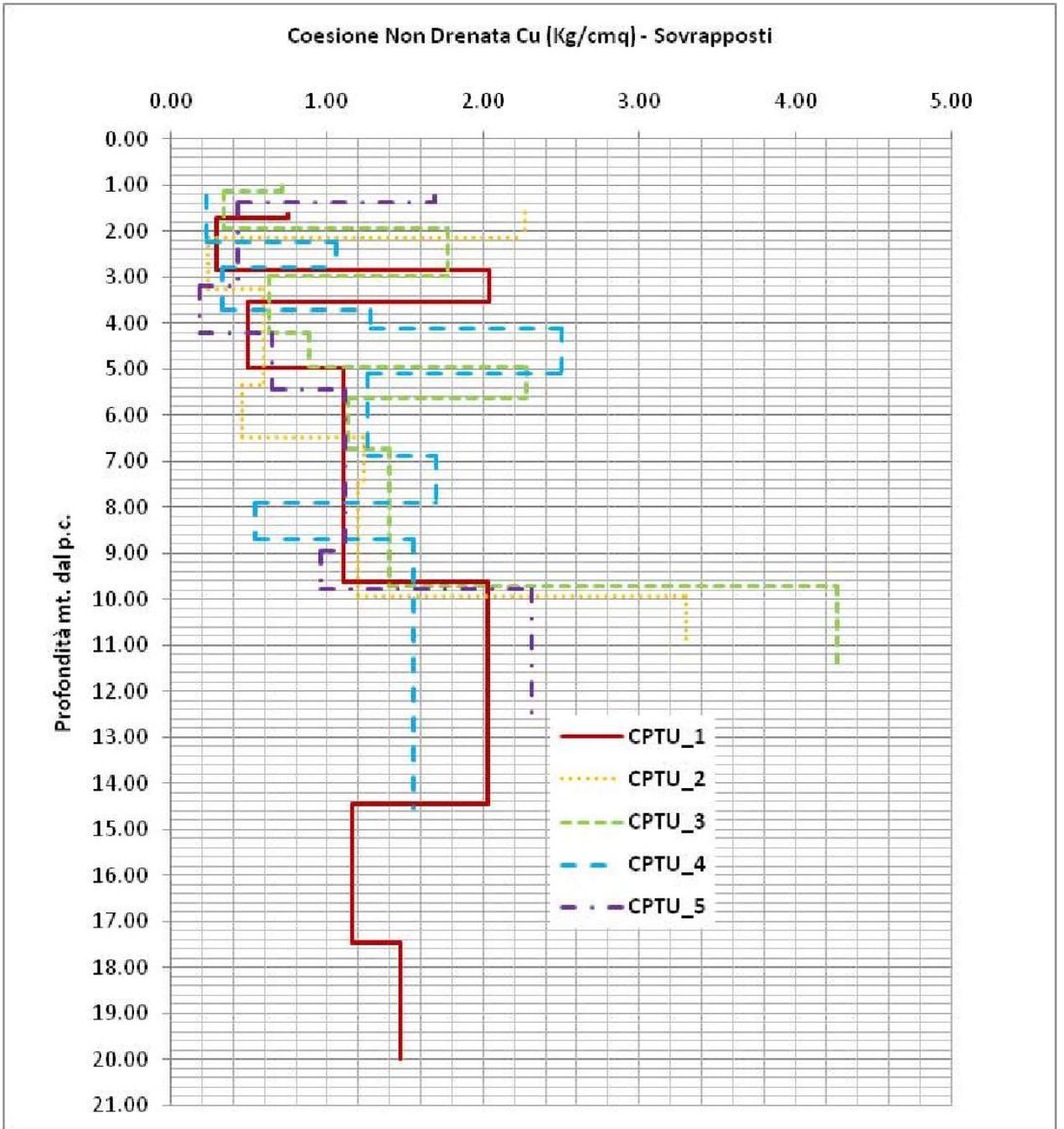
I problemi quindi sono da andarsi ad individuare sul probabile innesco di cedimenti differenziali a causa del diverso comportamento del terreno a seconda della verticale investigata ed anche la stessa stima della portanza del terreno è opportuno che sia eseguita in funzione dei cedimenti ammissibili. Per questi motivi si suggerisce di procedere con una verifica di fattibilità sull'utilizzo di tecnologie di trasferimento dei carichi in profondità mediante l'utilizzo di pali battuti, piuttosto che tecnologia Jet Grouting, oppure applicando una nuova tecnologia denominata Pali Soles che presenta indubbe caratteristiche di adattabilità ad una situazione piuttosto articolata come quella in esame.

Qui di seguito vengono presentati i dati delle 5 prove assemblati per avere una immediata percezione della peculiarità del sito e dei problemi presenti.

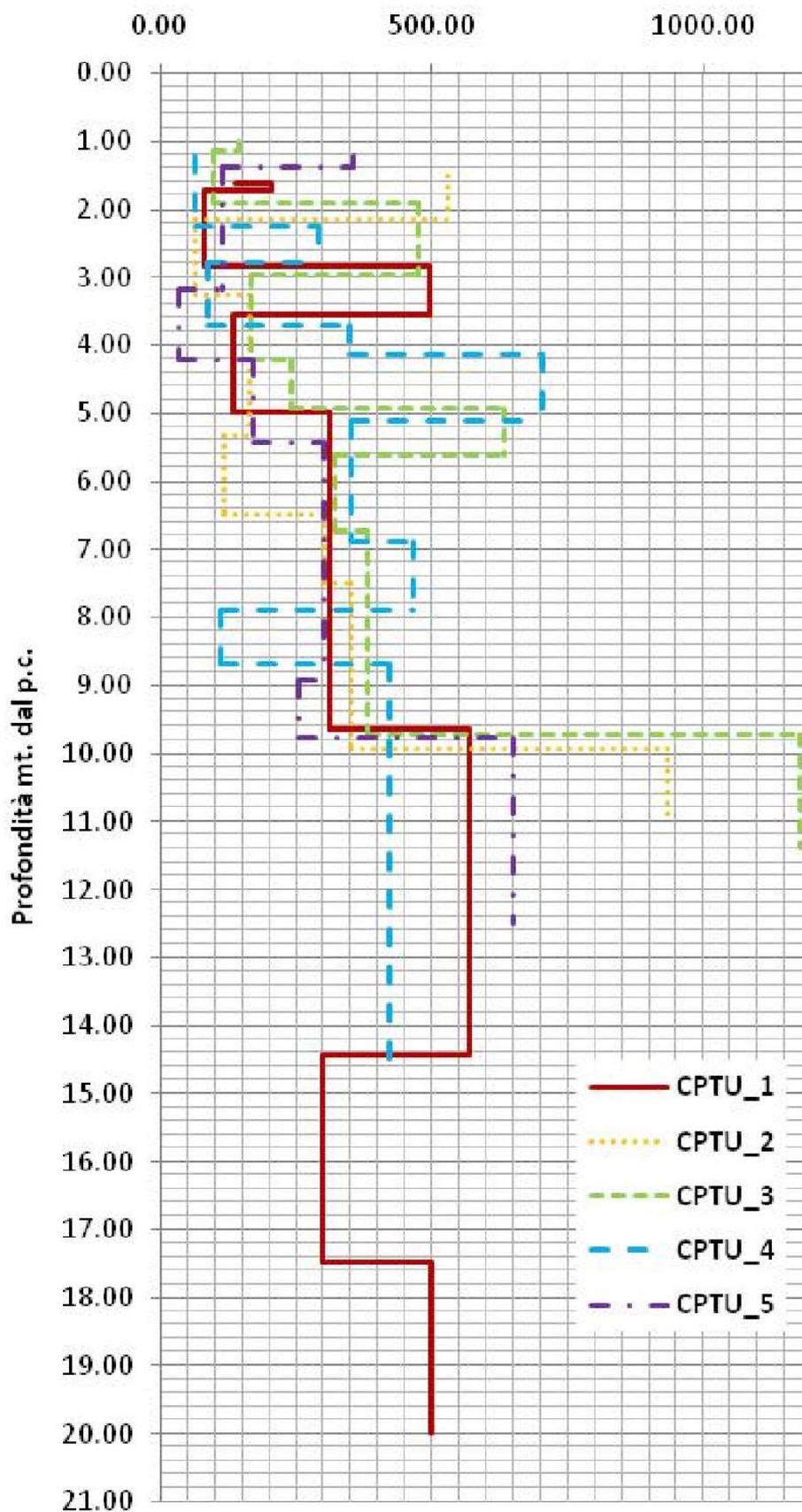
6.4 CPTU_1, 2, 3, 4, 5 - Assemblati

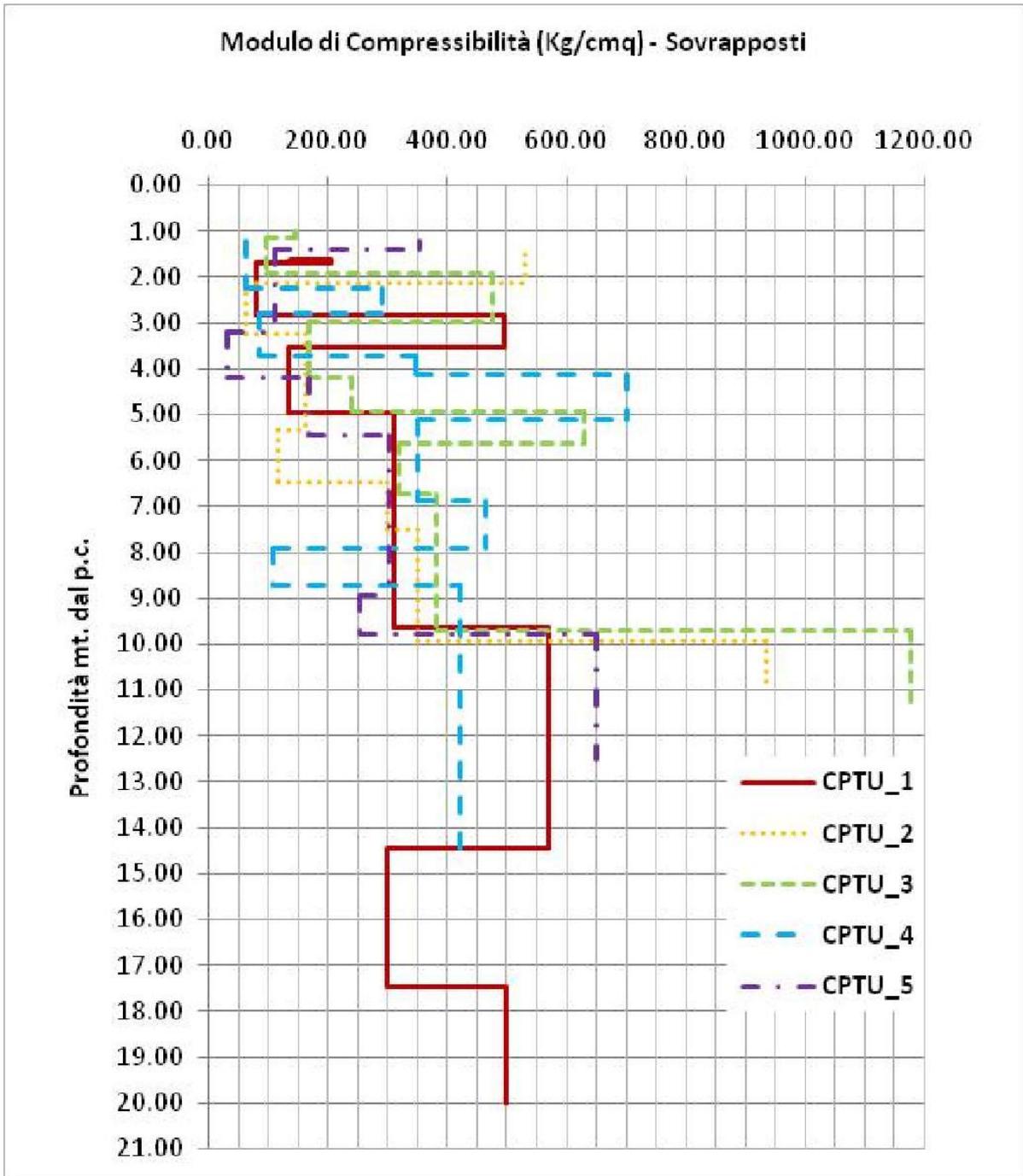
Resistenza alla Punta Q_c (Kg/cm 2) - Sovrapposti





Modulo Compressibilità M (Kg/cmq)





Dall'esame delle singole verticali si deduce che almeno i primi 10 metri sono costituiti da una miscela di terreni prevalentemente coesivi caratterizzati da argille plastiche, argille sabbiose e limi argillosi, si evidenzia peraltro che anche il valore del Modulo di compressibilità presenta valori che testimoniano la presenza di terreni molto compressibili, pur avendo un sistema di drenaggio piuttosto efficiente grazie alla fitta intercalazione di sabbie limose più o meno argillose.

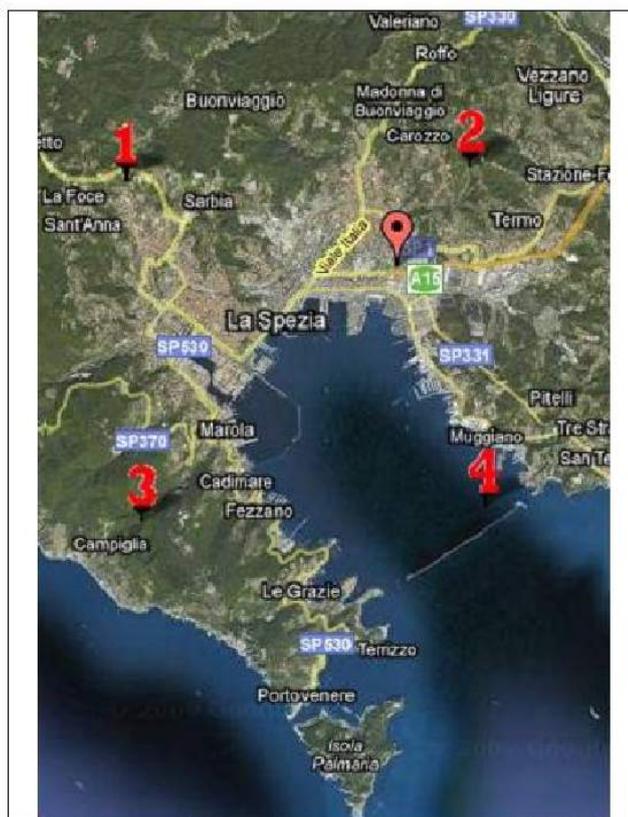
Il modulo peraltro può variare all'interno di range secondo la tabella sotto esposta, dove si nota che per terreni prevalentemente coesivi il valore aumenta in rapporto alla consistenza stessa del materiale, mentre sui terreni incoerenti l'aumento è dovuto all'aumento della densità relativa

Terreno	E_{ed} (kg/cm ²)
Torba	1 - 20
Argilla	5 - 200
Limo	30 - 300
Sabbia	100 - 800
Ghiaia	300 - 2000

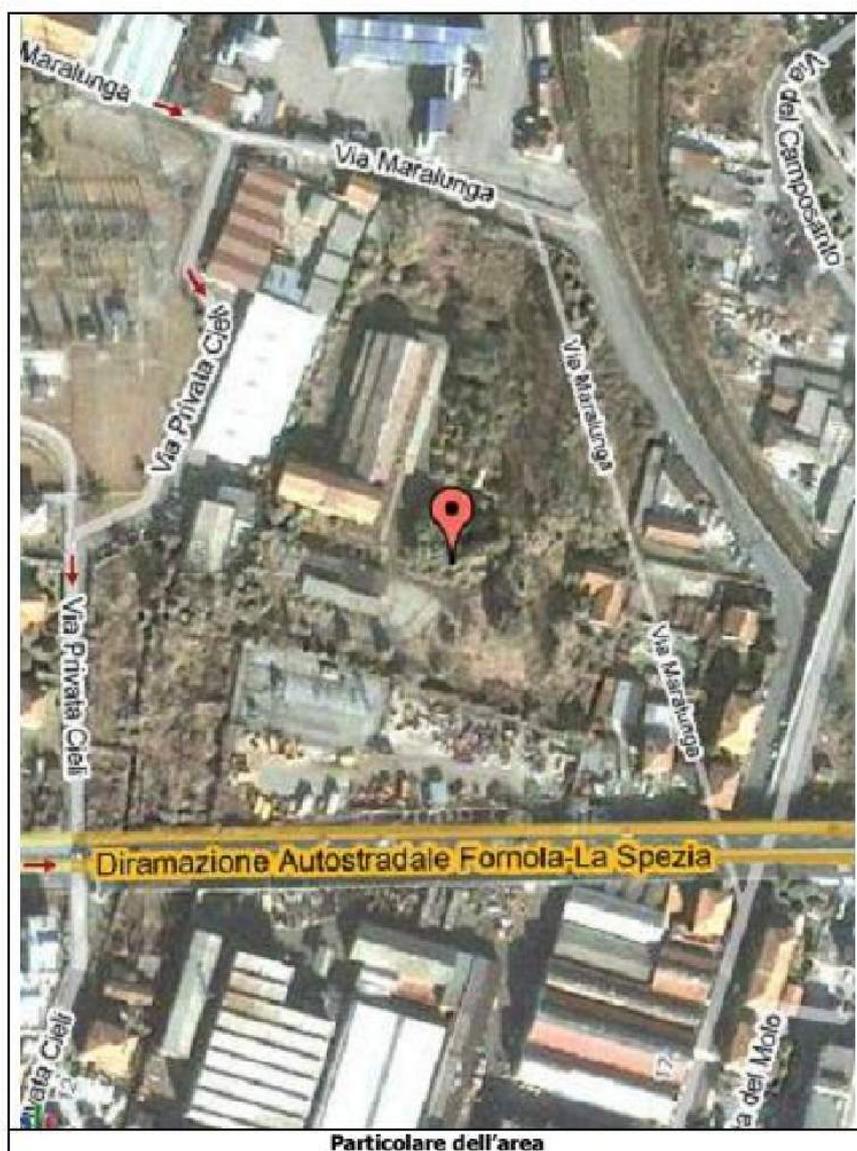
Figura 1- Moduli di Compressibilità Edometrica

7 Classificazione e caratterizzazione sismica del sito in esame

Ai fini della classificazione e caratterizzazione sismica del sito, si fa riferimento al D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Con l'emanazione del citato decreto, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), è definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio di "zona dipendente"; ciò comporta delle non trascurabili differenze nel calcolo dell'accelerazione sismica di base rispetto alle precedenti normative. Sulla base della normativa nazionale vigente il sito rientra nei quattro punti come da immagine seguente



Ubicazione area di intervento e posizionamento nodi del Reticolo Nazionale di Riferimento per la definizione dei parametri dell'azione sismica



Parametri sismici Sito in esame.

latitudine: 44,1147

longitudine: 9,85339

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18262 Lat: 44,1272Lon: 9,7987 Distanza: 4578,151

Sito 2 ID: 18263 Lat: 44,1293Lon: 9,8683 Distanza: 2014,810

Sito 3 ID: 18484 Lat: 44,0772Lon: 9,8018 Distanza: 5862,218

Sito 4 ID: 18485 Lat: 44,0794Lon: 9,8712 Distanza: 4177,835

Indagini Sismiche e definizione della categoria del sottosuolo

L'indagine è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008

“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro Vs30 si è deciso di eseguire n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW (“Multichannel Analysis of Surface Waves”).

Per verificare i risultati ottenuti dalla prova MASW è stato eseguito, in prossimità dello stendimento, un sondaggio in sismica passiva a stazione singola denominato TR1.

L’elaborazione della prova HVSr TR1 ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall’indagine MASW, di investigare il sottosuolo fino a profondità superiore rispetto a quella richiesta dalla normativa.

L’attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l’indagine MASW sono costituite da:

un sistema di energizzazione ad impatto verticale costituito da una mazza del peso di 10 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;

un sistema di direzione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente con frequenza propria di 4.5 Hz;

un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello 16S24U;

due cavi sismici telemetrici di 55 m ciascuno; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I. a 24 canali;

un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell’istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati

La strumentazione utilizzata per le misure dei microtremori ambientali, elaborati attraverso la tecnica HVSr, è costituita da un tromografodigitale (Tromino® di Micromed S.p.A.) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW	
Coordinate GB centro stendimento	1568335; 4885002
Orientazione	SE-NW (N 285)
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0 cm
Lunghezza stendimento	46 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Numero punti di energizzazione per estremo	3
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	2 m, 3 m, 5 m
Durata acquisizione	1024 ms
Intervallo di campionamento	250 µs

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con il sondaggio in sismica passiva eseguito in prossimità dello stendimento MASW (TR1)

Metodologia e Acquisizione

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità equivalente delle onde di taglio Vs;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR				
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga		Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
TR1	1568331	4884989	16 min	128 Hz

La misura dei microtremori ambientali, orientata secondo il Nord e della durata di 16 minuti, tempo di registrazione più che adeguato per la finalità delle indagini stesse, è stata effettuata con il tromografo digitale Tromino[®] di Micromed S.p.A.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

I risultati ottenuti dall'esecuzione dall'indagine tromografica sono stati elaborati attraverso il software Grilla 6.5 (Micromed Spa).

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	250
5.00	4.50	170
8.50	3.50	330
11.50	3.00	200
27.50	16.00	330
inf.	inf.	480

$$Vs(0.0-30.0)=278\text{m/s}$$

$$Vs(1.0-31.0)=286\text{m/s}; Vs(2.0-32.0)=297\text{m/s}; Vs(3.0-33.0)=308\text{m/s}$$

La velocità equivalente di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità (Vs30) è calcolata con la seguente espressione:

$$Vs30 = 30 / (\sum hi / Vi)$$

Il profilo MASW indica una Vs30, riferita al piano di campagna, pari a 278 m/s.
Nell'ipotesi di piano di fondazione posto a -1 m, -2 m e -3 m dal p.d.c. i corrispondenti valori del parametro Vs30 risultano essere, rispettivamente, 286 m/s, 297 m/s e 308 m/s.

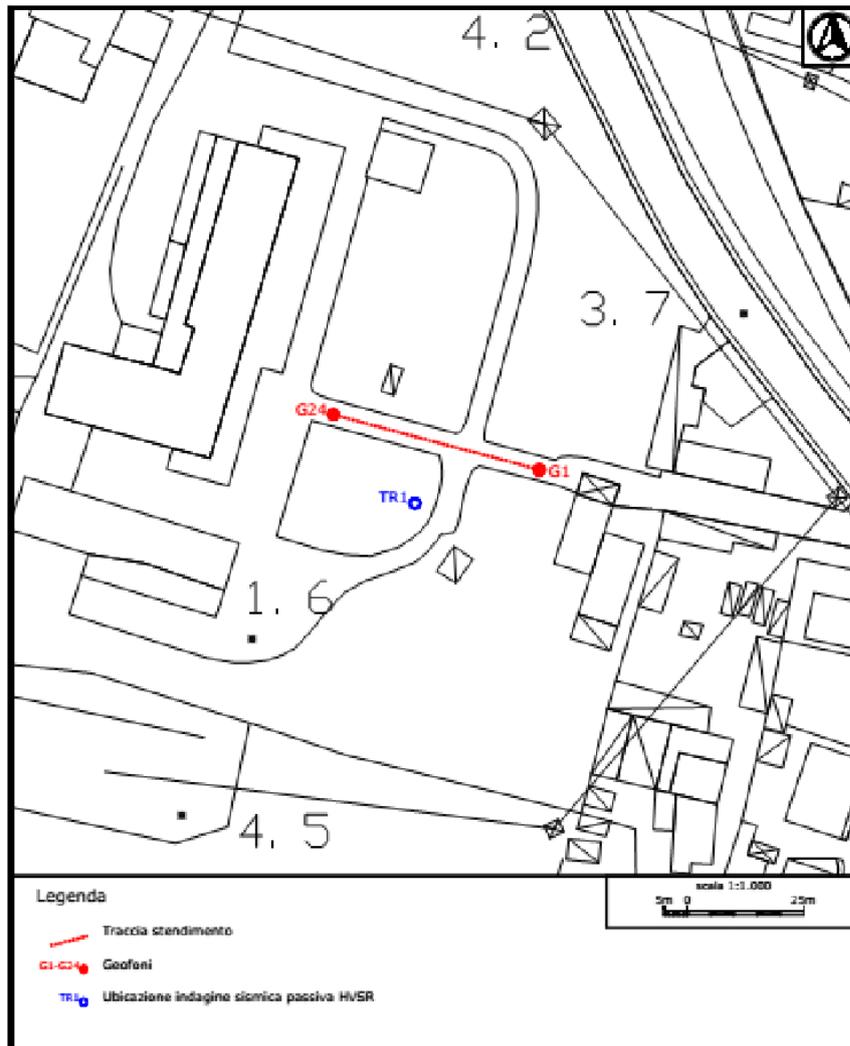
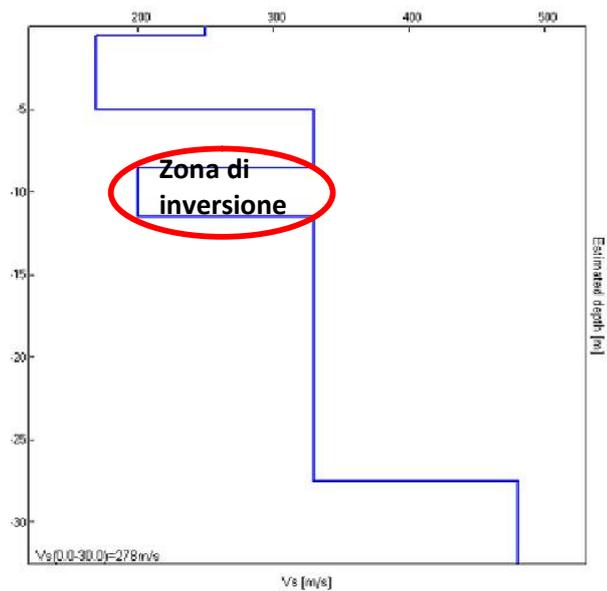


Figura 2 - Ubicazione Indagini Sismiche



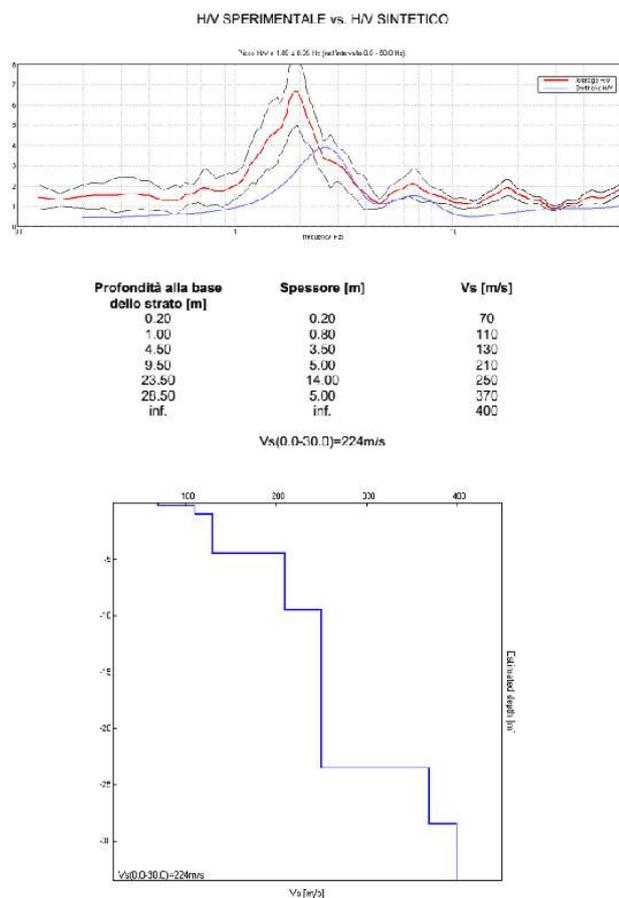
Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	250
5.00	4.50	170
8.50	3.50	330
11.50	3.00	200
27.50	16.00	330
inf.	inf.	480

$V_s(0.0-30.0)=278\text{m/s}$
 $V_s(1.0-31.0)=286\text{m/s}; V_s(2.0-32.0)=297\text{m/s}; V_s(3.0-33.0)=308\text{m/s}$

Tav 6 - Indagine MASW - VS 30

Risultati indagine HVSR



Tav 7 - HVSr - Vs30

Categoria sottosuolo: C (la categoria in questa fase è derivata da dalla prova Masw e di sismica Passiva)

Categorie di Suolo di Fondazione	Vs 30 m/s	Nspt – Cu kPa
A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	Vs30 > 800	
B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero Nspt30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu	360 < Vs30 < 800	Nspt > 50 Cu > 250 kPa

> 250 kPa nei terreni a grana fine)		
C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < c_u < 250$ kPa
D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina) $c_u < 70$ kPa	$V_{s30} < 180$	$N_{spt} < 15$
E - Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec.	$V_{s30} < 360$	
S1 - Depositi costituiti da Vs30 inferiori a 100m/s (ovvero $0 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s30} < 100$	$10 < c_u < 20$ kPa
S2 - Depositi di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

8 Considerazioni in merito alla indagine geognostica e geofisica

L'indagine geognostica eseguita mediante CPTU ha evidenziato un deposito di tipo lacustre caratterizzato da una fitta intercalazioni di terreni coesivi con limi e sabbie argillose con valori di Resistenza alla punta oggettivamente bassi, l'indagine geofisica eseguita con tecnica MASW evidenzia una inversione delle velocità delle onde di taglio ossia una diminuzione della velocità delle onde S alla profondità fra 8.50 mt fino a 11.50 mt.

Lo stesso fenomeno **NON** si riscontra nell'indagine HVSR eseguita poco distante, e neppure nella analisi delle due prove CPTU eseguite a poca distanza.

Dall'analisi delle Prove penetrometriche CPTU 3 e 5 (vedi ALLEGATO_CPTU) che sono le due prove più vicine alla linea MASW si riscontra:

CPTU 3: Stratigraficamente la zona indicata è caratterizzata da Argille - Argille sabbiose almeno fino a 10.00 dal Piano campagna, dopo si riscontra la presenza di Sabbie consolidate (Stiff Soil, Very dense, e Silty Clays); e siamo comunque nel campo di terreni non liquefacibili, che potrebbero subire invece consistenti fenomeni di compressibilità

CPTU 5: Lo stesso fenomeno si verifica nella prova CPTU n° 5 anche se ad una profondità leggermente maggiore (probabilmente dovuta alla diversa quota della prova), ma anche in questo caso abbiamo presenta di argille sabbiose e/o sabbie consolidate con argilla (Stiff Soil).

Alla luce delle indagini CPTU, della Indagine HVSR, si è portati a ritenere che tale fenomeno (Inversione) sia un fenomeno locale e comunque verrà analizzato in fase progettuale mediante apposite indagini.

In generale comunque sul piano geomeccanico abbiamo la presenza di terreni molto compressibili fino alla profondità di almeno 10.00/11.00 metri.

8.1 Sezioni stratigrafiche

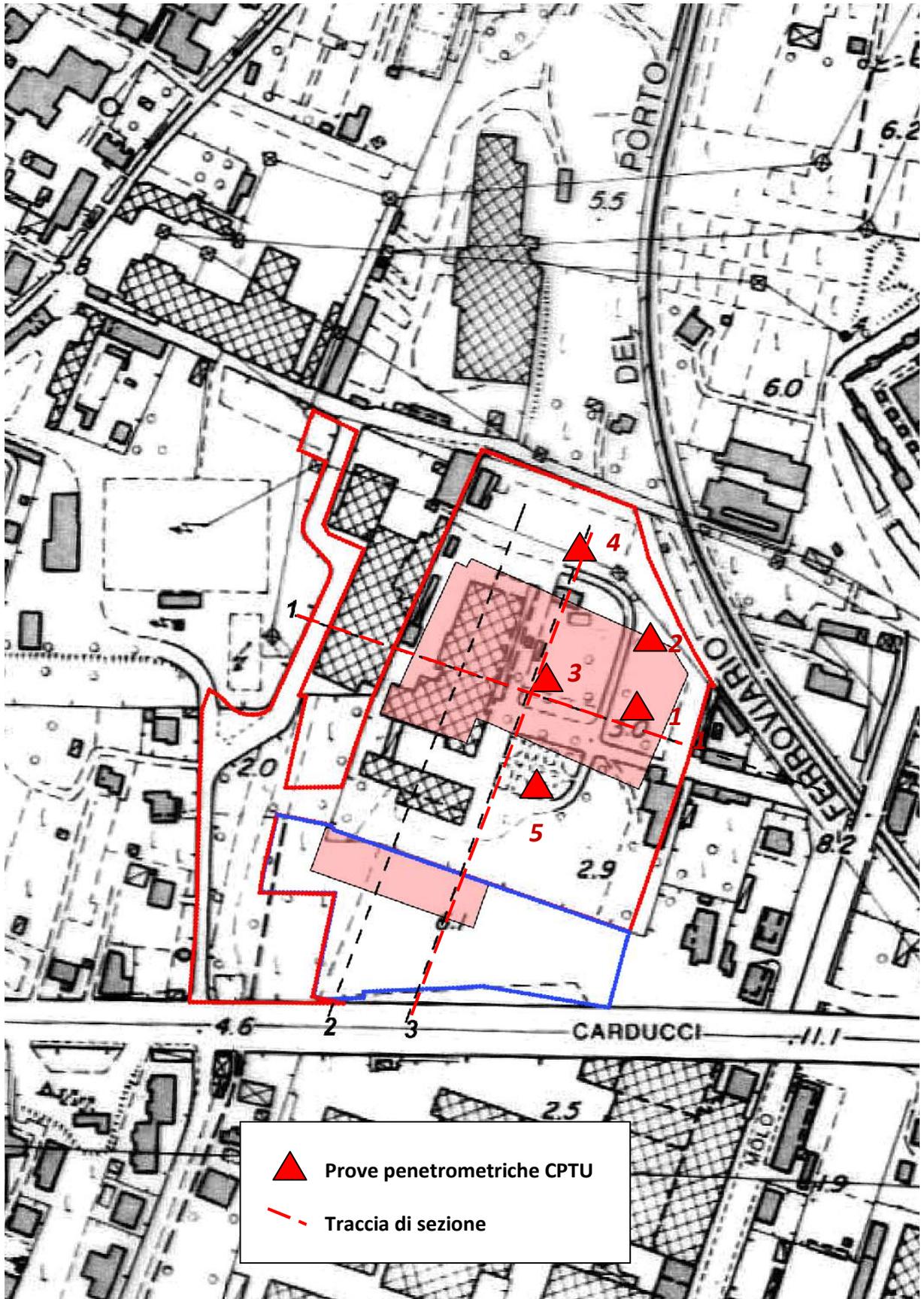
La redazione delle sezioni stratigrafiche ha un significato squisitamente interpretativo e cerca di fornire una schematizzazione del tutto generale dell'area, e basata più sulle caratteristiche di compressibilità dei terreno che non sulla interpretazione stratigrafica in quanto è pressoché impossibile ricostruire in maniera corretta e soddisfacente una o più sezioni che abbiano un significato generale in quanto le variazioni laterali che si riscontrano in tutte le verticali potrebbero ingenerare errori interpretativi piuttosto grossolani.

I tre livelli individuati sono una interpretazione mediata fra caratteristiche granulometriche dei terreni e caratteristiche di compressibilità.

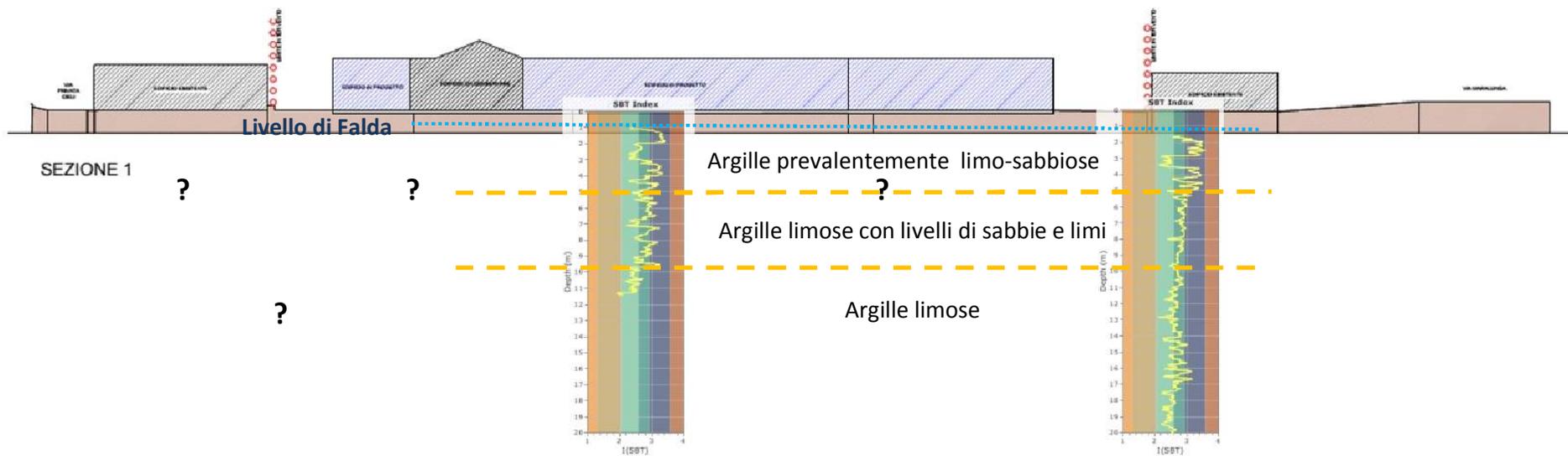
- **primo strato:** Caratterizzato da argille prevalentemente limo-sabbiose che si spinge fino ad almeno circa 5.00 metri dal Piano campagna, questo strato ha caratteristiche di compressibilità molto elevate
- **secondo strato:** Caratterizzato da Argille limose con livelli di sabbie e limi della potenza di circa 5.00 metri. In questo strato, peraltro localmente, migliorano le caratteristiche di compressibilità e è compreso fra 5.00 e 10.00 metri dal piano campagna
- **terzo strato :** Caratterizzato da Argille limose, pare migliorare la compressibilità dei terreni

Riassumendo l'unica valutazione corretta che si può fare è che abbiamo a che fare almeno per i primi 10 metri di terreni aventi scadenti caratteristiche geomeccaniche.

Alla luce di queste valutazioni si reputa opportuno sviluppare indagini di approfondimento atte a valutare, anche in rapporto alla soluzione fondazionale prevedibile dall'ingegnere strutturale come dalla proposta di Norme di Attuazione.

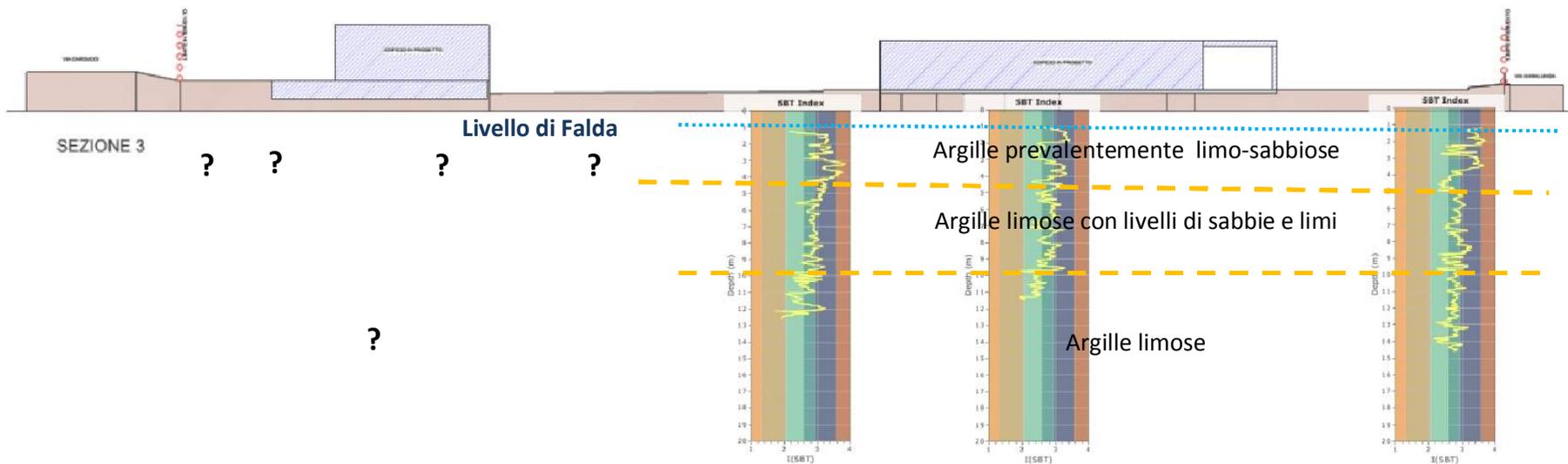


Tav 8 - Ubicazione sezioni



SBT legend

- | | | |
|--|---|---|
| ■ 1. Sensitive fine grained | ■ 4. Clayey silt to silty clay | ■ 7. Gravely sand to sand |
| ■ 2. Organic material | ■ 5. Silty sand to sandy silt | ■ 8. Very stiff sand to clayey sand |
| ■ 3. Clay to silty clay | ■ 6. Clean sand to silty sand | ■ 9. Very stiff fine grained |

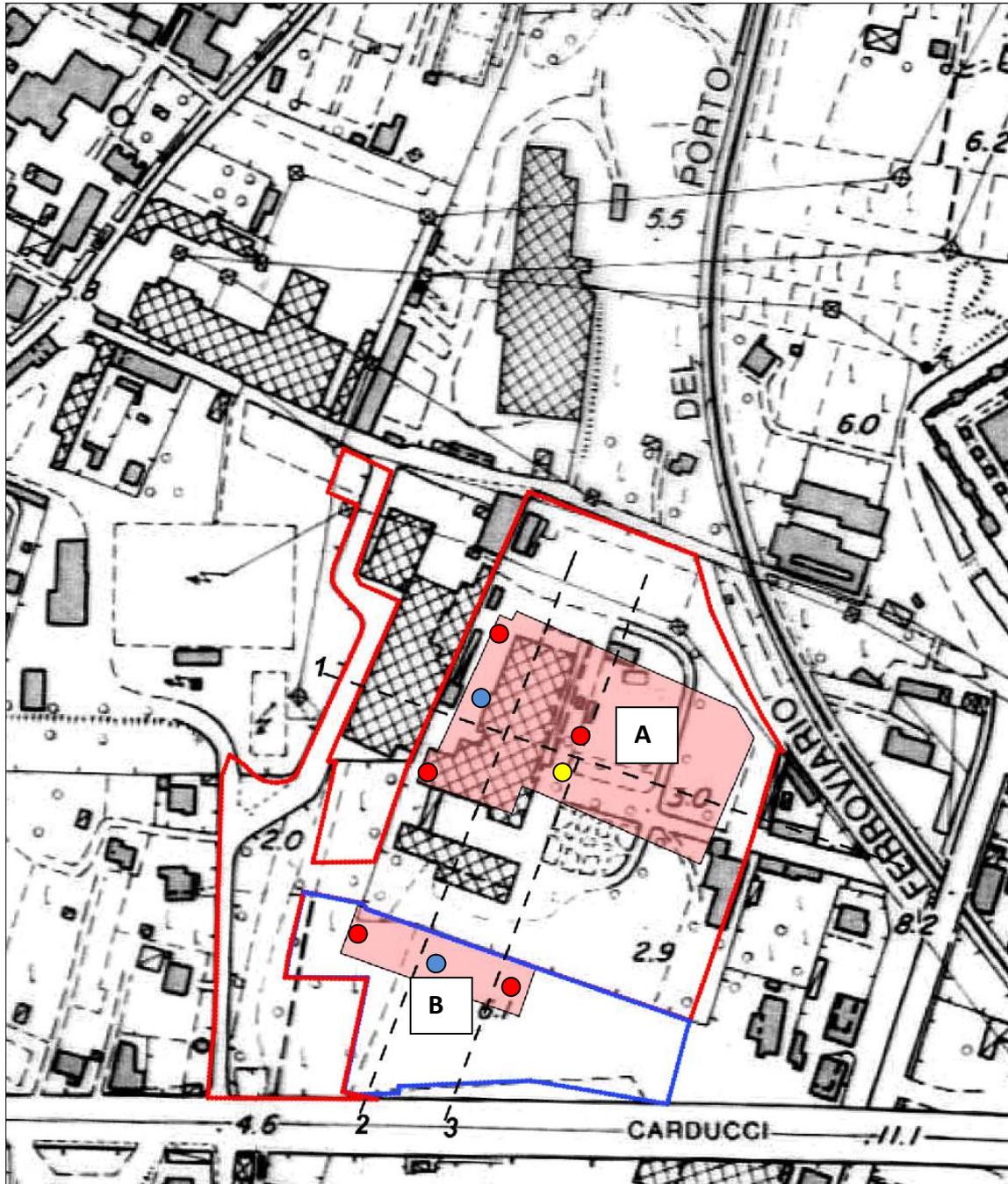


SBT legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravely sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

9 Norme di attuazione

In riferimento al progetto in essere si prescrive una campagna di approfondimento di indagini così articolata:



Tav 9 - Ubicazione indagini Integrative

●	Prove Dilatometriche
●	Sondaggio geognostico (30 mt) Attrezzato per Down Hole
●	Sondaggi Geognostici 20 metri

La organizzazione della campagna geognostica integrativa, alla luce delle indagini CPTU già eseguite, richiede una valutazione preventiva della tipologia di costruzione da valutarsi con il progettista strutturale in rapporto soprattutto alla tipologia fondazionale. Conseguentemente si propone di procedere innanzitutto con l'esecuzione di n° 1 sondaggio a 30 metri ubicato in prossimità della zona dove è stata eseguita la MASW, per eseguire una prova Down Hole e verificare il citato fenomeno di inversione, e successivamente procedere con le ulteriori indagini integrative. In termini generali la campagna geognostica integrativa sarà così organizzata:

- Esecuzione di almeno n° 3 sondaggi Geognostici di cui 2 spinti alla profondità di almeno 20 metri ed 1 alla profondità di 30 metri da utilizzare per l'esecuzione di n° 1 Down Hole di verifica e controllo del VS30 (Zona A); due dei tre sondaggi saranno da eseguirsi nella porzione interessata dall'intervento indicato con la lettera A ed uno nella zona interessata dall'intervento B:
- Esecuzione di n° 3 prove integrative eseguite con Dilatometro, nella zona A e n° 2 da eseguirsi nella zona B; si preferisce procedere con la esecuzione di prove dilatometriche in quanto l'analisi dei moduli di compressibilità edometrica e le correlazioni su eventuali fenomeni di liquefazione dei terreni sono decisamente agevolate dall'esecuzione di tali prove eventualmente utilizzando la punta Dilatometrica - Sismica. Inoltre tale soluzione eviterebbe di ricorrere a prove di Laboratorio con la relativa dilatazione delle tempistiche
- Prelievo di campioni indisturbati e prove di laboratorio; i prelievi di campioni indisturbati da avviare alle prove di laboratorio saranno definiti durante la campagna geognostica in quanto prima di tutto è necessario verificare e confermare la presenza o meno della facies di inversione delle velocità mediante l'esecuzione del sondaggio a 30 metri ed esecuzione della prova Down-hole. Ovviamente durante la fase di sondaggio si procederà al prelievo di campioni indisturbati in accordo con il progettista strutturale in modo particolare nella fascia fra 8.00 e 12.00 metri di profondità in modo da non perdere informazioni ma la tipologia di prove sarà definita a seguito della conferma o meno del fenomeno riscontrato dalla MASW, in quanto trattasi di prove molto particolari da eseguirsi presso laboratori universitari.

10 Conclusioni

Le indagini e le elaborazioni eseguite hanno permesso di caratterizzare l'area interessata dagli interventi e rispondere ai dettami ed alle richieste della normativa esistente.

Sono quindi presi in esame i risultati dell'indagine geognostica e sono stati proposti al progettista i parametri necessari alla progettazione geotecnica delle opere in oggetto.

La relazione geologica ha seguito quanto previsto dalla normativa geologica ed è così suddivisa:

1. Rilievo di campagna eseguito ad hoc nell'area in esame;
2. Esecuzione di n.1 indagine in sismica passiva tipo HVSR a stazione singola per il calcolo della frequenza di risonanza di sito che ha permesso di definire il parametro Vs30;
3. Esecuzione di n° 5 prove penetrometriche statiche con piezocono

I risultati evidenziano i seguenti aspetti:

1. Il deposito in esame è un deposito con caratteristiche geomeccaniche scadenti;
2. I valori sia della resistenza alla punta che della Coesione non Drenata ed il Modulo di Compressibilità Edometrica sono decisamente bassi e variabili almeno entro i primi 5/6 metri di profondità;
3. La soluzione fondazionale da adottarsi è da valutare da un lato in funzione dei carichi, ma soprattutto in rapporto al possibile insorgere di cedimenti differenziali.
4. L'area, nel caso si ricorra a fondazioni superficiali deve essere bonificata per almeno i primi 4 metri di profondità;

5. Nel caso si valuti l'opportunità di ricorrere a fondazioni profonde le soluzioni sono da ricercarsi su sistemi che permettano la compattazione dei terreni, ossia pali tipo Franchi, oppure pali battuti, oppure ancora ricorrere a soluzioni tipo Jet Grouting o una nuova tecnologia utilizzata in centro a La Spezia in un intervento su terreni ad alta compressibilità eseguito per conto di ARTE.
6. La tecnologia utilizzata nel caso della costruzione di due edifici da parte di ARTE, è denominata Pali SOLES®. Tale tecnologia permette uno stretto controllo della penetrazione del palo e la certezza del raggiungimento sia della quota che della portanza richiesta alla profondità voluta. Brevemente il palo Soles® è un palo infisso staticamente senza estrazione di terreno con preventiva esecuzione della platea di fondazione che costituisce il contrasto e la zavorra per l'infissione del palo. Nel caso di ARTE nel terreno è stato infisso il tubo in acciaio $\phi 168,3/10$ mm con alla punta una flangia circolare $\phi 450$ che crea una intercapedine tra tubo e terreno che, man mano che il tubo avanza, viene riempita da microcalcestruzzo iniettato a pressione ($2\div 3$ bar). Ne deriva che, all'atto dell'infissione l'attrito laterale palo – terreno è nullo (microcalcestruzzo ancora allo stato fluido) e viene misurata per ciascun palo Soles®, in modo diretto, la resistenza alla punta. In questo modo, per ogni palo Soles® viene verificato e garantito il raggiungimento del tetto dello strato desiderato con verifica della portata geotecnica alla punta.
7. Ovviamente la scelta tecnologica è uno stretto rapporto fra struttura da realizzare/condizioni geomeccaniche del terreno.

Tecnico

dott. geol. Paolo PETRI

