

Comune di Pisa
PIANO DI RECUPERO
AREA IMMOBILE EX-GEA
 Via Emanuele Filiberto Duca d'Aosta

COMMITTENTE



Cemes s.p.a
 Via Montelungo, 15/17- 56122 Pisa
 Tel +39 050 562209
 Fax +39 050 561780
 email: info@cemes-spa.com

COORDINAMENTO E
 PROGETTO ARCHITETTONICO



Societa' di Ingegneria Leonardo S.r.l.
 Arch. Salvatore Re
 Via San Martino 1, 56125 PISA
 Tel +39 050 6132901 Fax +39 050 6132920
 E-mail: s.re@leonardoprogetti.com
 www.leonardoprogetti.com
 Collaboratori:
 Arch. Arianna Nassi O Di Nasso
 Arch. Nicola Ferrara
 Arch. Raffaele Bernardeschi

DESCRIZIONE ELABORATO

PROGETTO IMPIANTI E STRUTTURE



INGECO S.r.l.
 Via Madonna, 38 - 56124 PISA
 tel. +39 050 9711185
 Partita IVA 01759050501
 e-mail: ingecoferr@ingecosrl.com
 www.ingecosrl.com

Societa' di Ingegneria Ingeco S.r.l.
 Ing. Alessandro Panattoni
 Ing. Nicola Lenza
 Ing. Alessandro Lorenzi
 Collaboratori opere specialistiche:
 Ing. Veronica Romeo
 Ing. Alice Mannari
 Ing. Angela Gubernari
 Geom. Elisa Carignani
 Geom. Riccardo Laturra

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'
D.P.G.R. N. 5/R/2020

GEOLOGIA

Geol. Fabrizio Alvares
 Via L.Muratori, 1 - San Giuliano Terme
 E-mail: fabrizio.alvares@gmail.com



Pratica

289

Formato

-

Scala

-

Elaborato

RGF

Rev	Data	Motivazione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato
00	Settembre 2020	Prima Emissione	-	-	-	Re
01	Luglio 2021	Rev 1				

1. PREMESSA

La seguente relazione di fattibilità riguarda lo studio geologico a supporto del piano di recupero dell'area immobiliare "ex GEA", sito a Pisa, in via Emanuele Filiberto (Fig. 1).

Le indagini geologiche sono state condotte ai sensi del regolamento di cui al D.P.G.R. n.5/R/2020 e delle relative direttive di cui alla Delibera n.31 del 20/01/2020, facendo riferimento alle indagini geologiche del quadro conoscitivo a supporto del P.S. comunale, integrate con nuove indagini geognostiche e geotecniche.



Fig. 1 – corografia dell'area

2. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il piano di recupero prevede un intervento ristrutturazione con parziale demolizione e ricostruzione, senza incrementi di volumi e dell'attuale edificio ex struttura universitaria, con parziali inventi di demolizione e ricostruzione senza incrementi né di volume, né di superficie.

3. APPROFONDIMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO – INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per un approfondimento del quadro conoscitivo sulle caratteristiche litotecniche e sismiche del sottosuolo in esame, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche, che è stata espletata attraverso l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di

campioni indisturbati, una prova penetrometrica CPTU, prove geotecniche di laboratorio, oltre ad una prova sismica MASW, la cui ubicazione è riportata in Fig. 2



- Sondaggio
- ▲ CPTU
- MASW

Fig. 2 – Ubicazione indagini

2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E LITOTECNICHE

L'area d'intervento è ubicata in territorio urbano nella zona Nord-Est della città di Pisa, ad una quota di circa 3,5 metri s.l.m. A scala regionale, l'area fa parte della piana alluvionale pisana ed è pertanto caratterizzata da una morfologia pianeggiante.

La pianura pisana si estende dal piede dei rilievi collinari dei Monti Pisani fino al mare ed è caratterizzata da depositi alluvionali prevalentemente argillosi, limi e limi sabbiosi olocenici con granulometria crescente verso l'alveo attuale del Fiume Arno in prossimità del quale prevalgono le sabbie depositatesi durante le frequenti esondazioni del passato.

La frazione più fine caratterizza le zone più lontane dai corsi d'acqua; essa è rappresentata da argille e limi all'interno dei quali sono intercalati livelli sabbiosi e ghiaiosi di spessore variabile caratterizzando così quella che rappresenta la stratigrafia tipica della Pianura Pisana.

In una scala di dettaglio, indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di terreni argillosi e limosi prevalentemente poco consistenti e quindi, facendo riferimento alla carta litotecnica tratta dal P.S., più propriamente riconducibili all'unità F2.s3s4, piuttosto che F1.s3.s4.t2. (vedi Fig.2)



UNITA' LITOLOGICO-T

Terreni coesivi a con

Unità F1.s3/s4.l
Granulometria c
consistenti a m
sabbiosa



Unità F2.s3/s4 - Depositi quaternari alluvionali
Granulometria dominante: limi argillosi e argille da moderatamente
consistenti a poco consistenti

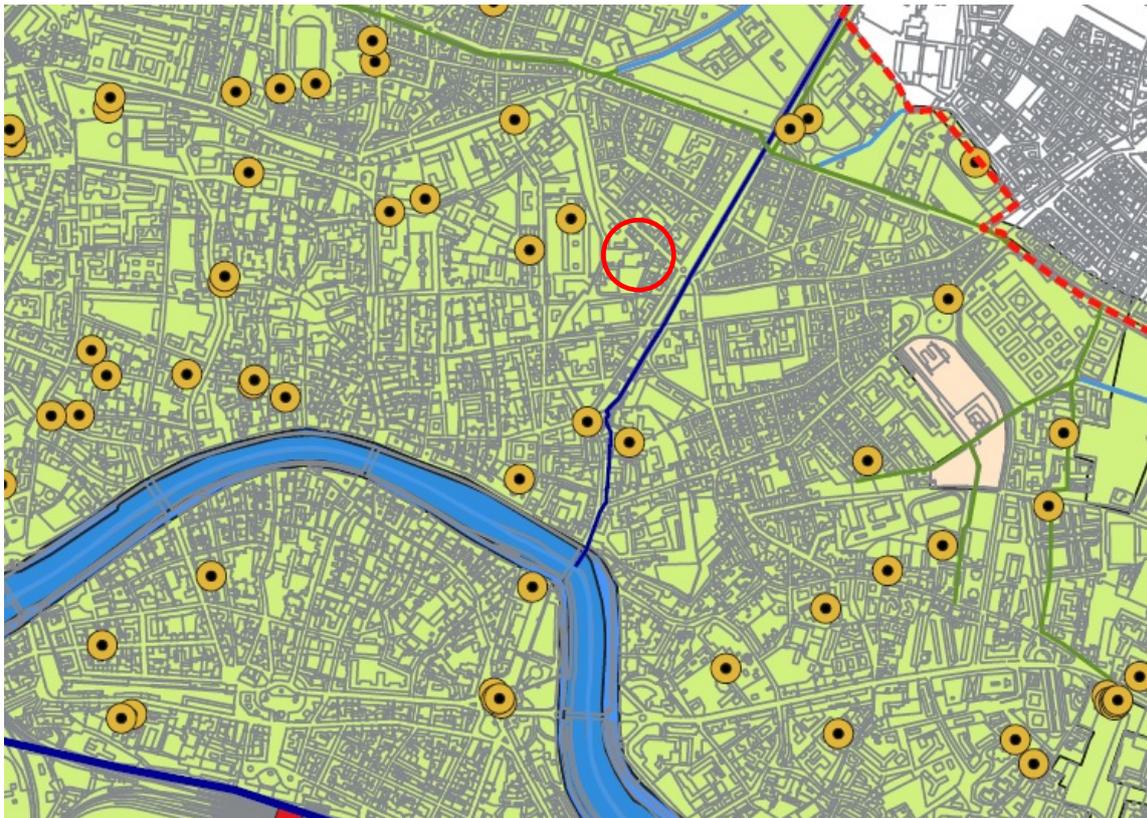
Fig. 2 – carta litotecnica (tratta da P.S. comunale)

3. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'area in esame si colloca nel contesto urbano della città di Pisa, dove il drenaggio delle acque avviene per mezzo del reticolo fognario esistente.

Per ciò che concerne l'aspetto idrogeologico, i litotipi limoso-argillosi superficiali, per la loro natura poco permeabile, non sono sede di significative falde acquifere.

Nella carta idrogeologica tratta dal P.S., i terreni di studio sono classificati a media permeabilità.



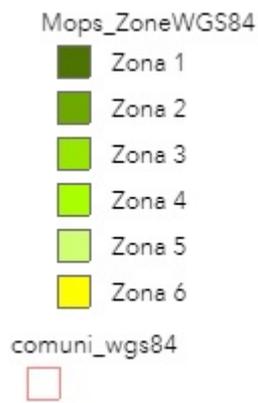
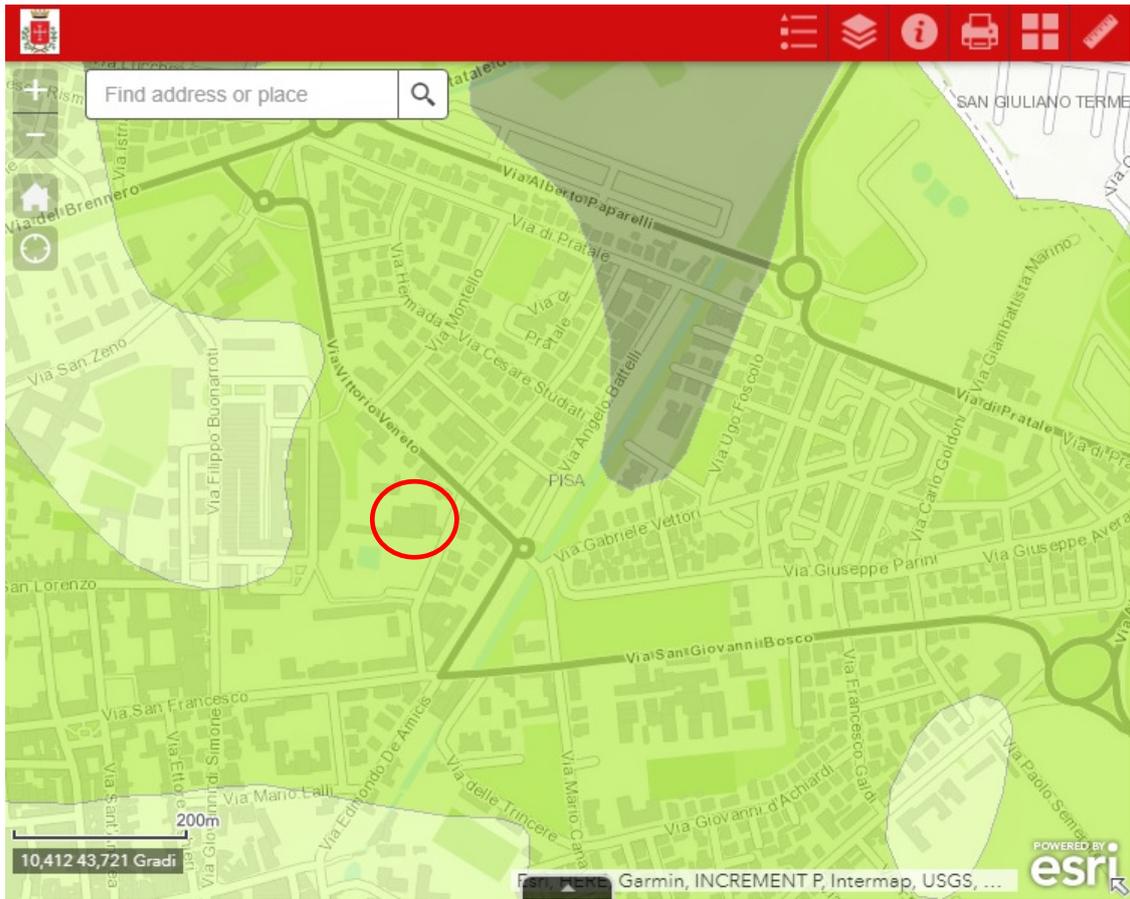
CLASSI DI PERMEABILITA'

- Permeabilità bassa
- Permeabilità media
- Permeabilità alta

Fig. 3 Carta idrogeologica (tratta da P.S.)

4. ASPETTI SISMICI

Facendo riferimento alla carta delle MOPS di P.S. (Fig. 4), anch'essa tratta dagli studi geologici di P.S., stante anche quanto scaturito dalle indagini geognostiche eseguite, la situazione stratigrafica dell'area di progetto è riconducibile alla Zona 3, caratterizzata da una successione stratigrafica di litotipi prevalentemente argillosi e limosi, fino ad una profondità minima di 20 m.



Zona 3

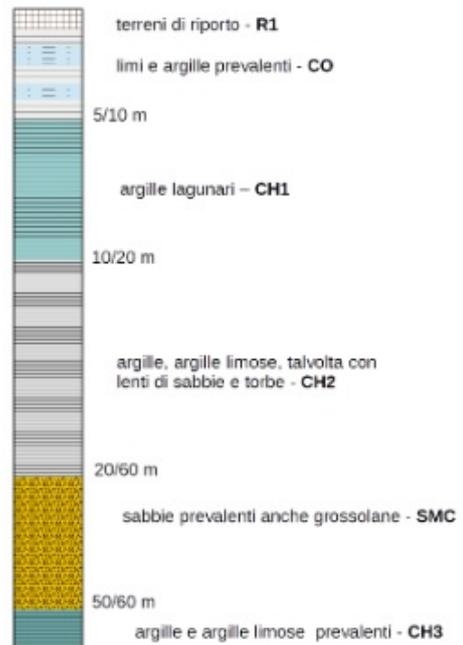


Fig. 4 – carta delle MOPS (tratta dal P.S.)

6. CRITERI GENERALI PER LA DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ

Aspetti geologici

Come visto, il sottosuolo in esame risulta costituito da litotipi prevalentemente limosi e argillosi, generalmente poco consistenti e caratterizzati da proprietà geotecniche scadenti, come evidenziato dal sondaggio geognostico eseguito (vedi stratigrafia allegata) e dai generali bassi valori di resistenza di punta della prova CPTU (vedi grafici allegati)

Anche la prova sismica MASW ha evidenziato tale situazione, avendo rilevato un valore di $V_{S30}=171$ m/s, caratteristica di terreni a grana fine scarsamente consistenti (vedi allegato)

In ragione di ciò, per il sito in esame, viene confermata la classe di **pericolosità geologica elevata G3** (Fig. 4)



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

- G1 - Pericolosità geologica bassa
- G2 - Pericolosità geologica media
- G3 - Pericolosità geologica elevata

Fig. 5 – Carta della pericolosità geologica

Aspetti sismici

Per le stesse motivazioni sopra esposte, viene confermata anche la classe di **pericolosità sismica elevata S3**, così come rappresentato a carta della pericolosità sismica di P.S. che estende questa classe di pericolosità a tutta l'area urbana di Pisa (Fig. 5).

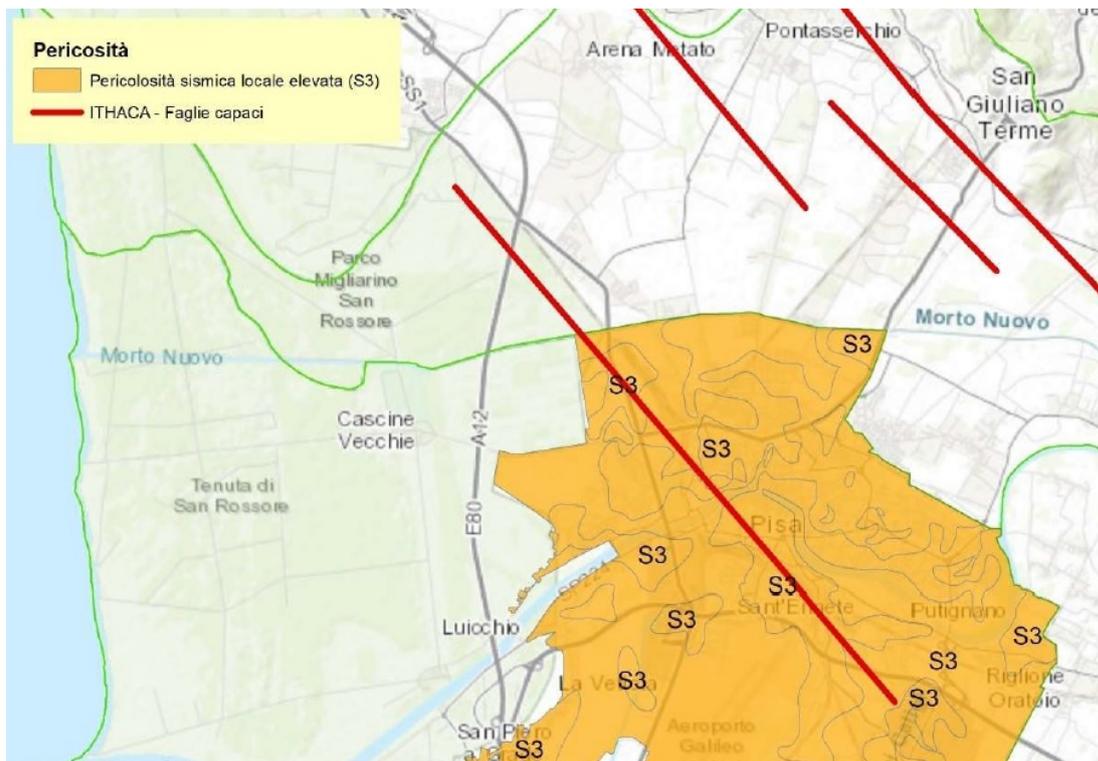


Fig. 6 – Carta della pericolosità sismica

Aspetti idraulici

L'area ricade nella classe di **pericolosità idraulica P3** del PGRA Fiume Arno (vedi Fig. 7)

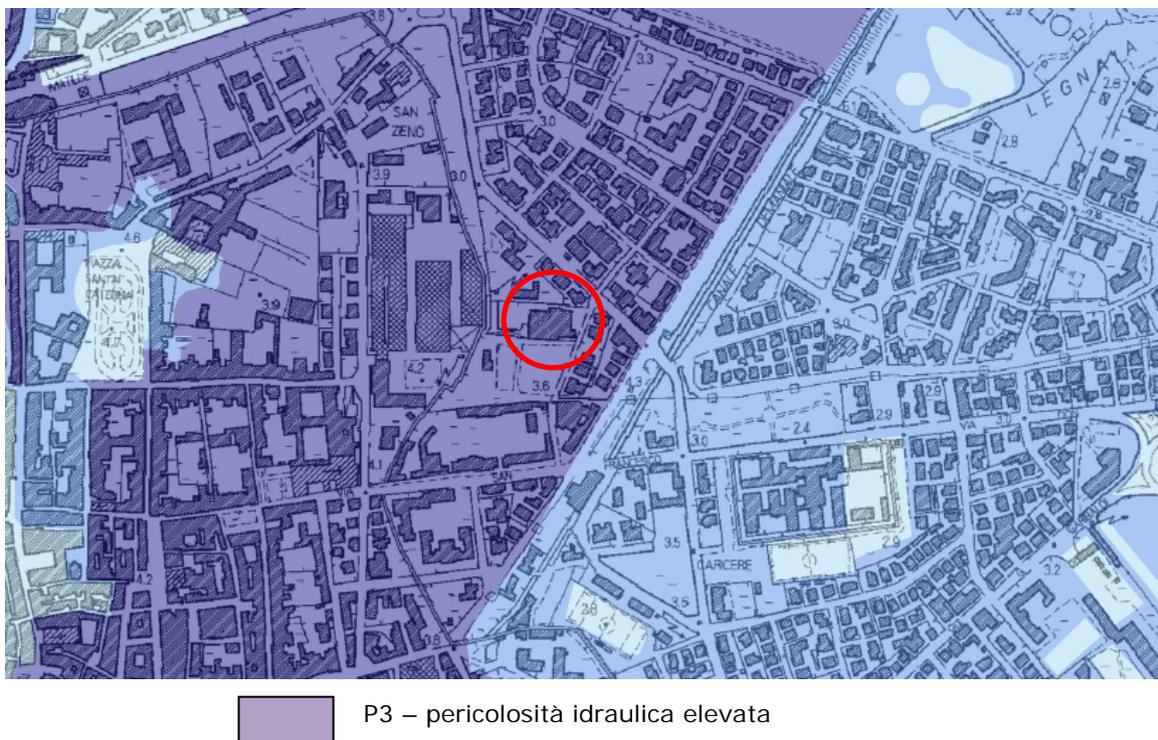


Fig. 7 - Carta della pericolosità idraulica (stralcio del PGRA Arno)

Come comunicato dagli uffici comunali preposti, il battente atteso per un tempo di ritorno $T_r=200$ anni è di **0,82 m** (vedi allegato).

7. CONDIZIONI DI FATTIBILITÀ

Per quanto concerne le condizioni di attuazione delle trasformazioni in progetto, sono definite le seguenti categorie di fattibilità:

Fattibilità senza particolari limitazioni (F1): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

Fattibilità con normali vincoli (F2): 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 abilitativo all'attività edilizia.

Fattibilità condizionata (F3): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

Fattibilità limitata (F4): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi, dati da attività di monitoraggio e verifiche atte a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Ai fini della valida formazione dei titoli abilitativi all'attività edilizia per gli interventi in progetto vengono quindi definite le seguenti condizioni di fattibilità.

Aspetti geologici e sismici

Relativamente ai criteri di fattibilità connessi alle condizioni di pericolosità sismica locale elevata (S3), sono definite le seguenti condizioni di fattibilità.

TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI		FATTIBILITÀ
1	Ristrutturazione edilizia con parziale demolizione e ricostruzione senza incremento di volume.	F3

Come possiamo osservare dalla stratigrafia del sondaggio geognostico, per tutta la profondità indagata sono stati rilevati terreni omogenei a prevalente composizione argillosa e limosa, caratterizzati da una distribuzione granulometrica del tutto discordante con i fusi rappresentativi di terreni suscettibili di liquefazione dinamica.

In ragione di ciò, le condizioni di pericolosità sismica, sono riconducibili alla presenza di terreni prevalentemente argillosi con caratteristiche geotecniche scadenti, suscettibili di fenomeni di consolidazione.

In ragione di ciò, le condizioni di pericolosità sismica, sono riconducibili alla presenza di terreni prevalentemente argillosi con caratteristiche geotecniche scadenti, suscettibili di fenomeni di consolidazione.

In sede di progettazione definitiva/strutturale, qualora in nuovi carichi di esercizio risultino superiori a quelli attuali, le indagini geognostiche e geotecniche dovranno essere finalizzate ad un'attenta analisi su questa tematica, con verifiche dei cedimenti.

Inoltre, sempre in sede di progettazione definitiva/strutturale, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in alternativa all'approccio semplificato, potrà essere valutata l'opportunità di ricorrere prudenzialmente ad un'analisi di risposta sismica locale.

Aspetti Idraulici

Per le varie tipologie d'intervento, sono definite le seguenti condizioni di fattibilità.

TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI		FATTIBILITÀ
1	Ristrutturazione edilizia con cambio di destinazione d'uso da attrezzature territoriali università a commerciale (senza aumento né di superficie coperta né di volume), con piano di calpestio sotto il battente idraulico	F4
2	Manutenzione straordinaria/ristrutturazione edilizia con cambio di destinazione d'uso da attrezzature territoriali a direzionale (senza aumento né di superficie coperta né di volume)	F1
3	volume seminterrato esistente di pertinenza della residenza ad uso foresteria, con cambio di funzione da magazzino a garage	F1*

Intervento 1 - Fattibilità limitata F4: come previsto all'art. 12 della L.R. 41/2018, sia che si ricada nel comma 4 che nel comma 5, l'intervento è subordinato alla contestuale realizzazione degli interventi di difesa locale, di cui all'Art. 8, comma 1, lettera d) della medesima Legge Regionale, infatti:

comma 4: nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, per la realizzazione degli interventi edilizi di demolizione, con parziale o totale ricostruzione senza incrementi volumetrici, sono contestualmente realizzati gli interventi di cui all'articolo 8, comma 1, lettera d).

Comma 5: Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, caratterizzate da magnitudo idraulica severa o molto severa, per la realizzazione degli interventi edilizi sulle parti dei manufatti con piano di calpestio al di sotto del battente, qualora modifichino le parti dell'involucro edilizio direttamente interessate dal fenomeno alluvionale, sono contestualmente realizzati gli interventi di cui all'articolo 8, comma 1, lettera d).

In considerazione del fatto che non sono previsti incrementi di superficie coperta, l'intervento non determina l'aggravio della pericolosità in altre aree.

Gli interventi di difesa locale previsti consistono nell'istallazione di sistemi automatici di porte e paratie stagne di altezza minima 1 m, tale da garantire un adeguato franco di sicurezza rispetto al battente atteso di 0,82 m.

A titolo esemplificativo, di seguito sono descritti sistemi certificati di paratie e porte stagne, diffusamente utilizzati per questi scopi.

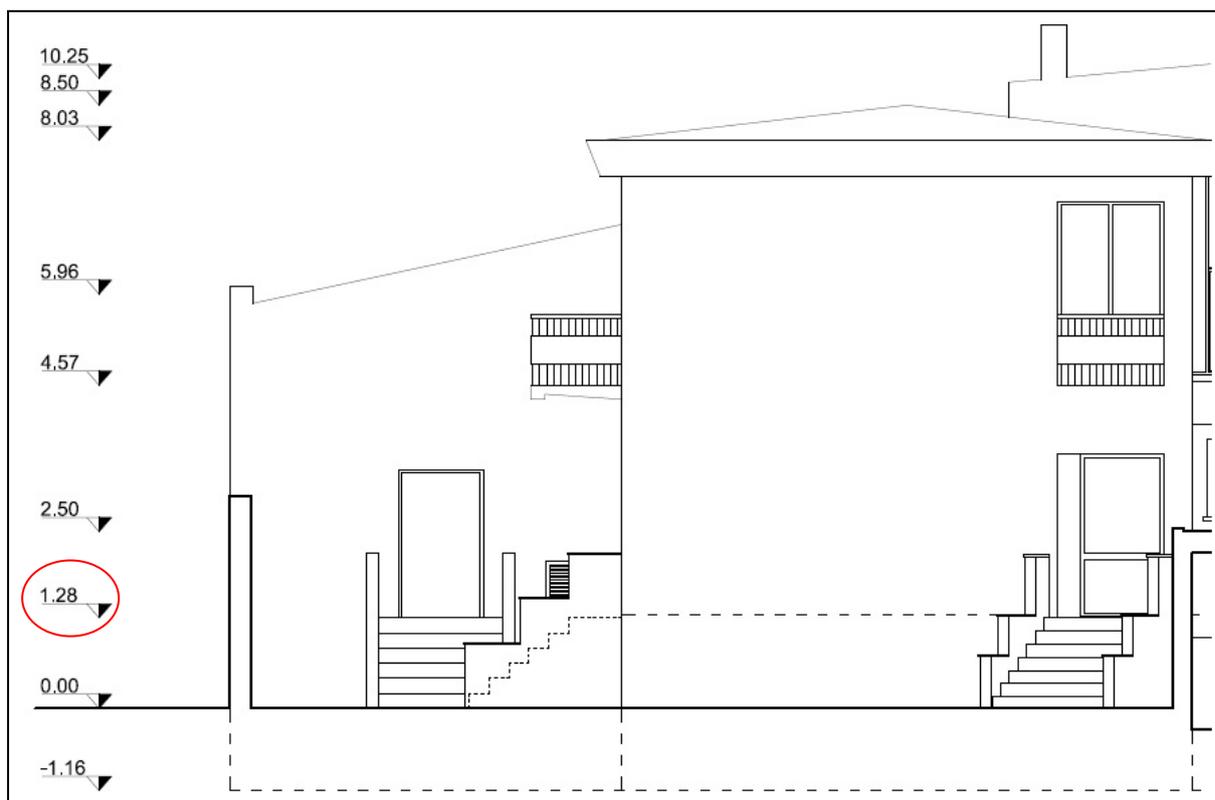


Esempi di paratie mobili a chiusura stagna (Aquatech serramenti antiallagamento)



Altri esempi di paratie mobili a chiusura stagna (Aquatech serramenti antiallagamento)

Intervento 2 - Fattibilità senza particolari limitazioni F1: in quanto la quota del primo piano di calpestio dell'edificio oggetto si trova ad una quota di 1,28 m sopra il piano campagna (quota 0,00) e quindi ampiamente al di sopra del battente idraulico di 0,8 m, come rappresentato nella figura seguente.



Intervento 3 – fattibilità senza particolari limitazioni F1*

A tale riguardo, ai sensi del comma 8 dell'Art. 12, della L.R. 41/2018, nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, per i volumi interrati esistenti sono ammessi i mutamenti di destinazione d'uso in funzione non residenziale o comunque non adibiti al pernottamento, per cui il cambio di destinazione da magazzino a garage sarebbe comunque ammesso senza limitazioni.

Nonostante ciò, visto l'elevato grado di pericolosità idraulica, si raccomanda comunque di adottare in via prudenziale interventi di difesa locale come ad esempio l'istallazione di portellone di ingresso e di finestratura, a tenuta stagna.



Esempio di portellone basculante a tenuta stagna (Aquatech serramenti anti-allagamento)



Esempio di finestra vasistas a tenuta stagna (Aquatech serramenti anti-allagamento)



COMUNE DI PISA
Direzione Piano Strutturale Politiche della

Tel: 050 910404 - 406 - 527 -
408 -

Casa - Ambiente - Edilizia Privata

Ufficio
Segreteria

~

Palazzo Pretorio - Vicolo del Moro, 2

Pisa 7.12.2018

Prot. 113493

Geol Fabrizio Alvares

alvares@epap.sicurezza postale.it

Oggetto : battente

A seguito della richiesta protocollo 112871 del 6.12.2018 per conoscere il battente idraulico per l'area evidenziata nella cartografia allegata (Pisa - Ex Gea Via Filiberto), in accordo con l'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE - Autorità di Bacino del Fiume Arno si comunica che:

- Pisa Ex Gea Via Filiberto: l'area interessata all'intervento ricade nella categoria di Pericolosità Idraulica P3, ha un tirante di m 3,96 s.l.m. Per determinare il battente d'acqua rispetto al piano di campagna fare riferimento al punto trigonometrico o di livellazione IGM posto in zona. In via indicativa il battente si dovrebbe attestare sui m 0.82. Al fine della determinazione della magnitudo, si comunica che la massima velocità individuata da modello è inferiore a 1 m/sec

Si precisa che il battente idraulico fa riferimento alle cartografie del PGRA approvate dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con determina Dirigenziale n° 9 del 14/03/2017.

Il Resp. P.O. Della Direzione
Dott. Geol. Marco Redini

RELAZIONE TECNICA

Committente: CEMES S.p.a.

Location: Pisa – Via E. Filiberto

Data Indagine: 08/07/2020

Codice lavoro: 200708b

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO CPTU

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132 - 56017 - San Giuliano
Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01966780502

Data elaborazione: 11/07/2020

GAIA Servizi S.n.c.
di Massimiliano Vannozzi & C.
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
P. IVA 019667250508 N. REA PI - 145167

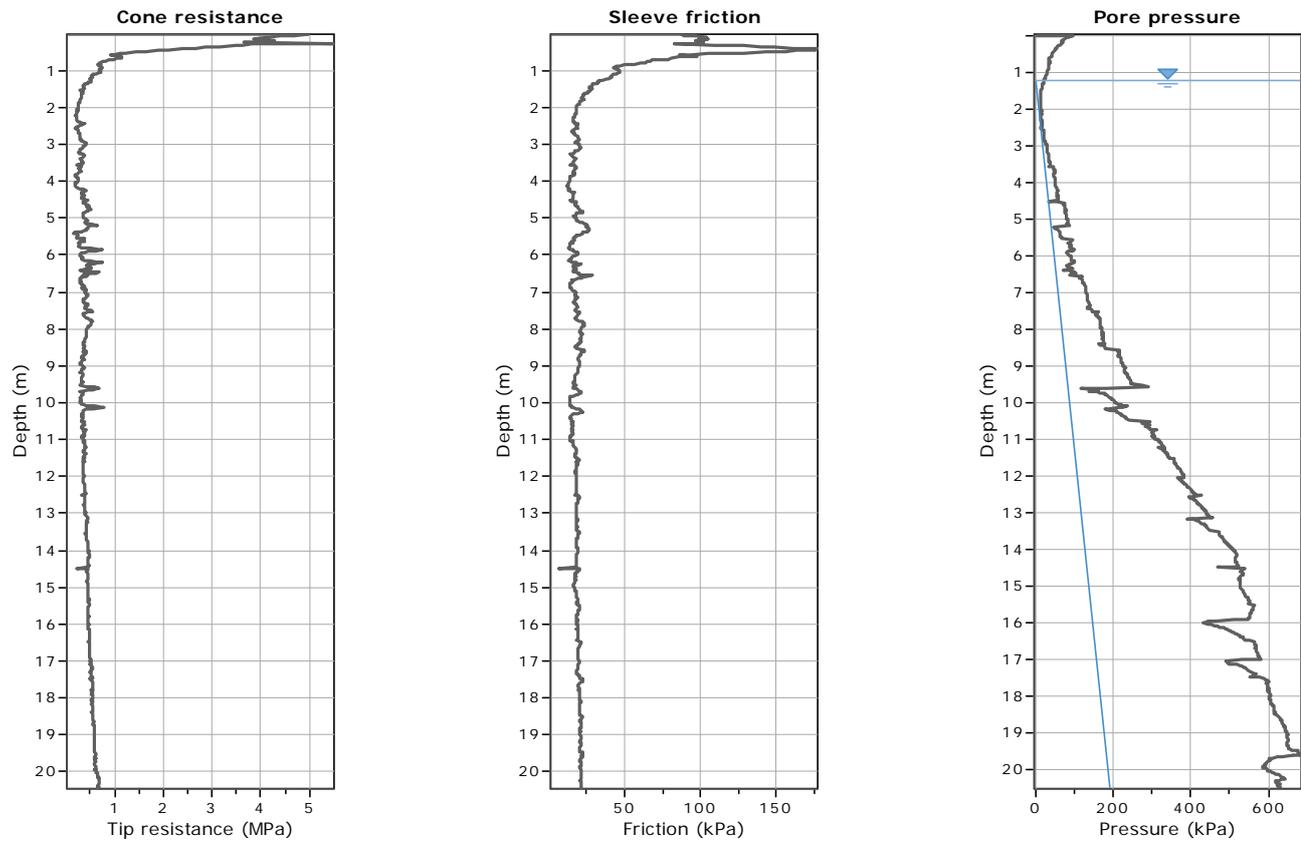


Codifica: PR 7.5 01_08 Rev. 1 del 11/2011

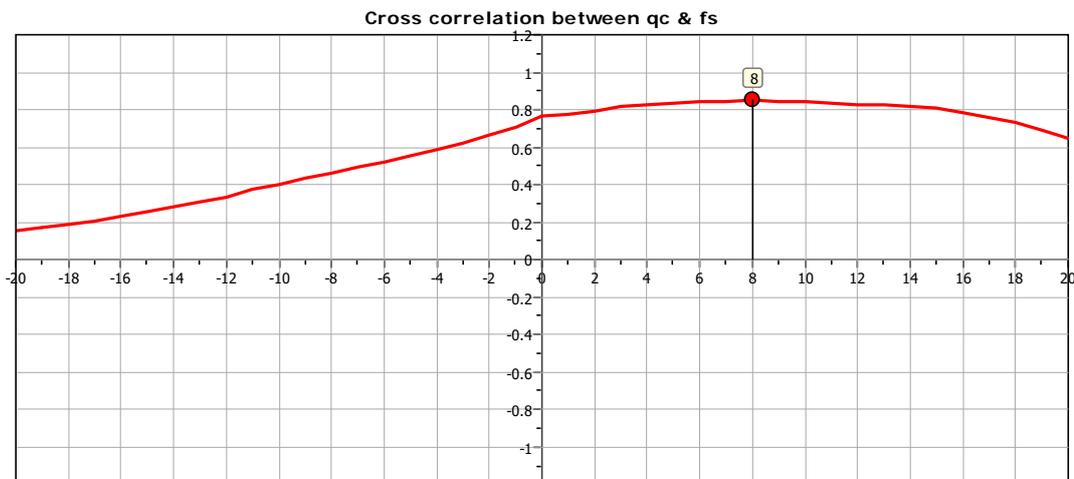
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



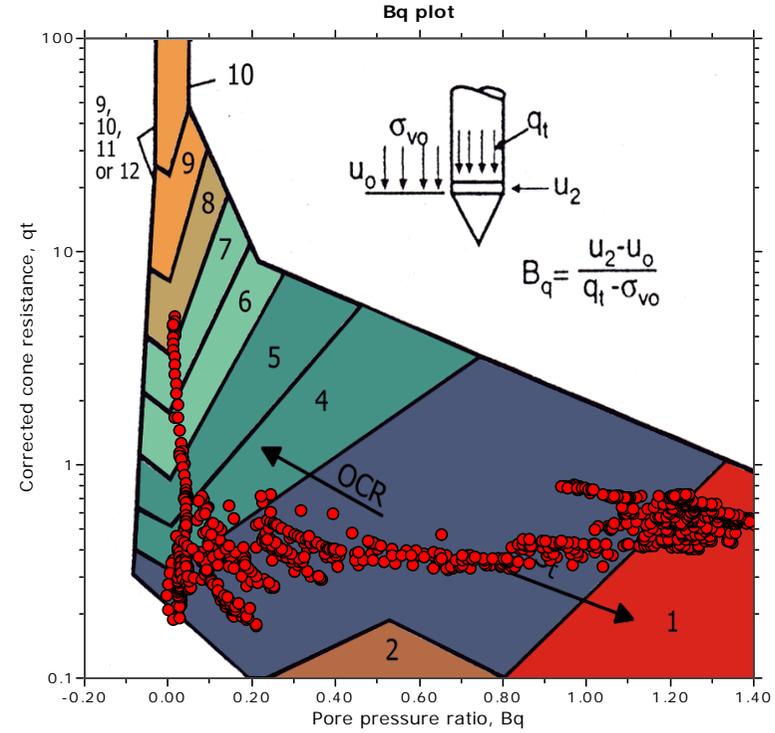
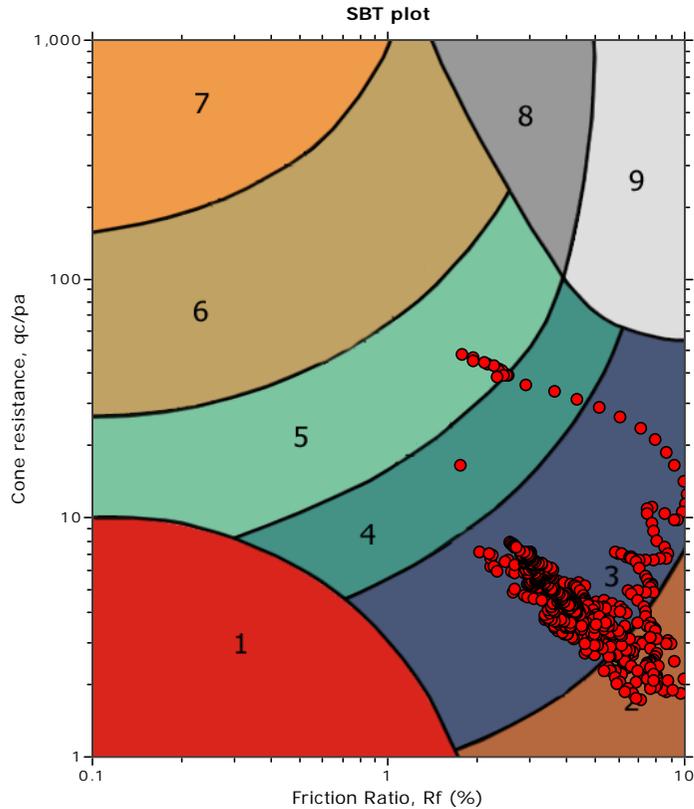
Figura 1: Prova penetrometrica CPTU P01



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



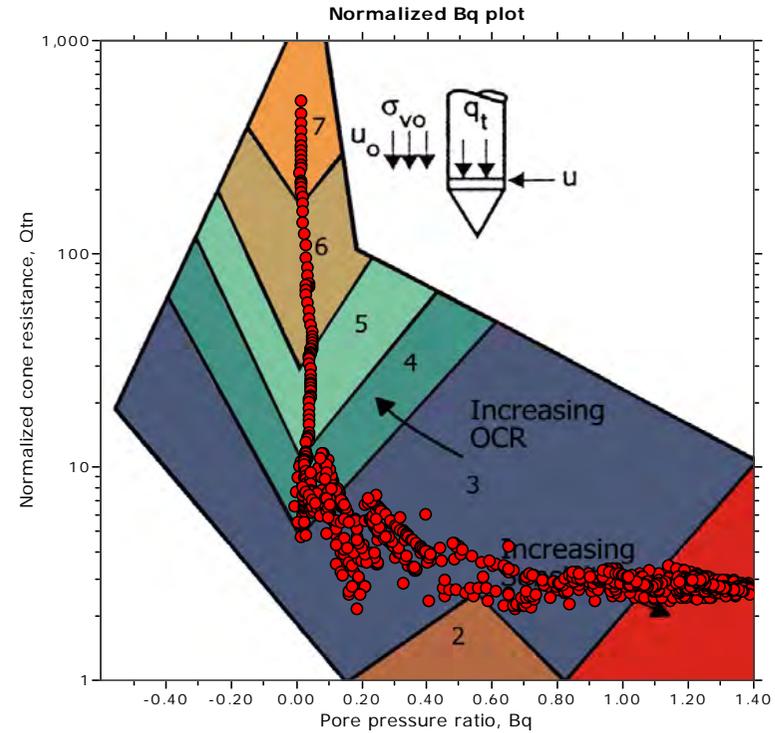
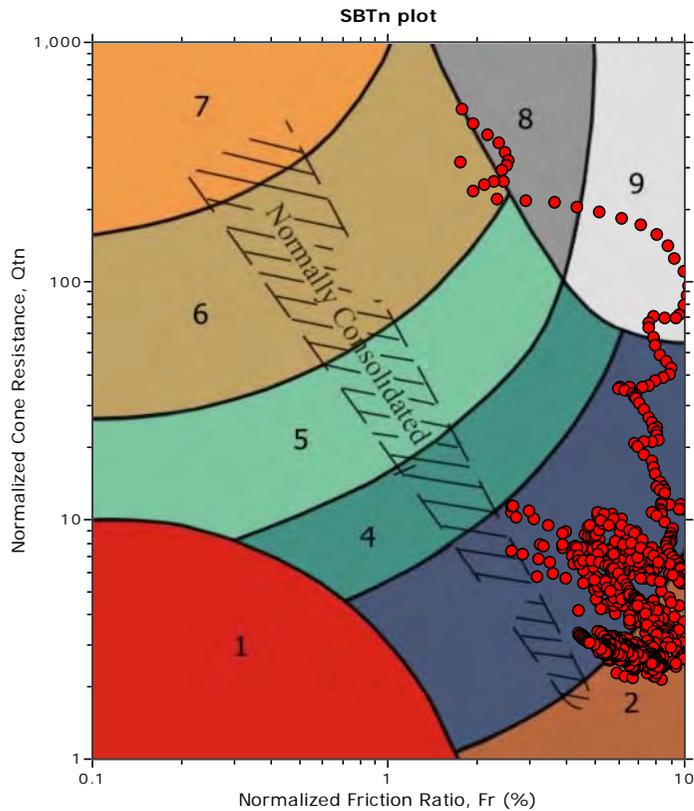
SBT - Bq plots



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 |

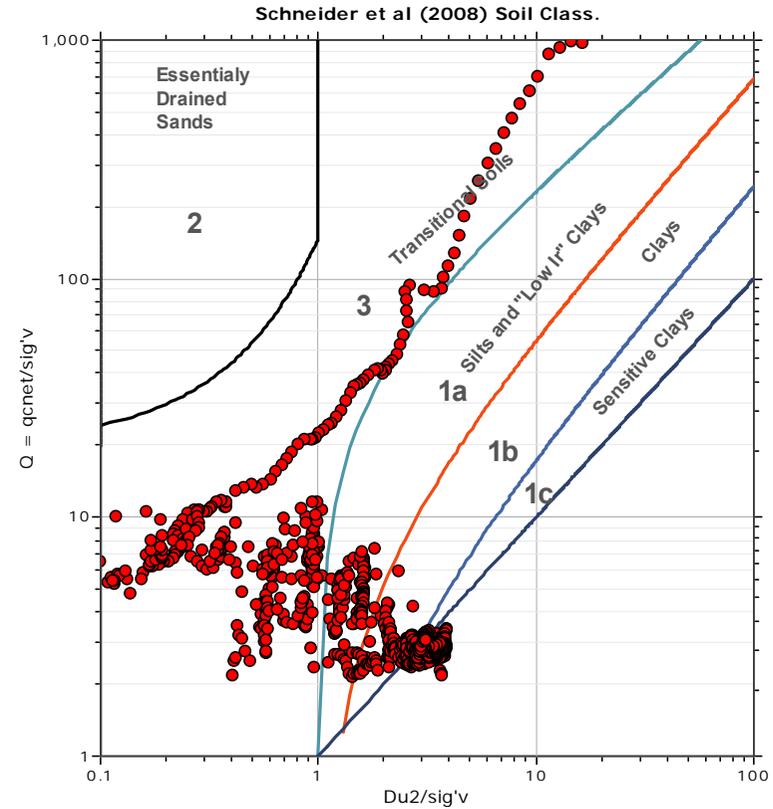
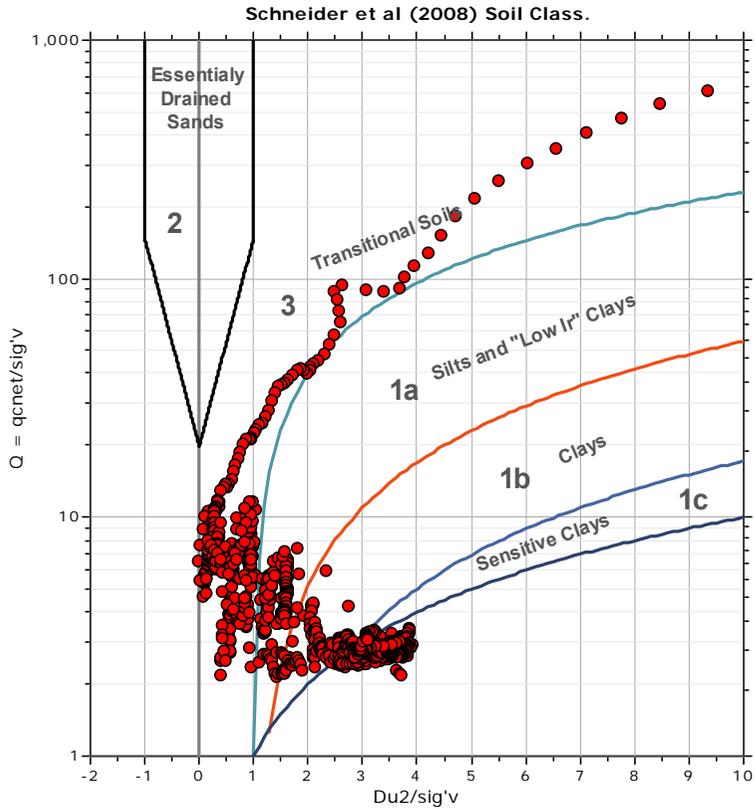
SBT - Bq plots (normalized)

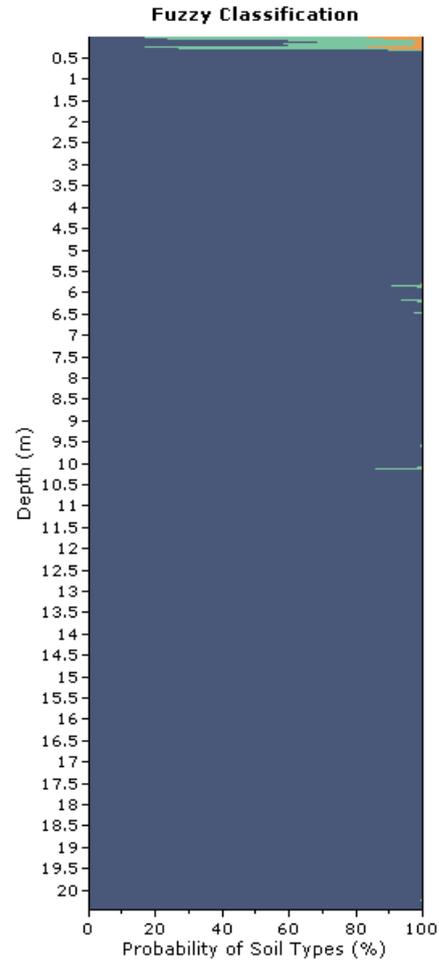
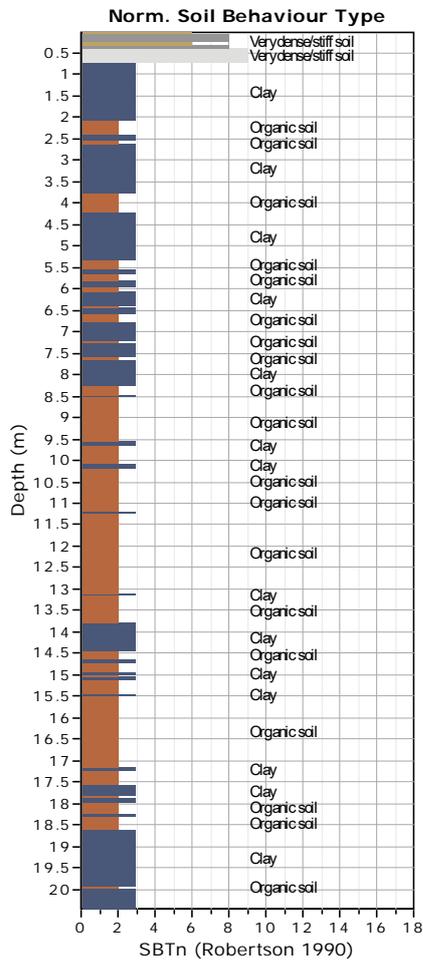


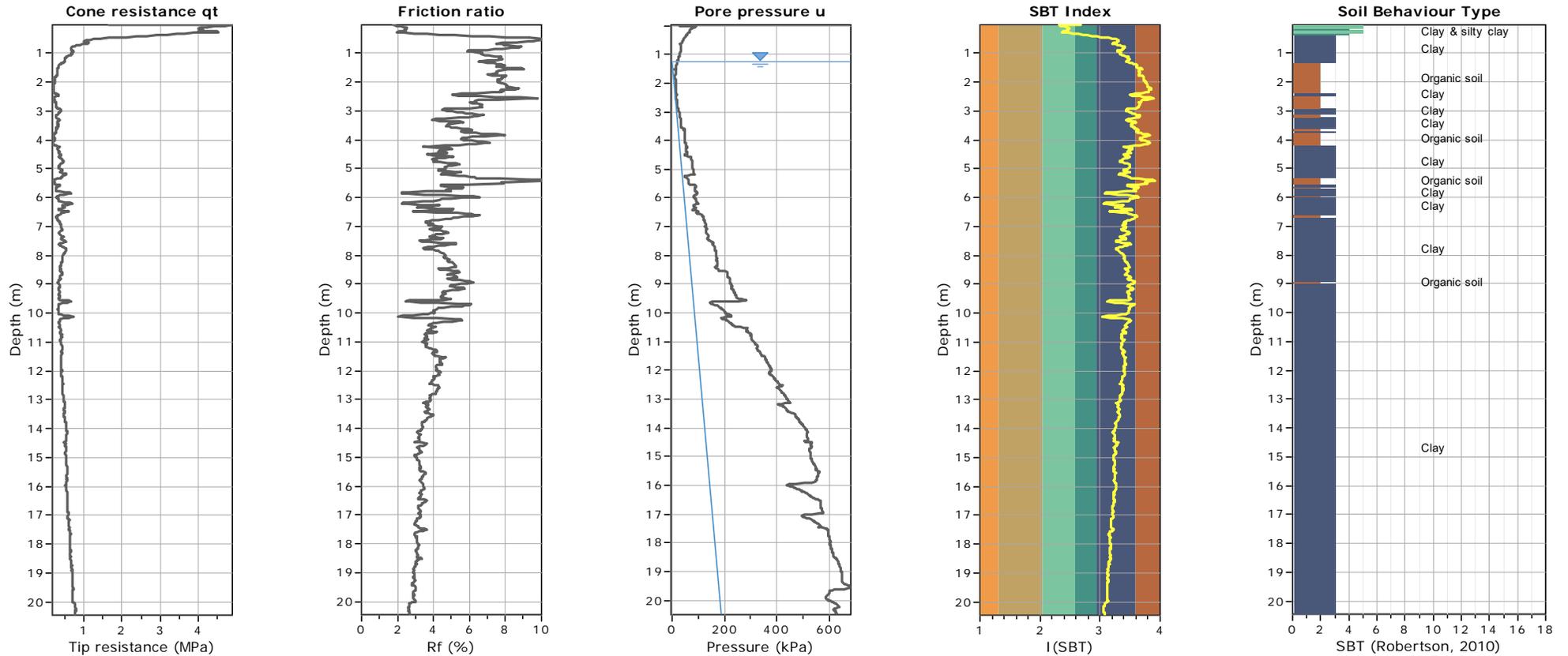
SBTn legend

- | | | |
|--|---|---|
| ■ 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 |

Bq plots (Schneider)

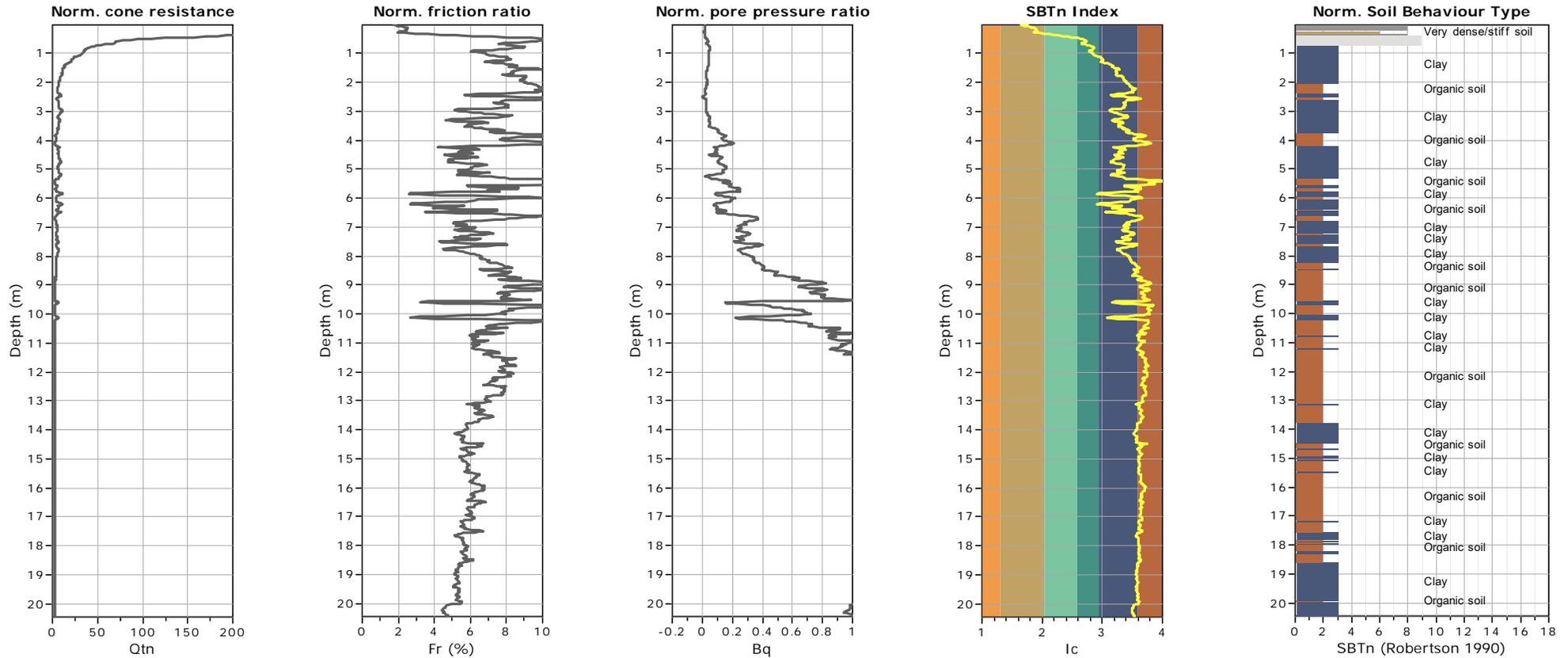






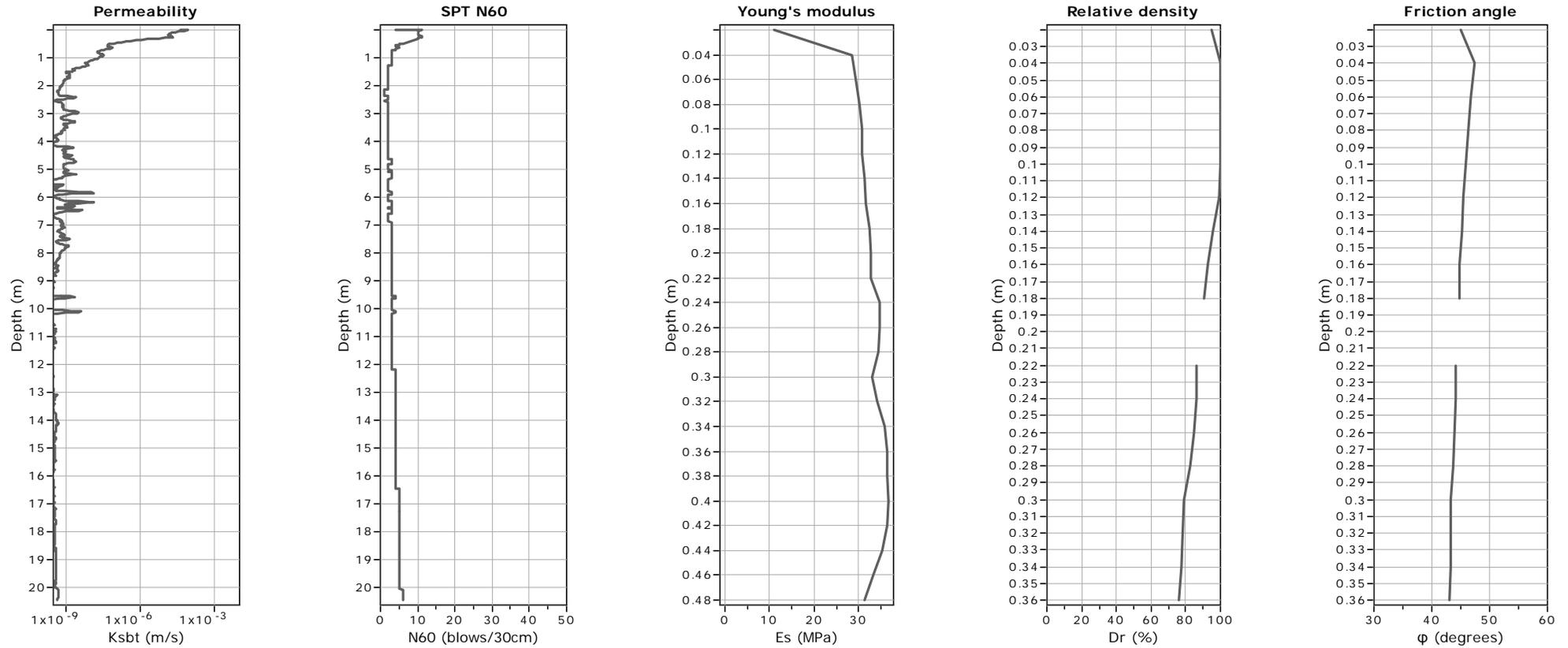
SBT legend

- | | | |
|---|---|---|
| ■ 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 |



SBTn legend

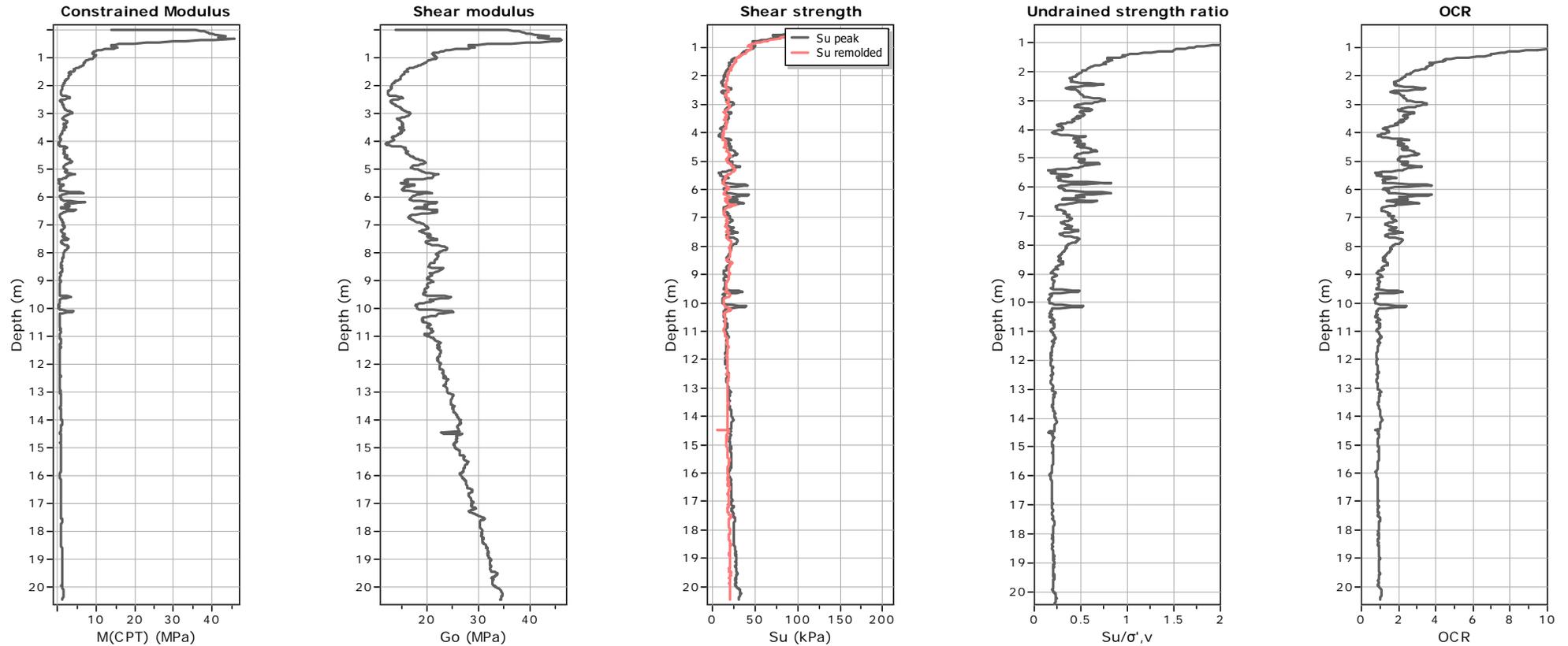
- | | | |
|--|---|---|
| ■ 1. Sensitive fine grained | ■ 4. Clayey silt to silty clay | ■ 7. Gravely sand to sand |
| ■ 2. Organic material | ■ 5. Silty sand to sandy silt | ■ 8. Very stiff sand to clayey sand |
| ■ 3. Clay to silty clay | ■ 6. Clean sand to silty sand | ■ 9. Very stiff fine grained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



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
 SPT N_{60} : 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 Kulhaw & Mayne (1990)
 ● — User defined estimation data



Calculation parameters

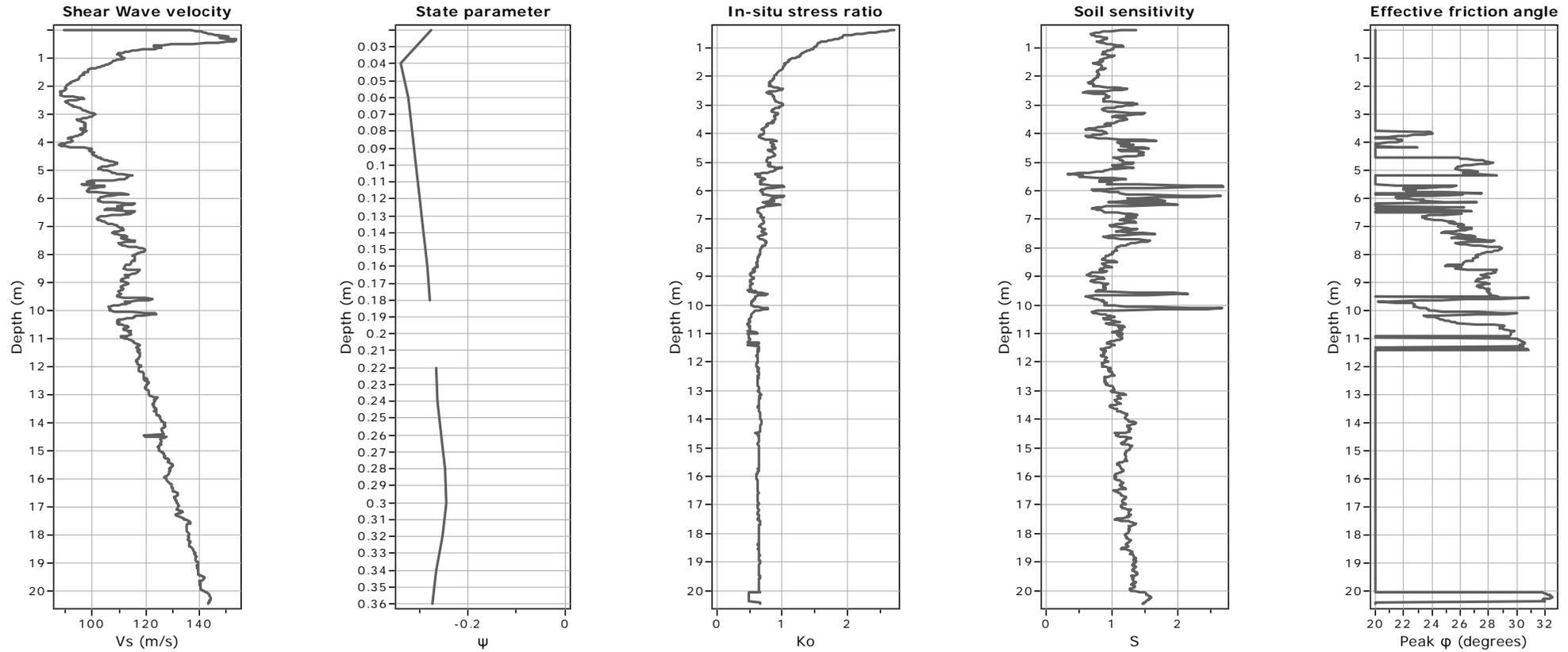
Constrained modulus: Based on variable *alpha* using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

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

Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● — User defined estimation data



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

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 (%) ::

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

:: 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 and 8)

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

If $I_c > 2.20$

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

$a = Q_{tn}$ 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 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

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

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

:: 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 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 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 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., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

RELAZIONE TECNICA

Committente: CEMES S.p.a.

Località: Pisa – Via E. Filiberto

Data Indagine: 08/07/2020

Codice lavoro: 200708b

INDAGINI SISMICHE MASW

INDAGINI SISMICHE HVSR

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano

Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 10/07/2020

GAIA Servizi S.n.c.
di Massimiliano Vannozzi & C.
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167



Sommario

PREMESSA	3
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR	4
GENERALITA'	4
SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE	7
ELABORAZIONE DEI DATI HVSR	7
INDAGINI MASW	10
GENERALITA'	10
SISTEMA DI ACQUISIZIONE	11
INDAGINI EFFETTUATE	12
ELABORAZIONE CONGIUNTA DEI DATI MASW E HVSR	12

PREMESSA

Per incarico della CEMES S.p.a., sono state eseguite indagini geofisiche in Via E. Filiberto, nel Comune di Pisa.

Tali indagini sono finalizzate alla ricostruzione della distribuzione e dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo, per determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (VS), è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di superficie da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), sono inoltre state eseguite una serie di misure di microtremiti atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e a meglio vincolare il modello VS specie in profondità.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

GENERALITA'

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 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:

- dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti s dei microtremori;
- 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;
- dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) 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.

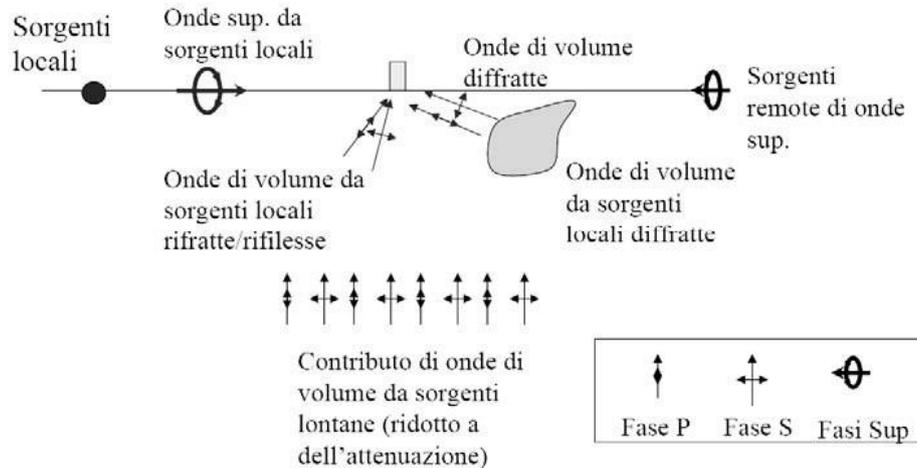


Figura 1: Modalità di generazione e propagazione di microtremore

Dunque, 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 che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

L'ottenimento di una stratigrafia sismica da indagini a stazione singola, deriva dai primi studi di Kanai (1957) in poi, per cui diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

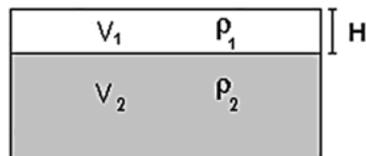
Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche del metodo HVSR sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche.

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.



L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a (equazione 1):

$$(f_r) = V_s / 4H$$

$$(f_r) = V_p / 4H$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione 1.

L'utilità delle misure H/V risiede quindi nella possibilità di ricavare empiricamente la frequenza di sito e, a fianco di curve di dispersione date da misure MASW, a vincolare il modello V_s specie in profondità.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE – INDAGINI EFFETTUATE

La misura prevede la registrazione del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di geofono tridimensionale.

La strumentazione di acquisizione utilizzata per la presente indagine è un prospettore sismico SARA "SR04 GeoBox" a 3 canali completo di geofono 3D da superficie, che presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: 300 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

Lo strumento di misura è stato orientato secondo le direzioni geografiche (E e W).

Sono state eseguite n°1 registrazioni della durata di circa 20 minuti.

ELABORAZIONE DEI DATI HVSR

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 dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L'elaborazione dei dati raccolti impiega il software *winMASW Academy* in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (*Site effects assessment using ambient excitations, 2005*).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale.

In fase di elaborazione vengono seguite le seguenti operazioni:

1. la registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
2. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
3. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
4. 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, che gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti" e che la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

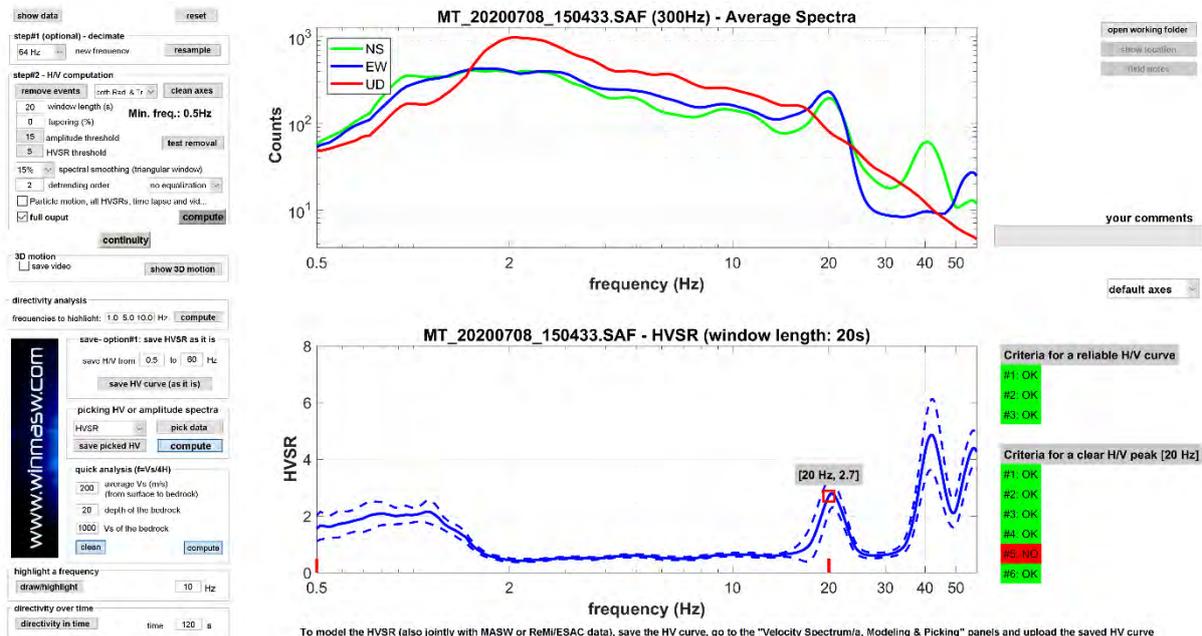
Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l'ottenimento di una curva H/V affidabile.

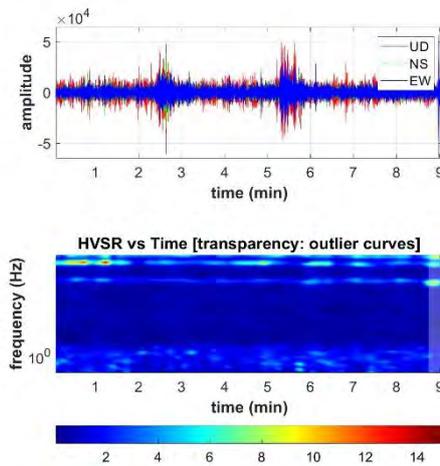
HVSR 1

Dataset: MT_20200708_150433.SAF
 Sampling frequency (Hz): 300
 Window length (sec): 20
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
 Length of analysed dataset (min): 10.0
 Tapering (%): 0
 Smoothing (%): 15

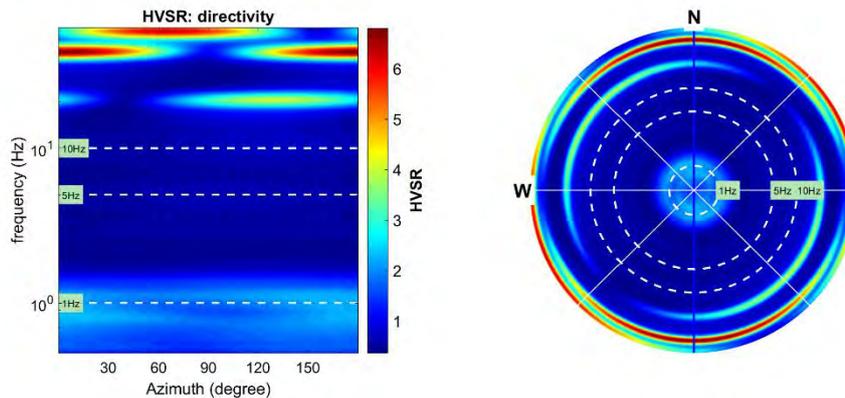
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



PERSISTENZA H/V



DIREZIONALITA' H/V



In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 20.0
 Peak HVS value: 2.7

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. $[f_0 > 10/L_w]: 20.000 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]: 22000 > 200$ (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. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]:$ yes, at frequency 5.0Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]:$ yes, at frequency 23.3Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]: 2.7 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \text{ \& } \sigma_A(f)] = f_0 \text{ \& } 5\%]:$ (OK)
- #5. $[\sigma_f < \epsilon(f_0)]: 9.068 > 1.000$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 1.099 < 1.58$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities. Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters they can change

INDAGINI MASW

GENERALITA'

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

Negli ultimi decenni l'analisi delle onde di superficie si è dimostrata un utile strumento per la determinazione del profilo verticale VS non più solamente per studi di carattere crostale (e.g. Evison et al., 1959) ma anche per indagini *near surface* (Stokoe et al., 1988; Glangeaud et al., 1999; Park et al., 1999; Xia et al., 1999; 2004; Shtivelman, 1999; 2002; Foti et al., 2000; Louie, 2001; O'Neill et al., 2006; Dal Moro et al., 2007; Dal Moro & Papan, 2007).

La sismica a rifrazione ad onde di corpo (P ed S) ha così trovato una valida integrazione, in grado di superare i limiti connessi al canale a bassa velocità (*Low Velocity Layer - LVL*) ed allo strato nascosto (*blind layer*).

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

SISTEMA DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati per indagini MASW deve essere effettuato uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale per generare onde di Rayleigh e/o una "di taglio" per quelle di Love.

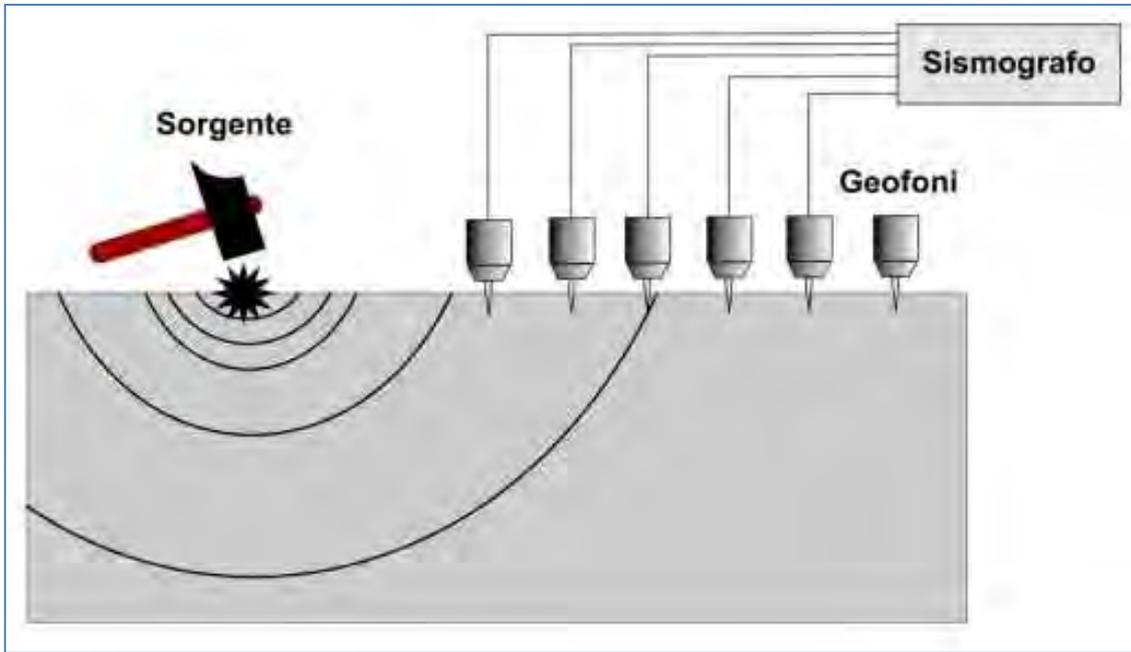


Figura 2: Esempio schematico di stendimento sismico tipo MASW

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico Ambrogeo Echo 24/2002 a 16 bit, collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz in configurazione ZVF per acquisire la componente verticale dell'onda di Rayleigh.

Come sorgente energizzante è stata utilizzata una mazza da 10 kg.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (gefono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta.

INDAGINI EFFETTUATE

Sono state eseguite n°1 prospezioni sismiche tipo MASW in onde di Rayleigh (componente verticale ZVF).

Le acquisizioni sono state eseguite in base alle seguenti configurazioni:

CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW	
N° geofoni	24 (orizzontali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	1.5 m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1: 5m; 6.5m
Sorgente	mazza da 10kg



Figura 3: Stendimento sismico MASW1

ELABORAZIONE CONGIUNTA DEI DATI MASW E HVSR

I dati acquisiti sono stati elaborati utilizzando il software *winMASW Academy*.

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. si caricano il file acquisiti in campagna (files SEG Y)
2. calcolo dello spettro di velocità (che rappresenta, in scala colorimetrica, le ampiezze delle onde in funzione della velocità di fase e della frequenza)
3. identificazione della curva di dispersione
4. modellazione congiunta considerando la dispersione delle onde di Rayleigh e rapporto spettrale H/V

L'analisi dei dati è stata quindi svolta considerando congiuntamente, dispersione delle onde di Rayleigh e rapporto spettrale H/V.

La modellazione è riportata nelle Figure 4 e 5 mentre il modello finale è riportato in Pagina 15.

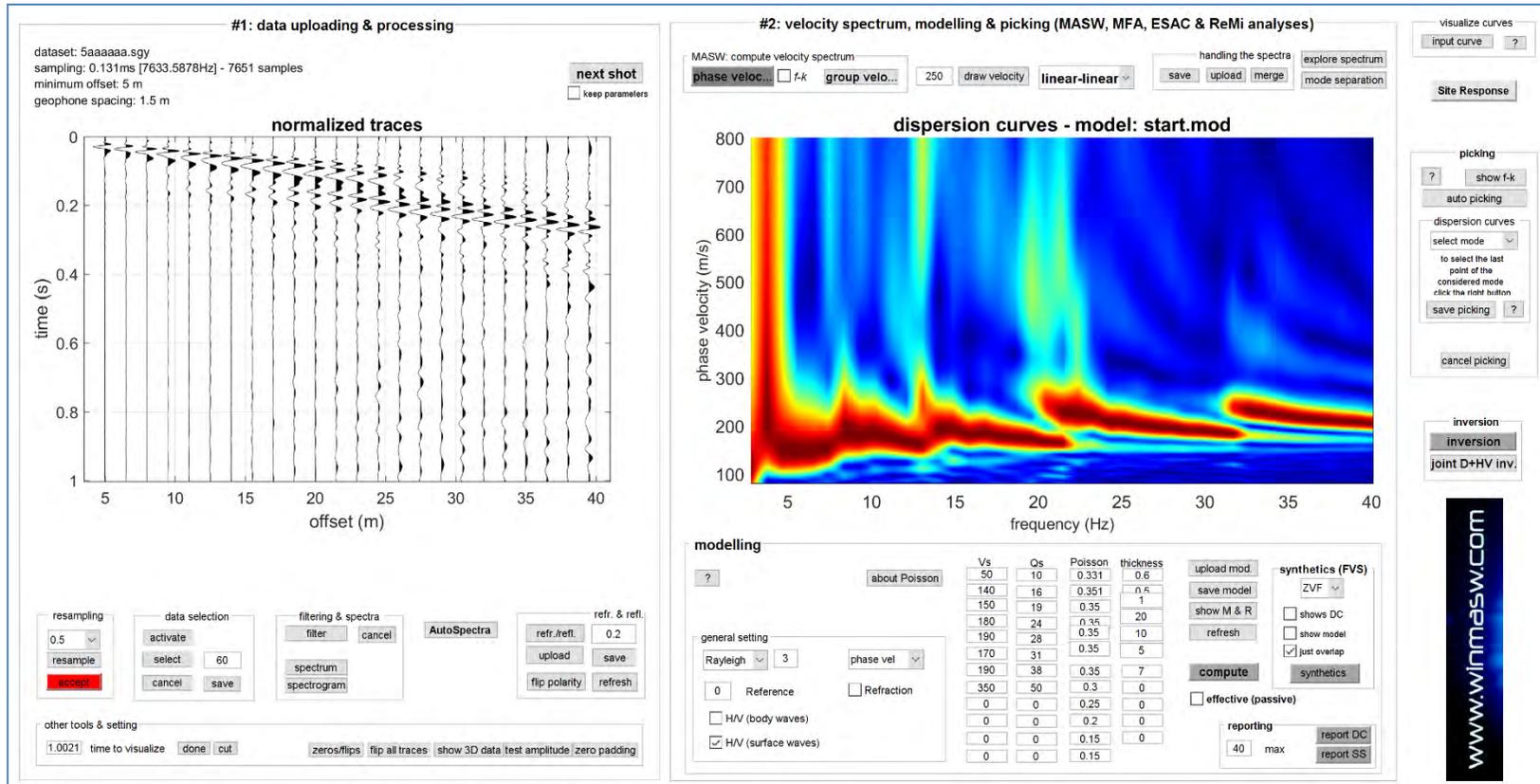


Figura 4: Sulla sinistra le tracce sismiche relative alla componenti ZVF e sulla destra i relativi spettri di velocità

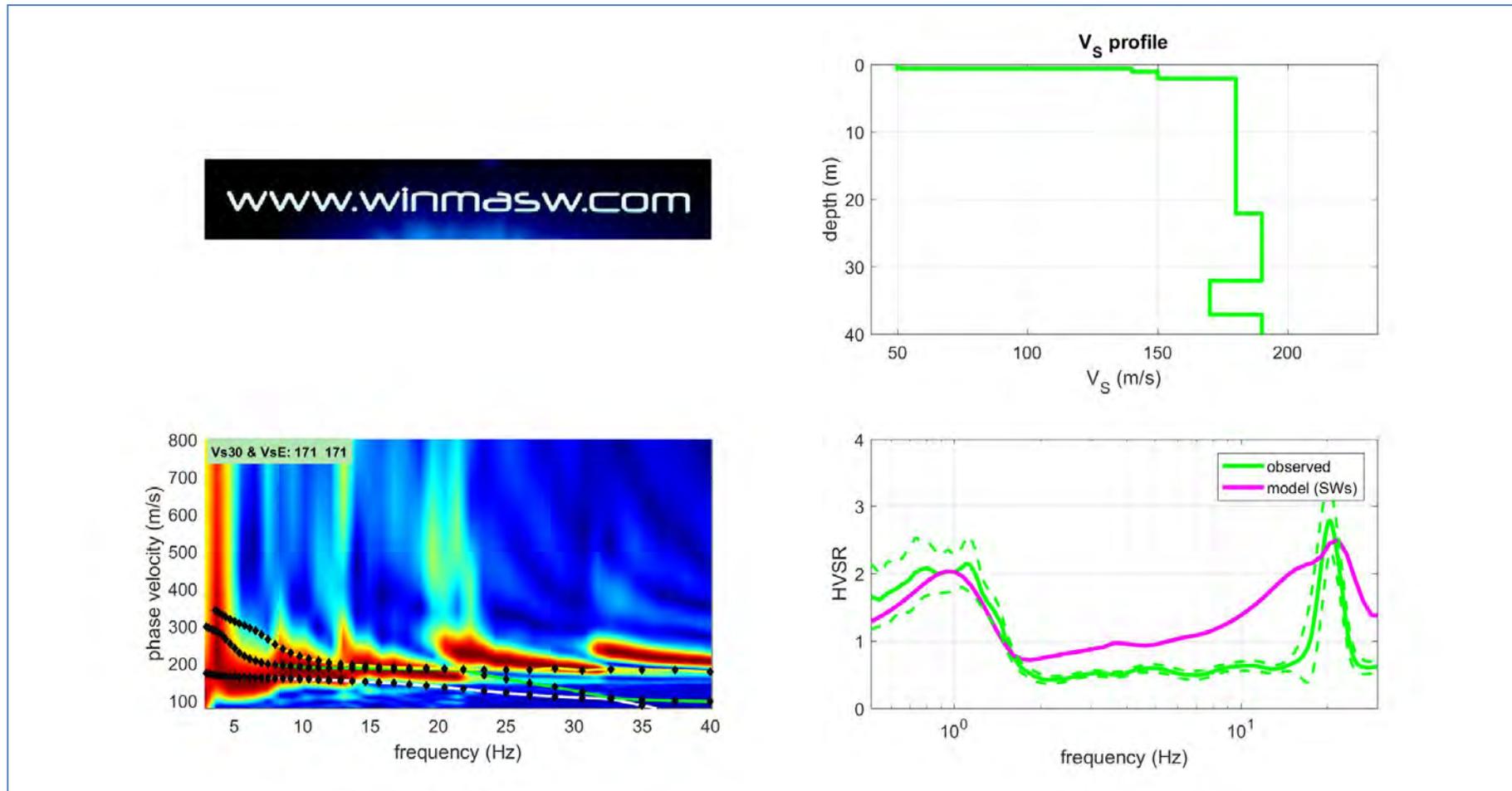


Figura 5 Sulla sinistra gli spettri di velocità relativi alla componenti ZVF con in sovrapposizione le curve di dispersione per l'onda di Rayleigh; Sulla destra in basso in blu le misure HVSR effettuate in sito e in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009); in alto il modello usato per la modellazione.

Mean model

Vs (m/s): 50, 140, 150, 180, 190, 170, 190, 350

Thickness (m): 0.6, 0.5, 1.0, 20.0, 10.0, 5.0, 7.0

Vs model (Vs30 & VsE: 171 171 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	50	0.6000	0.6000
2	140	0.5000	1.1000
3	150	1	2.1000
4	180	20	22.1000
5	190	10	32.1000
6	170	5	37.1000
7	190	7	44.1000
8	350	0	0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.50 1.76 1.77 1.82 1.83 1.80 1.83 1.95

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 4 34 40 59 66 52 66 239

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 0 0 0 0

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 99 292 312 375 395 354 395 655

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

Vs30 and VsE (m/s): 171 171

San Giuliano Terme (PI),

10 luglio 2020

GAIA Servizi S.n.c.

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.
 di Massimiliano Vannozzi & C.
 Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)
 P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167