

COMUNE DI PONSACCO (PI)

**REALIZZAZIONE DI TETTOIA, PESA E STRUTTURA
PREFABBRICATA**

LOCALITA': Via del Commercio - Ponsacco (PI)

COMMITTENTI: Sig.ra Giovanna Falaschi
Sig.ra Lida Giuntini

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

DI FATTIBILITA'

(DPGR 53R)



DICEMBRE 2012

Dott. Geol. Adriana Novi
n.iscr. 1355



INDICE

2	UBICAZIONE	5
3	CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA.....	6
4	QUADRO NORMATIVO.....	6
4.1	PIANO STRUTTURALE E REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PONSACCO	6
4.1.1	CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA	6
4.1.2	CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	6
4.1.3	CLASSIFICAZIONE DI VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA	6
4.1.4	REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PONSACCO.....	7
4.2	CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ DEL PAI (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO)	7
4.2.1	ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	7
4.2.2	RISCHIO IDRAULICO	7
4.3	PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA PROVINCIA DI PISA (PTC).....	7
4.3.1	CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA	7
4.3.2	CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	7
4.3.3	CLASSIFICAZIONE DI VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA	7
4.4	CLASSIFICAZIONE SISMICA AI SENSI DELLA DGR N. 431/2006	8
5	QUADRO TERRITORIALE	8
5.1	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	8
5.2	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	9
5.3	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	9
5.4	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE.....	9
6	INDAGINI PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)	9
6.1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT).....	9
6.2	RISULTATI DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE : CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA-PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO INDAGATO	10
7	CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO	20
8	CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO	22
9	INTERPRETAZIONE DEI DATI DELL'INDAGINE SISMICA - CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)	30
10	PERICOLOSITÀ AI SENSI DEL DPGR 27 APRILE 2007, N. 26/R.....	31
10.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA (LIMITATAMENTE ALL'AREA IN STUDIO).....	31
10.1	PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (LIMITATAMENTE ALL'AREA IN STUDIO).....	32
11.1	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (LIMITATAMENTE ALL'AREA IN STUDIO).....	33
12	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	34
E	FATTIBILITÀ DELL'INTERVENTO DI PROGETTO	34
12.1	ASPETTI GEOMORFOLOGICI E GEOTECNICI DEL SITO INVESTIGATO	35
12.2	ASPETTI IDROGEOLOGICI	35
12.3	ASPETTI SISMICI (DPGR 53/R 2011).....	36



STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. ADRIANA NOVI

VIA MORTAILO 141, VICARELLO (LI) 0586 965129 CELL. 334 3021980

E-MAIL ADRIANANOVI@ALICE.IT

13 CONCLUSIONI	36
----------------------	----

ALLEGATO 1

Tav. 1: ESTRATTI CARTOGRAFICI RELATIVI AL PIANO STRUTTURALE COMUNALE

Tav. 2: ESTRATTI CARTOGRAFICI DEL PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO (P.T.C)

Tav.3: ESTRATTI CARTOGRAFICI DELLE PERIMETRAZIONI DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO

ALLEGATO 2

DATI PENETROMETRICI

ALLEGATO 3

RELAZIONE INDAGINE SISMICA IN TIPOLOGIA MASW

ALLEGATO 4

RELAZIONE SISMICA – CAMPAGNA D'INDAGINI DEL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE (HVRS)



1 **PREMESSA**

La presente relazione di fattibilità geologica è stata redatta in ottemperanza a quanto previsto dal DPGR del 25 Ottobre 2011, n. 53/R, ai fini della caratterizzazione geologica-geotecnica e sismica di un'area ubicata lungo Via del Commercio s.n.c (già Via A. Gramsci), in Ponsacco a circa 2,0 Km in direzione Sud rispetto al centro abitato dello stesso paese, ed a supporto di un progetto che prevede la realizzazione nel settore sud dell'area complessivamente investigata, di una tettoia, una pesa ed un locale prefabbricato in legno, per conto della signora Giovanna Falaschi residente in Via Fiume n.c. 23 a Livorno e della signora Lida Giuntini residente in Via Borgo San Jacopo n.c. 177 A, Livorno s.n.c. in qualità di proprietarie del terreno in oggetto. Le strutture di progetto dovranno servire ad un attività di stoccaggio di materiali inerti e di lavorazione di materiali prelevati dalla demolizione da inserire.

Il presente elaborato è strutturato in modo da:

- A. Illustrare nei diversi estratti cartografici (Piano strutturale comunale, PAI, PTC) le classi di pericolosità attribuite all'area in oggetto
- B. Verificare la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico, la fattibilità delle previsioni e per la valutazione degli effetti locali e di sito in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico, secondo quanto previsto dall'Art. 1 del DPGR 53R 2011.
- C. Definire la Classe di Fattibilità degli interventi alla luce dei risultati degli approfondimenti di cui al punto precedente.

Relativamente al punto A, per la definizione dell'analisi territoriale di riferimento, sono stati analizzati i documenti conoscitivi che compongono il Piano Strutturale del Comune di Ponsacco (PI), le cartografie di riferimento del PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno e del Piano Territoriale di Coordinamento provinciale (PTC).

Relativamente al punto B, note le caratteristiche litostratigrafiche generali del sito e in considerazione della tipologia degli interventi, per la caratterizzazione litostratigrafia dell'area progettuale è stato ritenuto sufficiente utilizzare i dati di tre prove penetrometriche CPTA-CPT1-CPT2 realizzate:

- CPTA : dalla ditta Geoservizi s.n.c in data 15 Aprile 2012, nel settore Sud del terreno in oggetto e spinta fino a 10 m di profondità dal p.c..
- CPT1 : dalla ditta Gaia S.r.l in data 02/11/2012, nel settore Sud del terreno in oggetto e spinta fino a 10 m di profondità dal p.c..
- CPT2 : dalla ditta Gaia S.r.l in data 02/11/2012, nel settore Nord del terreno in oggetto e spinta fino a 10 m di profondità dal p.c..



L'ubicazione delle penetrometrie è mostrata in All.1 -Tav.2, mentre per i dati penetrometrici si rimanda all' Allegato 2 e per l'elaborazione e diagrammi penetrometrici si veda il cap. 6 del presente elaborato.

La caratterizzazione dell'area sotto l'aspetto sismico è stata effettuata avvalendosi di due distinte tecniche di indagine:

- N°1 prospezione sismica in tipologia (3 Giugno 20 10)
- N°7 acquisizioni del microtremore sismico ambiente a stazione singola in campo libero (HVSr) (17 Ottobre 2012).

La prova MASW, ha avuto lo scopo di definire la categoria di sottosuolo come richiesto dalle NTC 08 e dal DPGR 26/R.

Le prove HVSr, la cui tecnica si basa sull'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto sismico (tecnica di Nakamura), hanno avuto lo scopo di valutare la risposta di sito connessa a variazioni stratigrafiche tra litologie con sufficiente contrasto di densità, secondo quanto richiesto dal **DPGR 53/R in materia di microzonazione sismica di primo livello**. L'indagine HVSr ha consentito quindi di caratterizzare il sito progettuale ai fini della distinzione tra:

- 1) zone stabili (zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura),
- 2) zone stabili suscettibili di amplificazione sismica (zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio)
- 1) zone suscettibili di instabilità (zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma)

Come meglio specificato nel seguito, l'indagine ha stabilito che il sito, per le caratteristiche morfologiche e geologiche, rientra nelle zone stabili suscettibili di amplificazione sismica.

Relativamente al punto C, l'insieme dei dati restituiti dalle indagini dirette e geofisiche ha consentito di ricostruire l'assetto litostratigrafico generale del sito, la parametrizzazione fisico-meccanica dei terreni in affioramento e la risposta sismica di sito. Queste informazioni, confrontate con la tipologia degli interventi in progetto e con le classificazioni territoriali di riferimento per gli aspetti geomorfologici ed idraulici, ha consentito di attribuire alle opere da realizzare le corrispondenti classi di fattibilità per gli aspetti geomorfologici, idraulici, sismici ed idrogeologici, secondo la differenziazione prevista dal DPGR 53/R 2011.

2 UBICAZIONE

L'area progettuale ricade nella sezione 284040 (scala 1:10.000) della Carta Tecnica Regionale (ctr), di cui si riporta un estratto in Allegato 1 (Tav. 1), e nella sezione 16G06 1179 (scala 1:2.000) sempre della Carta Tecnica Regionale.



3 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA

L'area è ubicata circa 2.0 Km a sud dell'abitato di Ponsacco (PI). Essa si presenta morfologicamente pianeggiante ed inserita in prossimità di una evidente ansa del Fiume Cascina (Tav.1 e Foto aerea di copertina). La quota altimetrica dell'area è di 27.5 m. s.l.m., ed è posta in sinistra idrografica del Fiume Cascina che "segue" come andamento il confine di proprietà e dal quale dista come alveo circa 30 m e come piede esterno dell'argine circa 20 m. Il sito dista circa 4 Km in direzione sud, rispetto alla confluenza del Fiume Cascina nel Fiume Era.

4 QUADRO NORMATIVO

4.1 PIANO STRUTTURALE E REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PONSACCO

4.1.1 CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica, la documentazione tecnica allegata al Piano Strutturale, di cui si riporta un estratto nell'All.1 - Tav. 1, fa ricadere l'area in studio nell'ambito della Classe3, Sottoclasse 3a, alla quale corrisponde una Pericolosità Idraulica Medio-Bassa. Una tale valutazione è successiva alla realizzazione di opere di difesa idraulica lungo i corsi del fiume Cascina, della Fossa Nuova, del Rio Cannoncino e del Rio Galletta ed è stata dedotta applicando i criteri dell'art.7 del PTC ai risultati delle verifiche idrologico-idrauliche. Relativamente a quest'ultime, in Tav. 1 si riporta un estratto che mostra le aree inondabili con tempi di ritorno $Tr = 200$ anni dopo la realizzazione delle opere idrauliche di difesa ai suddetti corsi d'acqua. In essa si osserva che il sito di progetto risulta inserito in una vasta area per la quale è stato stimato un $Tr > 200$ anni.

4.1.2 CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

La cartografia allegata al Piano Strutturale (Tav.1), attribuisce all'area di progetto, la Classe 2a (pericolosità medio-bassa).

Classe 2 – pericolosità media, Sottoclasse 2a pericolosità medio-bassa: "Comprende le aree di pianura con sottosuolo eterogeneo e con caratteristiche geotecniche" da medio basse a scadenti, le zone e i lottibonificati geotecnicamente, le aree collinari in cui non sono presenti fenomeni franosi inattivati e stabilizzati. Costituiscono aree con elementi geomorfologici, litologici, idrogeologici, giagiturali e clivometrici delle cui valutazioni risulta una bassa propensione di dissesto gravitativo e statico".

4.1.3 CLASSIFICAZIONE DI VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA

L'indagine geologica allegata al Piano Strutturale attribuisce alle formazioni sabbioso-limo-argillose una vulnerabilità medio alta (Classe 3 – Sottoclasse 3b) (Tav.1), che comprende quel settore di pianura in cui i livelli più superficiali di terreno hanno un grado di permeabilità maggiore in virtù della presenza di limi e



limi sabbiosi (in prossimità del Cascina) se non di sabbie e/o conglomerati (nelle fasce attigue all'Era): in tali aree quindi il grado di protezione della Falda risulta mediocre (Vulnerabilità [3b](#): medio alta).

4.1.4 REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI PONSACCO

Secondo il Regolamento Urbanistico del Comune di Ponsacco l'area risulta contraddistinta come PA31 e regolamentata dall'art.25 Ambito 1 del Regolamento Urbanistico relativo alle "Aree produttive interne all'edificato monofunzionali o congiunte" (Tav.2).

4.2 CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ DEL PAI (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME ARNO)

4.2.1 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Pericolosità geomorfologica

L'area di progetto è classificata come P.I.1 (Tav.1) ovvero come area con classe di pericolosità idraulica moderata. In tali aree è consentita ogni tipologia di intervento prevista dagli strumenti di governo del territorio.

4.2.2 RISCHIO IDRAULICO

A seguito delle opere di risistemazione idraulica attuate sul Fiume Cascina, Zanoncino e Galletta, il sito in oggetto non risulta perimetrato nella cartografia del Piano Stralcio del rischio idraulico.

L'assenza di condizioni di rischio, è testimoniata anche dalla cartografia di supporto allo strumento di pianificazione urbanistica comunale mostrante le aree allagabili con tempi di ritorno $Tr > 200$ anni (Tav.1).

4.3 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA PROVINCIA DI PISA (PTC)

4.3.1 CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

L'area di progetto ricade integralmente nella Classe 3 – Sottoclasse 3a (pericolosità idraulica medio bassa) (Tav.1).

4.3.2 CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica, il PTC attribuisce la Classe 3 – Sottoclasse 3b (Pericolosità medio-alta). Tale classificazione risulta tuttavia precedente alle sistemazioni idrauliche attuate successivamente relativamente al corso del Fiume Cascina.

4.3.3 CLASSIFICAZIONE DI VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA

La tavola della vulnerabilità idrogeologica del PTC fa ricadere l'area di progetto in parte nella Classe 3 – Sottoclasse 3a (medio-alta), ed in parte nella Classe 4 – Sottoclasse 4a (Vulnerabilità elevata) corrispondente alle formazioni limo-sabbioso-argillose.



4.4 CLASSIFICAZIONE SISMICA AI SENSI DELLA DGR N. 431/2006

Il territorio del Comune di Ponsacco, in base alla “Proposta di riclassificazione sismica dei comuni della Regione Toscana” (Delibera Giunta Regionale n. 431 del 19 giugno 2006), risulta attualmente classificato in zona sismica 3s. Il valore di a_g corrispondente è 0.25g.

5 QUADRO TERRITORIALE

5.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Dal punto di vista strettamente geologico l'area è impostata sui sedimenti olocenici appartenenti al complesso Neoautoctono costituiti da Alluvioni recenti (Tav.1).

Nella Carta geologica del Piano Strutturale, di cui si riporta un estratto in Tav.1, questi litotipi sono indicati con la sigla “a” (Formazione delle Alluvioni recenti-attuali).

Tali alluvioni occupano i fondi-valle di Era e Cascina e l'intero settore Nord di questo comune che rientra nella pianura dell'Arno; per tale ragione esse ricoprono ca. l'80% (16 Km²) del territorio di Ponsacco.

Nei tre bacini suddetti la distribuzione di questi depositi è diversa, sia in senso areale che in verticale, avendosi spessori crescenti tra la valle del Cascina e la Pianura dell'Arno.

Essi sono costituiti in prevalenza da limi, argille e argille limose ed in sottordine da ghiaie distribuite a varie profondità.

Nel dominio dell'Arno, il più esteso, predominano i materiali più fini (limi ed argille) legati sia all'esonazione di questo fiume che dei numerosi torrenti e botri che raggiungevano un suo ramo che lambiva l'orlo meridionale della Pianura Pisana, probabilmente ancora in epoca romana. Essendo stato abbandonato questo antico ramo dell'Arno, e divenuto progressivamente pensile il suo corso attuale, gli affluenti provenienti dalle colline pisane non sono stati più in grado di versare le loro acque nel fiume principale ed hanno dato luogo a tutta una serie di paludi ai loro sbocchi in pianura.

I livelli ghiaiosi sono localizzati anche a profondità significativa (100-110 mt.) all'altezza ed a Nord di Ponsacco; essi costituiscono i depositi del “Serchio da Bientina” antecedenti a quelli più recenti dell'Arno.

Da quanto sopra delineato si rileva come lo “scenario” geologico di base di quest'area sia quello di un bacino in cui, in fase di regressione marina pliocenica, si sono depositate vaste estensioni di sabbie e argille che caratterizzano l'intera Valdera.

Profonde modifiche tettoniche (“graben”) hanno creato successivamente importanti sistemi drenanti in cui si sono installati i corsi di Era e Cascina che, con le loro alluvioni, hanno contribuito alla creazione della vasta pianura del Serchio prima e dell'Arno dopo; a cavallo del margine SudEst di quest'ultima sorge Ponsacco.

Per quanto riguarda la stabilità, questi terreni trovandosi nella Piana del Cascina, non sono interessati da fenomeni di dissesto di tipo gravitativo ma si possono determinare, a seguito di un sisma fenomeni da Amplificazione diffusa del moto del suolo, dovuta alla differenza di risposta sismica fra substrato e copertura come conseguenza di fenomeni di amplificazione stratigrafica.



5.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

Le caratteristiche morfologiche sono già state descritte in precedenza (cap 2).

5.3 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La permeabilità delle formazioni in affioramento nell'area in studio è strettamente dipendente dalla loro composizione granulometrica. Poiché essa risulta notevolmente eterogenea, i terreni evidenziano una variabilità di permeabilità piuttosto ampia. Mentre i termini prevalentemente argillosi hanno sempre una permeabilità da molto bassa a nulla, i termini prevalentemente sabbiosi hanno una permeabilità variabile, da media nei sedimenti grossolani puliti, a bassa e molto bassa nei sedimenti fini e/o a matrice limo-argillosa. Relativamente all'area in studio è stata riscontrata al termine dell'indagine penetrometrica tramite misura freaticometrica effettuata nel foro di prova, la presenza di acqua a circa 2,2 m dal p.c. (v. § 6.1), il che rispecchia la classe di vulnerabilità idrogeologica da medio-alta ad alta associata a quest'area, con presenza di circolazione idrica alquanto superficiale e grado di protezione mediocre data la presenza di terreni più superficiali di natura sabbiosa e limo-sabbiosa (Tav.1-Tav.2).

5.4 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

L'area in cui sono previste le attività edificatorie, è lambita dal Fiume Cascina. In particolare, il sito in oggetto si trova in prossimità di una evidente ansa del Fiume Cascina (Tav.1 e Foto aerea di copertina). ed in sinistra idrografica del Fiume Cascina che "segue" come andamento il confine di proprietà e dal quale dista come alveo circa 30 m e come piede esterno dell'argine circa 20 m. Il sito dista circa 4 Km in direzione sud, rispetto alla confluenza del Fiume Cascina nel Fiume Era.

6 INDAGINI PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

6.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

La caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica del sito in oggetto è stata effettuata mediante tre prove penetrometriche statiche CPTA-CPT1-CPT2 realizzate:

CPTA : dalla ditta Geoservizi s.n.c in data 15 Aprile 2012, nel settore Sud del terreno in oggetto e spinta fino a 10 m di profondità dal p.c..

CPT1 : dalla ditta Gaia S.r.l in data 02/11/2012, nel settore Sud del terreno in oggetto e spinta fino a 10 m di profondità dal p.c..

CPT2 : dalla ditta Gaia S.r.l in data 02/11/2012, nel settore Nord del terreno in oggetto e spinta fino a 10 m di profondità dal p.c..



L'ubicazione delle penetrometrie è mostrata in All.1 -Tav.2, mentre per i dati penetrometrici si rimanda all' Allegato 2 e per l'elaborazione e diagrammi penetrometrici si veda il **cap. 13** del presente elaborato.

Due cenni sulla tipologia d' indagine geognostica effettuata:

la prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere con velocità costante (2 cm/sec) una punta conica di dimensioni standard (punta tipo Begemann) nel terreno, grazie ad una batteria di aste, misurando ad intervalli prefissati la resistenza alla penetrazione della punta e la resistenza per attrito laterale fornita dall'infissione nel terreno del manicotto. L'avanzamento delle aste determina dapprima l'avanzamento nel terreno della sola punta e solo successivamente si ha l'avanzamento della punta e del manicotto contemporaneamente. L'avanzamento nel terreno della sola punta permette di misurare la "Rp" (resistenza alla punta), mentre la successiva infissione sia del manicotto che della punta Begemann, consente la misura della resistenza totale $R_t = R_p + R_l$, dove R_l rappresenta l'attrito laterale locale. In tal modo, i valori di resistenza alla punta (R_p) e di attrito laterale (R_l), consentono di stimare i parametri geotecnici per una vasta gamma di terreni e di estrapolare la successione stratigrafica. Deve essere tuttavia sottolineato, che l'attendibilità delle misure di R_l , può essere influenzata da vari fattori, primo fra tutti la presenza di inclusioni tra cono e manicotto. I dati della resistenza alla punta, al contrario, forniscono con attendibilità l'effettivo valore del carico di rottura del terreno.

6.2 RISULTATI DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE : CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA-PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO INDAGATO

Le prove CPTA e CPT2 sono state effettuate nel settore sud del terreno in oggetto e sono state spinte fino a 10 m di profondità dal p.c.. L'indagine CPT1 è stata effettuata sul settore nord del terreno in studio e anche essa ha raggiunto i 10 m di profondità dal p.c.. Alla fine di ogni indagine è stata verificata la presenza di acqua nel foro di prova attraverso misure freatrimetriche. In corrispondenza di tutte le indagini la falda è risultata impostata a circa 2,2 m di profondità dal p.c. Si tratta pertanto di terreni saturi in acqua.

I valori di resistenza penetrometrica alla punta L'indagine CPT3 è stata realizzata fino al raggiungimento di -15 m dal p.c. e la prova CPT4 fino a -14 m dal p.c..



(v. Allegato2) e con un incremento progressivo dei valori all'aumentare della profondità, passando progressivamente da un litotipo prevalentemente limoso ad uno essenzialmente argilloso e consistente..

La litologia corrispondente è riferibile a terreni di natura da limoso-argillosa ad argilloso-limosa con buone caratteristiche geomeccaniche. Al termine delle penetrometrie è stata effettuata la misura freatrimetrica in tutti i fori d'indagine.

Poiché l'interpretazione litologica dei dati penetrometrici statici ottenuti con punta meccanica può essere effettuata attraverso varie metodologie, al riguardo si riportano di seguito nelle Tab 12.1a , Tab 12.1b, Tab 12.1c, Tab 12.1d sia i parametri geotecnici mediani che i relativi litotipi dedotti dall'interpretazione litologica secondo la metodologia proposta da Robertson dei dati restituiti dalle prove penetrometriche effettuate. Tale metodologia considera come indicativo della litologia il confronto fra i parametri Q (resistenza di punta normalizzata) e F (rapporto delle resistenze normalizzato) del terreno indagato, in cui Q ed F hanno le seguenti espressioni:

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{100kPa} \cdot \left(\frac{100kPa}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad F = 100 \cdot \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \right)$$

dove

- qc Resistenza alla punta (kPa)
- fs Resistenza di attrito laterale (kPa)
- σv0 Pressione litostatica totale (kPa)
- σ'v0 Pressione litostatica efficace (kPa)
- n Parametro dipendente dall'indice Ic (Indice del tipo di comportamento del terreno) definito come:

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \text{Log}Q)^2 + (1.22 + \text{Log}F)^2}$$

Indice del tipo di terreno, Ic	Zona	Classe di terreno
Ic < 1.31	7	Sabbia ghiaiosa
1.31 < Ic < 2.05	6	Sabbie: da pulite a limose
2.05 < Ic < 2.60	5	Miscele di sabbie: da sabbia limosa a limo sabbioso



$2.60 < I_c < 2.95$	4	Miscele di limi: da limo argilloso a argilla limosa
$2.95 < I_c < 3.60$	3	Argille
$I_c > 3.60$	2	Terreni organici: torbe

il cui valore consente di estrapolare una classificazione dei terreni secondo la tabella seguente (Robertson, 1990): vedi elaborazione Tab 12.1a , Tab 12.1b, Tab 12.1c, Tab 12.1d

6.3 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA - PARAMETRI GEOTECNICI MEDIANI DEL TERRENO INDAGATO E STIMA DEI VALORI CARATTERISTICI

L'interpretazione litologica dei dati delle indagini penetrometriche elaborata secondo la metodologia proposta da Robertson, è stata riportata nella tabella seguente. Di seguito vengono anche mostrati i diagrammi penetrometrici dedotti dai dati delle indagini.

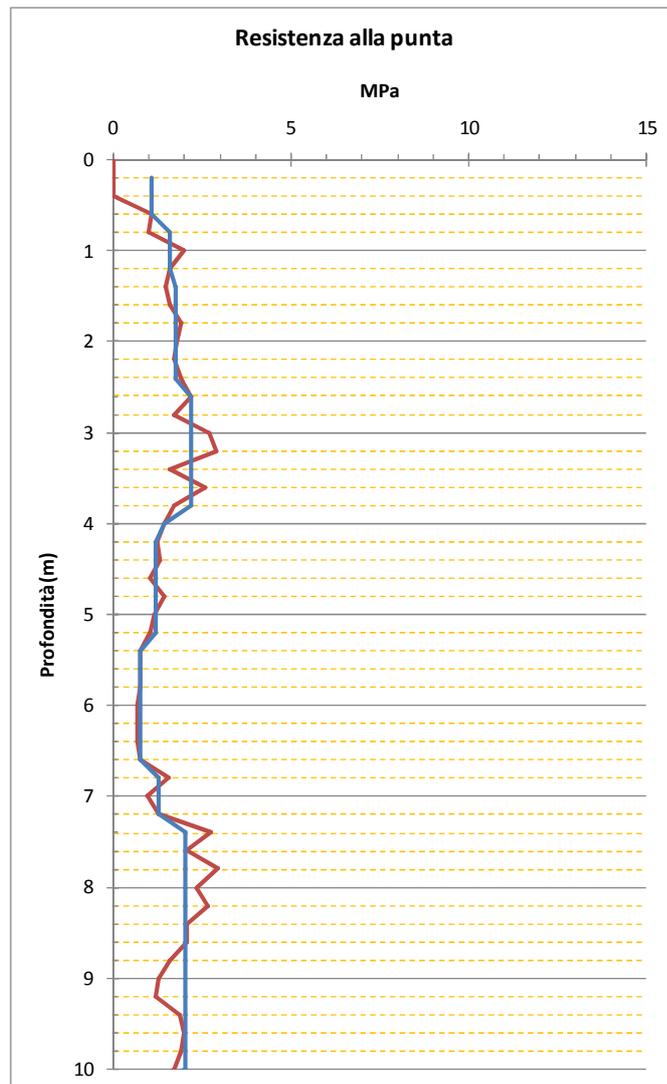
Per l'elaborazione della sezione litostratigrafica riportata in Tav.2, ci si è riferiti ai dati restituiti dalle penetrometrie effettuate in situ ed elaborate secondo la succitata metodologia. Preme sottolineare che i litotipi individuati sono essenzialmente di natura limo-argillosa ed argillosa, tranne alcuni livelli a componente maggiormente sabbiosa.

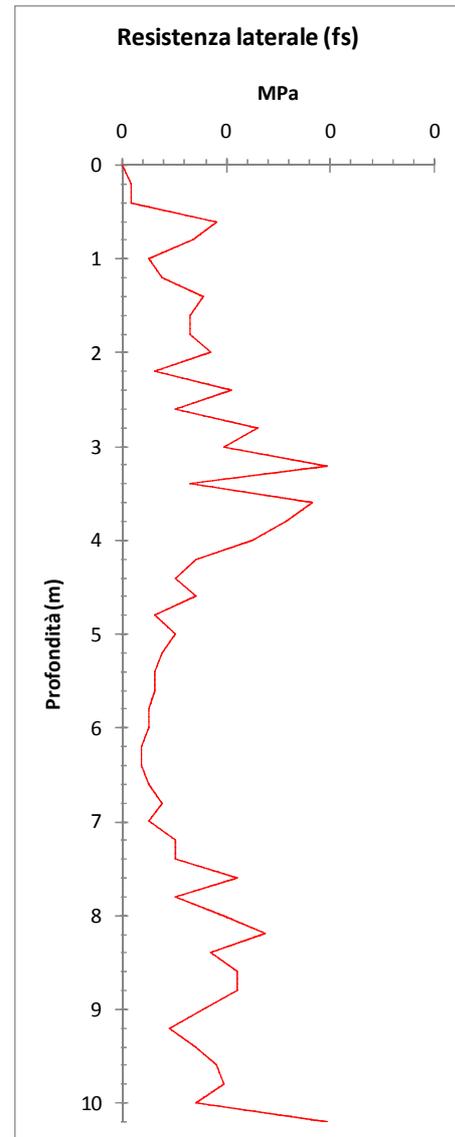
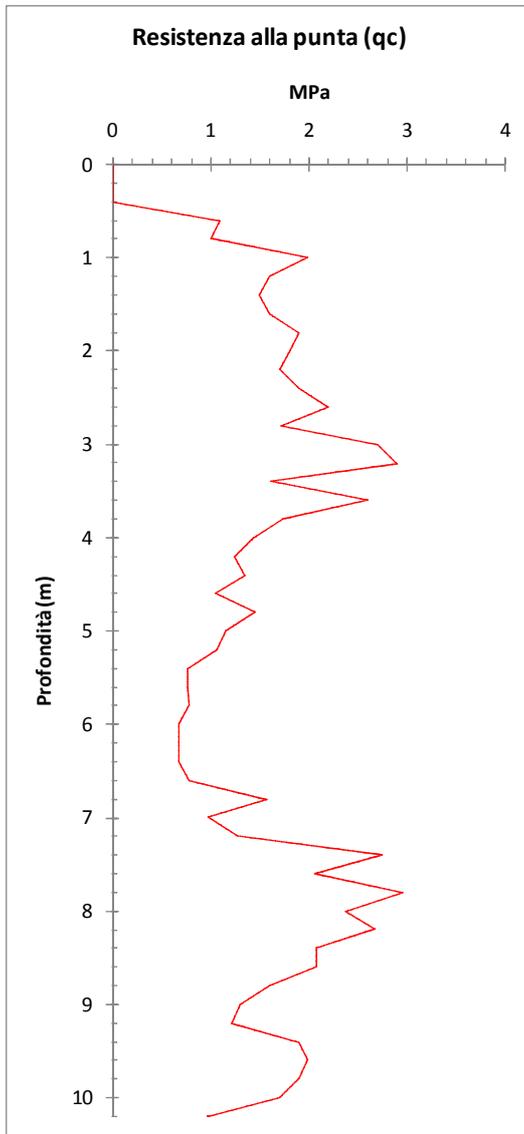
Nelle Tabelle 6.3.a, 6.3b, 6.3c, si riportano i **valori mediani dei parametri geotecnici corrispondenti alle indagini penetrometriche effettuate**, ovvero depurati dei picchi positivi e negativi, relativi ai vari strati di litotipi individuati sulla base delle elaborazioni delle indagini effettuate in situ; di seguito si riportano anche i grafici corrispondenti ai valori strumentali (rosso) sovrapposti ai valori mediani (blu):



Tab. 6.3.a

CPTA	STRATO	m			kN/mc		°	kPa	Mpa	%	MPa		Robertson
		da m.	a m.	H	γ	ϕ					cu	M	
Coesivo	1	0,0	0,6	0,6	13,8			43,2	3,27		1,09	0,091	Miscele di limi: da limo argilloso ad argilla limosa
Coesivo	2	0,6	1,2	0,6	17,4			63,2	4,80		1,60	0,039	Miscele di sabbie: da sabbia limosa a limo sabbioso
Coesivo	3	1,2	2,4	1,2	18,1			68,8	5,27		1,76	0,072	Miscele di limi: da limo argilloso ad argilla limosa
Coesivo	4	2,4	3,9	1,5	18,8			86,1	6,59		2,20	0,130	Miscele di limi: da limo argilloso ad argilla limosa
Coesivo	5	3,9	4,0	0,1	18,7			54,8	4,32		1,44	0,125	Argille
Coesivo	6	4,0	5,2	1,2	17,6			44,8	3,60		1,20	0,052	Miscele di limi: da limo argilloso ad argilla limosa
Coesivo	7	5,2	6,6	1,4	16,7			26,4	2,29		0,76	0,026	Argille
Coesivo	8	6,6	7,2	0,6	17,4			46,0	3,82		1,27	0,039	Miscele di limi: da limo argilloso ad argilla limosa
Coesivo	9	7,2	10,0	2,8	18,4			74,9	6,08		2,03	0,088	Miscele di limi: da limo argilloso ad argilla limosa



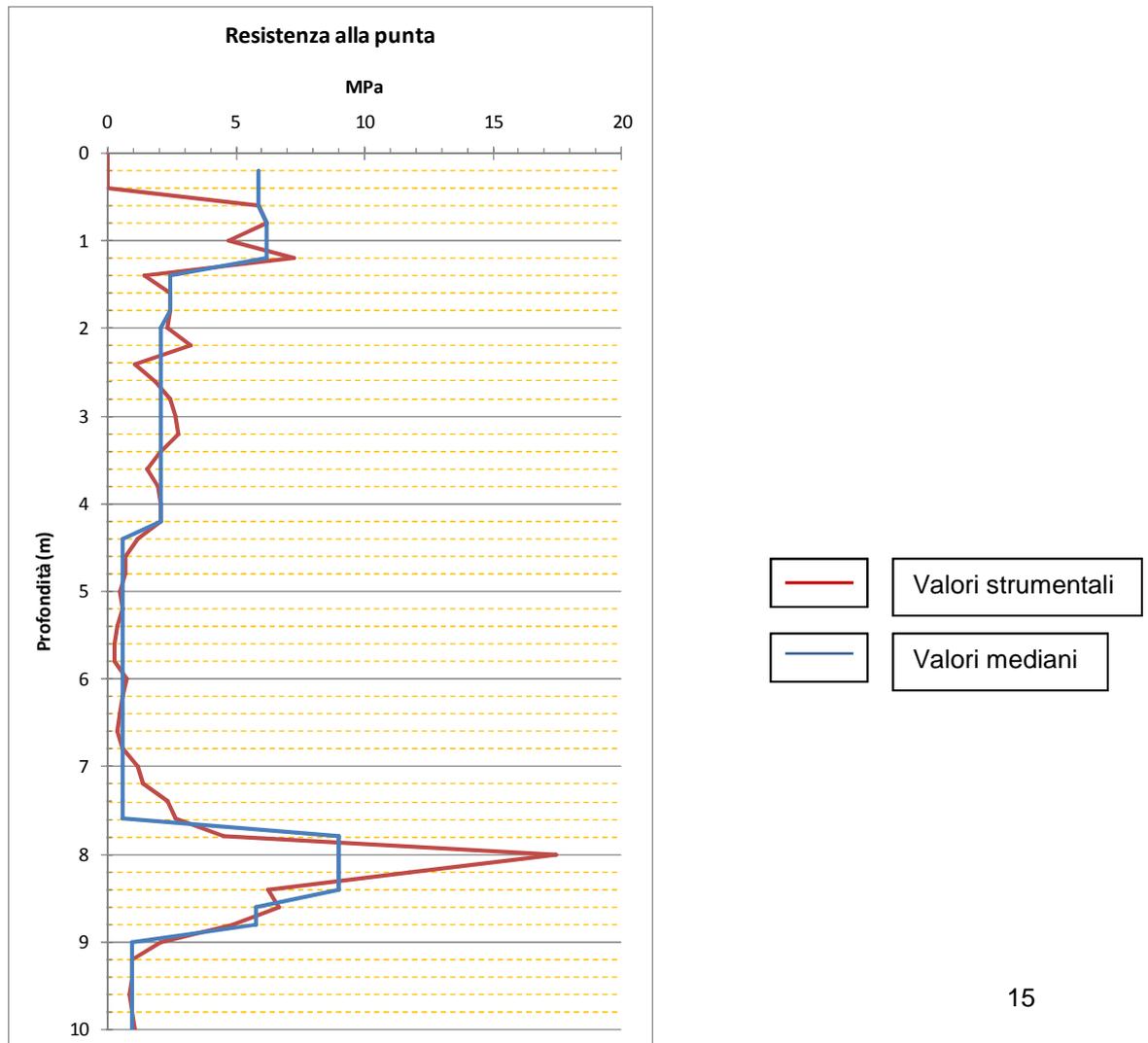


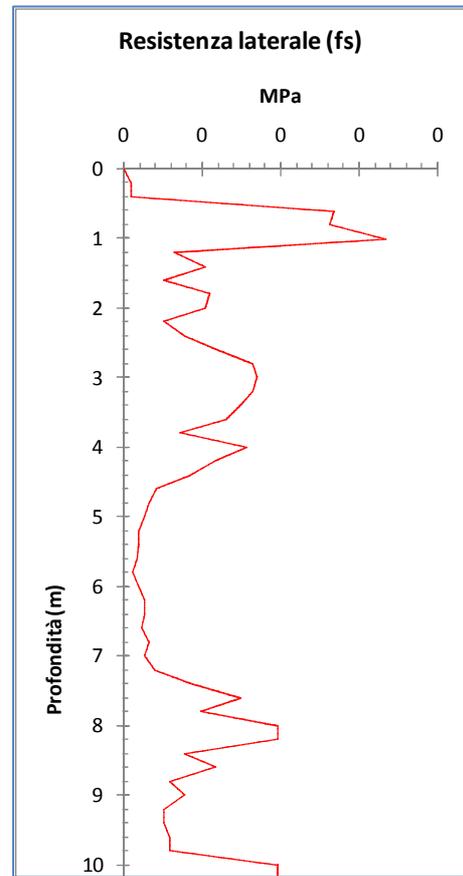
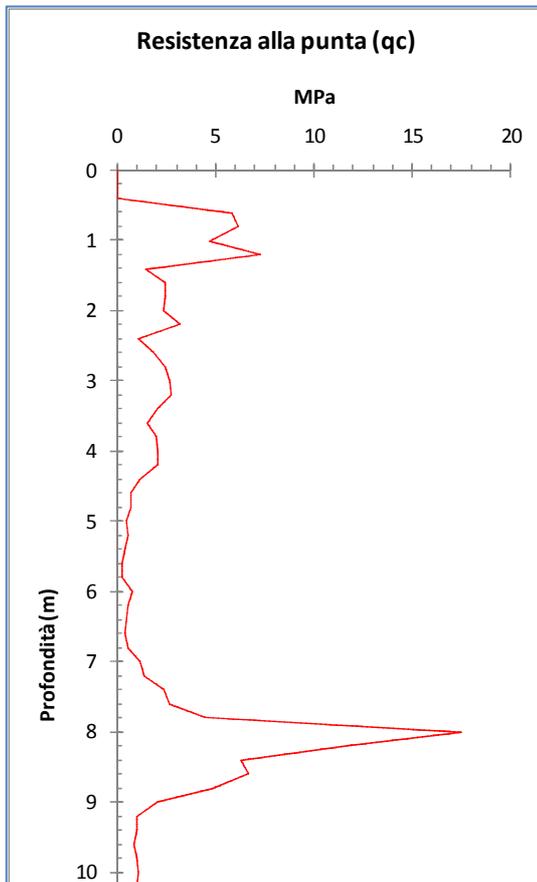


Tab.6.3b

CPT2	STRATO	m			kN/mc	°	kPa	Mpa	%	MPa		Robertson
		da m.	a m.	H	γ	ϕ	cu	M	Dr	qc	fs	
Incoerente	1	0,0	0,6	0,6	13,8	39		17,65	100	5,88	0,268	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	2	0,6	1,3	0,7	20,1		246,6	18,53		6,18	0,262	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	3	1,3	1,8	0,5	18,5		96,8	7,35		2,45	0,105	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	4	1,8	4,2	2,4	18,8		79,7	6,18		2,06	0,124	Miscela di limi: da limo argilloso ad argilla limo
Coesivo	5	4,2	7,6	3,4	16,6		19,8	1,77		0,59	0,026	Argille
Coesivo	6	7,6	8,4	0,8	19,4		355,0	27,07		9,02	0,147	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	7	8,4	8,8	0,4	18,7		225,2	17,36		5,79	0,088	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	8	8,8	10,0	1,2	17,6		32,6	2,94		0,98	0,059	Argille

cu: coesione non drenata kPa qc: resistenza penetrometrica alla punta γ : peso dell'unità di volume KN/m³: Modulo Edometrico
MPa fs: resistenza laterale calcolata

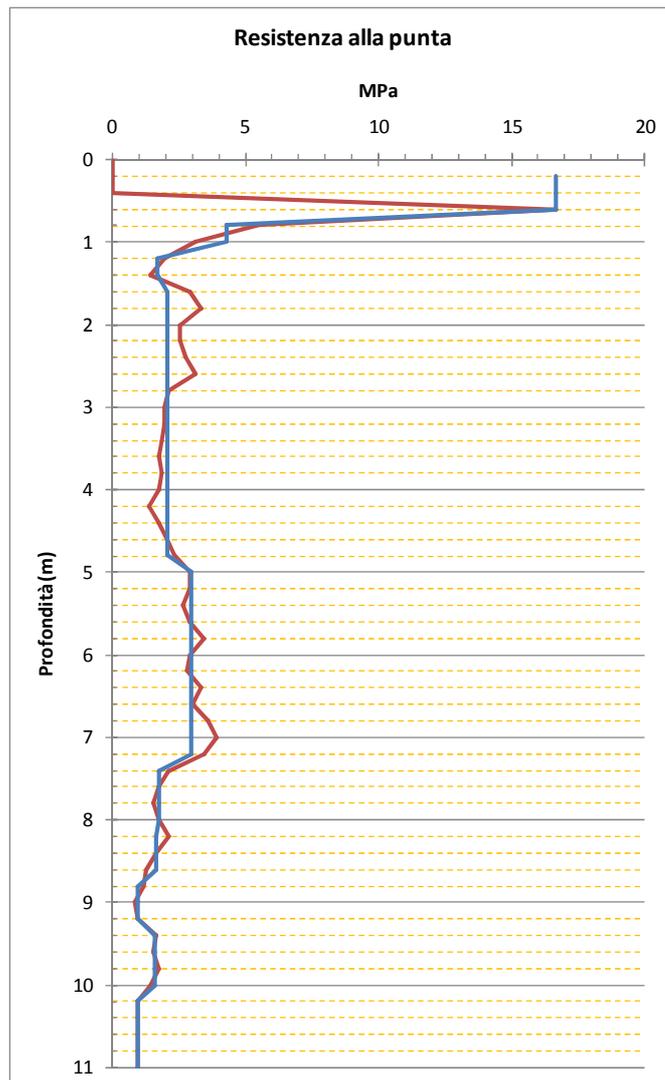


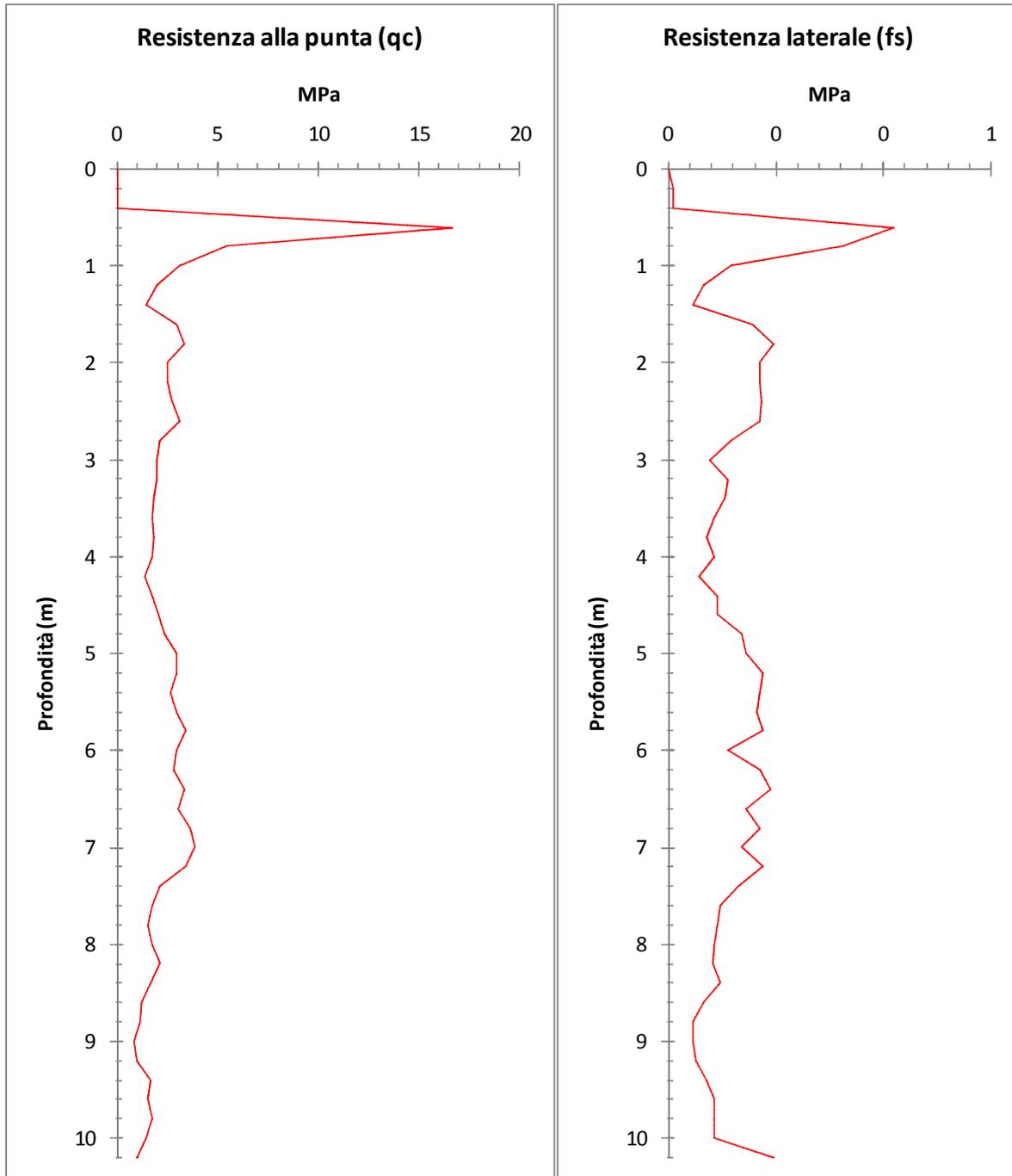




CPT1	STRATO	m			kN/mc	°	kPa	Mpa	%	MPa		Robertson
		da m.	a m.	H	γ	ϕ	cu	M	Dr	qc	fs	
Incoerente	1	0,0	0,6	0,6	13,8	45		50,01	100	16,67	0,419	Sabbie: da pulite a limose
Coesivo	2	0,6	1,0	0,4	19,6		172,0	12,94		4,31	0,222	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	3	1,0	1,5	0,5	17,8		67,7	5,15		1,72	0,056	Miscela di sabbie: da sabbia limosa a limo sab
Coesivo	4	1,5	4,8	3,3	18,7		79,0	6,18		2,06	0,111	Miscela di limi: da limo argilloso ad argilla limo
Coesivo	5	4,8	7,2	2,4	19,3		115,3	8,97		2,99	0,170	Miscela di limi: da limo argilloso ad argilla limo
Coesivo	6	7,2	8,0	0,8	18,4		64,8	5,30		1,77	0,095	Argille
Incoerente	7	8,0	8,6	0,6	18,4	21		5,00	12	1,67	0,084	Argille
Coesivo	8	8,6	9,2	0,6	17,5		32,4	2,94		0,98	0,046	Argille
Incoerente	9	9,2	10,0	0,8	18,3	20		4,85	9	1,62	0,085	Argille

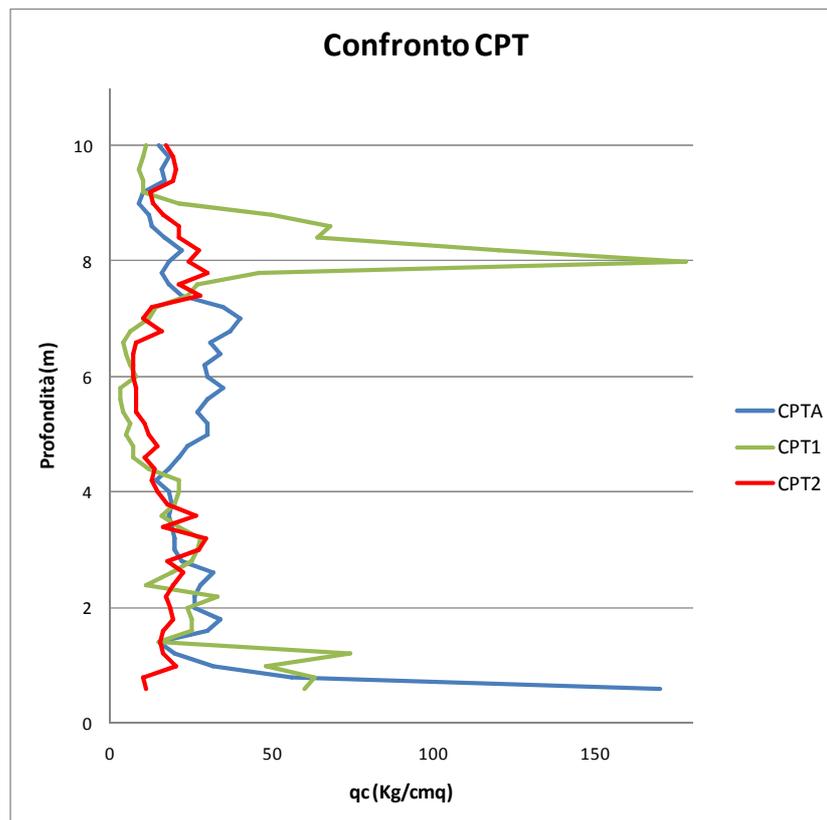
Tab.6.3c







Nel diagramma seguente si riportano, a scopo di confronto, i trends dei valori della resistenza penetrometrica alla punta (q_c) di tutte le indagini penetrometriche effettuate: se ne deduce una sostanziale uniformità geomeccanica e litologica del terreno indagato, se si escludono i picchi che i diagrammi CPT1 e CPT2 presentano rispettivamente in corrispondenza di 0.6-0.8 m e 8.0-8.20 m di profondità dal p.c., che rivelano la presenza di livelli di limitato spessore di natura prevalentemente sabbiosa/sabbioso-limoso; ed un livello compreso fra -5,4 m e -6.6 m dal p.c. in corrispondenza dell'indagine CPTA, che risulta l'unico livello di terreno che rivela valori di resistenza penetrometrica alla punta inferiori ai 10 Kg/cm² e variabili fra 6.9 Kg/cm² e 7.9 Kg/cm² (v. Dati penetrometrici – All.2).



Nelle tabelle seguenti (Tab. 6.3.d – 6.3.e), si riportano le stime dei parametri geotecnici mediani che possono essere ritenuti rappresentativi del terreno presente nel settore sud e di quello relativo al settore nord (v. Tav.2).



Tab. 6.3.d VALORI MEDIANI DEI PARAMETRI GEOTECNICI CORRISPONDENTI AL TERRENO DEL SETTORE SUD (indagini CPTA e CPT2)

	kN/mc	°	kPa	MPa	%	MPa		kPa
LITOTIPO	γ	φ	Cu_{mediano}	M	Dr	qc	fs	Cu_{minimo}
Limo argilloso	18	-	67	4.8	-	1.6	0.039	30

Tab. 6.3.e VALORI MEDIANI DEI PARAMETRI GEOTECNICI CORRISPONDENTI AL TERRENO DEL SETTORE NORD (indagine CPT1)

	kN/mc	°	kPa	MPa	%	MPa		kPa
LITOTIPO	γ	φ	Cu_{mediano}	M	Dr	qc	fs	Cu_{minimo}
Limo argilloso	18.5	-	67	5.3	-	1.77	0.095	30

Come si può dedurre da tali valori, si ha una corrispondenza fra gli stessi, relativamente ai due settori del terreno in oggetto, che fa dedurre una sostanziale omogeneità litologica e di comportamento geomeccanico. Ai fini dei calcoli geotecnici si raccomanda di utilizzare un valore di coesione non drenata corrispondente al minimo valore riscontrato, dal momento che la stessa normativa (NTC 2008) stabilisce di poter assumere, per fondazioni considerate cautelativamente non compensate, come valore caratteristico di un parametro geotecnico, il valore minimo ottenuto dall'elaborazione delle indagini effettuate in situ.

7 CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

La liquefazione consiste in una diminuzione della resistenza del terreno dovuta al raggiungimento di una condizione di fluidità innescata da un evento sismico. La perdita totale della resistenza avviene quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide.



Il pericolo di liquefazione aumenta al diminuire della coesione, dell'angolo di attrito, della tensione totale. Tale pericolo riguarda pertanto i depositi superficiali di terreni incoerenti o debolmente coerenti (sabbie e limi non plastici), in presenza di falde acquifere. In particolare, affinché il fenomeno possa verificarsi è necessario che siano contemporaneamente verificate le seguenti condizioni:

- 1) terreni immersi in acqua e quindi saturi
- 2) pressione litostatica relativamente ridotta
- 3) granulometria uniforme nel campo delle sabbie medio-fini
- 4) stato di addensamento sciolto
- 5) scossa sismica di notevole entità

Dal confronto tra il precedente elenco ed i dati relativi al terreno in oggetto, **risulta verificato soltanto il punto 1** in dalle misure freatrimetriche effettuate risultano terreni saturi in acqua. Pertanto, il terreno in oggetto non rientra nella tipologia che può determinare fenomeni di liquefazione. Tuttavia, nell'ambito del presente capitolo, è stata comunque effettuata l'elaborazione per verificare il valore del fattore di sicurezza relativamente ai dati penetrometrici ottenuti dall'esecuzione delle indagini CPT ed impostando, cautelativamente una magnitudo particolarmente elevata, ovvero pari a $M= 7.5$.

La suscettibilità alla liquefazione di un deposito può essere calcolata attraverso metodi semplificati, definendo un valore dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Tali metodi permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitata nello strato (R) e lo sforzo indotto dal sisma (T). Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1.

Il termine T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo), mentre il termine R è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato e può essere ricavato attraverso correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche statiche. Tra le varie procedure esistenti, nel caso in oggetto è stato utilizzato il metodo proposto da Robertson e Wride (1997), che consiste nel ricavare i valori di resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente, in relazione all'indice del tipo di comportamento del terreno (I_c), citato precedentemente.



Le elaborazioni per una valutazione di liquefazione sono state effettuate considerando il valore di $a_g = SLC = 0,169$ mentre per la magnitudo è stato genericamente utilizzato il valore 7.5 (valore di riferimento della metodologia utilizzata).

Infine, si riporta di seguito il risultato dell'elaborazione che mostra come, relativamente al terreno in studio, seppur con una magnitudo assunta cautelativamente pari a 7,5, non siano presenti strati soggetti a liquefazione tranne che per due livelletti di 20 cm di spessore, in corrispondenza delle profondità 7.4 e 7.8 per l'indagine CPTA e 8.4 e 8.8 per l'indagine CPT2, e come sono da ritenersi non rappresentativi del comportamento complessivo del terreno in studio. Pertanto il fattore di sicurezza F_s (v. grafici seguenti) rivela un valore che risulta sostanzialmente superiore all'unità come da normativa vigente tranne per i livelletti di cui sopra.

8 CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

La liquefazione consiste in una diminuzione della resistenza del terreno dovuta al raggiungimento di una condizione di fluidità innescata da un evento sismico. La perdita totale della resistenza avviene quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide.

Il pericolo di liquefazione aumenta al diminuire della coesione, dell'angolo di attrito, della tensione totale. Tale pericolo riguarda pertanto i depositi superficiali di terreni incoerenti o debolmente coerenti (sabbie e limi non plastici), in presenza di falde acquifere. In particolare, affinché il fenomeno possa verificarsi è necessario che siano contemporaneamente verificate le seguenti condizioni:

- 6) terreni immersi in acqua e quindi saturi
- 7) pressione litostatica relativamente ridotta
- 8) granulometria uniforme nel campo delle sabbie medio-fini
- 9) stato di addensamento sciolto
- 10) scossa sismica di notevole entità

Dal confronto tra il precedente elenco ed i dati relativi al terreno in oggetto, **risulta verificato soltanto il punto 1** in dalle misure freatrimetriche effettuate risultano terreni saturi in acqua. Pertanto, il terreno in oggetto non rientra nella tipologia che può determinare fenomeni di liquefazione. Tuttavia, nell'ambito del presente capitolo, è stata comunque effettuata l'elaborazione per verificare il valore del fattore di sicurezza relativamente ai dati penetrometrici



ottenuti dall'esecuzione delle indagini CPT ed impostando, cautelativamente una magnitudo particolarmente elevata, ovvero pari a $M=7.5$.

La suscettibilità alla liquefazione di un deposito può essere calcolata attraverso metodi semplificati, definendo un valore dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie e della magnitudo di riferimento.

Tali metodi permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitata nello strato (R) e lo sforzo indotto dal sisma (T). Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1.

Il termine T dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo), mentre il termine R è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato e può essere ricavato attraverso correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche statiche. Tra le varie procedure esistenti, nel caso in oggetto è stato utilizzato il metodo proposto da Robertson e Wride (1997), che consiste nel ricavare i valori di resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente, in relazione all'indice del tipo di comportamento del terreno (I_c), citato precedentemente.

Le elaborazioni per una valutazione di liquefazione sono state effettuate considerando il valore di $a_g = SLC = 0,169$ mentre per la magnitudo è stato genericamente utilizzato il valore 7.5 (valore di riferimento della metodologia utilizzata).

Infine, si riporta di seguito il risultato dell'elaborazione che mostra come, relativamente al terreno in studio, seppur con una magnitudo assunta cautelativamente pari a 7,5, non siano presenti strati soggetti a liquefazione tranne che per due livelletti di 20 cm di spessore, in corrispondenza delle profondità 7.4 e 7.8 per l'indagine CPTA e 8.4 e 8.8 per l'indagine CPT2, e come sono da ritenersi non rappresentativi del comportamento complessivo del terreno in studio. Pertanto il fattore di sicurezza F_s (v. grafici seguenti) rivela un valore che risulta sostanzialmente superiore all'unità come da normativa vigente tranne per i livelletti di cui sopra. Preme specificare che per quanto riguarda gli aspetti di pericolosità connessi ai fenomeni di amplificazione stratigrafica, essi possono risultare particolarmente significativi nei casi in cui la frequenza di sito sia confrontabile con la frequenza propria delle strutture edificate, ovvero quando si realizzano fenomeni di doppia risonanza. L'indagine HVSR ha evidenziato allo scopo il range di frequenza di risonanza principale del sito.



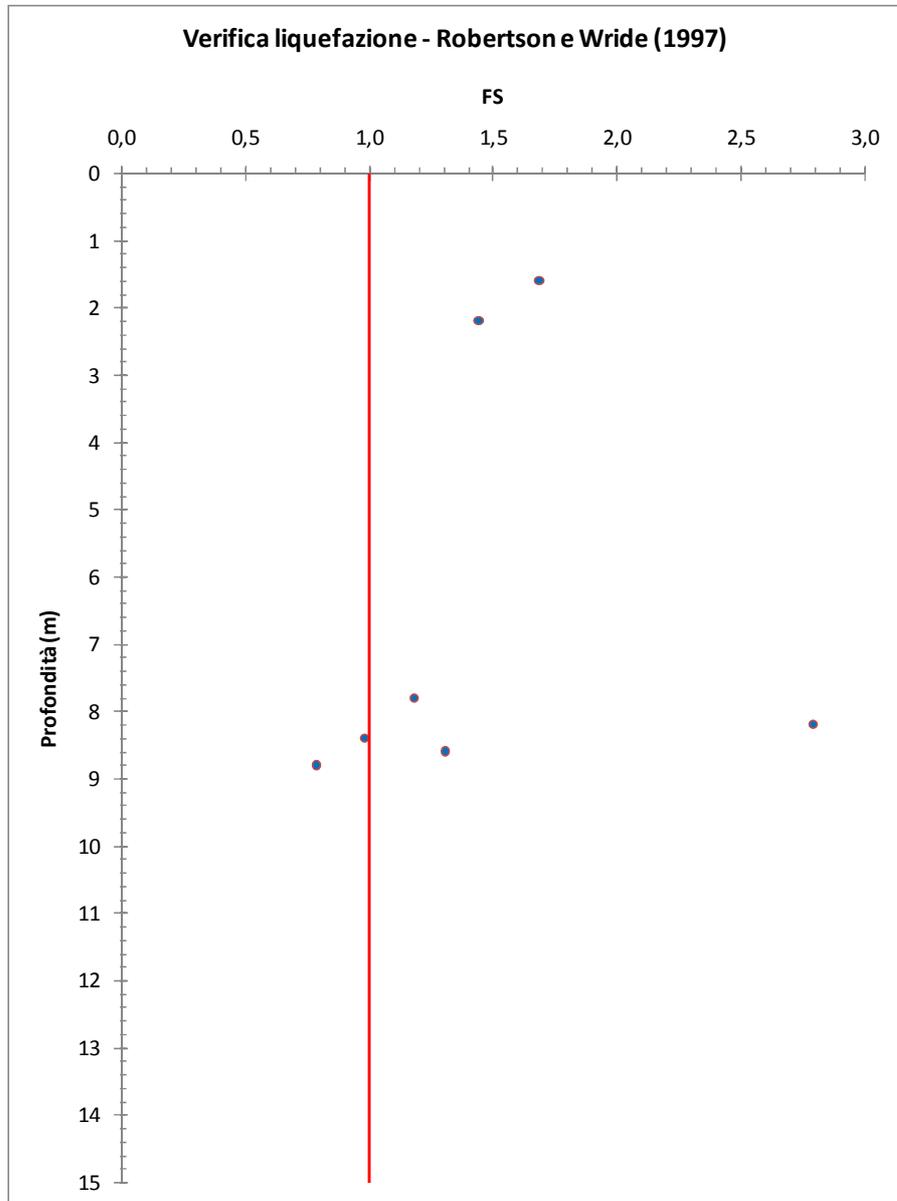
Relazione di calcolo per la prova penetrometrica statica (C.P.T.)
 VERIFICA LIQUEFAZIONE METODO ROBERTSON E WRIDE (1997)

CPT A

Z	F	Q	Ic	n	Fine (%)	Zona	LIQUEFAZIONE											
							MSF	kc	Qc1n	(Qc1n)cs	CRR7.5	CRR	CSR	rd	CSR*	FS	LIQ	
(m)																		
0,2																		
0,4																		
0,6	8,4	64,7	2,7	0,8	41,2	4	1,00	4,09	65,26	267,11	1,85		0,11	1,00	0,11		NO	
0,8	6,9	46,7	2,7	0,8	42,3	4	1,00	4,25	47,33	201,24	0,84		0,11	0,99	0,11		NO	
1,0	1,3	49,1	2,2	0,5	20,1	5	1,00	1,75	49,53	86,54	0,14	0,14	0,11	0,99	0,11	1,29	NO	
1,2	2,5	35,6	2,5	0,5	31,0	5	1,00	2,81	36,07	101,28	0,18	0,18	0,11	0,99	0,11	1,62	NO	
1,4	5,3	44,1	2,7	0,8	38,8	4	1,00	3,77	44,79	168,72	0,53		0,11	0,99	0,11		NO	
1,6	4,2	42,1	2,6	0,8	35,7	4	1,00	3,37	42,84	144,34	0,36		0,11	0,99	0,11		NO	
1,8	3,5	45,6	2,5	0,8	32,0	5	1,00	2,92	46,38	135,36	0,31	0,31	0,11	0,99	0,11	2,87	NO	
2,0	4,8	39,6	2,7	0,8	38,8	4	1,00	3,78	40,40	152,66	0,41		0,11	0,98	0,11		NO	
2,2	1,9	28,0	2,5	0,5	31,7	5	1,00	2,89	28,59	82,61	0,13	0,13	0,11	0,98	0,11	1,16	NO	
2,4	5,6	49,8	2,7	1,0	37,9	4	1,00	3,65	50,90	185,99	0,68		0,12	0,98	0,12		NO	
2,6	2,4	34,5	2,5	0,5	31,2	5	1,00	2,82	35,18	99,36	0,17	0,17	0,12	0,98	0,12	1,38	NO	
2,8	7,8	40,9	2,8	1,0	46,8	4	1,00	4,91	42,08	206,45	0,90		0,13	0,98	0,13		NO	
3,0	3,7	40,5	2,6	0,5	34,5	5	1,00	3,22	41,34	133,14	0,30	0,30	0,13	0,98	0,13	2,27	NO	
3,2	6,9	63,8	2,6	1,0	37,8	4	1,00	3,64	65,03	236,64	1,31		0,14	0,98	0,14		NO	
3,4	4,2	33,8	2,7	1,0	39,3	4	1,00	3,84	35,08	134,71	0,31		0,14	0,97	0,14		NO	
3,6	7,2	52,8	2,7	1,0	41,3	4	1,00	4,12	54,10	222,66	1,11		0,14	0,97	0,14		NO	
3,8	9,4	33,4	2,9	1,0	54,0	4	1,00	6,02	34,80	209,43	0,93		0,14	0,97	0,14		NO	
4,0	9,1	26,5	3,0	1,0	57,7	3	1,00	6,62	27,91	184,77	0,67		0,15	0,97	0,15		NO	
4,2	6,1	22,0	2,9	1,0	53,6	4	1,00	5,95	23,37	138,97	0,33		0,15	0,97	0,15		NO	
4,4	4,1	23,1	2,8	1,0	45,6	4	1,00	4,73	24,49	115,77	0,22		0,15	0,97	0,15		NO	
4,6	7,4	17,1	3,1	1,0	62,6	3	1,00	7,44	18,58	138,25	0,33		0,15	0,96	0,15		NO	
4,8	2,4	23,6	2,6	1,0	37,1	4	1,00	3,55	25,04	88,84	0,15		0,16	0,96	0,16		NO	
5,0	4,9	18,0	2,9	1,0	53,5	4	1,00	5,93	19,45	115,36	0,22		0,16	0,96	0,16		NO	
5,2	4,1	15,8	2,9	1,0	52,9	4	1,00	5,84	17,36	101,46	0,18		0,16	0,96	0,16		NO	
5,4	4,8	10,7	3,1	1,0	65,1	3	1,00	7,86	12,26	96,39	0,16		0,16	0,96	0,16		NO	
5,6	4,9	10,4	3,1	1,0	65,9	3	1,00	8,00	11,98	95,86	0,16		0,16	0,96	0,16		NO	
5,8	3,9	10,3	3,1	1,0	62,2	3	1,00	7,37	11,88	87,60	0,14		0,16	0,96	0,16		NO	
6,0	4,6	8,6	3,2	1,0	70,0	3	1,00	8,72	10,17	88,63	0,14		0,17	0,95	0,17		NO	
6,2	3,5	8,4	3,1	1,0	65,2	3	1,00	7,87	9,97	78,48	0,12		0,17	0,95	0,17		NO	
6,4	3,5	8,2	3,1	1,0	65,9	3	1,00	8,00	9,79	78,26	0,12		0,17	0,95	0,17		NO	
6,6	4,0	9,3	3,1	1,0	65,1	3	1,00	7,85	10,99	86,27	0,14		0,17	0,95	0,17		NO	
6,8	2,7	20,1	2,7	1,0	41,8	4	1,00	4,18	21,78	90,98	0,15		0,17	0,95	0,17		NO	
7,0	3,1	11,7	2,9	1,0	55,1	4	1,00	6,19	13,35	82,62	0,13		0,17	0,95	0,17		NO	
7,2	4,5	15,3	3,0	1,0	55,6	3	1,00	6,27	17,00	106,53	0,19		0,17	0,94	0,17		NO	
7,4	2,0	29,9	2,5	0,5	31,0	5	1,00	2,80	31,37	87,88	0,14	0,14	0,18	0,94	0,18	0,82	SI	
7,6	5,8	24,6	2,9	1,0	50,2	4	1,00	5,42	26,27	142,47	0,35		0,18	0,94	0,18		NO	
7,8	1,8	31,6	2,5	0,5	29,2	5	1,00	2,61	33,11	86,37	0,14	0,14	0,18	0,94	0,18	0,79	SI	
8,0	4,4	27,3	2,8	1,0	43,6	4	1,00	4,44	29,02	128,77	0,28		0,18	0,94	0,18		NO	
8,2	5,4	30,2	2,8	1,0	45,4	4	1,00	4,70	31,89	150,03	0,39		0,18	0,94	0,18		NO	
8,4	4,4	22,6	2,8	1,0	47,2	4	1,00	4,96	24,36	120,81	0,24		0,18	0,94	0,18		NO	
8,6	5,8	22,1	2,9	1,0	52,3	4	1,00	5,74	23,86	137,01	0,32		0,18	0,93	0,18		NO	
8,8	7,7	16,2	3,1	1,0	64,6	3	1,00	7,78	17,98	139,95	0,33		0,18	0,93	0,18		NO	
9,0	6,9	12,6	3,1	1,0	68,1	3	1,00	8,38	14,40	120,77	0,24		0,18	0,93	0,18		NO	
9,2	4,4	11,3	3,1	1,0	62,0	3	1,00	7,34	13,10	96,15	0,16		0,18	0,93	0,18		NO	
9,4	4,1	18,4	2,9	1,0	50,2	4	1,00	5,41	20,19	109,28	0,20		0,18	0,92	0,18		NO	
9,6	5,0	19,1	2,9	1,0	52,8	4	1,00	5,82	20,85	121,29	0,25		0,18	0,92	0,18		NO	
9,8	5,7	17,8	3,0	1,0	56,5	3	1,00	6,42	19,57	125,67	0,26		0,18	0,91	0,18		NO	
10,0	4,7	15,5	3,0	1,0	56,0	3	1,00	6,33	17,26	109,30	0,20		0,18	0,91	0,18		NO	



CPT A





Relazione di calcolo per la prova penetrometrica statica (C.P.T.)
 VERIFICA LIQUEFAZIONE METODO ROBERTSON E WRIDE (1997)

CPT 1

Z (m)	F	Q	Ic	n	Fine (%)	Zona	LIQUEFAZIONE											
							MSF	kc	Qc1n	(Qc1n)cs	CRR7.5	CRR	CSR	rd	CSR*	FS	LIQ	
0,2																		
0,4																		
0,6	2,5	533,8	1,8	0,5	7,7	6	1,00	1,09	534,16	584,35	18,64	####	0,11	1,00	0,11	#####	NO	
0,8	6,0	147,5	2,4	0,5	25,7	5	1,00	2,24	147,83	331,31	3,46	3,46	0,11	0,99	0,11	31,71	NO	
1,0	3,8	74,4	2,4	0,5	26,6	5	1,00	2,33	74,84	174,46	0,57	0,57	0,11	0,99	0,11	5,26	NO	
1,2	3,4	42,1	2,5	0,5	32,6	5	1,00	3,00	42,60	127,61	0,27	0,27	0,11	0,99	0,11	2,51	NO	
1,4	3,2	41,3	2,5	0,8	32,1	5	1,00	2,93	41,98	123,12	0,25	0,25	0,11	0,99	0,11	2,33	NO	
1,6	5,4	74,6	2,5	0,8	31,7	5	1,00	2,88	75,33	216,96	1,03	1,03	0,11	0,99	0,11	9,49	NO	
1,8	5,9	76,8	2,5	0,8	32,8	5	1,00	3,02	77,55	233,94	1,27	1,27	0,11	0,99	0,11	11,73	NO	
2,0	6,7	69,2	2,6	1,0	36,3	4	1,00	3,44	70,23	241,65	1,39		0,11	0,98	0,11		NO	
2,2	6,8	65,7	2,6	1,0	37,2	4	1,00	3,56	66,75	237,67	1,33		0,11	0,98	0,11		NO	
2,4	6,4	67,4	2,6	1,0	35,8	4	1,00	3,38	68,48	231,59	1,24		0,12	0,98	0,12		NO	
2,6	5,5	59,2	2,6	0,8	35,0	5	1,00	3,28	60,15	197,36	0,79	0,79	0,12	0,98	0,12	6,48	NO	
2,8	5,6	48,1	2,7	1,0	38,3	4	1,00	3,70	49,26	182,45	0,64		0,13	0,98	0,13		NO	
3,0	4,1	41,9	2,6	1,0	35,5	4	1,00	3,35	43,11	144,43	0,36		0,13	0,98	0,13		NO	
3,2	5,8	40,2	2,7	1,0	41,7	4	1,00	4,17	41,50	173,24	0,56		0,13	0,98	0,13		NO	
3,4	5,8	36,7	2,8	1,0	43,3	4	1,00	4,39	38,01	166,76	0,51		0,14	0,97	0,14		NO	
3,6	5,0	33,5	2,7	1,0	42,3	4	1,00	4,25	34,80	147,83	0,38		0,14	0,97	0,14		NO	
3,8	4,0	34,2	2,7	1,0	38,2	4	1,00	3,70	35,56	131,55	0,29		0,14	0,97	0,14		NO	
4,0	5,0	31,3	2,8	1,0	43,5	4	1,00	4,42	32,63	144,38	0,36		0,15	0,97	0,15		NO	
4,2	4,5	23,3	2,8	1,0	47,1	4	1,00	4,95	24,65	122,01	0,25		0,15	0,97	0,15		NO	
4,4	5,4	29,3	2,8	1,0	45,9	4	1,00	4,76	30,74	146,48	0,37		0,15	0,97	0,15		NO	
4,6	4,6	33,4	2,7	1,0	40,9	4	1,00	4,06	34,82	141,49	0,34		0,15	0,96	0,15		NO	
4,8	6,1	37,1	2,8	1,0	43,8	4	1,00	4,46	38,59	172,08	0,55		0,15	0,96	0,15		NO	
5,0	5,1	45,3	2,6	1,0	37,5	4	1,00	3,61	46,81	168,85	0,53		0,16	0,96	0,16		NO	
5,2	6,2	43,9	2,7	1,0	41,4	4	1,00	4,13	45,43	187,65	0,69		0,16	0,96	0,16		NO	
5,4	6,7	38,2	2,8	1,0	45,0	4	1,00	4,63	39,73	184,01	0,66		0,16	0,96	0,16		NO	
5,6	5,8	41,4	2,7	1,0	41,1	4	1,00	4,09	42,92	175,51	0,58		0,16	0,96	0,16		NO	
5,8	5,3	47,2	2,6	1,0	37,7	4	1,00	3,63	48,71	176,85	0,59		0,16	0,96	0,16		NO	
6,0	3,9	39,2	2,6	1,0	35,8	4	1,00	3,39	40,71	137,81	0,32		0,16	0,95	0,16		NO	
6,2	6,2	36,8	2,8	1,0	44,4	4	1,00	4,55	38,34	174,34	0,57		0,16	0,95	0,16		NO	
6,4	5,9	42,2	2,7	1,0	41,2	4	1,00	4,09	43,81	179,29	0,62		0,16	0,95	0,16		NO	
6,6	4,9	37,4	2,7	1,0	40,2	4	1,00	3,96	38,99	154,32	0,42		0,16	0,95	0,16		NO	
6,8	4,8	43,8	2,6	1,0	37,4	4	1,00	3,58	45,42	162,80	0,48		0,17	0,95	0,17		NO	
7,0	3,6	41,9	2,6	0,5	33,7	5	1,00	3,12	43,38	135,21	0,31	0,31	0,17	0,95	0,17	1,86	NO	
7,2	5,4	39,4	2,7	1,0	40,7	4	1,00	4,02	41,01	165,03	0,50		0,17	0,94	0,17		NO	
7,4	6,5	23,6	2,9	1,0	53,2	4	1,00	5,88	25,23	148,45	0,38		0,17	0,94	0,17		NO	
7,6	6,0	18,6	3,0	1,0	56,8	3	1,00	6,46	20,23	130,75	0,29		0,17	0,94	0,17		NO	
7,8	6,4	16,0	3,0	1,0	61,2	3	1,00	7,20	17,64	127,01	0,27		0,17	0,94	0,17		NO	
8,0	5,3	17,8	2,9	1,0	55,1	4	1,00	6,20	19,47	120,65	0,24		0,17	0,94	0,17		NO	
8,2	4,2	21,7	2,8	1,0	47,2	4	1,00	4,96	23,36	115,78	0,22		0,17	0,94	0,17		NO	
8,4	6,5	16,0	3,0	1,0	61,4	3	1,00	7,23	17,72	128,15	0,28		0,17	0,94	0,17		NO	
8,6	5,9	11,6	3,1	1,0	67,0	3	1,00	8,19	13,32	109,12	0,20		0,17	0,93	0,17		NO	
8,8	4,6	10,4	3,1	1,0	64,7	3	1,00	7,79	12,10	94,23	0,16		0,17	0,93	0,17		NO	
9,0	6,4	7,2	3,3	1,0	81,6	3	1,00	10,81	8,94	96,61	0,16		0,17	0,93	0,17		NO	
9,2	6,4	8,1	3,3	1,0	78,4	3	1,00	10,23	9,78	100,01	0,17		0,17	0,93	0,17		NO	
9,4	4,8	14,6	3,0	1,0	57,6	3	1,00	6,60	16,35	107,97	0,20		0,17	0,92	0,17		NO	
9,6	6,1	13,4	3,1	1,0	64,4	3	1,00	7,74	15,14	117,16	0,23		0,17	0,92	0,17		NO	
9,8	5,4	15,0	3,0	1,0	59,2	3	1,00	6,87	16,75	115,06	0,22		0,17	0,91	0,17		NO	
10,0	6,6	12,0	3,1	1,0	68,7	3	1,00	8,49	13,74	116,65	0,23		0,17	0,91	0,17		NO	



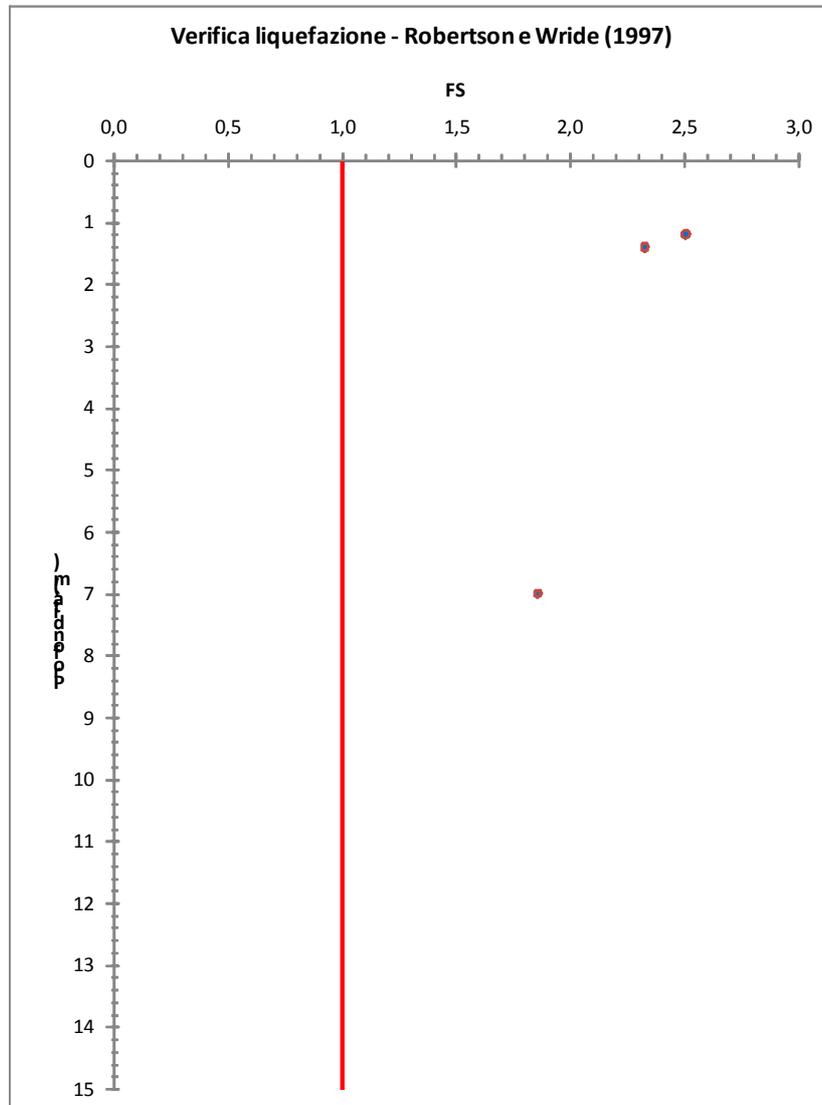
STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. ADRIANA NOVI

VIA MORTAIDLO 141, VICARELLO (LI) 0586 965129 CELL. 334 3021980

E-MAIL ADRIANANOVI@ALICE.IT

CPT 1





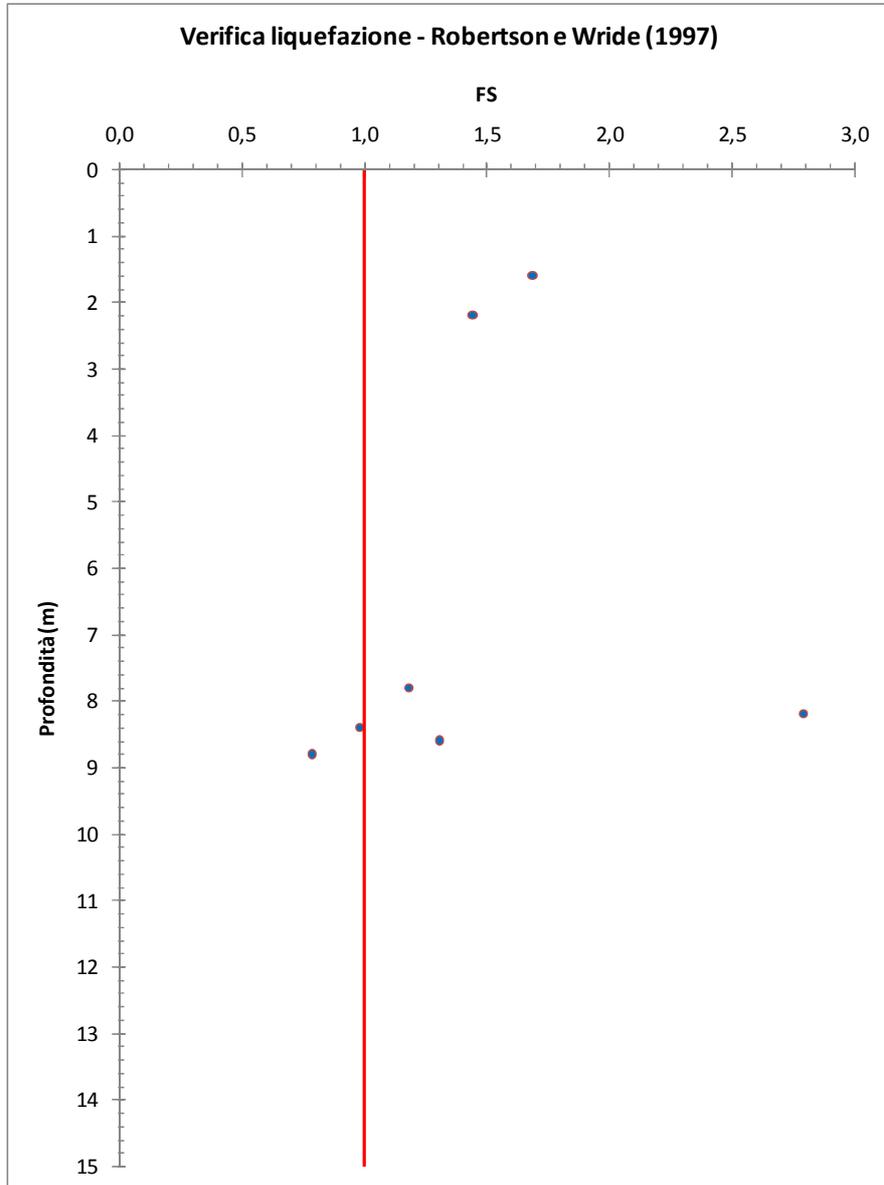
Relazione di calcolo per la prova penetrometrica statica (C.P.T.)
 VERIFICA LIQUEFAZIONE METODO ROBERTSON E WRIDE (1997)

CPT 2

Z	F	Q	Ic	n	Fine (%)	Zona	LIQUEFAZIONE											
							MSF	kc	Qc1n	(Qc1n)cs	CRR7.5	CRR	CSR	rd	CSR*	FS	LIQ	
(m)																		
0,2																		
0,4																		
0,6	4,6	190,0	2,2	0,5	19,8	5	1,00	1,73	190,32	329,07	3,39	3,39	0,11	1,00	0,11	31,04	NO	
0,8	4,2	167,3	2,2	0,5	20,0	5	1,00	1,74	167,68	291,98	2,39	2,39	0,11	0,99	0,11	21,94	NO	
1,0	7,1	111,7	2,5	0,5	31,3	5	1,00	2,83	112,11	317,78	3,06	3,06	0,11	0,99	0,11	28,11	NO	
1,2	0,9	156,6	1,7	0,5	6,8	6	1,00	1,06	157,09	166,85	0,51	0,51	0,11	0,99	0,11	4,70	NO	
1,4	7,3	57,7	2,7	1,0	40,0	4	1,00	3,94	58,75	231,48	1,23		0,11	0,99	0,11		NO	
1,6	2,1	45,3	2,4	0,5	25,9	5	1,00	2,26	45,83	103,57	0,18	0,18	0,11	0,99	0,11	1,69	NO	
1,8	4,6	56,4	2,5	0,8	32,9	5	1,00	3,02	57,14	172,73	0,56	0,56	0,11	0,99	0,11	5,16	NO	
2,0	4,5	49,8	2,6	0,8	34,4	5	1,00	3,21	50,54	162,42	0,48	0,48	0,11	0,98	0,11	4,42	NO	
2,2	1,6	52,0	2,3	0,5	21,2	5	1,00	1,84	52,68	96,78	0,16	0,16	0,11	0,98	0,11	1,45	NO	
2,4	7,6	26,3	2,9	1,0	54,2	4	1,00	6,04	27,39	165,54	0,50		0,12	0,98	0,12		NO	
2,6	6,5	44,1	2,7	1,0	42,1	4	1,00	4,23	45,26	191,39	0,73		0,12	0,98	0,12		NO	
2,8	6,8	55,8	2,7	1,0	39,5	4	1,00	3,86	56,96	219,95	1,07		0,13	0,98	0,13		NO	
3,0	6,5	57,7	2,7	1,0	38,3	4	1,00	3,70	58,92	218,01	1,04		0,13	0,98	0,13		NO	
3,2	6,1	57,4	2,6	1,0	37,1	4	1,00	3,55	58,64	208,38	0,92		0,13	0,98	0,13		NO	
3,4	7,5	41,0	2,8	1,0	46,0	4	1,00	4,79	42,31	202,47	0,85		0,14	0,97	0,14		NO	
3,6	8,7	29,8	2,9	1,0	54,5	4	1,00	6,10	31,09	189,65	0,71		0,14	0,97	0,14		NO	
3,8	3,8	36,3	2,6	1,0	36,5	4	1,00	3,47	37,62	130,65	0,29		0,14	0,97	0,14		NO	
4,0	7,9	36,8	2,8	1,0	48,8	4	1,00	5,21	38,14	198,62	0,81		0,15	0,97	0,15		NO	
4,2	5,9	35,5	2,8	1,0	44,1	4	1,00	4,51	36,92	166,64	0,51		0,15	0,97	0,15		NO	
4,4	7,8	19,1	3,0	1,0	61,3	3	1,00	7,22	20,48	147,88	0,38		0,15	0,97	0,15		NO	
4,6	7,2	10,2	3,2	1,0	74,5	3	1,00	9,52	11,65	110,86	0,21		0,15	0,96	0,15		NO	
4,8	5,4	9,9	3,2	1,0	69,3	3	1,00	8,59	11,38	97,71	0,17		0,15	0,96	0,15		NO	
5,0	6,6	6,5	3,4	1,0	85,5	3	1,00	11,54	7,95	91,75	0,15		0,16	0,96	0,16		NO	
5,2	4,0	7,8	3,2	1,0	69,4	3	1,00	8,61	9,35	80,43	0,13		0,16	0,96	0,16		NO	
5,4	6,7	4,6	3,5	1,0	96,4	3	1,00	13,59	6,11	83,05	0,13		0,16	0,96	0,16		NO	
5,6	9,1	3,0	3,7	1,0	120,1	2	1,00	18,21	4,50	81,89	0,13		0,16	0,96	0,16		NO	
5,8	6,7	2,9	3,6	1,0	113,1	2	1,00	16,84	4,42	74,46	0,12		0,16	0,96	0,16		NO	
6,0	2,9	10,0	3,0	1,0	57,7	3	1,00	6,62	11,56	76,53	0,12		0,17	0,95	0,17		NO	
6,2	5,5	6,9	3,3	1,0	79,6	3	1,00	10,45	8,50	88,85	0,15		0,17	0,95	0,17		NO	
6,4	7,0	5,3	3,4	1,0	92,8	3	1,00	12,91	6,95	89,76	0,15		0,17	0,95	0,17		NO	
6,6	8,2	3,8	3,6	1,0	107,7	3	1,00	15,78	5,46	86,19	0,14		0,17	0,95	0,17		NO	
6,8	7,1	6,4	3,4	1,0	87,5	3	1,00	11,92	8,04	95,78	0,16		0,17	0,95	0,17		NO	
7,0	2,5	14,1	2,8	1,0	47,8	4	1,00	5,05	15,77	79,58	0,13		0,17	0,95	0,17		NO	
7,2	3,3	16,4	2,8	1,0	48,9	4	1,00	5,21	18,03	94,01	0,16		0,17	0,94	0,17		NO	
7,4	3,8	28,5	2,7	1,0	40,7	4	1,00	4,03	30,22	121,71	0,25		0,17	0,94	0,17		NO	
7,6	6,0	31,5	2,8	1,0	46,3	4	1,00	4,83	33,20	160,41	0,46		0,17	0,94	0,17		NO	
7,8	2,2	48,4	2,4	0,5	25,5	5	1,00	2,22	49,95	111,08	0,21	0,21	0,18	0,94	0,18	1,18	NO	
8,0	1,1	189,3	1,7	0,5	7,0	6	1,00	1,07	190,89	203,95	0,87	0,87	0,18	0,94	0,18	4,95	NO	
8,2	1,7	125,6	2,0	0,5	12,8	6	1,00	1,29	127,15	164,25	0,49	0,49	0,18	0,94	0,18	2,80	NO	
8,4	1,3	65,5	2,1	0,5	16,4	5	1,00	1,49	67,12	100,22	0,17	0,17	0,18	0,94	0,18	0,98	SI	
8,6	1,8	68,9	2,2	0,5	19,0	5	1,00	1,67	70,56	117,73	0,23	0,23	0,18	0,93	0,18	1,31	NO	
8,8	1,2	49,7	2,2	0,5	19,2	5	1,00	1,68	51,39	86,51	0,14	0,14	0,18	0,93	0,18	0,79	SI	
9,0	4,1	20,5	2,8	1,0	48,0	4	1,00	5,08	22,21	112,88	0,21		0,18	0,93	0,18		NO	
9,2	6,4	8,7	3,2	1,0	76,3	3	1,00	9,85	10,40	102,49	0,18		0,18	0,93	0,18		NO	
9,4	6,4	8,5	3,3	1,0	77,0	3	1,00	9,97	10,24	102,05	0,18		0,18	0,92	0,18		NO	
9,6	8,3	7,3	3,4	1,0	87,2	3	1,00	11,85	9,06	107,42	0,20		0,18	0,92	0,18		NO	
9,8	7,3	8,1	3,3	1,0	81,1	3	1,00	10,72	9,91	106,27	0,19		0,18	0,91	0,18		NO	
10,0	21,8	8,9	3,6	1,0	107,8	3	1,00	15,81	10,70	169,21	0,53		0,18	0,91	0,18		NO	



CPT 2





9 INTERPRETAZIONE DEI DATI DELL'INDAGINE SISMICA - CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nell'attuale normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{sh} all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità V_{s30} (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti.

La prospezione sismica a rifrazione (All.3) alla quale si fa riferimento in ottemperanza a quanto previsto dal DPGR 36/R, ha restituito come risultato un valore di

$$V_{s30} = 195 \text{ m/sec}$$

Il valore del parametro " V_{s30} " viene calcolato utilizzando una media ponderata dei valori delle velocità delle onde di taglio dei primi metri di profondità mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{v_i}}$$

Sulla base del risultato della prospezione sismica è pertanto possibile definire il suolo dell'area d'intervento come suolo in **CATEGORIA C, valore, tuttavia, molto prossimo alla categoria D. Pertanto in fase di calcoli geotecnici si raccomanda di considerare la possibilità di riferirsi, cautelativamente alla categoria D.**

Di seguito di riporta la tabella delle Categorie contenuta nella Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 14/01/2008



Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente 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 $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>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/s).</i>

In aggiunta a queste due categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 – Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($I_p > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/sec.

S2 – Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

10 PERICOLOSITÀ AI SENSI DEL DPGR 27 APRILE 2007, N. 26/R

10.1 PERICOLOSITÀ IDRAULICA (limitatamente all'area in studio)

posto in corrispondenza di un'ansa del Fiume Cascina che tuttavia è stato oggetto di interventi di messa in sicurezza, i quali hanno sostanzialmente modificato l'aspetto di rischio idraulico di gran parte del territorio comunale e anche dell'area in oggetto così come esposto in precedenza e mostrato in Tav.1. Pertanto, dall'estratto cartografico comunale, all'intera estensione del comparto di cui fa parte l'area in oggetto, risulta attribuita la Classe I.2 (pericolosità idraulica media). Tale classe comprende aree interessate da allagamenti per eventi con tempi di ritorno $200 < T_r < 500$ anni.

La carta della pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 26/R è riportata in All.1 alla Tav. 3).



10.1 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (limitatamente all'area in studio)

L'area di progetto fa parte della Piana alluvionale del Fiume Cascina, pertanto l'attribuzione della classe di pericolosità geomorfologica è orientata ad una valutazione degli aspetti geotecnica, giaciture e litologici dei sedimenti caratterizzanti l'area in oggetto. In particolare all'area in studio è associata una Classe G.2 che corrisponde ad una pericolosità Geomorfologica Media. Essa comprende di fatto quelle aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati (nel caso di aree di alto morfologico), ed aree con elemento geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

Un estratto del Piano Strutturale Comunale relativo alla pericolosità Geomorfologica ai sensi del DPGR 26/r è stato riportato in All.1 alla Tav.3.

11 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI E DI SITO

(limitatamente all'area in studio)

(DPGR 53R)

Il sito progettuale è ubicato nell'area di fondovalle del Fiume Cascina, delimitata ad est e ad ovest da rilievi collinari.

Dal punto di vista geomorfologico l'area risulta pianeggiante e quindi non suscettibile di movimenti gravitativi.

Il modello geologico generale è quindi caratterizzato da un substrato costituito da formazioni sedimentarie antiche (vedi descrizione geologica) affioranti nei rilievi collinari contermini, sovrastato da depositi alluvionali recenti di origine fluviale, il cui spessore aumenta procedendo dai margini della valle verso le zone centrali.

Pur presentando variazioni locali lungo la colonna stratigrafica, in prima approssimazione è tuttavia possibile attuare una distinzione su base fisico-meccanica tra il pacco superficiale alluvionale ed i sottostanti terreni, in base al diverso grado di diagenizzazione e consolidazione. Nello specifico, i depositi alluvionali risultano solitamente meno consolidati, e quindi meno addensati, in virtù della loro recente formazione, dei depositi più antichi.

Questo aspetto può assumere una certa rilevanza per quanto riguarda gli effetti stratigrafici sulla risposta sismica locale.

A tale riguardo, infatti, il contrasto di impedenza tra le due tipologie sedimentarie può indurre amplificazioni di sito riferibili al passaggio stratigrafico tra alluvioni e substrato, intendendo con tale termine non necessariamente il substrato sismico di riferimento (ovvero quello caratterizzato da $v_s > 800$ m/s).

Per verificare analiticamente questa situazione, è stata effettuata una apposita indagine geofisica utilizzando allo scopo una strumentazione in grado di acquisire il rumore sismico ambientale e quindi, con opportuna tecnica di analisi, calcolare le frequenze di risonanza del suolo.



La tecnica, basata sull'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto sismico (tecnica di Nakamura), permette infatti di valutare la risposta di sito connessa a variazioni stratigrafiche tra litologie con sufficiente contrasto di densità.

Nel caso di substrato rigido affiorante, la misura dei rapporti spettrali restituisce una curva piatta intorno al valore unitario del rapporto H/V (H=sommatoria delle componenti orizzontali del moto; V=componente verticale del moto).

Nel caso semplificato di uno strato sedimentario sovrastante il substrato (sismico), la curva dei rapporti H/V presenta un picco, il cui valore di frequenza è relazionato alla profondità del substrato stesso e, in prima approssimazione, al contrasto di densità tra i due.

Ritornando all'area in studio, i risultati dell'indagine hanno confermato l'esistenza di amplificazioni di sito, con frequenze di risonanza fondamentali comprese nel range di 1 e 1.5 Hz circa, riconducibili alla conformazione stratigrafica precedentemente descritta.

Tali frequenze risultano caratteristiche per tutto il sito in esame, poiché lo stesso valore è stato ottenuto nella maglia di acquisizioni effettuate.

L'indagine ha quindi evidenziato l'omogeneità della risposta di sito. Con riferimento alle definizioni della normativa (punto B.7, Allegato A del DPGR 53/R 2011), l'area viene quindi assoggetta alla seguente categoria:

zone stabili suscettibili di amplificazione sismica: zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;

11.1 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (limitatamente all'area in studio)

Le valutazioni sulla pericolosità sismica locale sono effettuate mediante l'associazione tra i risultati conseguiti dall'indagine sismica descritti nel paragrafo precedente e gli elementi dell'area, tra cui

1. probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
2. la presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
3. i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
4. accentuazione della instabilità dei pendii;
5. terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
6. terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Dalla valutazione dei suddetti aspetti, è emerso che l'unico fattore significativo riscontrato nel luogo in esame è dato dall'esistenza di fenomeni di amplificazione stratigrafica.

Facendo riferimento alla descrizione delle classi di pericolosità sismica locale riportate al Punto C.5 dell'Allegato A del DPGR 53/R 2011, al sito progettuale può essere attribuita la Classe S.2, ovvero una Pericolosità sismica locale media, così definita:

zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; **zone stabili suscettibili**



di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3)

per quanto riguarda gli aspetti di pericolosità connessi ai fenomeni di amplificazione stratigrafica, si fa presente che essi possono risultare particolarmente significativi nei casi in cui la frequenza di sito sia confrontabile con la frequenza propria delle strutture edificate, ovvero quando si realizzano fenomeni di doppia risonanza. L'indagine HVSR ha evidenziato allo scopo il range di frequenza di risonanza principale del sito.

12

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

E FATTIBILITÀ DELL'INTERVENTO DI PROGETTO

AI SENSI DEL D.P.G.R 53/R

In All.1 alla Tav.2 è stato riportato l'estratto cartografico nel quale si esprimono ed evidenziano le valutazioni sulla fattibilità geologica ai sensi del D.P.G.R. n. 26 del 27/04/2007, del settore comunale di cui fa parte l'area in oggetto. Sulla base dei rilievi effettuati in ottemperanza al vigente D.P.G.R 53/R, della pericolosità sismica locale dedotta dalla campagna di indagini per la valutazione degli effetti locali di sito, nonché della situazione geomorfologica, litostratigrafia, idraulica ed idrogeologica dell'area d'indagine, può essere ragionevolmente confermato quanto già stabilito dal Piano Strutturale Comunale (sulla base del precedente D.P.G.R 26/R), riguardo alla Fattibilità Geologica. Secondo quanto mostrato dalla cartografia del Piano Strutturale Comunale relativamente alla Fattibilità Geologica (Tav.3), che è stata elaborata tenendo conto di tutti gli aspetti di pericolosità precedentemente trattati, all'area in oggetto era stata associata una Fattibilità Geologica F2(2-2) , ovvero una fattibilità con normali vincoli. Tale classe si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativi all'attività edilizia.

F2₍₂₋₂₎

F2 : fattibilità massima

(2-2) :

2 = classe di pericolosità relativa agli aspetti geomorfologici

2= classe di pericolosità relativa agli aspetti idraulici

Interventi previsti	Classe di pericolosità idraulica	Classe di pericolosità geomorfologica	Classe di Fattibilità
Nuove costruzioni	I.2	G.2	F.2



L'indagine sismica ha, come già specificato, evidenziato l'omogeneità della risposta di sito.

Dalla valutazione degli aspetti affrontati nei precedenti capitoli e caratterizzanti il sito in oggetto, è emerso che l'unico fattore significativo riscontrato nel luogo in esame è dato dall'esistenza di fenomeni di amplificazione stratigrafica.

Facendo riferimento alla descrizione delle classi di pericolosità sismica locale riportate al Punto C.5 dell'Allegato A del **DPGR 53/R 2011**, al sito progettuale può essere attribuita la Classe S.2, ovvero una Pericolosità sismica locale media, così definita:

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

12.1 ASPETTI GEOMORFOLOGICI E GEOTECNICI DEL SITO INVESTIGATO

Le indagini effettuate a supporto del presente studio hanno messo in evidenza la presenza di depositi da limo-argillosi ad argillosi, con passaggi verso termini talvolta più sabbiosi (sabbioso-limosi) soprattutto nella porzione più superficiale (Tav.2). I parametri geomeccanici hanno messo in evidenza un litotipo con caratteristiche da medie a scadenti. Complessivamente il terreno di fondazione può essere, tuttavia, ritenuto idoneo ad ospitare fondazioni superficiali con carichi applicati di normale entità. Pertanto, viene confermata dai dati puntuali raccolti, quanto stabilito più genericamente dalla cartografia comunale di Fattibilità Geologica.

12.2 ASPETTI IDROGEOLOGICI

Relativamente all'area da edificare, le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di acqua nei fori delle prove, intercettata tramite misure freaticometriche costantemente a circa 2.20 m di profondità (v.Tav.2 – e All.2). Non è certo se si tratti di una vera e propria falda superficiale o di una circolazione idrica connessa prevalentemente ad eventi meteorici stagionali, data anche la litologia sabbiosa del terreno più superficiale che può aver consentito una certa circolazione idrica.

Dal punto di vista idrogeologico l'intervento risulta fattibile. Occorre, tuttavia, precisare che per ciò che riguarda la pesa meccanica di progetto nel caso in cui, risultando essa completamente interrata, le sue strutture interne vengano interessate dall'acqua, occorrerà predisporre un apposito rialzamento sufficiente a non danneggiare la struttura stessa (si consiglia una pesa in tipologia a ponte).



12.3 ASPETTI SISMICI (DPGR 53/R 2011)

Secondo quanto riportato al punto 3.5 dell'Allegato A del DPGR 53/R 2011, nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica media (S2) e da pericolosità sismica bassa (S1) non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

13 CONCLUSIONI

Sulla base delle considerazioni esposte e nel rispetto delle prescrizioni indicate D.P.G.R. 53/R 2011, le opere di progetto sono ritenute fattibili, sia sotto l'aspetto geologico-geotecnico, in termini di equilibrio idrogeologico-idrografico e sotto l'aspetto sismico del territorio. Le prove hanno rivelato la presenza di un terreno caratterizzato da un litotipo essenzialmente limo-argilloso e argilloso e complessivamente di caratteristiche geomeccaniche medie. Le caratteristiche granulometriche primarie e la composizione litologica del terreno caratterizzante il sito in studio, sono tali da poter escludere il verificarsi di fenomeni di liquefazione.

Ad integrazione delle prove dirette, è stata inoltre effettuata un'indagine geofisica Masw finalizzata alla determinazione della categoria di sottosuolo ed una campagna di acquisizioni HVRS (microtremore sismico ambientale). Tale campagna ha avuto lo scopo di valutare la risposta di sito connessa a variazioni stratigrafiche tra litologie con sufficiente contrasto di densità, secondo quanto richiesto dal **DPGR 53/R in materia di microzonazione sismica di primo livello**. Le indagini condotte hanno stabilito che il sito, per le caratteristiche morfologiche e geologiche, rientra nelle **zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**.

Vicarello (LI), 19/12/2012

Dott. Geol. Adriana Novi
O.G.T.n.iscr. 1355



STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. ADRIANA NOVI

VIA MORTAILO 141, VICARELLO (LI) 0586 965129 CELL. 334 3021980

E-MAIL ADRIANANOVI@ALICE.IT

Allegato 1

ELABORATI GRAFICI E CARTOGRAFICI



STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. ADRIANA NOVI

VIA MORTAILO 141, VICARELLO (LI) 0586 965129 CELL. 334 3021980

E-MAIL ADRIANANOVI@ALICE.IT

Allegato 2

DATI PENETROMETRICI



STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. ADRIANA NOVI

VIA MORTAILO 141, VICARELLO (LI) 0586 965129 CELL. 334 3021980

E-MAIL ADRIANANOVI@ALICE.IT

Allegato 3

RELAZIONE PROSPEZIONE SISMICA IN TIPOLOGIA MASW



STUDIO GEOLOGICO

DOTT. GEOL. ADRIANA NOVI

VIA MORTAILO 141, VICARELLO (LI) 0586 965129 CELL. 334 3021980

E-MAIL ADRIANANOVI@ALICE.IT

Allegato 4

RELAZIONE SISMICA ACQUISIZIONI HVSR