

COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

PIANO ATTUATIVO REALIZZAZIONE DI UN POLO TERRITORIALE A CARATTERE SOCIO - SANITARIO E SPORTIVO SCHEMA NORMA DEL COMPARTO n.102 a-b UTOE 1

richiedente

Consorzio CASA DELLA SALUTE DI SAN GIULIANO TERME
ISBEM + AGAPE + COOP SELIOS

Via Nilde Iotti 13, Pontedera - Pisa

progettazione urbanistica - architettonica
e coordinamento

MANRICO LOGLI ARCHITETTO

Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme PISA; tel e fax 050/48382

LUIGI PIEROTTI ARCHITETTO

Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme PISA; tel e fax 050/48382

MASSIMO DEL SEPIA ARCHITETTO

Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme PISA; tel 050/541830, fax 050/3136791

consulente specialistico aspetti socio-sanitari

DOTT. CARLO MACALUSO

consulenti

Roberto Bonaretti Agronomo

Via San Michele degli Scalzi 146, 56124 PISA; tel-fax 050/970033

ambiente

Fabrizio Alvares Geologo

Via Ludovico Muratori 1, 56017 San Giuliano Terme PISA

geologia e aspetti idraulici

TAGES Ing. Massimo Ferrini

mobilità e trasporti

Ing. Fedora G. Lombardi

Via Giuseppe Garibaldi 77, 56124 PISA; tel-fax 050/9711303, email: fgl@sill-ing.it

acustica

collaboratori

Roberto Della Croce architetto, Gaia Salvatici geometra, Francesca Curotti architetto, Mirko Gallo ingegnere



DATA
APRILE
2016

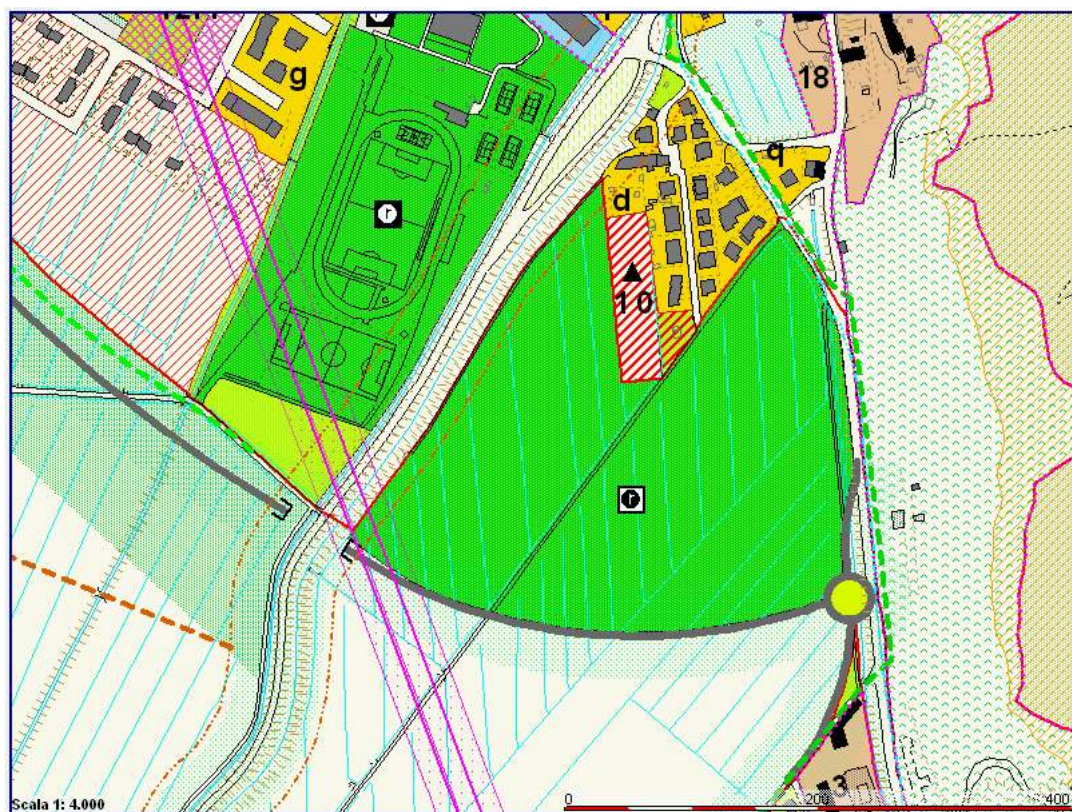
RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

ALLEGATO

H REV

PREMESSA

La seguente relazione geologica viene redatta a supporto del Piano attuativo per la realizzazione di un polo territoriale a carattere socio-sanitario e sportivo ubicato in San Giuliano Terme.



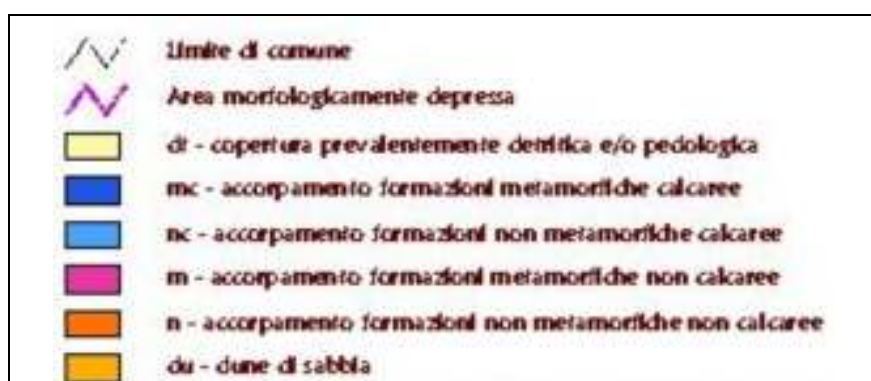
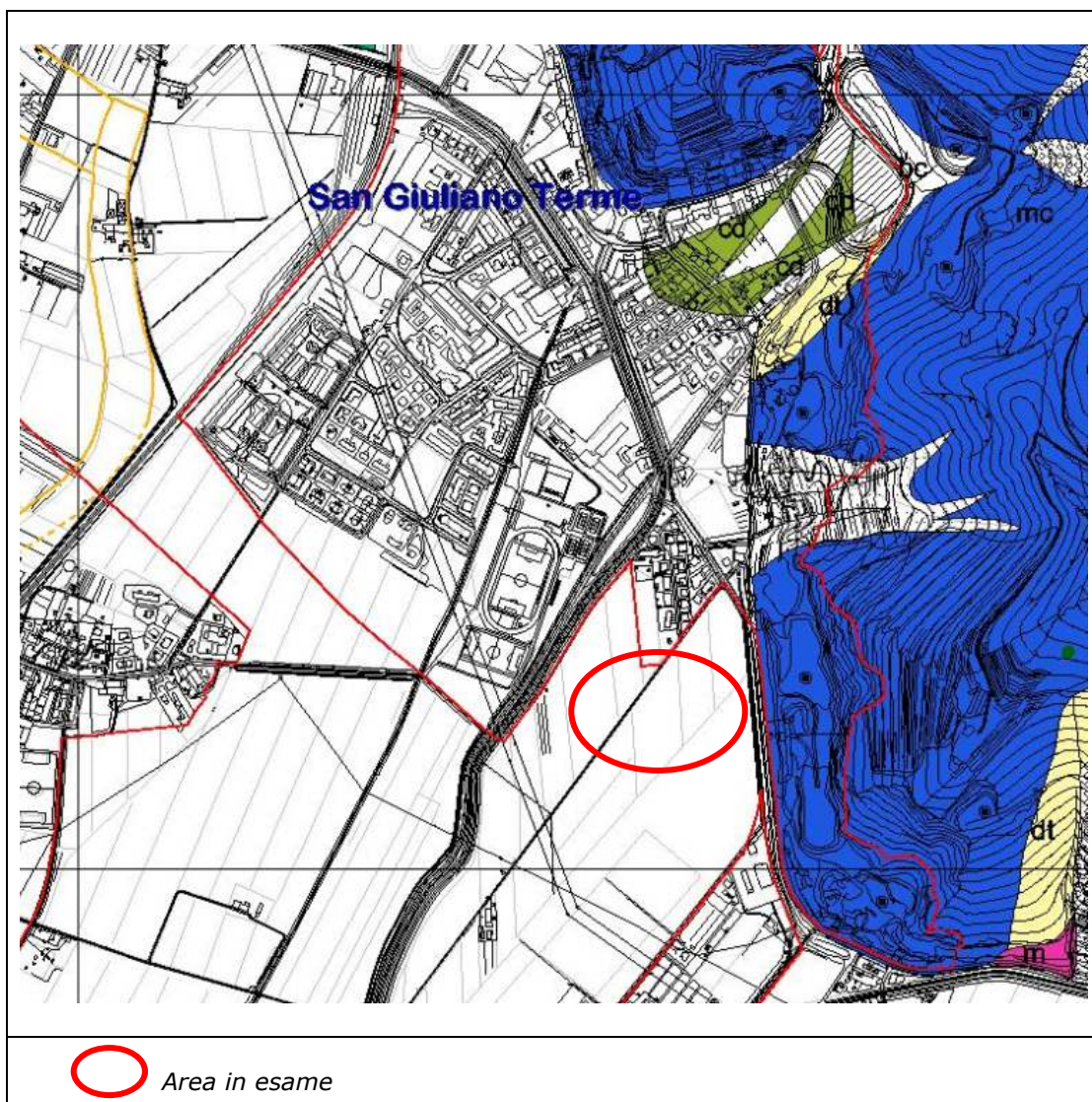
Estratto di R.U.

Le indagini geologiche sono state condotte ai sensi del punto 4 delle direttive tecniche dell'allegato A di cui al D.P.G.R. n.53/R/2011.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E GEOLOGICHE

L'area di studio è situata nella parte sud-orientale dell'abitato di San Giuliano Terme, interposta tra il Canale Demaniale e la via Del Brennero, presenti ad ovest, e la S.P. Vicarese ad est; la morfologia si presenta del tutto pianeggiante, con quote del p.c. di circa 2 m s.l.m.; essa si colloca al margine della pianura alluvionale pisana, al limite dei rilievi dei Monti Pisani presenti immediatamente a nord.

Dal punto di vista geologico, così come illustrato nello stralcio della carta geomorfologica del Piano Strutturale di seguito riportata, sull'area in esame affiorano litotipi argillosi dei depositi alluvionali recenti e attuali del Fiume Arno, mentre immediatamente a nord sono presenti i litotipi delle formazioni metamorfiche calcaree che caratterizzano la parte occidentale dei rilievi dei Monti Pisani.



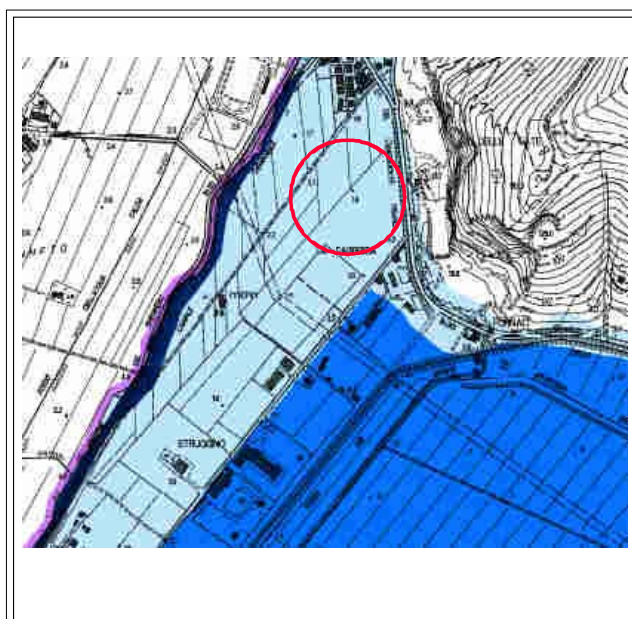
Carta geomorfologica (estratto della carta del P.S.)

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

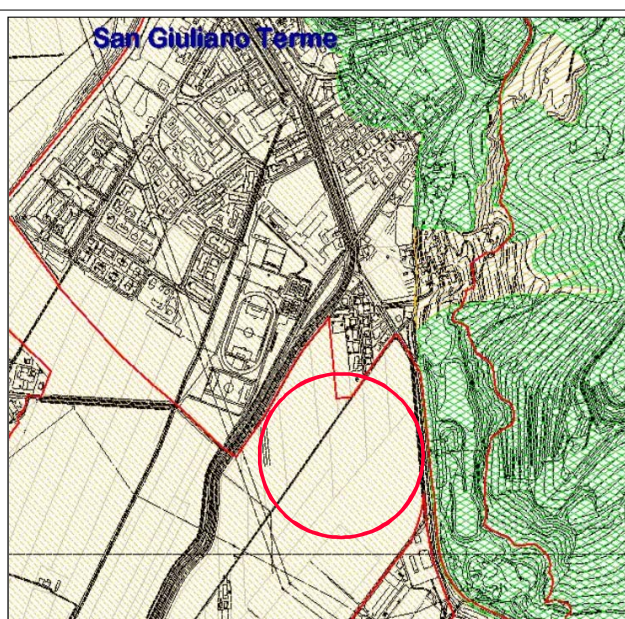
Per ciò che concerne gli aspetti idrogeologici, la presenza di litologie prevalentemente argillose nei primi metri di profondità rende la circolazione idrica sotterranea piuttosto inibita limitandola soltanto nei sporadici e discontinui livelli limoso-sabbiosi presenti.

PERICOLOSITÀ DI P.R.G. E P.A.I. ARNO

Lo studio geologico a supporto del Piano Strutturale comunale inserisce l'area di variante nella classe di pericolosità idraulica media 3 e bassa 2 geomorfologica, mentre nel P.G.R.A. Arno, è classificata a "pericolosità idraulica moderata", **P.I.1**.





Estratto del P.G.R.A. - Arno










Estratto del P.S. comunale

 Area in esame

Classi di pericolosità idraulica

-  Classe P.I.2 - Pericolosità media
-  Classe P.I.1 - Pericolosità bassa

Classi di pericolosità

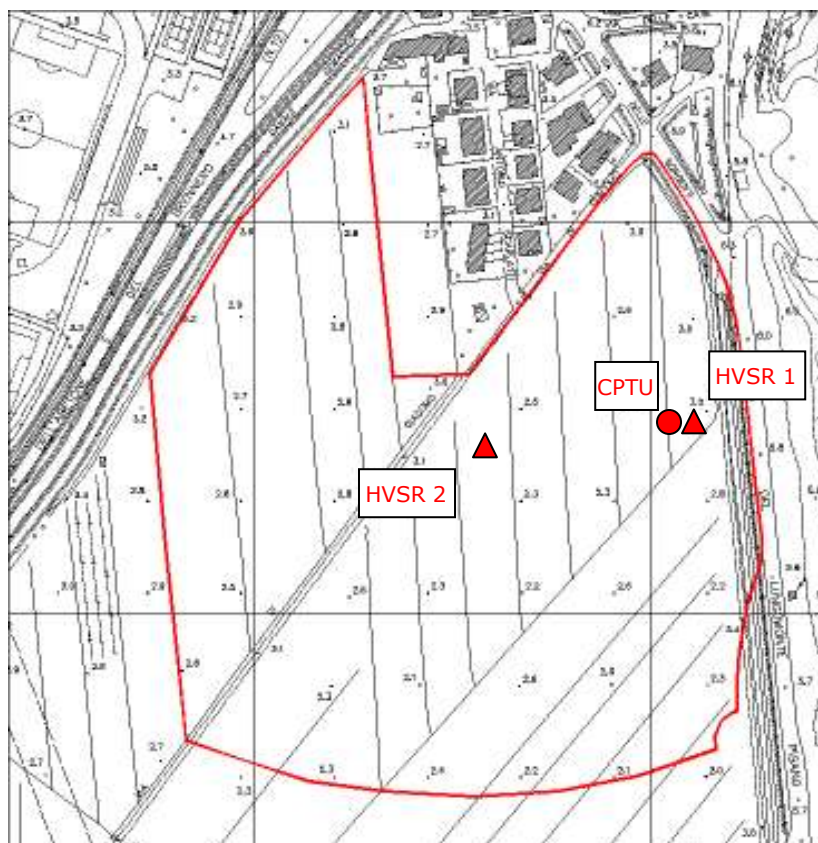
-  2 (1,2) - Pericolosità bassa
-  2 (2,2) - Pericolosità bassa
-  3 (1,3) - Pericolosità media
-  3 (3,2) - Pericolosità media
-  3 (3,3) - Pericolosità media
-  4 (1,4) - Pericolosità elevata
-  4 (4,4) - Pericolosità elevata

Il primo numero indica la pericolosità dell'area,
i numeri piccoli tra parentesi indicano:
il primo la classe di pericolosità idraulica
il secondo la classe di pericolosità geologico-geomorfologica

INDAGINI GEOTECNICHE E SIMICHE

In sede di variante al R.U. sono stati condotte indagini e studi geologici atti a definire l'assetto lito-stratigrafico, geotecnico del sottosuolo in esame al fine assegnare all'area di studio le classi di pericolosità e fattibilità.

Nella fattispecie è stata eseguita una prova penetrometrica CPTU e n.2 misure sismiche HVSR, la cui ubicazione è riportata nella seguente planimetria.

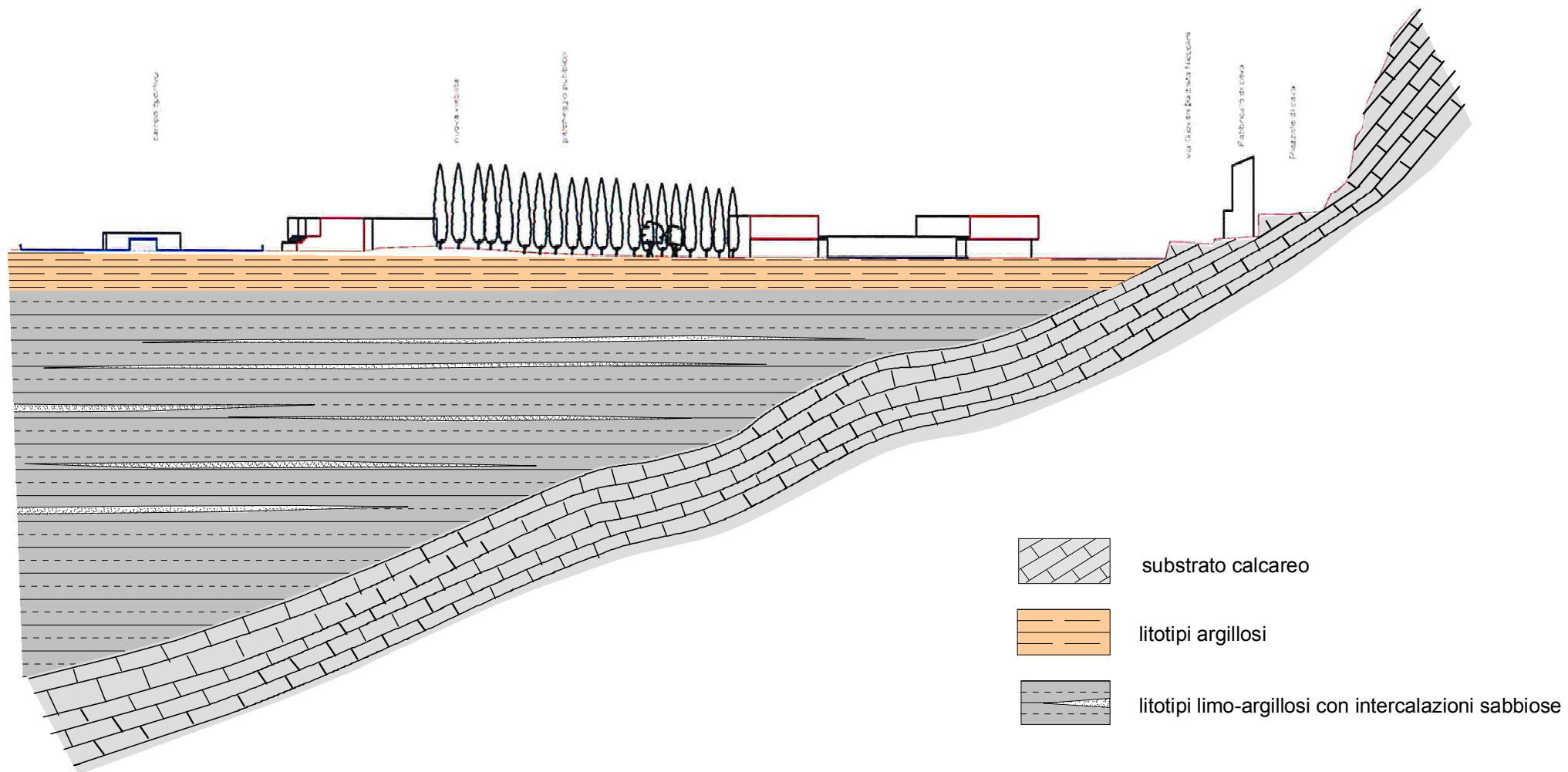


Ubicazione indagini

La prova CPTU ha consentito di definire in linea generale le caratteristiche lito-stratigrafica e geotecniche del sottosuolo in esame. In particolare, fino alla profondità di circa 6 m, il sottosuolo è costituito da litotipi argillosi dotati proprietà meccaniche piuttosto scadenti, cui seguono litotipi argilloso-limosi con proprietà meccaniche migliori nei quali sono intercalati orizzonti sabbioso-limosi.

Alla profondità di circa 17 m la prova ha incontrato il rifiuto strumentale per la probabile presenza del tetto del bed-rock carbonatico che si approfondisce da est verso ovest come ben evidenziato con le due misure di rumore HVSR eseguite sull'area, la prima delle quali eseguita in corrispondenza della prova CPTU nella quale è stato riscontrato un picco alla frequenza di 2.2 Hz alla profondità stimata appunto di circa 17 m (sulla base della Vs media =150 m/s) e la seconda eseguita più ad ovest nella quale è stato rilevato un picco alla frequenza di 1.5 Hz a profondità maggiore.

Tale situazione è sintetizzata nella sezione geologica schematica di pagina seguente.



SEZIONE GEOLOGICA SCHEMATICA

STUDI IDRULICI

Per la definizione delle classi di pericolosità idraulica ai sensi delle direttive di cui al DPGR 53/R/2011, a cura dell'Ing. Stefano Pagliara sull'area in esame è stato condotto lo studio del rischio idraulico derivante del canale Demaniale.

I risultati dello studio idraulico, per il cui dettaglio si rimanda ai relativi elaborati tecnici, hanno evidenziato che l'area in progetto è soggetta a fenomeni di esondazione di transito per $Tr=200$ anni con battente posto alla quota di 2,10 m.s.l.m.

Oltre al Canale Demaniale, che rappresenta il principale corso d'acqua che interessa nelle vicinanze l'area di progetto, ai margini Est ed Ovest dell'area di intervento scorrono altri due fossi rientranti anch'essi nell'elenco regionale: Fosso Osero (ad ovest) e Oseraccio (ad Est).

Per quanto riguarda il fosso Oseraccio, originandosi proprio in corrispondenza dell'area subito a valle della rotonda di progetto, risulta del tutto superfluo eseguire verifiche idrauliche per fenomeni di esondazione.

Relativamente al fosso Osero, seppur di scarso rilievo in quanto alimentato da un piccolo bacino di circa 48.000 mq, è stata eseguita la verifica idraulica a cura dell'Ing. Stefano Scorrano, che si allega, da cui è emerso che il suddetto fosso non è soggetto a fenomeni di esondazione con tempo di ritorno di 200 anni.

Sono state quindi definite le seguenti classi di pericolosità idraulica:

Pericolosità idraulica elevata (I.3): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Pericolosità idraulica media (I.2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

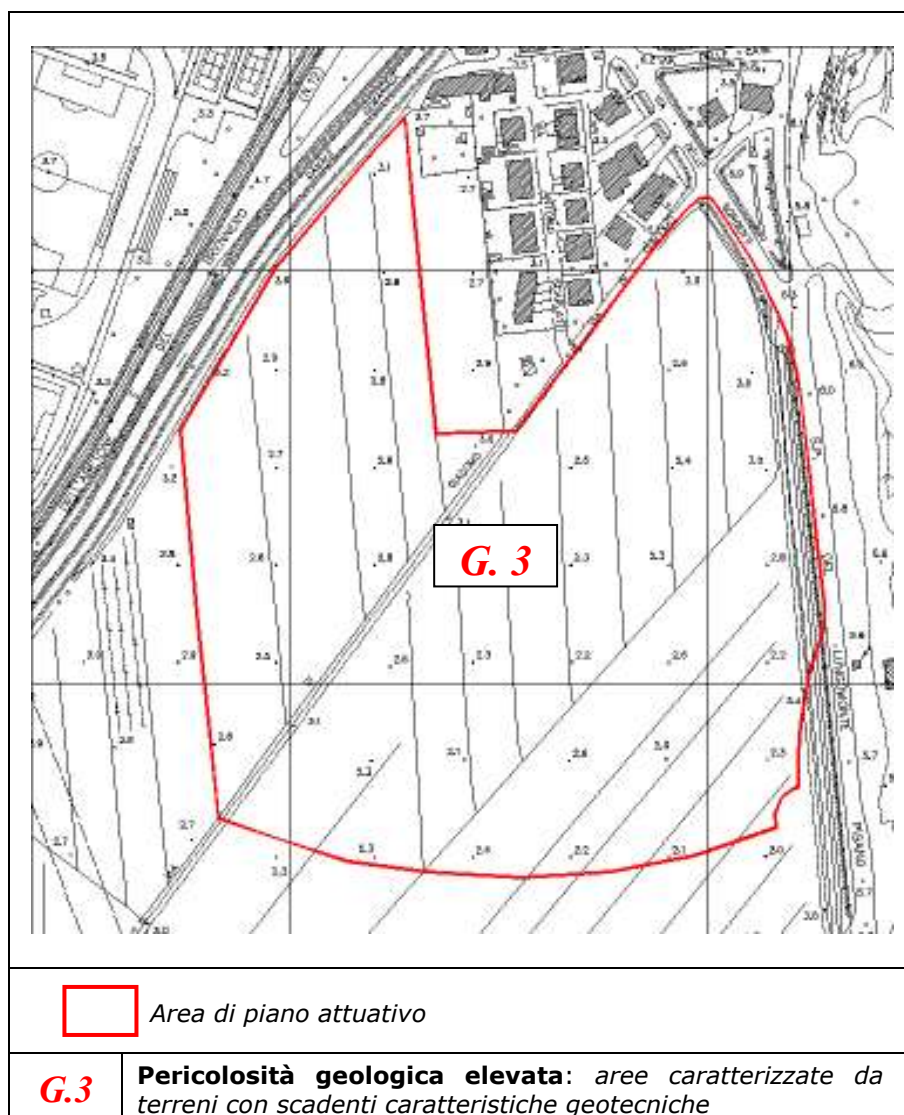
- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

CLASSI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ AI SENSI DEL D.P.G.R 53/R/2011

Si confermano le seguenti classi di pericolosità, definite in sede di variante urbanistica.

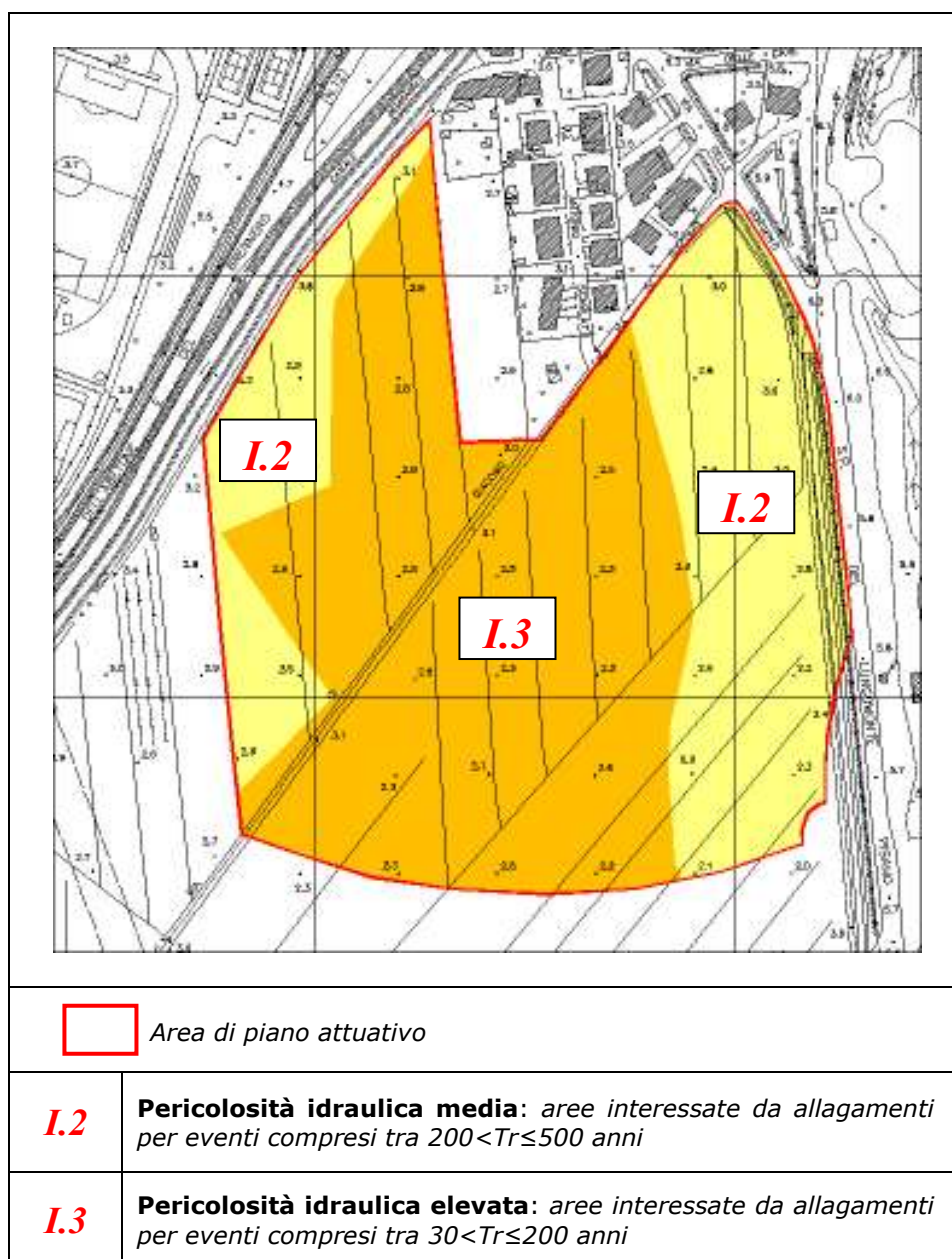
Pericolosità geologica elevata (G.3)

Aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche.

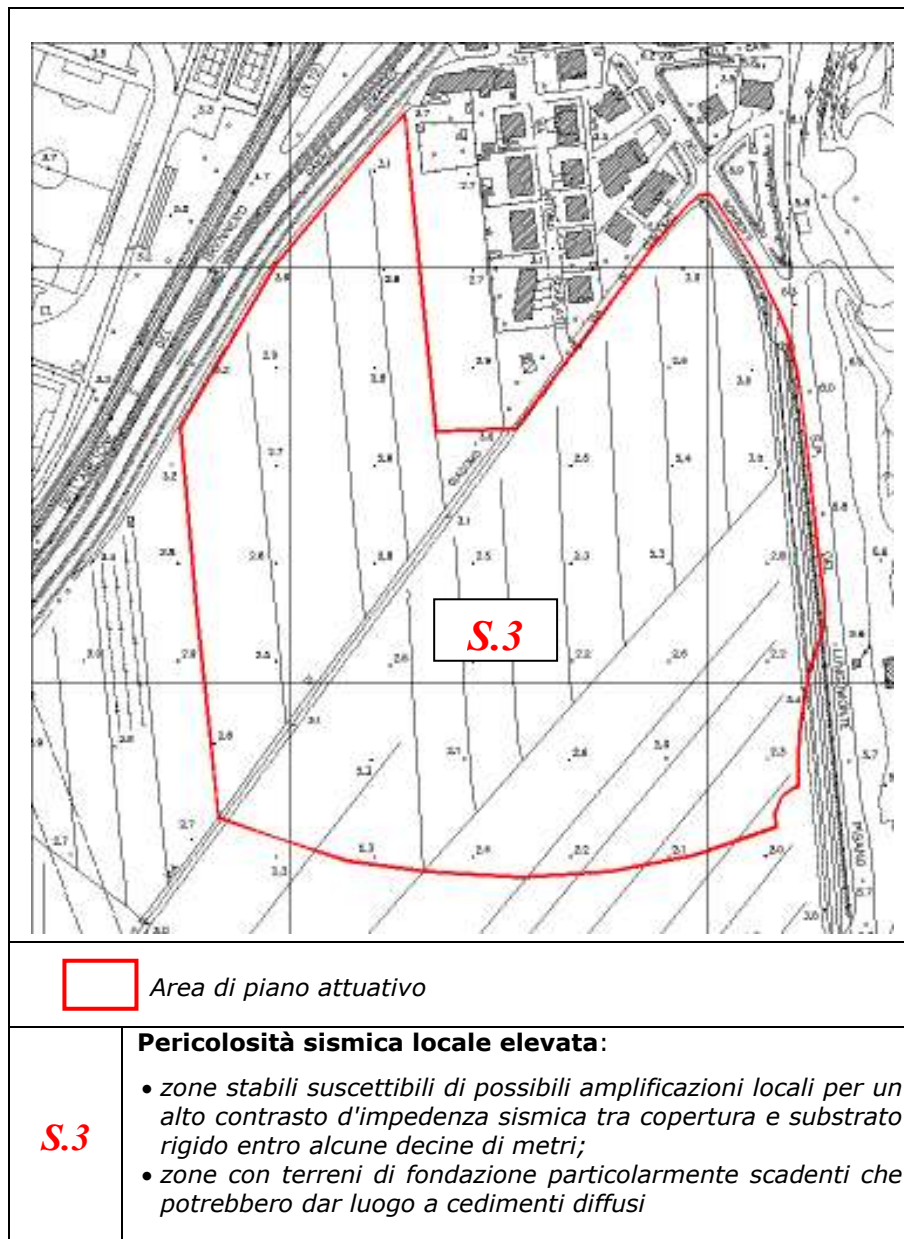


Pericolosità idraulica media I.2 ed elevata I.3

Definite sulla base degli studi idrologico-idraulici condotti dall'Ing. Stefano Pagliara sul Canale Demaniale e dall'Ing. Stefano Scorrano sul Fosso Osero.



Pericolosità sismica elevata (S.3)



CONDIZIONI DI FATTIBILITÀ

Da quanto espresso nei paragrafi precedenti, per la il piano attuativo in oggetto vengono definite le seguenti condizioni di fattibilità.

Aspetti geologici e sismici

In fase di progettazione edilizia, saranno condotte indagini geognostiche, geotecniche (da espletarsi mediante sondaggi a carotaggio con prelievo di campioni indisturbati e prove geotecniche di laboratorio) e sismiche, mirate alla definizione del modello geologico, geotecnico e sismico del sottosuolo, sulla base del quale definire le tipologie di fondazione più idonee per le strutture in progetto in considerazione delle scadenti proprietà geotecniche dei terreni.

Aspetti idraulici

L'area di piano attuativo ricade in gran parte all'interno delle aree allagabili per eventi di transito con tempo di ritorno di 200 anni riferite al Canale Demaniale pertanto sono previsti interventi di messa in sicurezza idraulica sia dei fabbricati sia delle aree a parcheggio e pertinenze in quanto, quest'ultime, di dimensioni superiori a 500 mq. Sono escluse le aree a verde che non vengono modificate morfologicamente.

Il volume di acqua sottratta all'esondazione è stato definito considerando l'altezza del tirante idraulico di quota 2.10 m s.l.m. e la superficie di piano attuativo soggetta a modica morfologica ai fini della messa in sicurezza idraulica.

Come schematizzato nella planimetria contenuta nella Tavola unica allegata, ai fini del calcolo, la suddetta superficie è stata suddivisa in aree più o meno regolari, assegnando ad ogni area la relativa altezza d'acqua riferita alla quota media del terreno.

Dalla tabella di calcolo riportata nella medesima tavola, emerge che il volume d'acqua sottratto all'esondazione è poco superiore a 2.300 mc

Interventi di messa in sicurezza e di mitigazione

Come rappresentato nella Tavola Unica allegata (planimetria e sezione) l'intervento di auto messa in sicurezza rispetto alla quota del battente idraulico di 2,1 m s.l.m., prevede il posizionamento del primo piano di calpestio degli edifici ad una quota di 2.3 m s.l.m. mentre le aree adibite a parcheggio e pertinenze verranno realizzati alla quota di 2,2 m s.l.m.

Ai fini della mitigazione della pericolosità nella aree circostanti, è prevista una vasca di compensazione di circa 4.600 mq ubicata a sud dell'area, nella zona destinata a parco.

Tale vasca verrà realizzata in scavo per circa 0,50 m, ottenendo un volume di invaso sufficiente a contenere i circa 2.300 mc di acqua sottratti all'esondazione.

Per garantire che le acque di esondazione siano convogliate nella suddetta vasca di compensazione senza aggravare la pericolosità idraulica nelle aree circostanti, è stata condotta sempre dall'Ing. Stefano Pagliara una nuova simulazione modellistica del fenomeno di esondazione, rispetto allo stato progetto.

Da tale verifica è emerso che per consentire alle acque di defluire correttamente nella vasca, senza andare ad aggravare la pericolosità idraulica nelle aree circostanti, è necessario realizzare un canale di gronda collegato alla vasca di compensazione, in fregio all'area di nuova edificazione che fiancheggia il lato est della via di Giacomo.

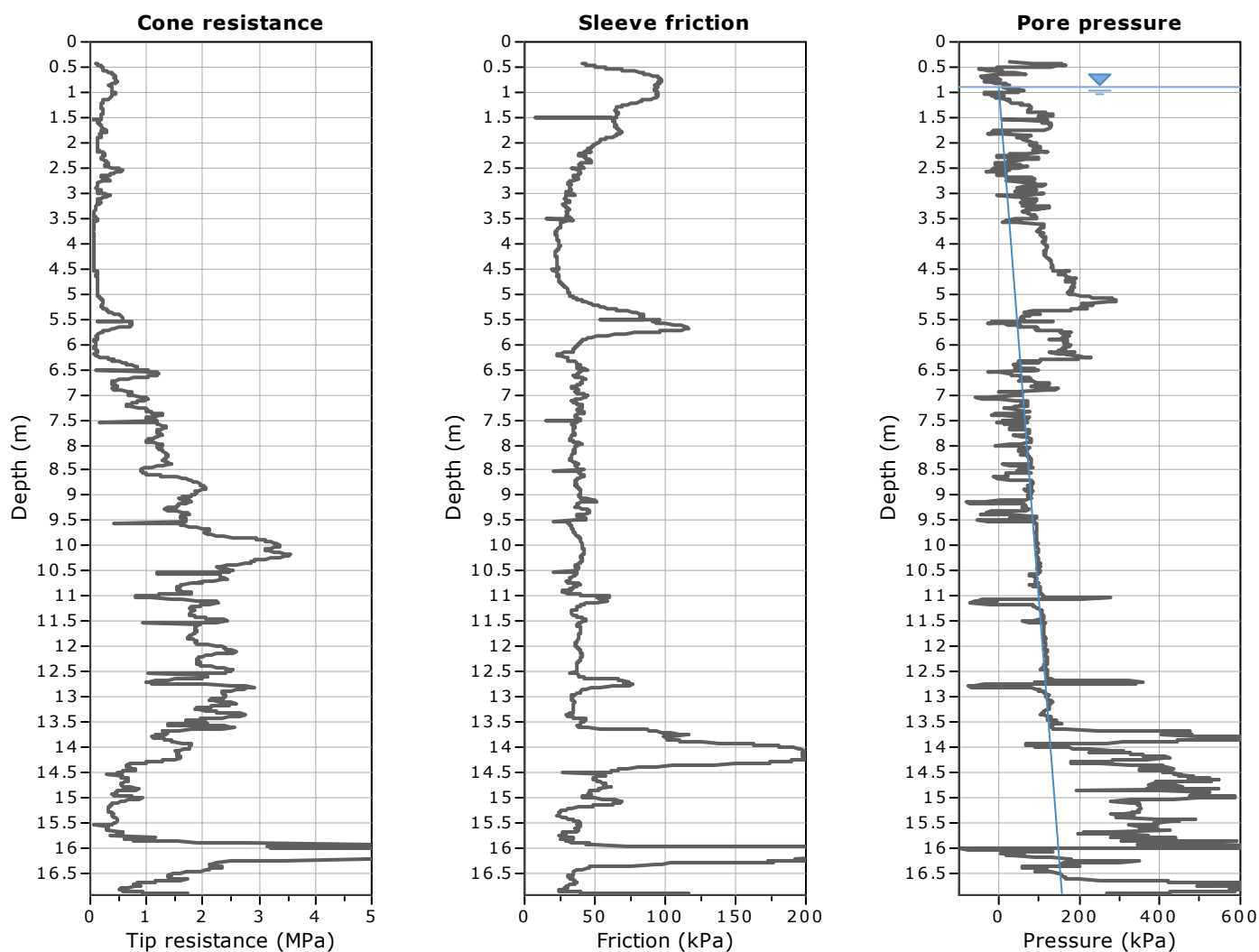
Per i dettagli della suddetta verifica si rimanda a relativi elaborati tecnici allegati.

Come possiamo osservare dalla suddetta documentazione tecnica, un contributo al corretto scorrimento delle acque verso la vasca è dato anche dalle due aree a verde di piano attuativo che sono soggette a modifiche morfologiche e che di fatto rimangano aree allagabili e rappresentano degli ampi corridoi dove l'acqua può defluire verso la vasca stessa.

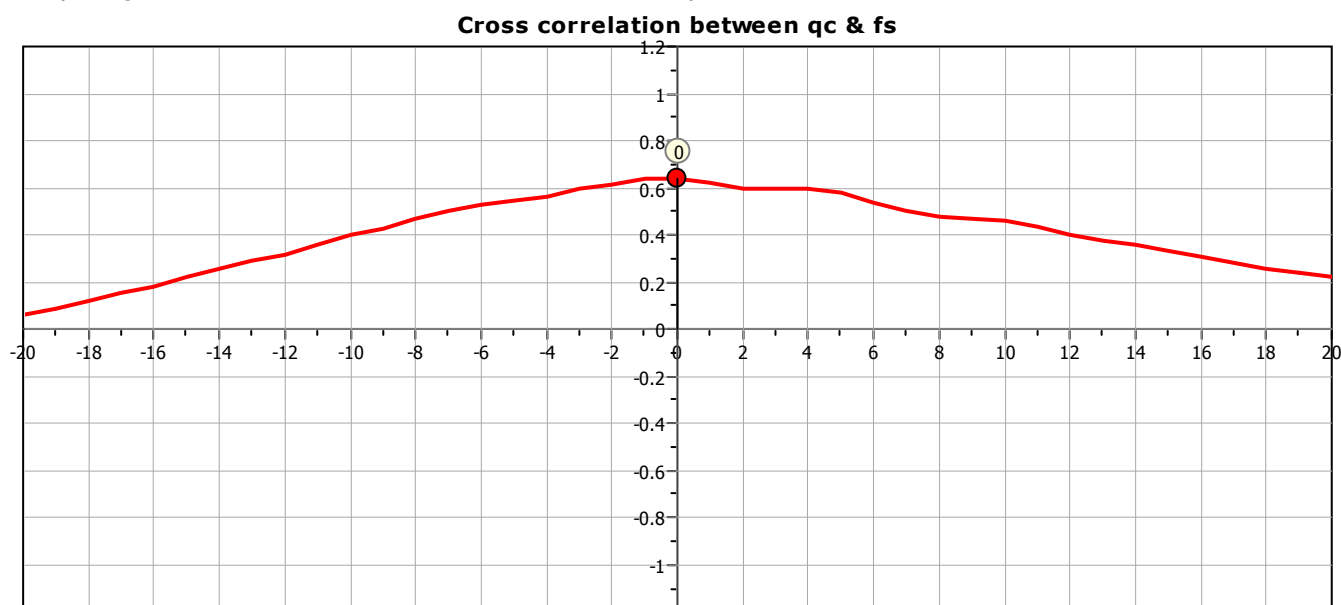
INDAGINI GEOTECNICHE E SISMICHE

Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



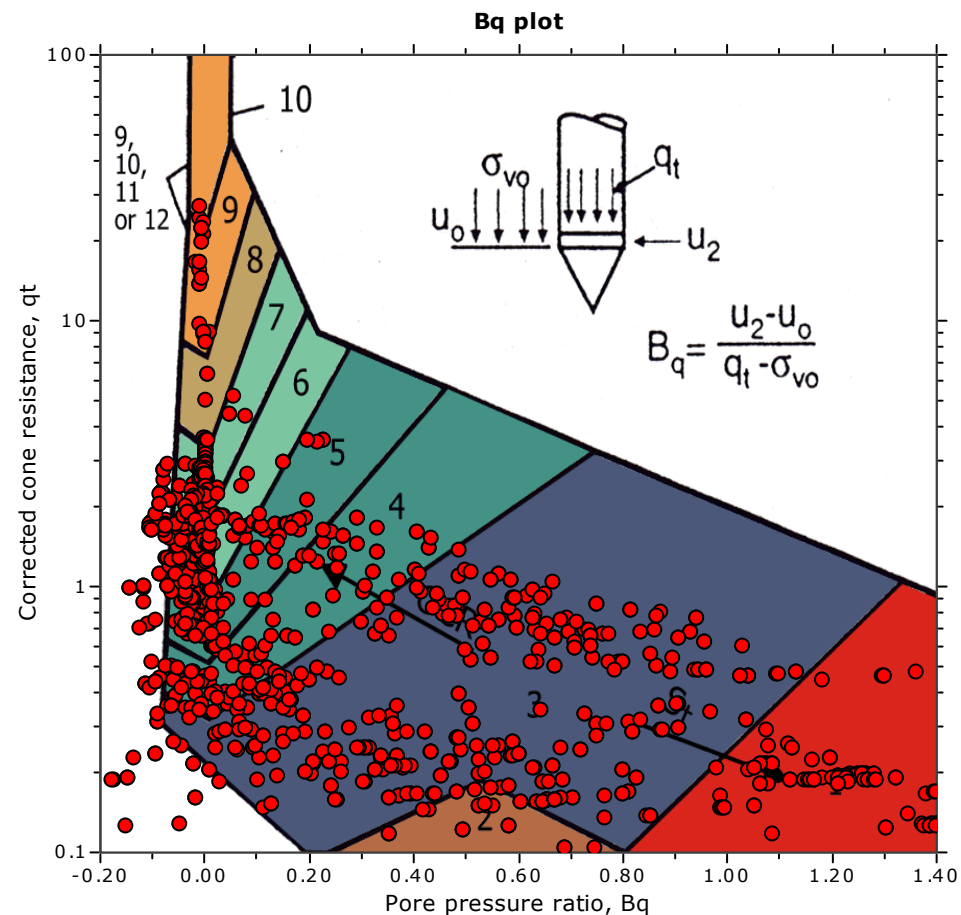
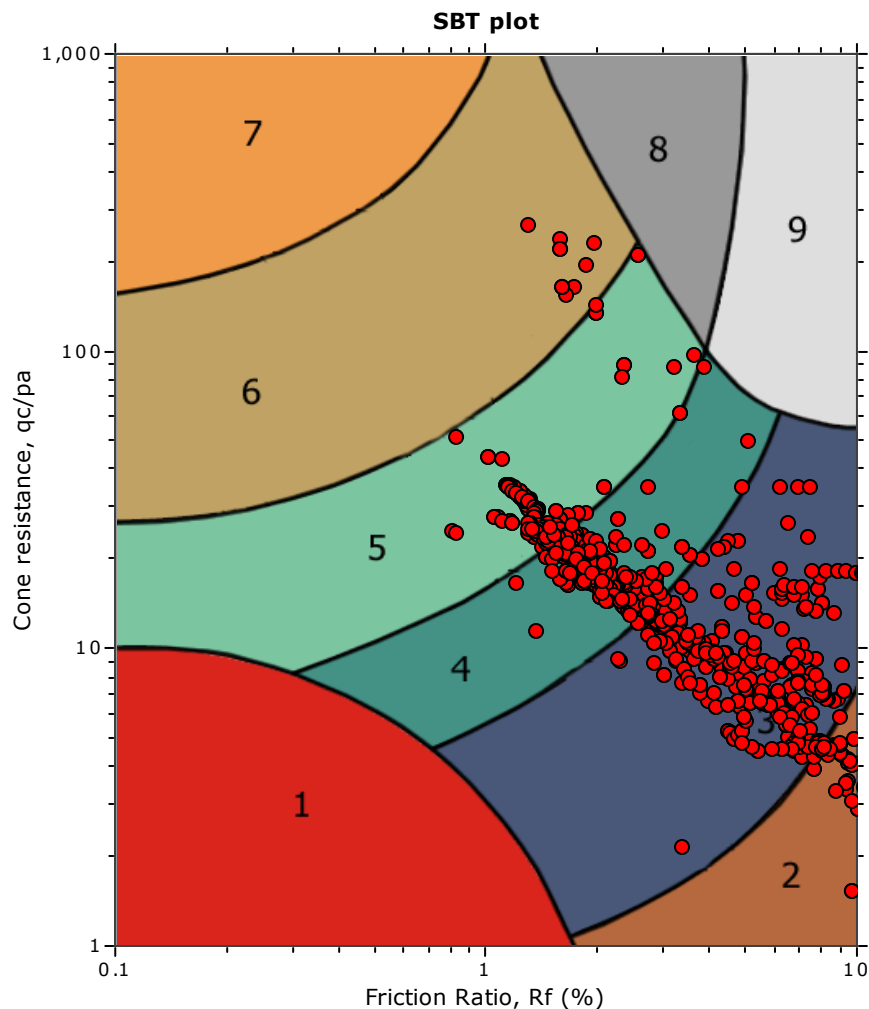
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).



Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO

SBT - Bq plots



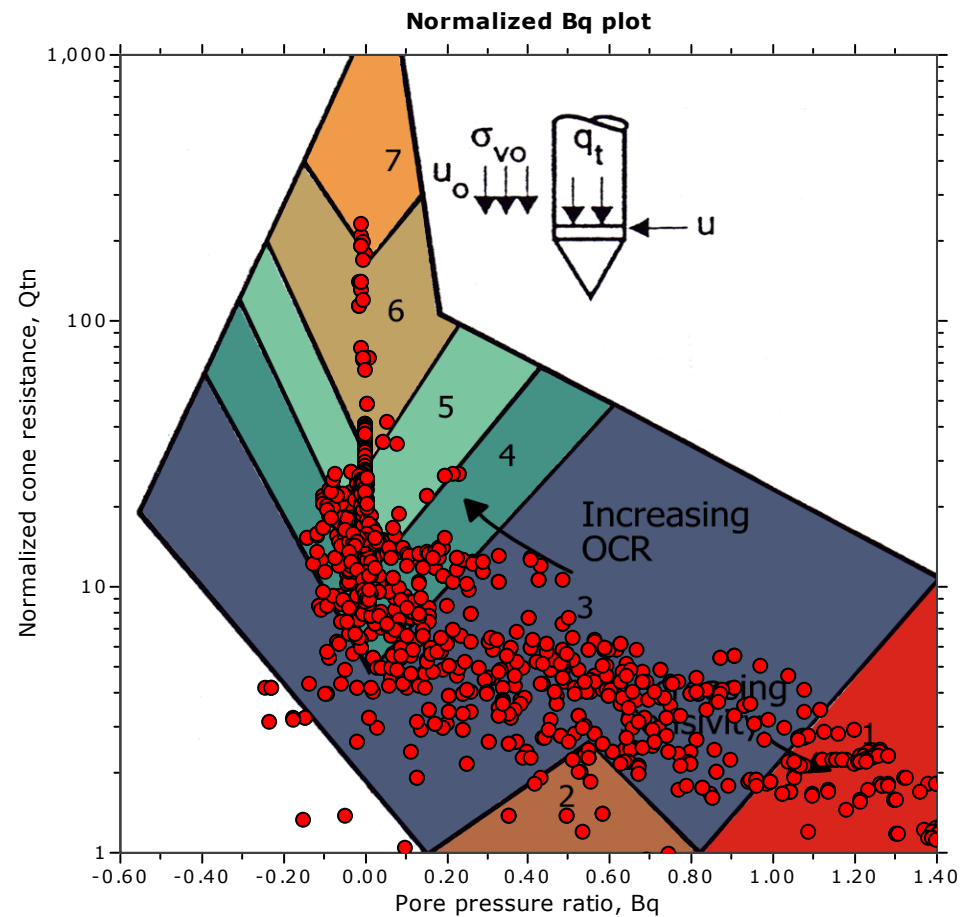
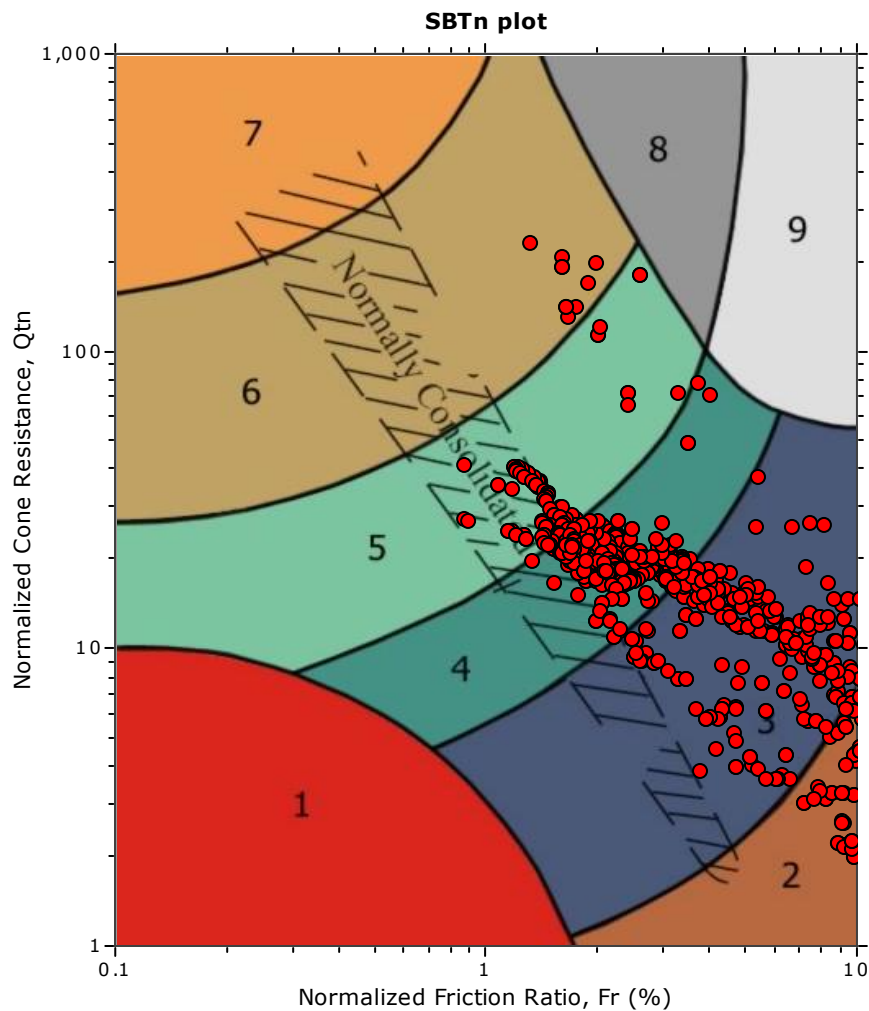
SBT legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 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 |

Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO

SBT - Bq plots (normalized)



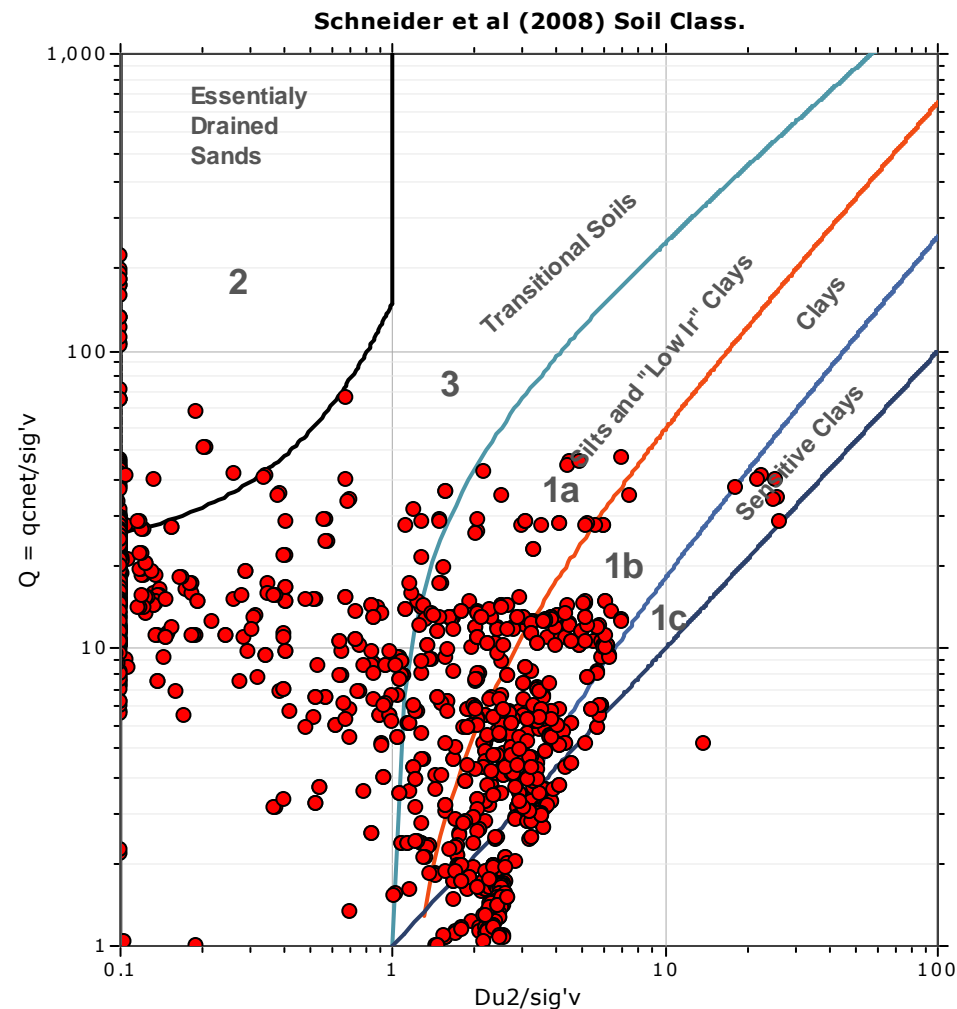
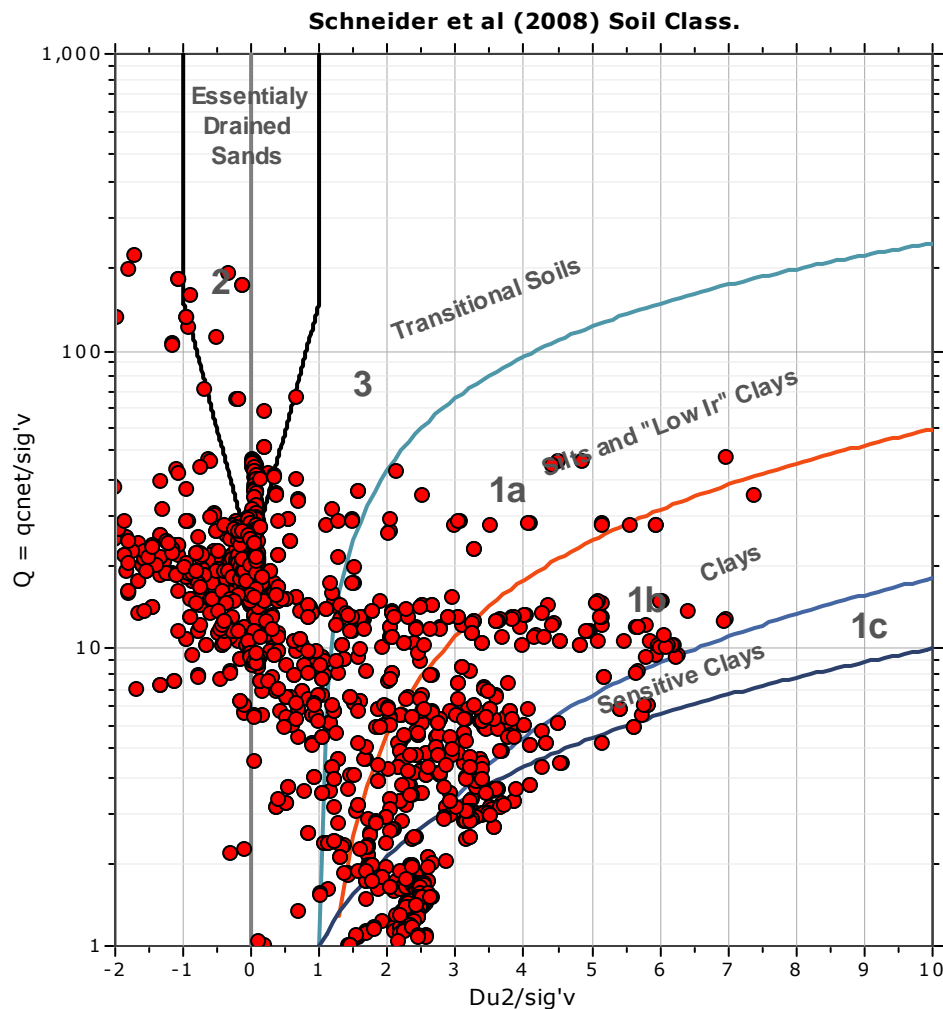
SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 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 |

Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

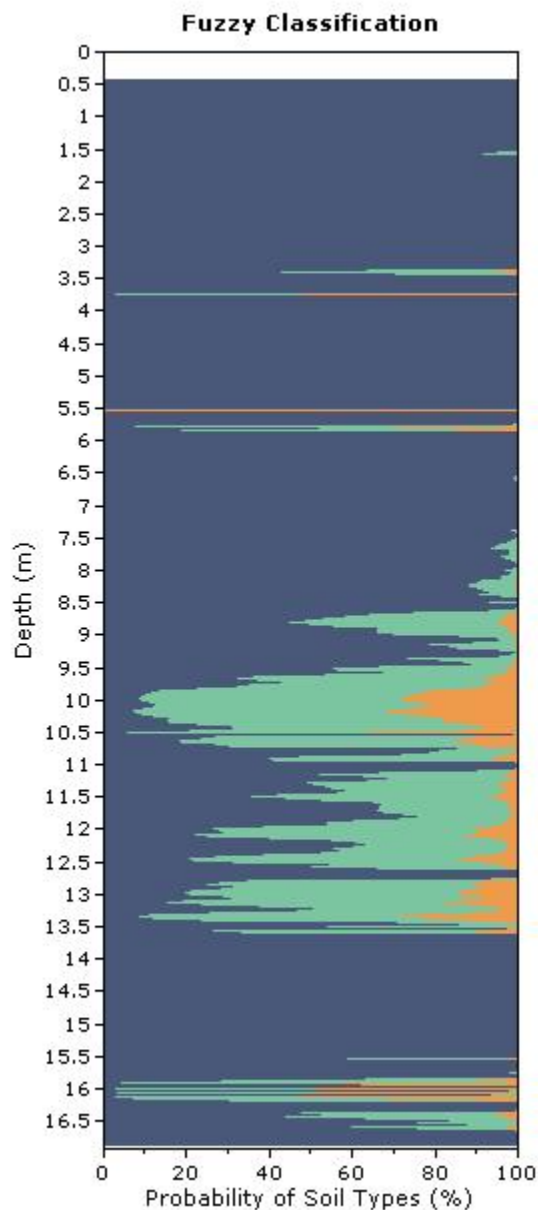
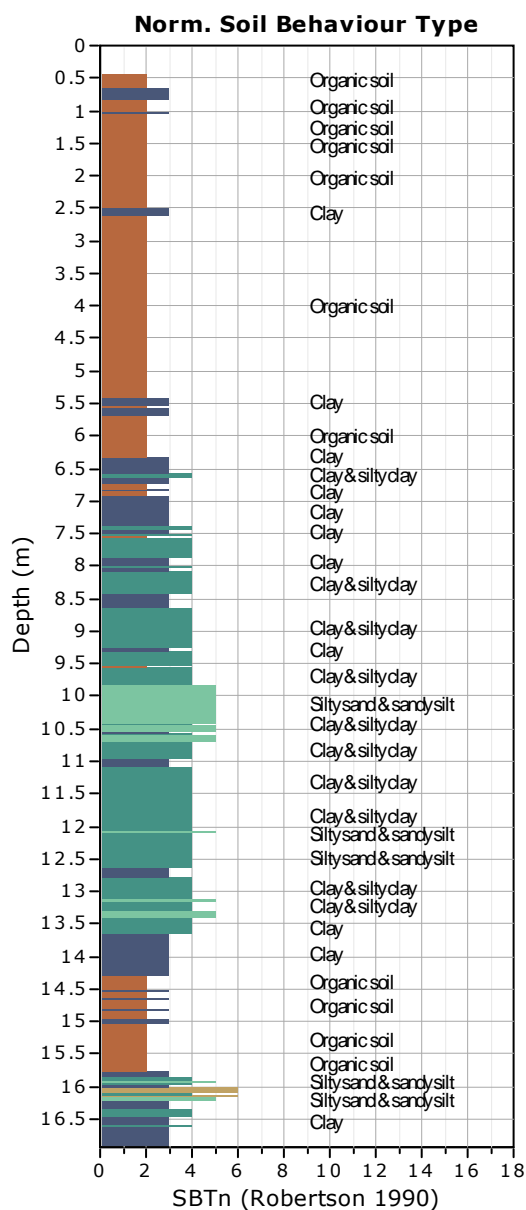
Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO

Bq plots (Schneider)



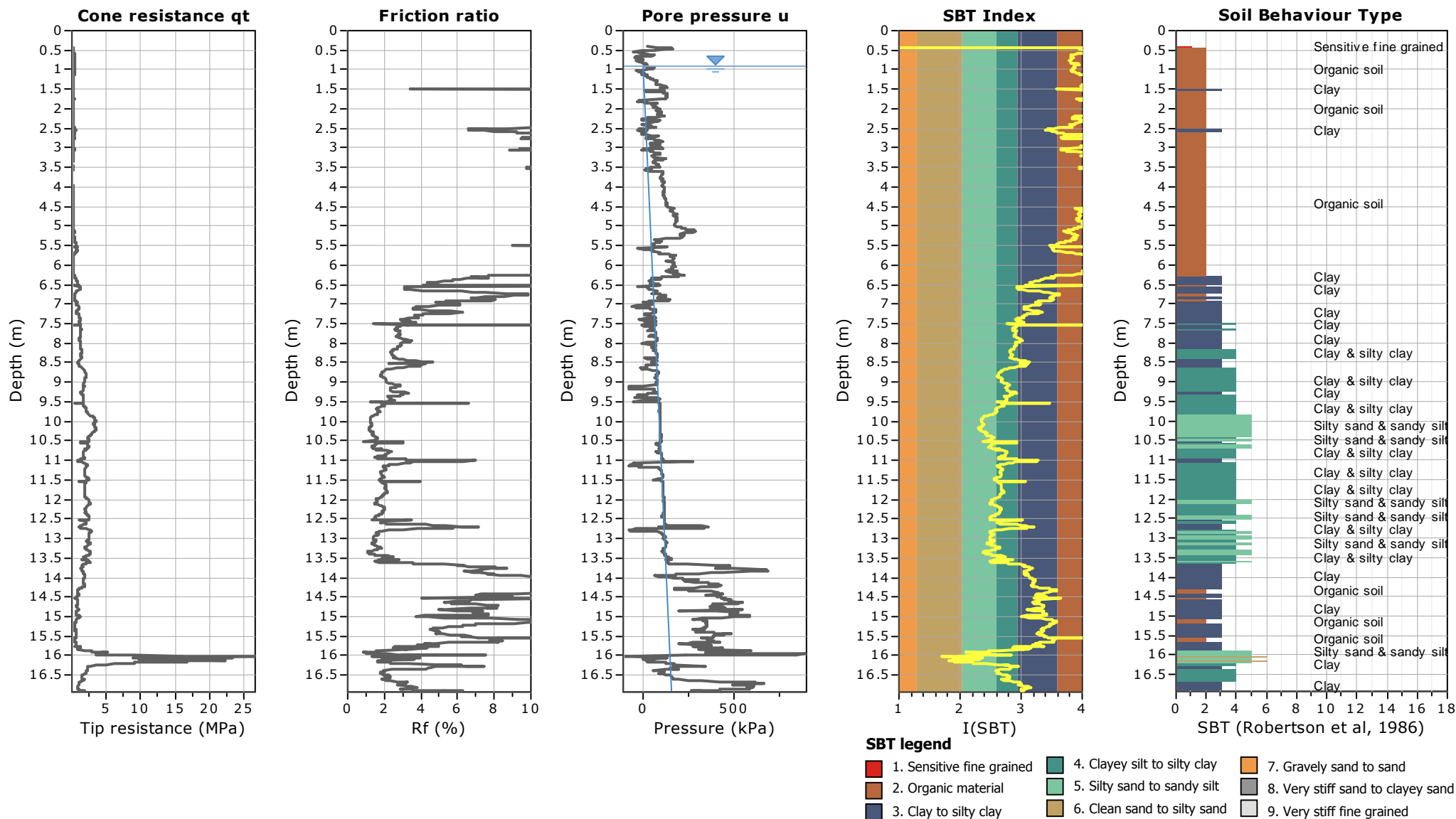
Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



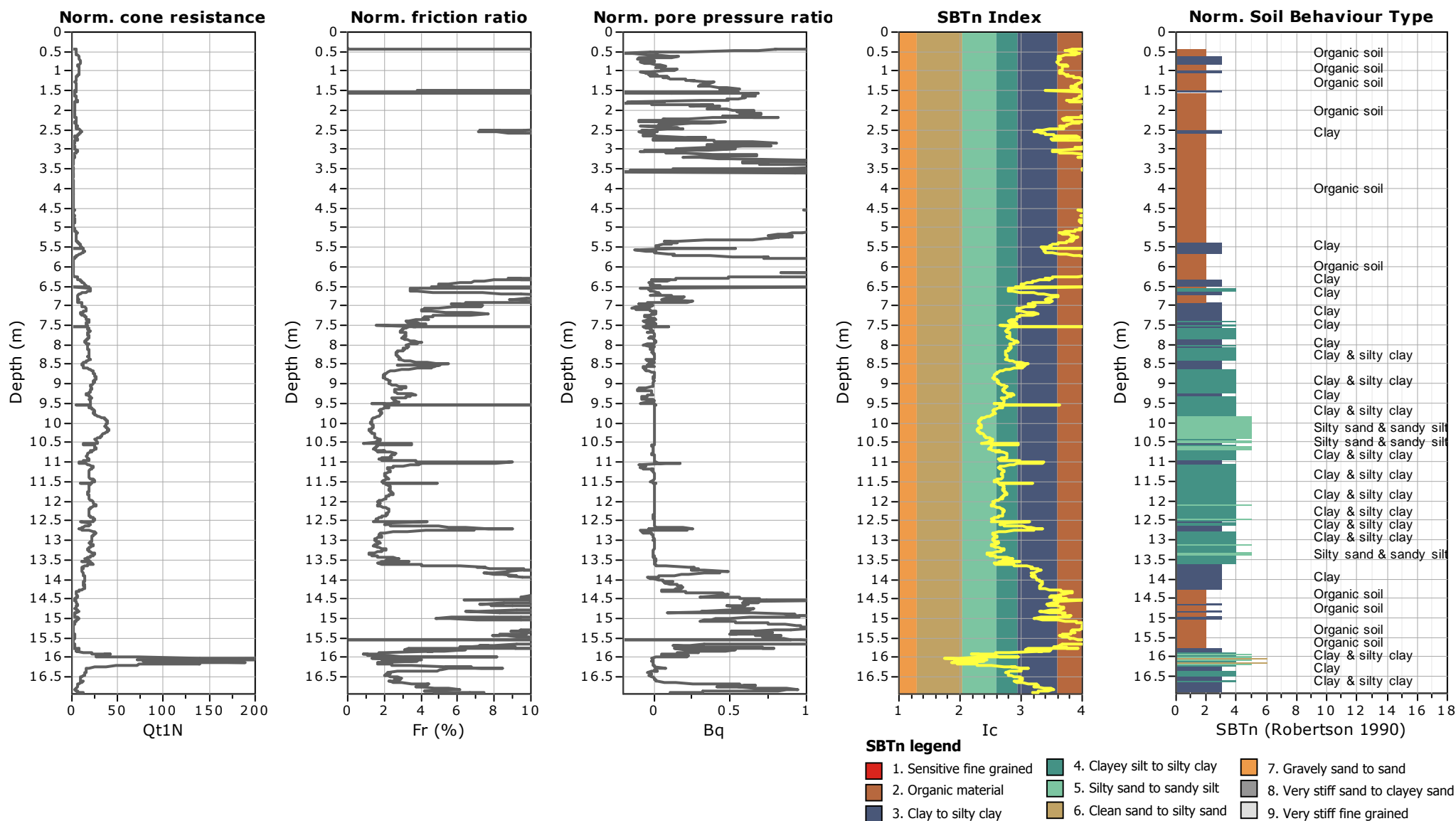
Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



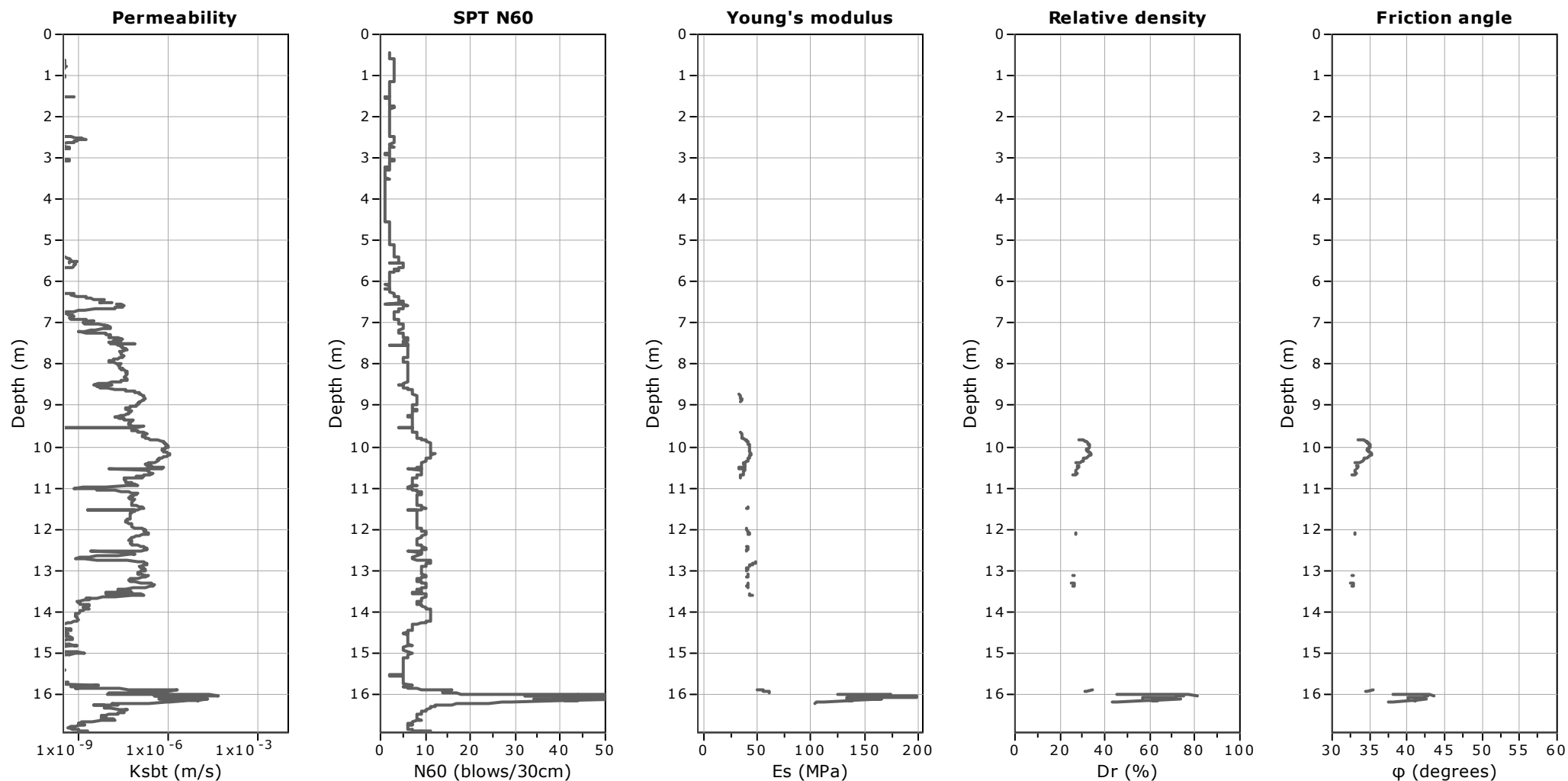
Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N₆₀: Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

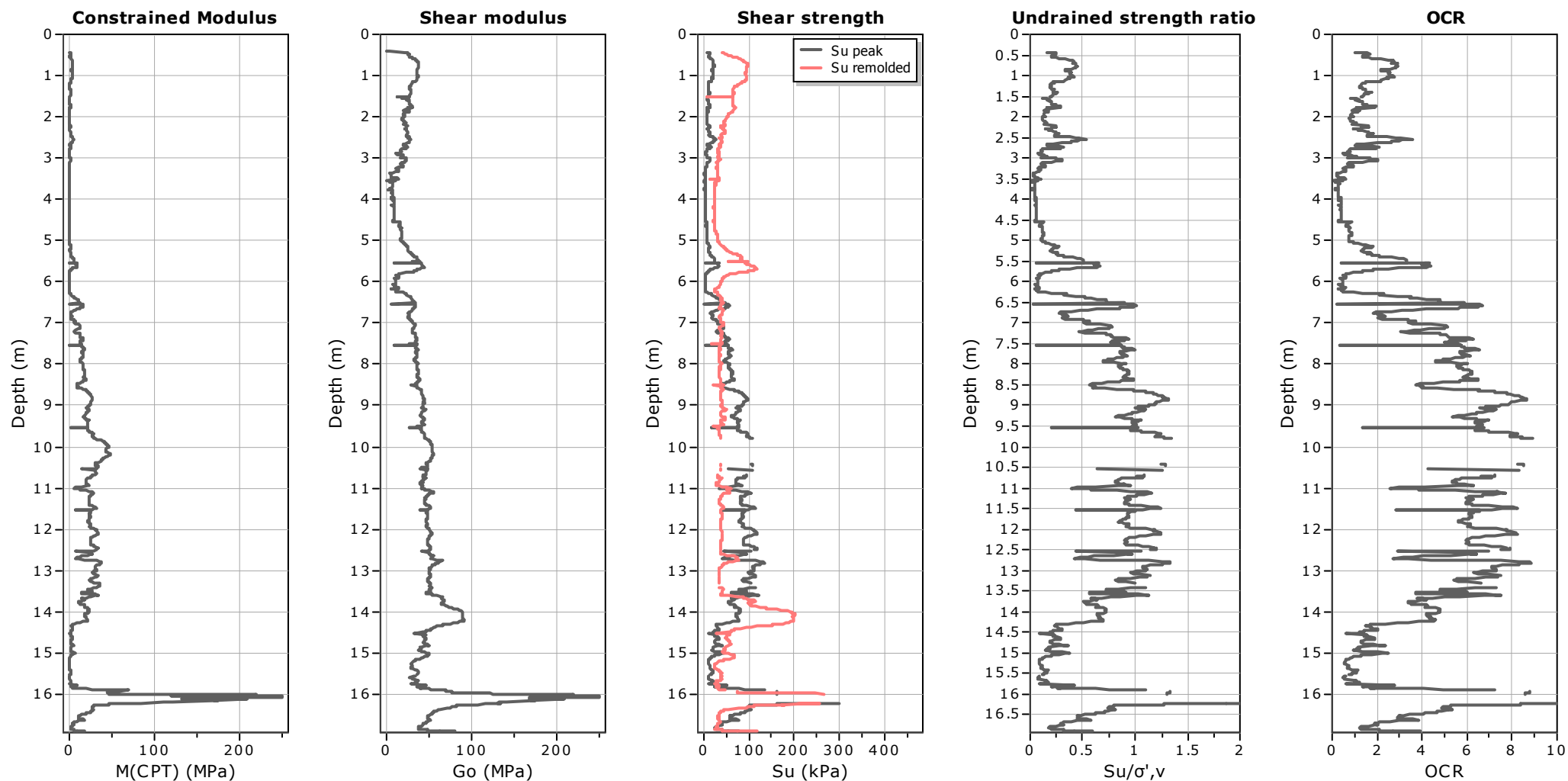
Relative density constant, C_{Dr}: 350.0

Phi: Based on Kulhavy & Mayne (1990)

—●— User defined estimation data

Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable α using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable α using I_c (Robertson, 2009)

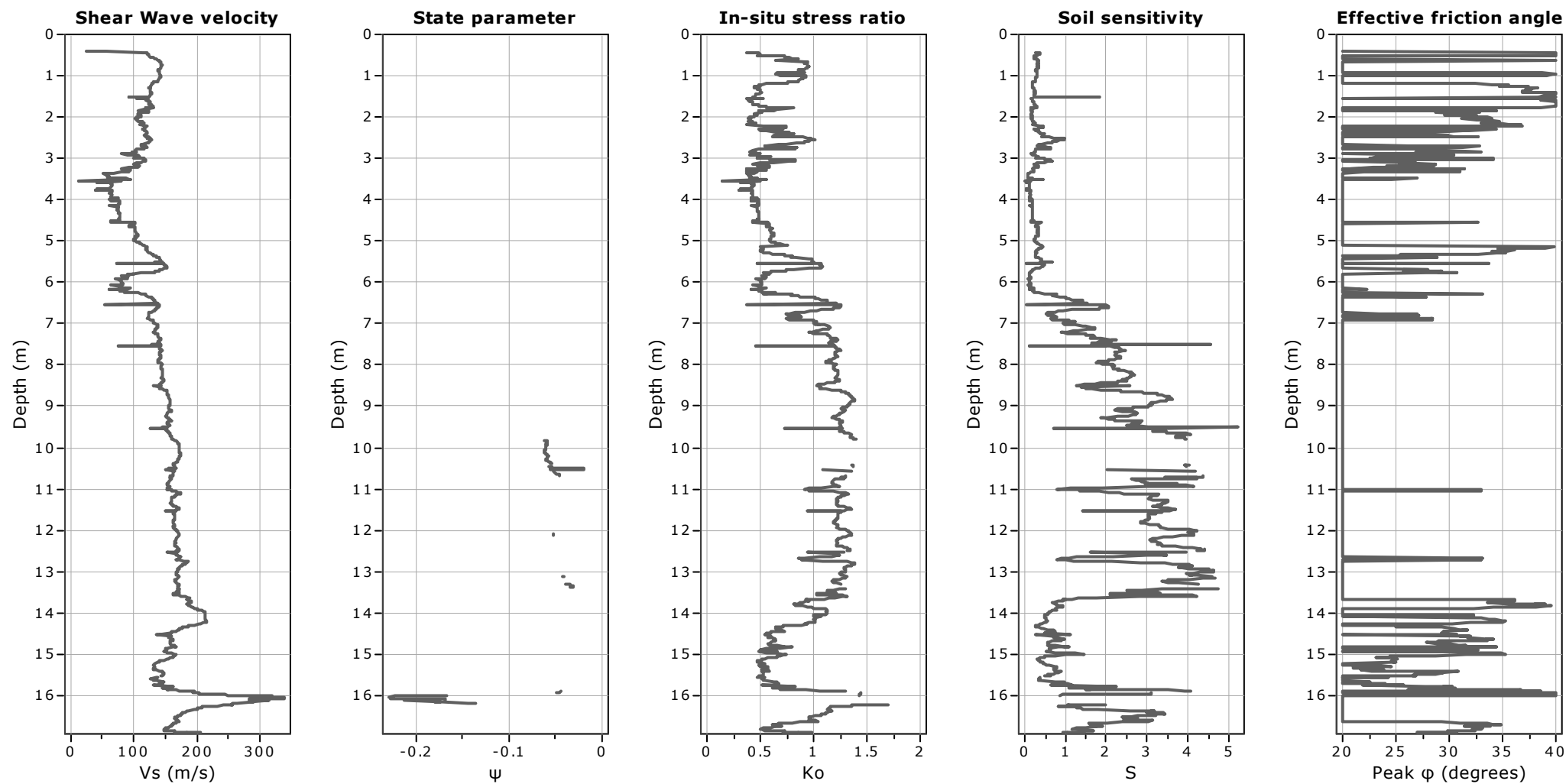
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 20

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

—●— User defined estimation data

Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



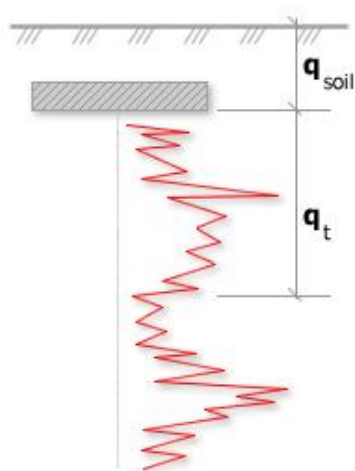
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

Project: CONSORZIO CASA DELLA SALUTE

Location: S. GIULIANO TERME - STRADA PROV. DEL LUNGOMONTE PISANO



Bearing Capacity calculation is performed based on the formula:

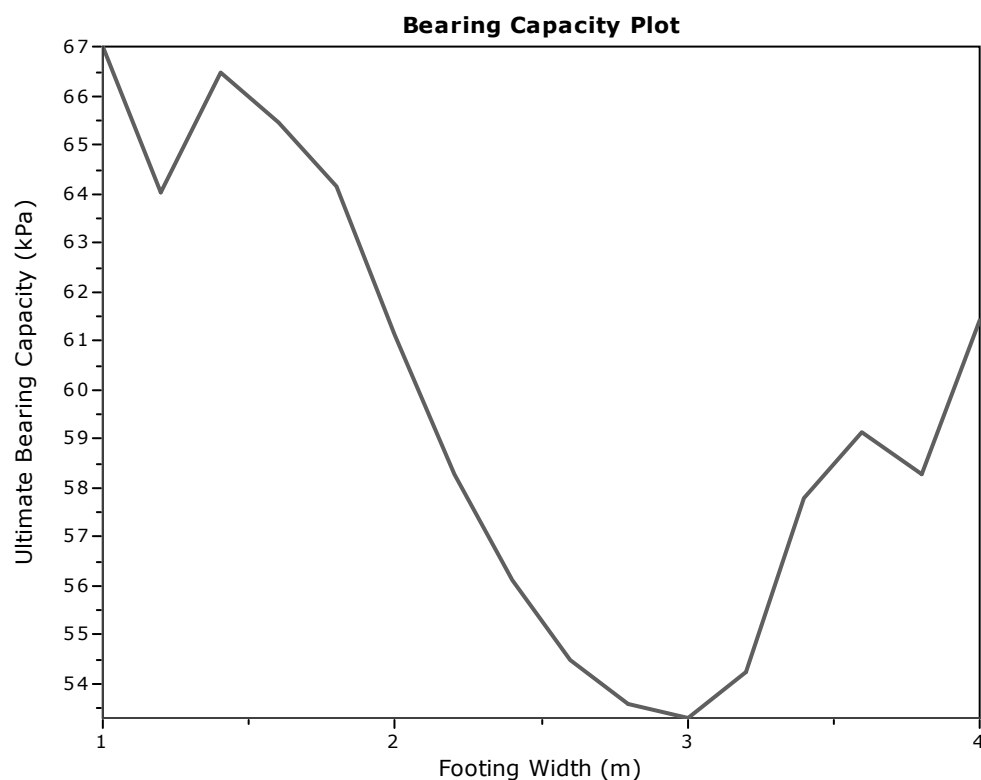
$$Q_{ult} = R_k \times q_t + q_{soil}$$

where:

R_k : Bearing capacity factor

q_t : Average corrected cone resistance over calculation depth

q_{soil} : Pressure applied by soil above footing



:: Tabular results ::

No	B (m)	Start Depth (m)	End Depth (m)	Ave. q_t (MPa)	R_k	Soil Press. (kPa)	Ult. bearing cap. (kPa)
1	1.00	0.50	2.00	0.29	0.20	9.50	67.01
2	1.20	0.50	2.30	0.27	0.20	9.50	64.02
3	1.40	0.50	2.60	0.28	0.20	9.50	66.49
4	1.60	0.50	2.90	0.28	0.20	9.50	65.44
5	1.80	0.50	3.20	0.27	0.20	9.50	64.13
6	2.00	0.50	3.50	0.26	0.20	9.50	61.14
7	2.20	0.50	3.80	0.24	0.20	9.50	58.28
8	2.40	0.50	4.10	0.23	0.20	9.50	56.10
9	2.60	0.50	4.40	0.22	0.20	9.50	54.49
10	2.80	0.50	4.70	0.22	0.20	9.50	53.57
11	3.00	0.50	5.00	0.22	0.20	9.50	53.29
12	3.20	0.50	5.30	0.22	0.20	9.50	54.21
13	3.40	0.50	5.60	0.24	0.20	9.50	57.77
14	3.60	0.50	5.90	0.25	0.20	9.50	59.13
15	3.80	0.50	6.20	0.24	0.20	9.50	58.27
16	4.00	0.50	6.50	0.26	0.20	9.50	61.42

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to } SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff})$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to $SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$$a = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$a = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = a \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \leq 2.20$

$$M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_u(rem)$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to } SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff})$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma'_{vo}} \right)$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9$ or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

INDAGINE SISMICA HVSR DEI RAPPORTI SPETTRALI H/V

Realizzazione di un Polo per la Salute e lo Sport - San Giuliano Terme



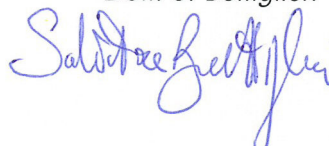
Committente: Dott. Geol. Fabrizio Alvares

RELAZIONE TECNICA

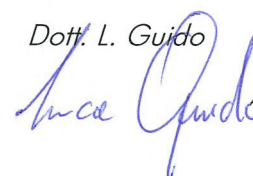
Marzo 2013

S.I.S.M.A. geo
PROSPEZIONI SISMICHE
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri



Dott. L. Guido



Indice

1 - PREMESSA.....	2
2 - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	3
2.1 Cenni teorici.....	3
2.2 Tecnica HVSR	4
2.3 Caratteristiche della strumentazione	5
3. PROCEDURA DI ANALISI DEI DATI	6
4. ELABORAZIONE DEI DATI DI MICROTREMORE.....	7

1 - PREMESSA

Su incarico del Dott. Geol. F. Alvares, in data 28/02/2013, è stata eseguita un'indagine sismica in un'area situata nella parte sud-orientale dell'abitato di San Giuliano Terme al fine di definire il modello sismico monodimensionale del sottosuolo. Lo scopo è quello di verificare la presenza di discontinuità stratigrafiche tali da indurre fenomeni di amplificazione sismica locale per alto contrasto d'impedenza.

L'indagine si è basata su n. 2 misure del rumore sismico HVSr a stazione singola la cui ubicazione è riportata nella figura seguente.



Ubicazione misure

La ricostruzione del modello sismico monodimensionale del sottosuolo costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette anche una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sitospecifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure effettuate e l'interpretazione geofisica delle stesse.

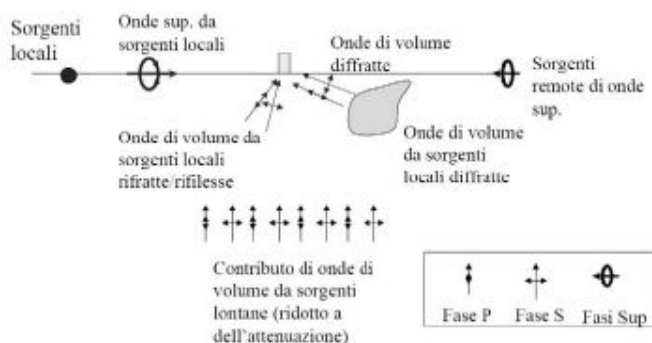
2 - DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Cenni teorici

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003). In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per ciò che concerne le basse frequenze.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento ecc.) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente **s** al sito **x** le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.



Modalità di generazione e propagazione microtremore

Pertanto, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti

spettrali o, semplicemente, **HVSR** e che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate per la stima sia degli effetti di sito (funzione di amplificazione), sia degli effetti sulle costruzioni nel rispetto della normativa che ne stabilisce la soglia massima (UNI9916).

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- Spettri di Fourier
- Rapporti spettrali
- Rapporti spettrali H/V

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei **Rapporti spettrali H/V** o, come prima accennato, noto anche come **metodo HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) conosciuto anche come **metodo di Nakamura**.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremiti siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio.

2.2 Tecnica HVSR

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o **HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo, in generale, sono:

- ove esistente, la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di 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;

- ove determinabile, la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica.

Le basi teoriche della tecnica **HVSR** si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori.

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione di quanto segue:

1. dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti *s* dei microtremori;
2. dal percorso dell'onda dalle sorgenti *s* fino alla posizione *x* del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
3. dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

2.3 Caratteristiche della strumentazione

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sensore 3D a stazione singola che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz (vedi foto seguente).



Strumentazione



Sensore 3D

Il sensore è collegato ad un sismografo alimentato a batteria esterna ed ad un netbook in cui trasferisce i dati acquisiti, memorizzati e convertiti in file ASCII mediante il software "Sysmatrack" fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo pari a 30 minuti;
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
- gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
- la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

3. PROCEDURA DI ANALISI DEI DATI

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. la curva HVSR, ottenuta col software WinMasw Pro, con parametri:
 - larghezza delle finestre d'analisi 25 s;
 - liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
 - rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2;
 - rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-\alpha)}{4\hat{v}_1} + 1 \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} - 1$$

Dove:

V_0 = velocità al tetto dello strato;

α = fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.)

v = frequenza fondamentale di risonanza.

Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

4. ELABORAZIONE DEI DATI DI MICROTREMORE

L'interpretazione consente di correlare il valore di un eventuale picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità relativa della rispettiva discontinuità sismica e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde Sh , si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

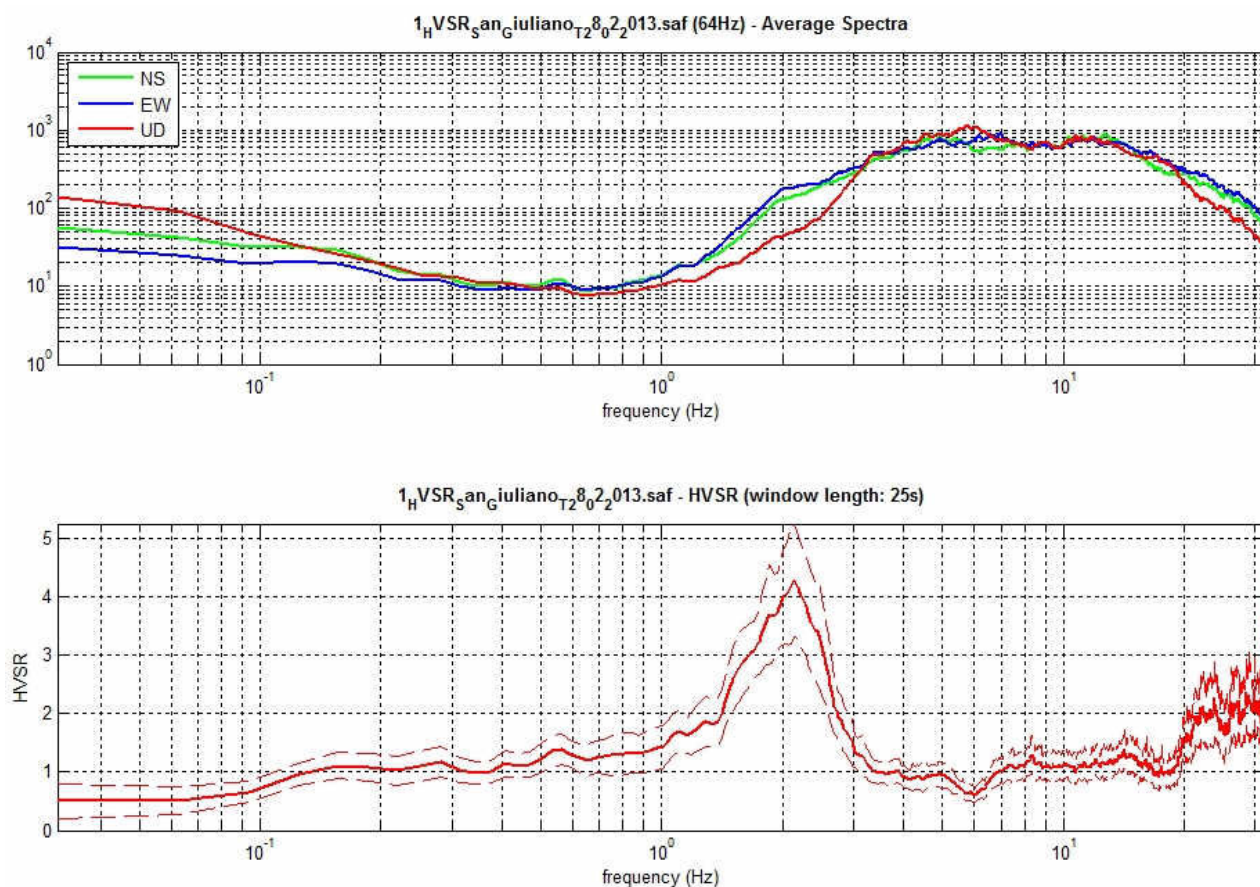
Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità (m) dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

Nelle tabelle di seguito riportate, per ognuna delle due misure HVSR, si descrive la check-list proposta dalla **procedura SESAME**, ove si evidenzia che, per il sito in oggetto, sono stati rispettati i criteri di acquisizione per l'ottenimento di una curva H/V affidabile; inoltre, nella lettura effettuata vengono soddisfatti i criteri per la determinazione di un picco certo del rapporto H/V e quindi la determinazione della presenza di una discontinuità stratigrafica.

HVSR 1

Horizontal to Vertical Spectral Ratio	
Dataset: 1_HVSR_San_Giuliano_T_28_02_2013.saf	
Sampling frequency (Hz): 64	
Window length (sec): 25	
Length of analysed temporal sequence (min): 40	
Tapering (%): 10	
Peak frequency (Hz): 2.2	
Peak HVSR value: 4.3	
CRITERIA FOR A RELIABLE H/V CURVE	
#1. $[f_0 > 10/L_w]: 2.2 > 0.4$	OK
#2. $[n_c > 200]: 10198 > 200$	OK
#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$	OK
CRITERIA FOR A CLEAR H/V PEAK (at least 5 should be fulfilled)	
#1. [exists f in the range $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.4 Hz	OK
#2. [exists f^+ in the range $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.7 Hz	OK
#3. $[A_0 > 2]: 4.3 > 2$	OK
#4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$	OK
#5. $[\sigma_f < \varepsilon(f_0)]: 3.855 > 0.108$	NO
#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.969 < 1.58$	OK

L_w	Lunghezza della finestra
n_w	Numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	Numero di cicli significativi
f	Frequenza attuale
f_0	Frequenza del picco H/V
σ_f	Deviazione standard della frequenza di picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza f
f^-	Frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	Frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	Deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $\sigma_A(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	Deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	Valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$



Commento ai risultati:

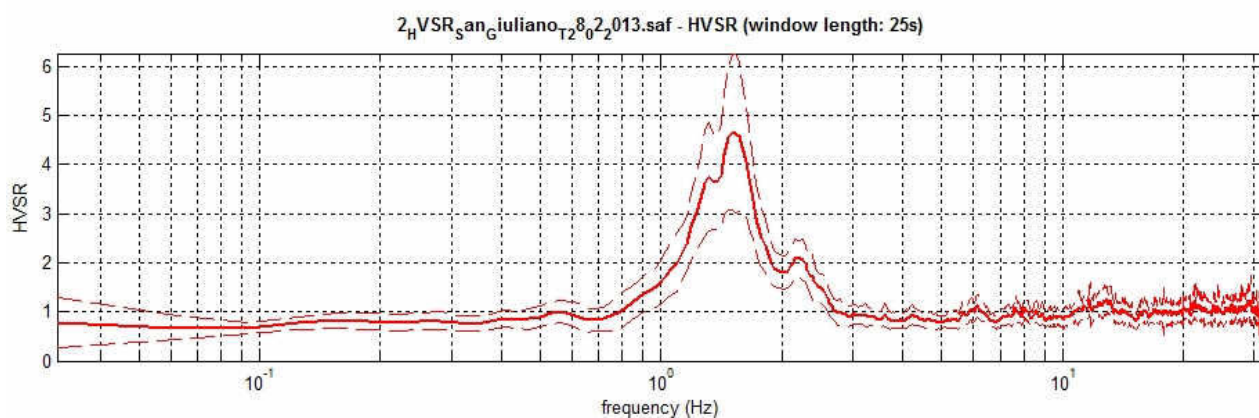
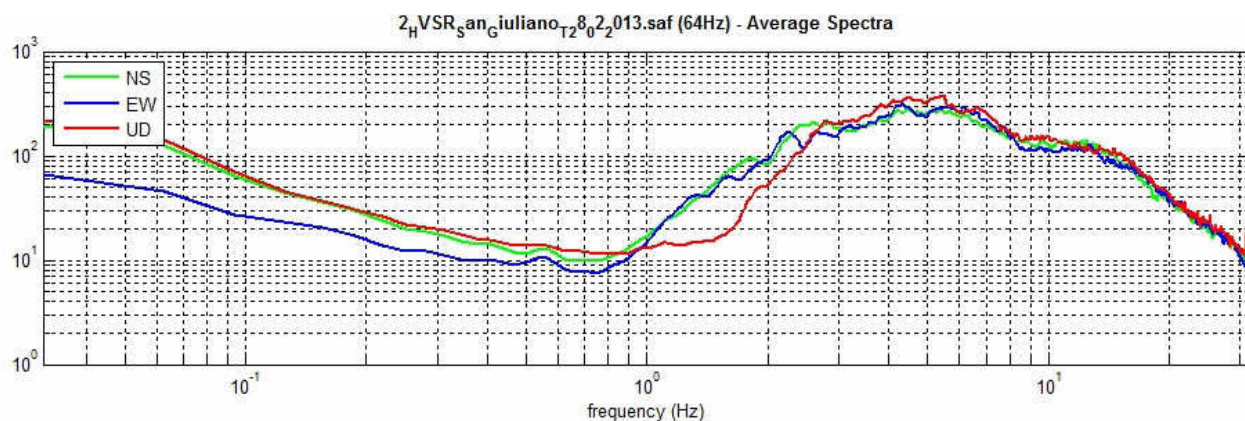
Nella registrazione si evidenzia un picco principale alla frequenza di **2.2** Hz caratterizzato da un rapporto spettrale $H/V = 4.3$ il quale può essere messo in relazione ad una transizione litologica importante, tale da generare amplificazione sismica per un alto contrasto d'impedenza ($H/V > 3$).

Inoltre, relativamente ai criteri di SESAME (2004), tale picco di frequenza soddisfa tutti i punti del primo gruppo (curva H/V affidabile) e 5 punti su 6 del secondo gruppo (picco H/V chiaro), può essere assunto come frequenza fondamentale di sito.

HVSR 2

Horizontal to Vertical Spectral Ratio	
Dataset: 2_HVSR_San_Giuliano_T_28_02_2013.saf	
Sampling frequency (Hz): 64	
Window length (sec): 25	
Length of analysed temporal sequence (min): 40	
Tapering (%): 10	
Peak frequency (Hz): 1.5	
Peak HVSR value: 4.7	
CRITERIA FOR A RELIABLE H/V CURVE	
#1. $[f_0 > 10/Lw]: 1.5 > 0.4$	OK
#2. $[nc > 200]: 4330 > 200$	OK
#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$	OK
CRITERIA FOR A CLEAR H/V PEAK (at least 5 should be fulfilled)	
#1. [exists f in the range $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.2 Hz	OK
#2. [exists f^* in the range $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.9 Hz	OK
#3. $[A_0 > 2]: 4.7 > 2$	OK
#4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$	OK
#5. $[\sigma_f < \varepsilon(f_0)]: 3.758 > 0.153$	NO
#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 1.598 < 1.78$	OK

L_w	Lunghezza della finestra
n_w	Numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	Numero di cicli significativi
f	Frequenza attuale
f_0	Frequenza del picco H/V
σ_f	Deviazione standard della frequenza di picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	Ampiezza media della curva H/V alla frequenza f
f	Frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f) < A_0/2$
f^*	Frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	Deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $\sigma_A(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	Deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	Valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$



Commento ai risultati:

Nella registrazione si evidenzia un picco principale alla frequenza di **1.5 Hz** caratterizzato da un rapporto spettrale $H/V = 4.7$ il quale può essere messo in relazione ad una transizione litologica importante, tale da generare amplificazione sismica per un alto contrasto d'impedenza ($H/V > 3$).

Anche in questo caso, relativamente ai criteri di SESAME (2004), tale picco di frequenza soddisfa tutti i punti del primo gruppo (curva H/V affidabile) e 5 punti su 6 del secondo gruppo (picco H/V chiaro), può essere assunto come frequenza fondamentale di sito.

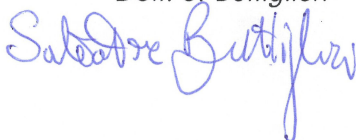
In conclusione si ribadisce che i modelli ottenuti dai risultati geofisici non invasivi, in generale, sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale e devono essere accertati mediante indagini dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico infatti, le indagini geofisiche non invasive devono considerarsi conoscitive e non esaustive per la definizione della reale situazione lito-stratigrafica del sottosuolo.

In ragione di ciò, la S.I.S.M.A. geo declina ogni responsabilità relativamente alle attività che si basano esclusivamente sui risultati geofisici e poste in essere dal committente o da terzi incaricati sui luoghi oggetto dell'indagine.

Pisa, Marzo 2013

S.I.S.M.A. geo
PROSPEZIONI SISMICHE
Studio Associato: via Novelli, 5 - 56124 Pisa
P. IVA: 01961590500

Dott. S. Buttiglieri



Dott. L. Guido

