

E.GEA - Studio di Geologia Tecnica

Geologo Marco Palazzetti

Via del Poggetto, 439/L - 55100 Lucca

tel. 3314803505

e.mail: e.gea.m.palazzetti@gmail.com

P.IVA: 02397300464

UBICAZIONE	LOC. "VILLANUOVA" VIA SAN DONATO (COMUNE DI EMPOLI)
RICHIEDENTE	SIG.RA MARIA PIA GALLI E SIG.RA PAOLA LUCIA GALLI
PROGETTO	PIANO DI RECUPERO CON CONTESTUALE RICHIESTA DI REVISIONE DEL VINCOLO DI PROTEZIONE RELATIVA ALL'EDIFICIO "EX FATTORIA SAN DONATO VAL DI BOTTE" (ai sensi DPGR 53/R -
PROGETTISTA	ARCH. LUCA BEVILACQUA
INDAGINI GEOLOGICHE	GEOL. MARCO PALAZZETTI
COLLABORATORE	Geol. Cristina Mariotti Bianchi

CODICE ELABORATO	TITOLO	SCALA	CODICE LAVORO
	RELAZIONE GEOLOGICA		013.17.LU
			DATA
			Aprile 2017

IL GEOLOGO

Marco Palazzetti

AGGIORNAMENTI	DATA	VARIANTI	DATA	VARIANTI	DATA	VARIANTI

INDICE

1) PREMESSA.....	2
2) LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI; MORFOGENESI QUATERNARIA	3
3) CARATTERI GEOLOGICI RELATIVI ALL'AREA IN ESAME.....	3
3.1) Acquisizione dati	3
3.2) Morfologia	3
3.3) Geologia, stratigrafia e caratteristiche meccaniche dei terreni	4
3.4) Idrogeologia	5
3.5) Lineamenti idraulici generali e di dettaglio	5
3.6) Sismicità dell'area e determinazione categoria di suolo di fondazione	6
4) VALUTAZIONE DI PERICOLOSITA' DELL'AREA.....	8
5) VALUTAZIONE DI FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI PREVISTI	10
6) PROBLEMATICHE DA AFFRONTARE IN FASE ESECUTIVA.....	12

ALLEGATI NEL TESTO

N° Allegato	Titolo
ALL. 1	Prove penetrometriche statiche CPT
ALL. 2	Indagini sismiche MASW e HVSR

TAVOLE FUORI TESTO

N° Tavola	Titolo
TAV. 1	Corografia, Inquadramento geologico, Planimetria, Sezione geologica
TAV. 2	Estratti da Piano Strutturale del Comune di Empoli e da Piano Assetto Idrogeologico - Autorità di Bacino F. Arno
TAV. 3	Carte della Pericolosità geologica, idraulica e sismica (ai sensi DPGR 53/R 2011)
TAV. 4	Carte della Fattibilità geologica, idraulica e sismica (ai sensi DPGR 53/R 2011)

1) PREMESSA

Nel presente rapporto si illustrano le indagini geologiche effettuate di supporto alla proposta di “Piano di Recupero con contestuale richiesta di revisione del vincolo di protezione” relativa all'edificio “Ex Fattoria San Donato Val di Botte” in Comune di Empoli (FI), Loc. Villanuova, Via San Donato.

Per quanto riguarda le normative vigenti in materia, si è fatto riferimento a quanto segue:

- L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il Governo del Territorio) e regolamento di attuazione Art. 62 in materia di indagini geologiche
- “Piano Territoriale di Coordinamento” della provincia di Firenze
- D.P.G.R. 53/R 2011 Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche. (Bollettino Ufficiale n. 51, parte prima, del 02.11.2011)
- Variante di minima entità al Piano Strutturale e secondo Regolamento Urbanistico adottato con Del. C.C. n. 1 del 19 gennaio 2013 aggiornato secondo le indicazioni del D.P.G.R. n. 53/R/2011 (“Regolamento di attuazione dell'Art. 62 della L.R. 1/2005 in materia di indagini geologiche”); Del C.C. 72 del 4/11/2013
- Piano di Gestione del Rischio da Alluvioni (PGRA) del bacino del Fiume Arno, adottato con Del. C.I. n° 231 e Del. C.I. n° 232 del 17.12.2015;
- *P.A.I. Autorità di Bacino F. Arno approvato con D.P.C.M. del 06.05.2005;*
- Del. G.R.T. n. 878 del 08.10.2012 – Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 – Revoca della D.G.R.T. 431/2006.

2) LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI; MORFOGENESI QUATERNARIA

La zona dove ricade l'area in oggetto è caratterizzata da rilievi costituiti da sedimenti del ciclo neogenico, qui rappresentati prevalentemente dalla formazione delle Argille azzurre di età pliocenica superiore. A questa formazione si intercalano frequentemente orizzonti ghiaiosi e sabbiosi, spesso di dimensioni cartografabili, quale quello affiorante poco a Sud-Est dell'area in esame.

Procedendo verso Nord-Ovest i sedimenti pliocenici immergono al di sotto dei terreni alluvionali della pianura di età olocenica, rappresentati prevalentemente da ghiaie e sabbie nelle fasce prospicienti i rilievi e da sedimenti progressivamente più fini procedendo verso le zone centrali della pianura.

Le aree collinari sono interessate da modellamenti recenti del rilievo, prevalentemente rappresentati da frane di varia tipologia. Si tratta in genere di movimenti attivi o quiescenti di colamento a lenta evoluzione o di frane di scorrimento.

3) CARATTERI GEOLOGICI RELATIVI ALL'AREA IN ESAME

3.1) *Acquisizione dati*

I dati relativi alle caratteristiche geologiche e idrogeologiche generali sono stati ricavati dalla letteratura geologica disponibile e da una campagna geognostica consistita in:

- N. 2 prove penetrometriche statiche (CPT)
- N. 1 prospezione sismica MASW
- N. 1 prospezione sismica HVSR
- Revisione della letteratura geologica disponibile e nuovo rilievo di superficie

3.2) *Morfologia*

L'area in esame si colloca a quote comprese tra circa 50 e 55 m s.l.m., a sud-ovest del nucleo urbano di Empoli, sulle propaggini collinari che si raccordano poco più a Nord-Ovest con la pianura alluvionale.

I gradienti morfologici medi naturali sono in genere compresi tra il 5 e il 15%. Spesso l'andamento morfologico naturale è modificato da interventi antropici quali muri di contenimento, lavorazioni agricole, ecc.

L'area in esame è costituita da una porzione NW pianeggiante corrispondente ad un terrapieno artificiale sostenuto da un muro di contenimento di altezza max di circa 1,30 m che a valle si raccorda con la pianura.

Il settore SE dell'area è invece costituito da lieve declivio naturale con pendenze massime di circa il 10%.

3.3) Geologia, stratigrafia e caratteristiche meccaniche dei terreni

La cartografia geologica disponibile indica la presenza di rilievi costituiti dalla formazione delle Argille azzurre con intercalazioni anche consistenti di livelli ghiaioso-sabbiosi e sabbiosi.

Dalle indagini effettuate, è stato possibile ricostruire la stratigrafia locale dove si evidenzia l'effettiva presenza di sedimenti prevalentemente argillosi con intercalazioni di livelli argilloso-sabbiosi e sabbiosi.

Più in dettaglio, riferendosi separatamente alle due prove penetrometriche, si ha quanto segue (v. ubicazione in Tav. 1):

Penetrometria P1

M da p.c.	Litologia terreno	Parametri geotecnici
0,0 – 1,6	Terreno di riporto e suolo vegetale: elementi grossolani (laterizi, pietrame, ecc), sabbia e limo	φ : 32° cu: 0,6 kg/cm ² γ : 1,9 t/m ³ E _{ed} : 50 kg/cm ²
1,6 – 2,5	Argilla organica	φ : 28° cu: 0,7 kg/cm ² γ : 1,9 t/m ³ E _{ed} : 65 kg/cm ²
2,5 – 7,2	Argilla inorganica con sottili livelli di argilla sabbiosa	φ : 30° cu: 1,4 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E _{ed} : 130 kg/cm ²
7,2 – 10,6	Argilla inorganica sabbioso-limosa	φ : 32° cu: 1,8 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E _{ed} : 170 kg/cm ²

cu = coesione non drenata

φ = angolo di attrito interno

mv = coefficiente di compressibilità volumetrica

γ = peso di volume del terreno asciutto

γ' = peso di volume del terreno immerso

Penetrometria P2

M da p.c.	Litologia terreno	Parametri geotecnici
0,0 – 0,8	Suolo vegetale: sabbia e limo	φ : 32° cu: 2,0 kg/cm ² γ : 1,9 t/m ³ E _{ed} : 180 kg/cm ²
0,8 – 3,4	Argilla inorganica con sottili livelli di argilla sabbiosa	φ : 31° cu: 1,7 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E _{ed} : 160 kg/cm ²
3,4 – 3,8	Argilla organica	φ : 28° cu: 1,2 kg/cm ²

		γ : 2,0 t/m ³ E_{ed} : 110 kg/cm ²
3,8 – 5,4	Argilla inorganica sabbioso-limosa	ϕ : 34° c_u : 3,3 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E_{ed} : 310 kg/cm ²
5,4 – 6,0	Argilla inorganica con sottili livelli di argilla sabbiosa	ϕ : 33° c_u : 3,5 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E_{ed} : 315 kg/cm ²
6,0 -7,8	Argilla inorganica sabbioso-limosa	ϕ : 34° c_u : 3,5 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E_{ed} : 310 kg/cm ²
7,8 – 10,0	Argilla inorganica con sottili livelli di argilla sabbiosa	ϕ : 31° c_u : 1,9 kg/cm ² γ : 2,0 t/m ³ E_{ed} : 170 kg/cm ²

c_u = coesione non drenata

ϕ = angolo di attrito interno

E_{ed} = Modulo edometrico

γ = peso di volume del terreno asciutto

Nell'insieme si riconoscono successioni di terreni privi di livelli scadenti. In genere si rilevano relativamente elevati valori di angolo di attrito interno, di coesione non drenata e di modulo edometrico che portano quindi ad evidenziare terreni dotati di buoni valori di resistenza al taglio e bassa comprimibilità.

3.4) Idrogeologia

Per l'individuazione delle possibili circolazioni idriche sotterranee, i perfori delle penetrometrie e dei sondaggi sono stati condizionati come piezometri.

Dalle misurazioni effettuate direttamente, non sono stati rilevati livelli di falda fino alle quote indagate (-10 m dal p.c.).

Non è però da escludere che in periodi piovosi si possano instaurare circolazioni idriche a carattere effimero o ristagni in corrispondenza di uno o più dei livelli descritti.

Relativamente alle permeabilità dei terreni, si può operare la seguente classificazione:

Tipo di permeabilità	Grado di permeabilità
Terreni permeabili per porosità primaria (deposizionale)	
Argilla organica	Basso
Argilla inorganica con sottili livelli di argilla sabbiosa	Basso
Argilla inorganica sabbioso-limosa	Basso / medio-basso

3.5) Lineamenti idraulici generali e di dettaglio

L'area ricade nel bacino idrografico del Rio della Piovola verso cui converge il piccolo corso d'acqua che scorre poco oltre il limite Est dell'area in esame.

Per il resto, il reticolo idraulico è costituito da una rete di canalette interpoderali, tuttora mantenute in efficienza, quale quella che scorre a valle del muro posto al limite Nord dell'area in esame ed anch'essa tributaria del Rio della Piovola.

Anche all'interno dell'area di proprietà, esiste un reticolo drenante che fa capo alla canaletta interpoderale prima descritta.

Nell'area in esame non si sono inoltre rilevate condizioni locali predisponenti a fenomeni di ristagno significativi.

3.6) Sismicità dell'area e determinazione categoria di suolo di fondazione

Il Comune di Empoli, ai sensi dell'Allegato 1 della D.G.R.T. n. 878 del 08.10.2012 rientra nella Zona sismica 3.

L'indagine sismica, per i cui dettagli si rimanda all'Allegato 2, indica un progressivo incremento delle velocità delle Onde SH che, escludendo i primi decimetri dal p.c., passano da circa 220 a 600 m/s a circa 20 m di profondità.

In dettaglio sono stati individuati i seguenti sismo strati:

	Profondità m	Spessore m	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)
Sismostrato 1	0,0 – 0,3	0,3	69	35
Sismostrato 2	0,3 – 0,8	0,5	458	220
Sismostrato 3	0,8 – 1,8	1,0	479	230
Sismostrato 4	1,8 – 3,8	2,0	520	250
Sismostrato 5	3,8 – 7,8	4,0	624	300
Sismostrato 6	7,0 – 12,8	5,0	666	320
Sismostrato 7	12,8 – 19,8	7,0	833	400
Sismostrato 8	19,8 – 30,0	10,2	1122	600

Dall'osservazione del grafico si rileva un graduale incremento della velocità di propagazione delle onde Sh con la profondità senza salti di velocità sismica particolarmente accentuati. Fino alla profondità indagata non è stato intercettato il bedrock sismico.

Per quanto concerne la determinazione della categoria di sottosuolo è stata calcolata la velocità equivalente delle onde di taglio V_{s30} ai sensi del D.M. 14.01.08 - Norme Tecniche per le Costruzioni utilizzando le velocità delle onde S dei sismo-strati individuati con l'indagine down-hole ed inserite nella seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum h_i/V_{si}}$$

Il valore delle V_{s30} ricavato dall'indagine sismica e riferito al piano di campagna è pari a **346 m/sec.**

Considerando le V_{s30} a partire dal piano medio di campagna, si ha quindi una categoria di suolo di tipo C.

Riferendosi invece alla profondità di appoggio prevedibile per normali opere di fondazione (0,8-1,0 m), si passa invece ad una categoria di suolo di fondazione B.

Di seguito si danno quindi le definizioni di entrambe le categorie di suolo di fondazione di cui si dovrà tenere conto in sede di progettazione delle opere di fondazione e di altre eventuali opere di progetto.

praticamente coincidenti con il p.c. attuale, il valore della $V_{s,30}$ di riferimento può essere direttamente quello fornito dalle prospezioni sismiche (MASW e Onde SH), che in entrambi i casi forniscono una categoria di suolo di fondazione tipo C, così definita ai sensi delle Norme Tecniche delle Costruzioni (2008), Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Data la morfologia sub pianeggiante dell'area, si può considerare la categoria topografica **T1**: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $< 15^\circ$; a tale categoria corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica $St = 1,0$

Nelle aree di pianura è in generale da prendere in considerazione la possibilità che si verifichino, in seguito ad un sisma, dei fenomeni di cedimento e cedimento differenziale e/o fenomeni di liquefazione.

Sono da escludere fenomeni di amplificazione per cause litologiche grazie al sufficiente grado di addensamento e compattazione dei terreni alluvionali e dato che dalla prospezione sismica down-hole è emerso un graduale incremento della velocità di propagazione delle onde S con la profondità.

Le indagini eseguite hanno evidenziato che i sismo-strati individuati fino alla profondità di 30 m, sono caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde S che aumenta con la profondità e con valori compresi tra 200 m/sec e 600 m/sec (escludendo il suolo vegetale e il sottile strato di terreno di riporto).

Studi condotti da *Jamiolkowsky e Altri – 2004* hanno constatato che non sono mai stati osservati fenomeni di liquefazione per terreni caratterizzati da $V_s > 200$ m/sec; in base a tali studi si ritiene di poter escludere fenomeni di liquefazione nei terreni di fondazione.

4) VALUTAZIONE DI PERICOLOSITA' DELL'AREA

Da quanto emerso dalle analisi effettuate e dalla revisione della cartografia redatta a supporto degli Strumenti Urbanistici vigenti, si giunge alle seguenti definizioni di pericolosità geomorfologica, idraulica e sismica, ai sensi del DPGR 53/R – 2011 (v. anche Tavv. 2 e 3 fuori testo).

In particolare, non ricadendo l'area nella cartografia di Piano Strutturale per quanto riguarda una classificazione di pericolosità sismica, si è proceduto mediante i dati sismici acquisiti direttamente in loco, ad una definizione in tal senso

Quindi alla luce dei dati bibliografici e di nuova acquisizione, si passa a proporre, per l'area oggetto di Piano di Recupero, la seguente classificazione di pericolosità:

PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (ai sensi DPGR 53/R – 2011)

Si conferma quanto indicato nella cartografia redatta a supporto degli Strumenti urbanistici vigenti:

Classe Pericolosità geomorfologica (ai sensi DPGR 53/R – 2011)	Caratteri
G3 Pericolosità geomorfologica elevata	Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 20%. Corrisponde a parte del settore Sud dell'area in esame
G2 Pericolosità media	Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacitureali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 20%. Corrisponde al settore Nord dell'area in esame.

PERICOLOSITA' IDRAULICA

Si conferma quanto indicato nella cartografia redatta a supporto degli Strumenti urbanistici vigenti:

Classe Pericolosità idraulica (ai sensi DPGR 53/R – 2011)	Caratteri
I1 Pericolosità bassa	Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni: Non vi sono notizie storiche d'inondazioni Sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda

PERICOLOSITA' SISMICA

A livello di Strumenti urbanistici vigenti non è stata definita per l'area in esame una classificazione della pericolosità sismica.

Di seguito si riporta quindi una proposta di classificazione basata sia sui dati esistenti, reperiti negli studi geologici effettuati a supporto degli Strumenti urbanistici in situazioni confrontabili per assetto litostratigrafico e morfologico, sia ricavati dalla campagna geognostica effettuata direttamente sull'area oggetto di Piano di Recupero.

Classe Pericolosità Sismica (ai sensi DPGR 53/R – 2011)	Caratteri
<p style="text-align: center;">S2 Pericolosità sismica media</p>	<p>Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe S3)</p>

5) VALUTAZIONE DI FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Ai sensi della L.R. 3/1/2005 n. 1, si indicano di seguito le varie classi di fattibilità così definite:

Classe Fattibilità	Caratteri
F4 Fattibilità limitata	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 e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili alla predisposizione della relativa progettazione
F3 Fattibilità condizionata	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
F2 Fattibilità con normali vincoli	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.
F1 Fattibilità senza particolari limitazioni	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

Il Piano propone il recupero dei seguenti corpi di fabbrica:

Casa padronale (edificio A)

Casa del fattore (edificio B)

Altri edifici (edifici C, D E e F)

Per quanto riguarda il recupero della Casa padronale non sono previsti interventi strutturali che possano incidere in modo significativo sull'assetto geologico e geotecnico dell'area. E del substrato di fondazione.

Il recupero della Casa del Fattore, prevede la possibilità anche di modesti interventi strutturali mediante sostituzione o consolidamento di alcuni elementi verticali e orizzontali che andranno ad incidere, sia pure in modo lieve sull'assetto geologico-geotecnico dell'area.

Relativamente agli altri edifici, si hanno gli interventi di carattere strutturale di maggior impegno anche per quanto riguarda l'interazione con il substrato di fondazione e con l'assetto geologico e geotecnico locale; si prevedono infatti interventi di demolizione e ricostruzione di alcune porzioni di fabbricati con redistribuzione dei volumi, la realizzazione di porticati, l'adeguamento in altezza di alcuni settori.

Sulla base degli studi effettuati sinora e basandosi anche su quanto riportato nelle indagini geologiche redatte a supporto degli Strumenti urbanistici vigenti, per l'area in esame possono essere definite le seguenti classi di fattibilità geomorfologica, idraulica e sismica, in ordine al tipo di interventi edificatori previsti (ai sensi DPGR 53/R – 2011) (v. Tav. 4 fuori testo):

FATTIBILITA' GEOMORFOLOGICA

Classe di pericolosità	Classe di fattibilità	Caratteri
G3 Pericolosità elevata (settore Sud dell'area)	F3 Fattibilità condizionata	<p>a. sono consentiti, oltre agli interventi di cui alla Classe G4 e con le modalità ivi previste, gli ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, purché corredati da un adeguato studio geotecnico da cui risulti la compatibilità con le condizioni di pericolosità che gravano sull'area.</p> <p>b. l'attuazione di nuovi interventi, le ristrutturazioni urbanistiche e edilizie, diversi da quelli già compresi nella Classe G4 è subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza che devono comunque essere tali da non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti, da non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione generale dell'area e prevenzione dei fenomeni, da consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza e soggetti a parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità di tali opere rispetto alle previsioni generali di sistemazione dell'area.;</p>
G2 Pericolosità media (Settore Nord dell'area)	F2 Fattibilità con normali vincoli	<p>Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità geomorfologia media le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera.</p> <p>Per le procedure e la tipologia di indagini da eseguirsi si rimanda a quanto prescritto dal D.M. 11/03/1988, dalle N.T.C. 2008 e dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 9 luglio 2009, n. 36/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n.- 1 Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico, riportata agli Artt. 4.4-4.5 e 4.6.</p>

FATTIBILITA' IDRAULICA

Classe di pericolosità	Classe di fattibilità	Caratteri
I1 Pericolosità bassa	I Fattibilità senza particolari limitazioni	Non è necessario indicare specifiche condizioni di fattibilità dovute a limitazioni di carattere idraulico

FATTIBILITA' SISMICA

Classe di pericolosità	Classe di fattibilità	Caratteri
S2 Pericolosità media	F2 Fattibilità con normali vincoli	Nelle situazioni caratterizzate da Pericolosità sismica locale media (S2) non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia a meno della definizione della Categoria di suolo di fondazione.

6) PROBLEMATICHE DA AFFRONTARE IN FASE ESECUTIVA

Tenendo conto degli interventi previsti e descritti nel capitolo precedente, in fase di progettazione esecutiva, saranno quindi da considerare le seguenti problematiche:

- Stima delle pressioni ammissibili e dei cedimenti del substrato, Modalità di scavo e di sostegno/stabilizzazione dei fronti di sbancamento (ai sensi DM 14.01.2008 e sue NTA, DPGR 36/R – 2009)
- Sismicità dell'area (ai sensi Del. G.R.T. n. 878 del 08.10.2012 – Aggiornamento della classificazione sismica regionale)
- Revisione e manutenzione del reticolo idraulico esistente, eventuali interventi locali di riassetto e adeguamento
- Gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi D. lgs 152/06 Parte Quarta, Titolo V, All. 5 Tab. 1; Decreto Legge 21 giugno 2013, n° 69, art. 41bis, comma 1, Legge n° 98 del 9 agosto 2013; D.M. 05.02.1998 – All. 3 e s.m.i.

Per quanto riguarda eventuali indagini geognostiche integrative, si ritiene che i dati ricavati dalle presenti indagini siano sostanzialmente sufficienti ad una definizione corretta delle caratteristiche litostratigrafiche e sismiche dell'area d'intervento ed in linea con quanto previsto dal D.P.G.R. 36/-2009 (Classe d'indagine 2).

Eventuali approfondimenti potranno essere effettuati, se ritenuti necessari, in accordo con il tecnico Progettista delle strutture.

Lucca, 10.04.2017

geol. Marco Palazzetti

N° Allegato	Titolo
ALL. 1	Prove penetrometriche statiche CPT



Azienda Certificata
ISO 9001:2008 N. 70Q16704
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e
geofisiche, ambientali, idrometriche"



RELAZIONE TECNICA

Committente:
Sig.ra Maria Pia Galli
Sig.ra Paola Lucia Galli

Località: Villanuova
Empoli (FI)

Data Indagine: 29/03/2017

Codice lavoro: 170329a

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Dott. Jacopo Martini

GAIA Servizi S.n.c.

Via Lenin, 132/Q

56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel/Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

P.IVA: 01667250508

Data elaborazione: 30/03/2017

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

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1: Prova penetrometrica CPT 1



Figura 2: Prova penetrometrica CPT 2

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
TG63-200 - Pagani - Piacenza

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta S (Kg) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale f_s viene computata alla stessa quota della punta .

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (qc / fs)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = qc / fs$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di qc e di $FR = (fs / qc) \% :$**

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

1

riferimento

170329a

certificato n°

176/17

Committente: **Sig.ra Maria Pia Galli - Sig.ra Paola Lucia Galli**
 Cantiere: **170329a**
 Località: **Villanuova - Empoli (FI)**

U.M.: **kg/cm²**

Data eseg.: 29/03/2017

Pagina: 1

Data certificato: 30/03/2017

Elaborato:

Falda: Non rilevata

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	0,0	0		0,00	0,00										
0,40	10,0	18		10,00	0,53	19	5,3								
0,60	12,0	21		12,00	0,60	20	5,0								
0,80	60,0	70		60,00	0,67	90	1,1								
1,00	72,0	89		72,00	1,13	64	1,6								
1,20	160,0	176		160,00	1,07	150	0,7								
1,40	50,0	87		50,00	2,47	20	4,9								
1,60	10,0	21		10,00	0,73	14	7,3								
1,80	13,0	25		13,00	0,80	16	6,2								
2,00	17,0	36		17,00	1,27	13	7,5								
2,20	20,0	43		20,00	1,53	13	7,7								
2,40	24,0	52		24,00	1,87	13	7,8								
2,60	30,0	63		30,00	2,20	14	7,3								
2,80	40,0	74		40,00	2,27	18	5,7								
3,00	38,0	74		38,00	2,40	16	6,3								
3,20	35,0	56		35,00	1,40	25	4,0								
3,40	46,0	87		46,00	2,73	17	5,9								
3,60	46,0	100		46,00	3,60	13	7,8								
3,80	49,0	93		49,00	2,93	17	6,0								
4,00	44,0	100		44,00	3,73	12	8,5								
4,20	50,0	106		50,00	3,73	13	7,5								
4,40	73,0	112		73,00	2,60	28	3,6								
4,60	44,0	100		44,00	3,73	12	8,5								
4,80	47,0	95		47,00	3,20	15	6,8								
5,00	44,0	88		44,00	2,93	15	6,7								
5,20	56,0	107		56,00	3,40	16	6,1								
5,40	50,0	95		50,00	3,00	17	6,0								
5,60	51,0	97		51,00	3,07	17	6,0								
5,80	50,0	96		50,00	3,07	16	6,1								
6,00	36,0	72		36,00	2,40	15	6,7								
6,20	39,0	93		39,00	3,60	11	9,2								
6,40	36,0	70		36,00	2,27	16	6,3								
6,60	34,0	70		34,00	2,40	14	7,1								
6,80	34,0	60		34,00	1,73	20	5,1								
7,00	34,0	61		34,00	1,80	19	5,3								
7,20	41,0	68		41,00	1,80	23	4,4								
7,40	40,0	71		40,00	2,07	19	5,2								
7,60	35,0	75		35,00	2,67	13	7,6								
7,80	40,0	75		40,00	2,33	17	5,8								
8,00	44,0	78		44,00	2,27	19	5,2								
8,20	40,0	80		40,00	2,67	15	6,7								
8,40	30,0	60		30,00	2,00	15	6,7								
8,60	36,0	71		36,00	2,33	15	6,5								
8,80	48,0	81		48,00	2,20	22	4,6								
9,00	49,0	84		49,00	2,33	21	4,8								
9,20	49,0	93		49,00	2,93	17	6,0								
9,40	53,0	99		53,00	3,07	17	5,8								
9,60	60,0	123		60,00	4,20	14	7,0								
9,80	88,0	130		88,00	2,80	31	3,2								
10,00	85,0	138		85,00	3,53	24	4,2								
10,20	67,0	120		67,00	3,53	19	5,3								
10,40	72,0	123		72,00	3,40	21	4,7								
10,60	90,0	153		90,00	4,20	21	4,7								
10,80	76,0	160		76,00	5,60	14	7,4								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
 fs = resistenza laterale calcolata
 alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

1

riferimento

170329a

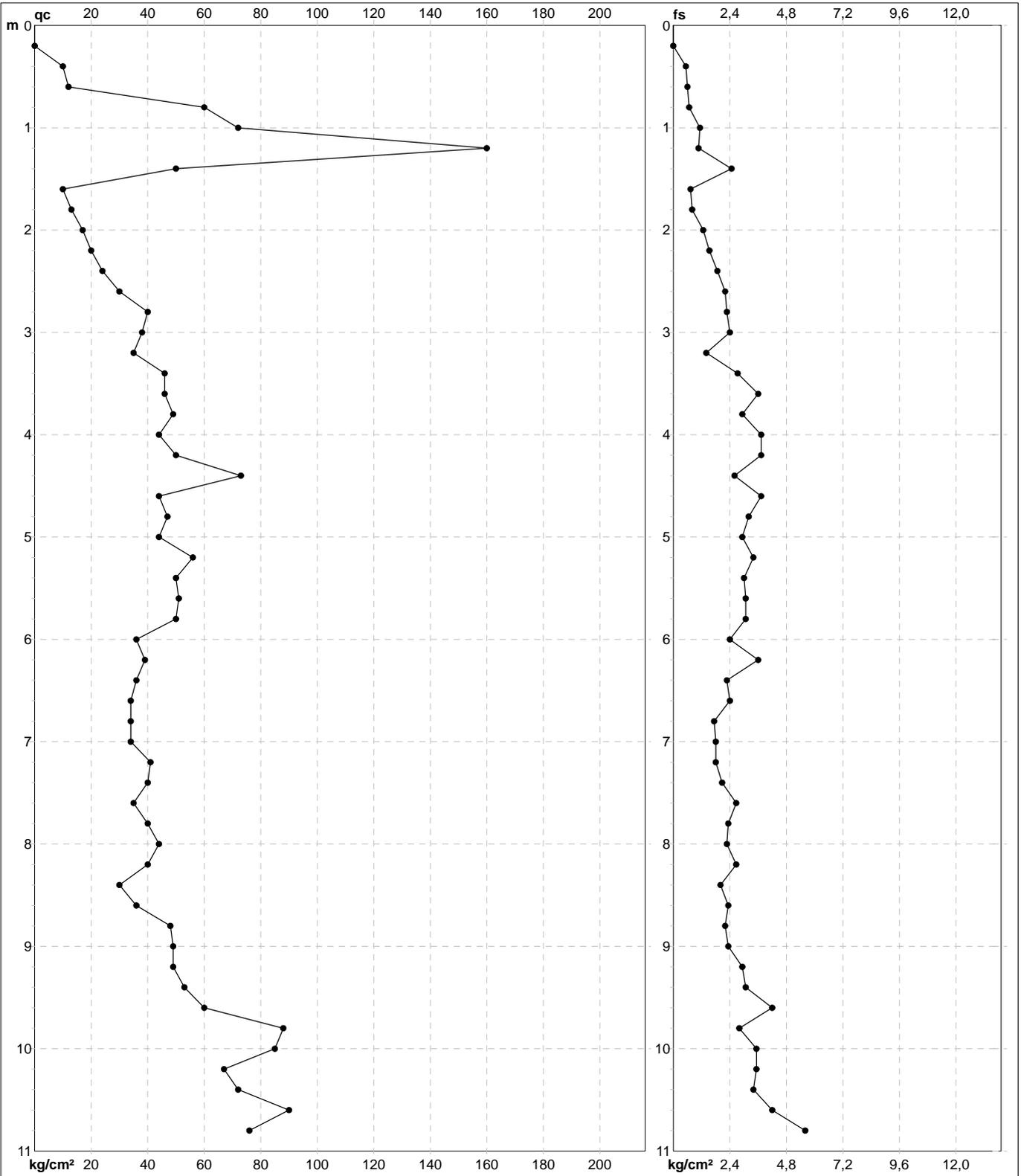
certificato n°

176/17

Committente: **Sig.ra Maria Pia Galli - Sig.ra Paola Lucia Galli**
 Cantiere: **170329a**
 Località: **Villanuova - Empoli (FI)**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:55**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data esec.: **29/03/2017**
 Data certificato: **30/03/2017**
 Quota inizio:
 Falda: **Non rilevata**



	Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Geol. Jacopo Martini Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod. punta:
--	---	---

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

1

riferimento

170329a

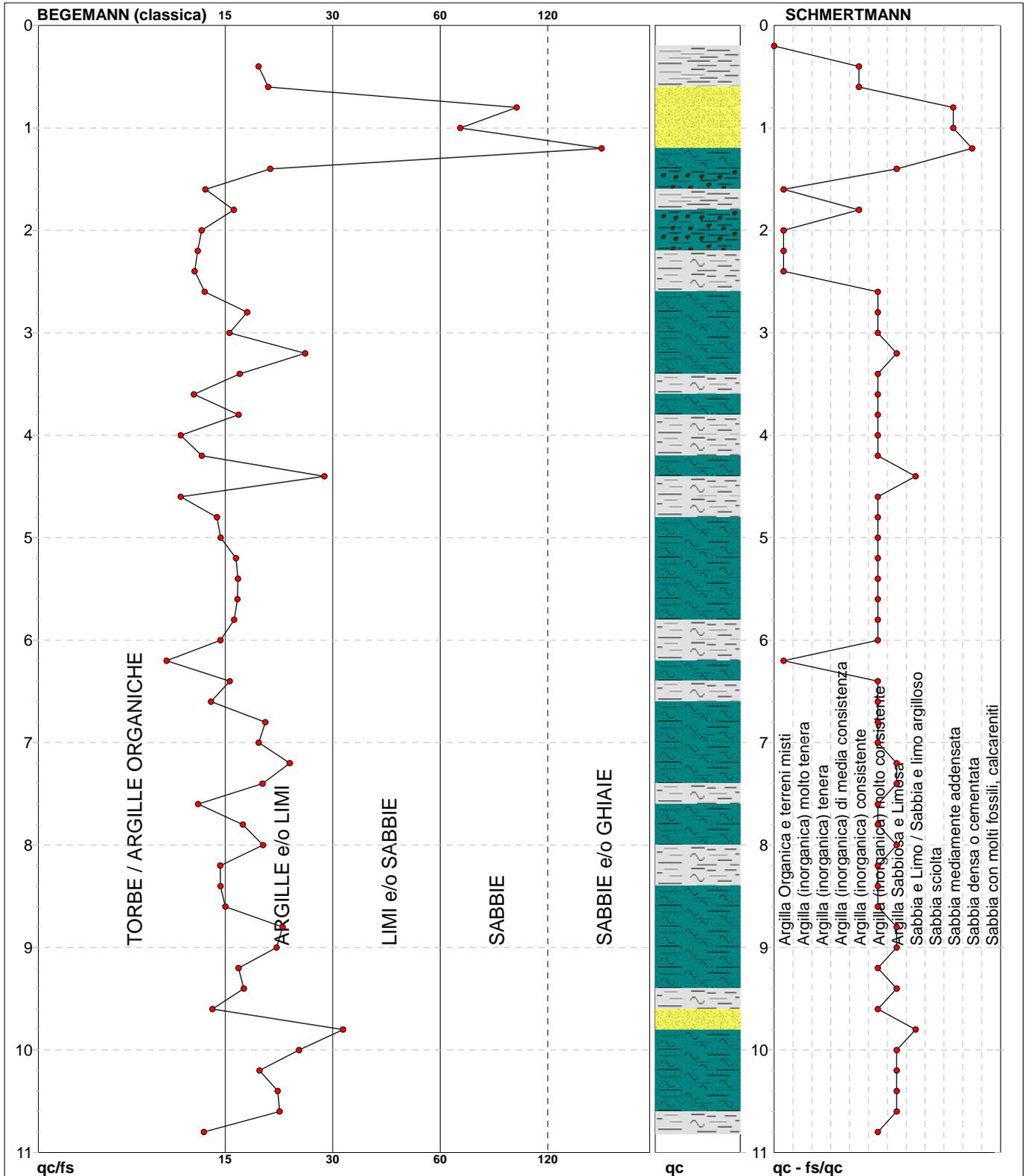
certificato n°

176/17

Committente: **Sig.ra Maria Pia Galli - Sig.ra Paola Lucia Galli**
 Cantiere: **170329a**
 Località: **Villanuova - Empoli (FI)**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:55**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data exec.: **29/03/2017**
 Data certificato: **30/03/2017**
 Falda: **Non rilevata**



Torbe / Argille org. :	20 punti, 37,04%	Argilla Organica e terreni misti:	5 punti, 9,26%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	12 punti, 22,22%
Argille e/o Limi :	31 punti, 57,41%	Argilla (inorganica) consistente:	3 punti, 5,56%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	2 punti, 3,70%
Limi e/o Sabbie :	1 punti, 1,85%	Argilla (inorganica) molto consist.:	28 punti, 51,85%	Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 3,70%
Sabbie:	2 punti, 3,70%			Sabbia densa o cementata:	1 punti, 1,85%
Sabbie e/o Ghiaie :	1 punti, 1,85%				

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

2

riferimento

170329a

certificato n°

177/17

Committente: **Sig.ra Maria Pia Galli - Sig.ra Paola Lucia Galli**
 Cantiere: **170329a**
 Località: **Villanuova - Empoli (FI)**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: 29/03/2017

Pagina: 1

Data certificato: 30/03/2017

Elaborato:

Falda: Non rilevata

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	0,0	0		0,00	0,00										
0,40	57,0	80		57,00	1,53	37	2,7								
0,60	63,0	110		63,00	3,13	20	5,0								
0,80	80,0	98		80,00	1,20	67	1,5								
1,00	57,0	122		57,00	4,33	13	7,6								
1,20	54,0	130		54,00	5,07	11	9,4								
1,40	63,0	152		63,00	5,93	11	9,4								
1,60	67,0	160		67,00	6,20	11	9,3								
1,80	59,0	166		59,00	7,13	8	12,1								
2,00	50,0	120		50,00	4,67	11	9,3								
2,20	45,0	105		45,00	4,00	11	8,9								
2,40	46,0	112		46,00	4,40	10	9,6								
2,60	55,0	114		55,00	3,93	14	7,1								
2,80	46,0	120		46,00	4,93	9	10,7								
3,00	46,0	112		46,00	4,40	10	9,6								
3,20	63,0	153		63,00	6,00	11	9,5								
3,40	47,0	126		47,00	5,27	9	11,2								
3,60	36,0	86		36,00	3,33	11	9,3								
3,80	39,0	100		39,00	4,07	10	10,4								
4,00	62,0	112		62,00	3,33	19	5,4								
4,20	67,0	140		67,00	4,87	14	7,3								
4,40	94,0	120		94,00	1,73	54	1,8								
4,60	112,0	220		112,00	7,20	16	6,4								
4,80	122,0	240		122,00	7,87	16	6,5								
5,00	115,0	270		115,00	10,33	11	9,0								
5,20	170,0	300		170,00	8,67	20	5,1								
5,40	113,0	270		113,00	10,47	11	9,3								
5,60	90,0	250		90,00	10,67	8	11,9								
5,80	113,0	240		113,00	8,47	13	7,5								
6,00	113,0	245		113,00	8,80	13	7,8								
6,20	152,0	290		152,00	9,20	17	6,1								
6,40	134,0	260		134,00	8,40	16	6,3								
6,60	124,0	280		124,00	10,40	12	8,4								
6,80	73,0	159		73,00	5,73	13	7,8								
7,00	108,0	214		108,00	7,07	15	6,5								
7,20	90,0	182		90,00	6,13	15	6,8								
7,40	97,0	190		97,00	6,20	16	6,4								
7,60	92,0	188		92,00	6,40	14	7,0								
7,80	116,0	240		116,00	8,27	14	7,1								
8,00	85,0	200		85,00	7,67	11	9,0								
8,20	81,0	200		81,00	7,93	10	9,8								
8,40	52,0	132		52,00	5,33	10	10,3								
8,60	62,0	127		62,00	4,33	14	7,0								
8,80	46,0	93		46,00	3,13	15	6,8								
9,00	58,0	110		58,00	3,47	17	6,0								
9,20	55,0	115		55,00	4,00	14	7,3								
9,40	49,0	113		49,00	4,27	11	8,7								
9,60	45,0	95		45,00	3,33	14	7,4								
9,80	46,0	107		46,00	4,07	11	8,8								
10,00	48,0	110		48,00	4,13	12	8,6								

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
 fs = resistenza laterale calcolata
 alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

2

riferimento

170329a

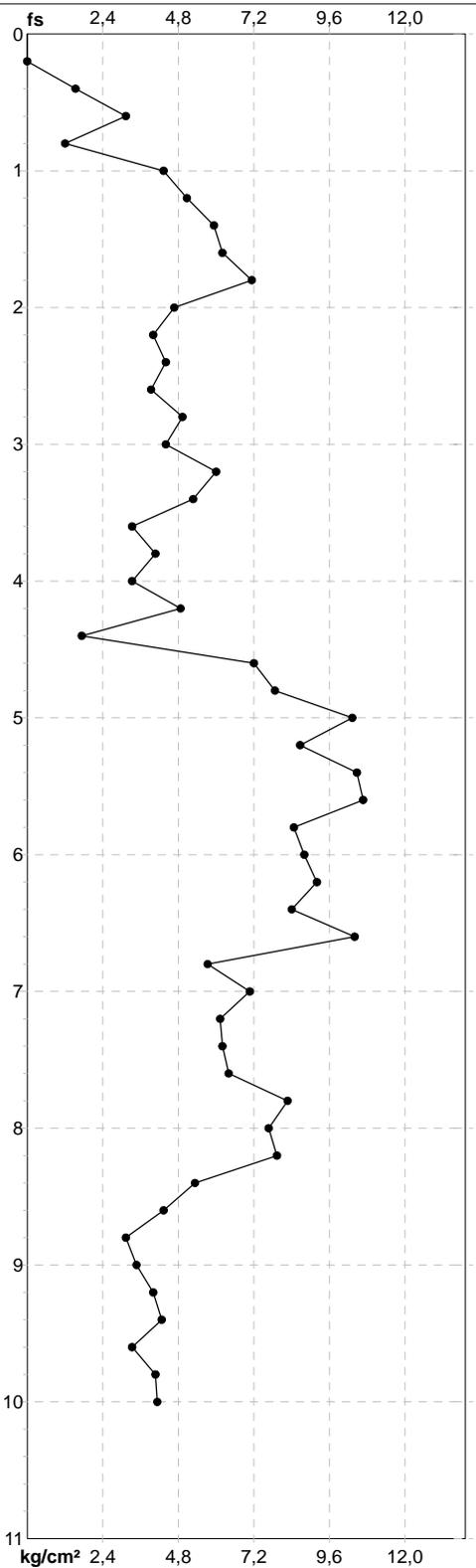
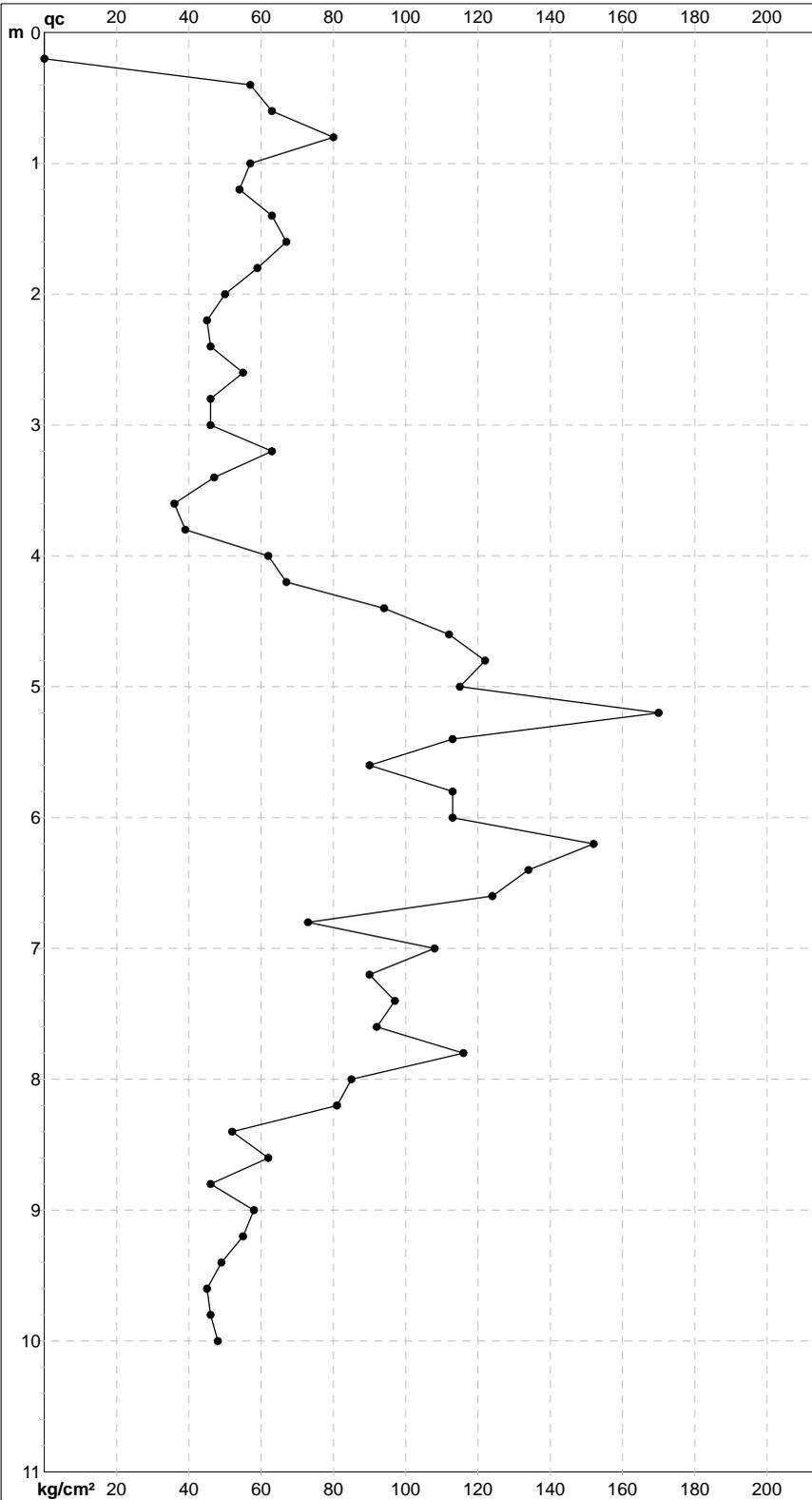
certificato n°

177/17

Committente: **Sig.ra Maria Pia Galli - Sig.ra Paola Lucia Galli**
 Cantiere: **170329a**
 Località: **Villanuova - Empoli (FI)**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: **1:55**
 Pagina: **1**
 Elaborato:

Data exec.: **29/03/2017**
 Data certificato: **30/03/2017**
 Quota inizio:
 Falda: **Non rilevata**



		Penetrometro: TG63-200 Responsabile: Geol. Jacopo Martini Assistente:	Preforo: m Corr.astine: kg/ml Cod. punta:
--	--	---	---

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
2

riferimento

170329a

certificato n°

177/17

 Committente: **Sig.ra Maria Pia Galli - Sig.ra Paola Lucia Galli**

 Cantiere: **170329a**

 Località: **Villanuova - Empoli (FI)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data exec.: 29/03/2017

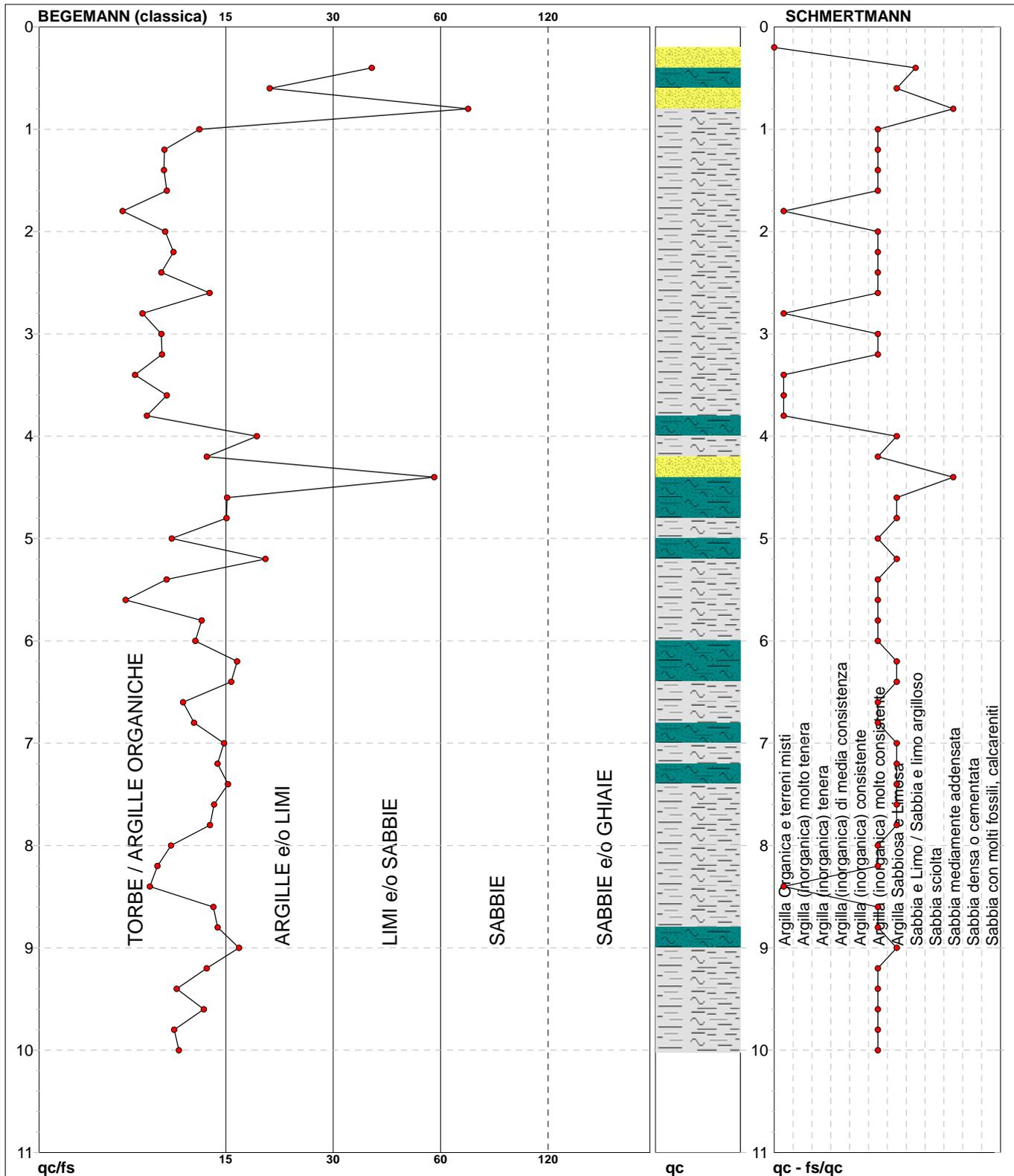
Scala: 1:55

Data certificato: 30/03/2017

Pagina: 1

Elaborato:

Falda: Non rilevata



Torbe / Argille org. :	42 punti, 77,78%	Argilla Organica e terreni misti:	6 punti, 11,11%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	13 punti, 24,07%
Argille e/o Limi :	10 punti, 18,52%	Argilla (inorganica) molto consist.:	27 punti, 50,00%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	1 punti, 1,85%
Limi e/o Sabbie :	2 punti, 3,70%			Sabbia mediamente addensata:	2 punti, 3,70%
Sabbie:	1 punti, 1,85%				

N° Allegato	Titolo
ALL. 2	Indagini sismiche MASW e HVSR



Azienda Certificata
ISO 9001:2008 N. 70Q16704
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e
geofisiche, ambientali, idrometriche"



RELAZIONE TECNICA

Committente: Maria Pia Galli -
Paola Lucia Galli

Località: Villanova - Empoli
Data Indagine: 29/03/2017

Codice lavoro: 170329a

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@giaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 01/04/2017

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.....	13

PREMESSA

Per incarico di Maria Pia Galli - Paola Lucia Galli, sono state eseguite indagini geofisiche in Località Villanova, nel Comune di Empoli.

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 microtrempi 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 microtremiti.

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 microtremiti;
- 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.

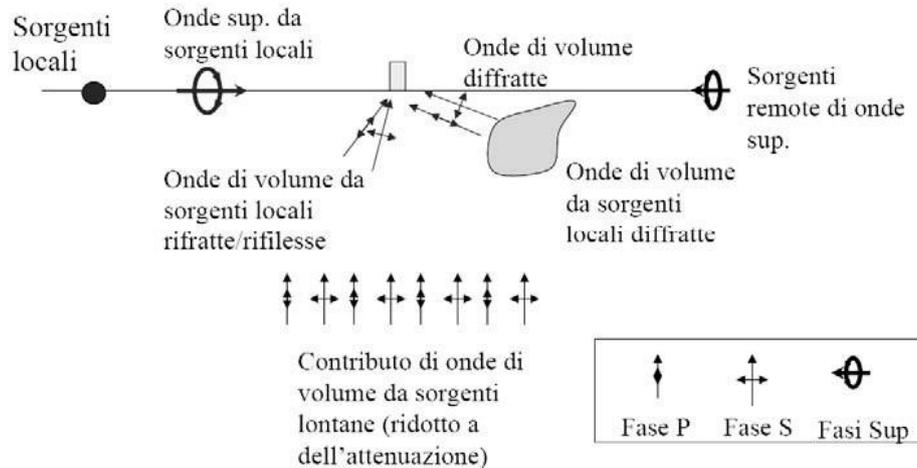


Figura 1: Modalità di generazione e propagazione di microtremore

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.

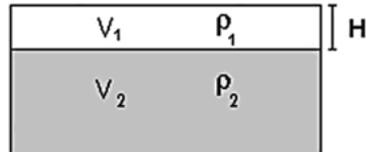
Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

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):

$$(f_r) = V_s1/4H$$

$$(f_r) = V_p1/4H$$

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 f_0 – 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_20170329_111841.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

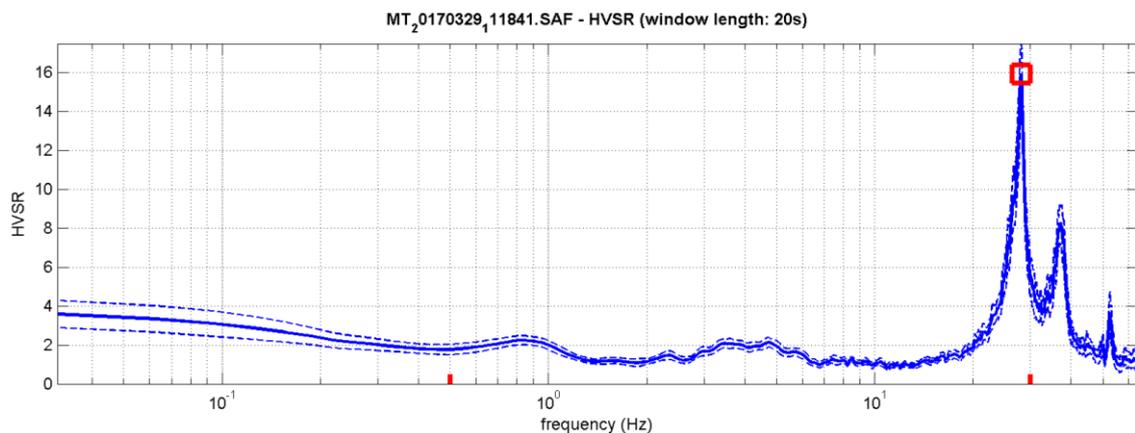
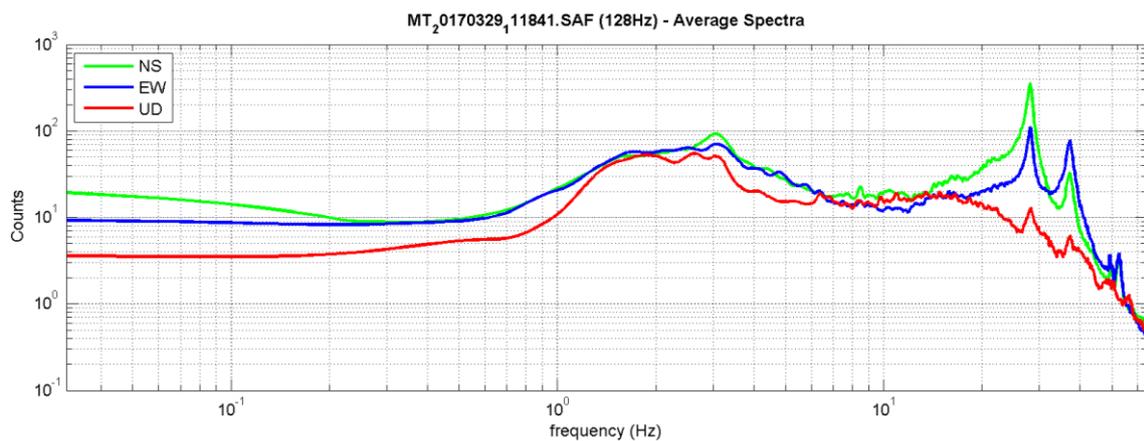
Window length (sec): 20

Length of analysed dataset (min): 9.5

Tapering (%): 0

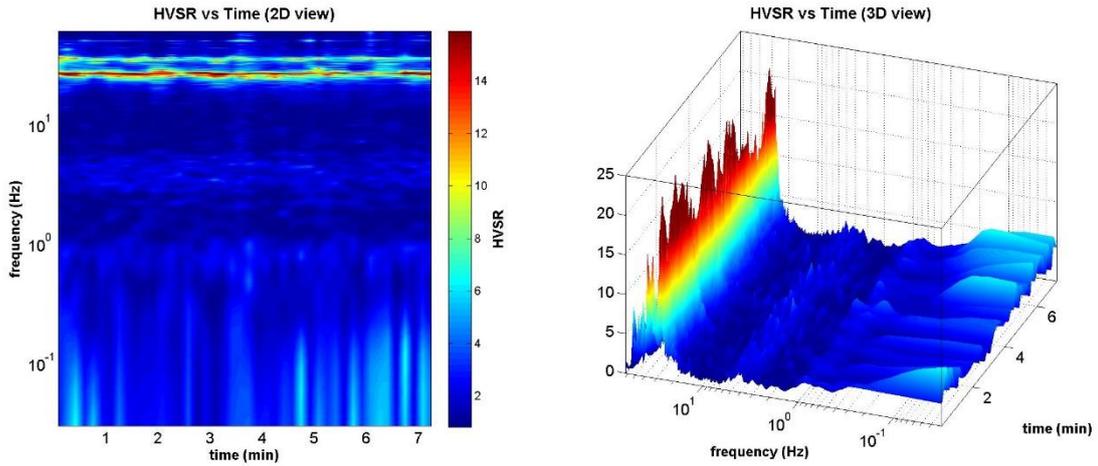
Smoothing (%): 5

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

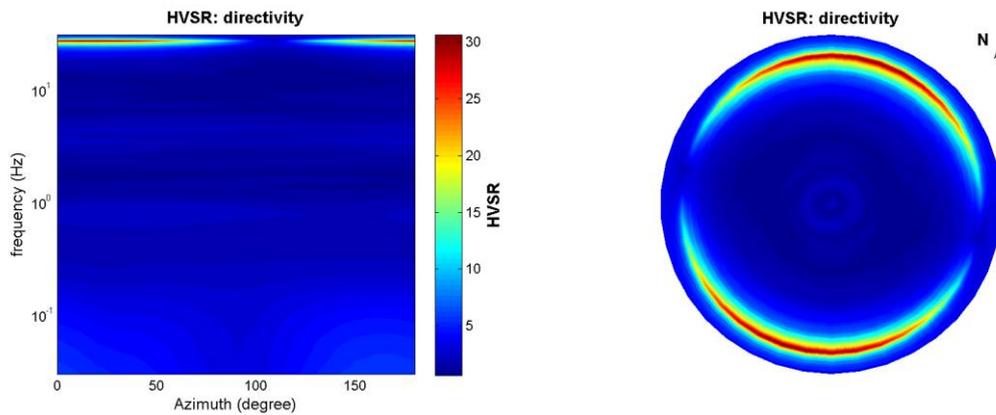


To model the HVSR (also jointly with MASW or ReM/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

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): 28.1
 Peak HVSR value: 15.9

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

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $28.076 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $24707 > 200$ (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 7.0Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: yes, at frequency 29.2Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $15.9 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_f < \epsilon(f_0)]$: $0.497 < 1.404$ (OK)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $1.558 < 1.58$ (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; Glangaud 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 & Pipan, 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.

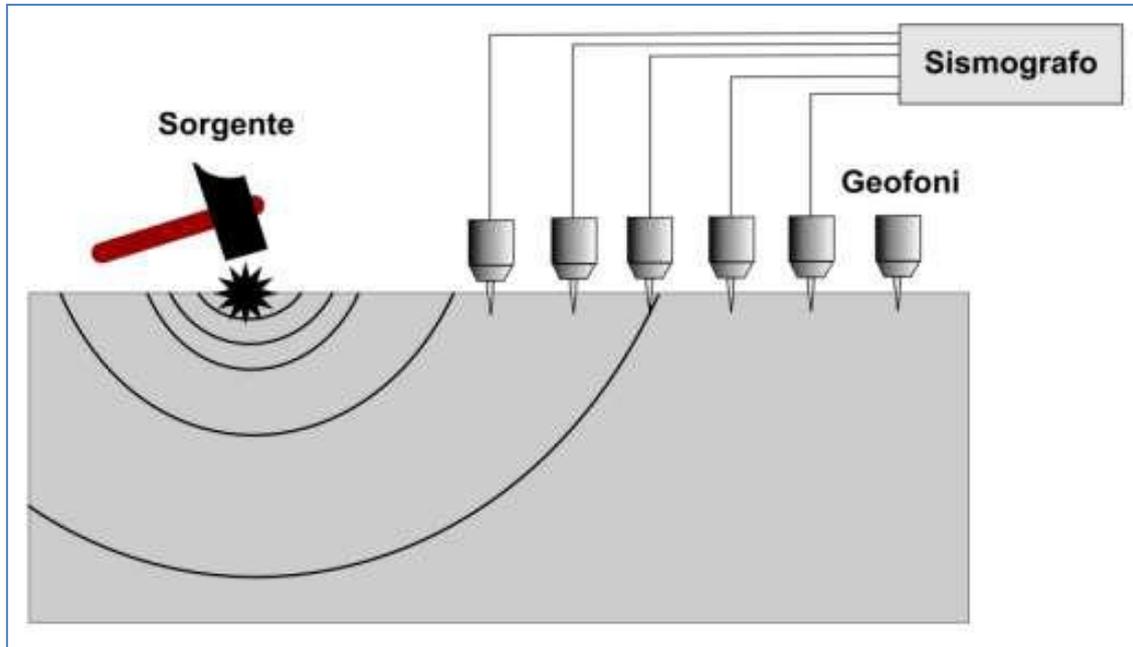


Figura 2: Esempio schematico di stendimento sismico tipo MASW

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	2 m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1: 5m; 7m
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 SEGY)
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 16.

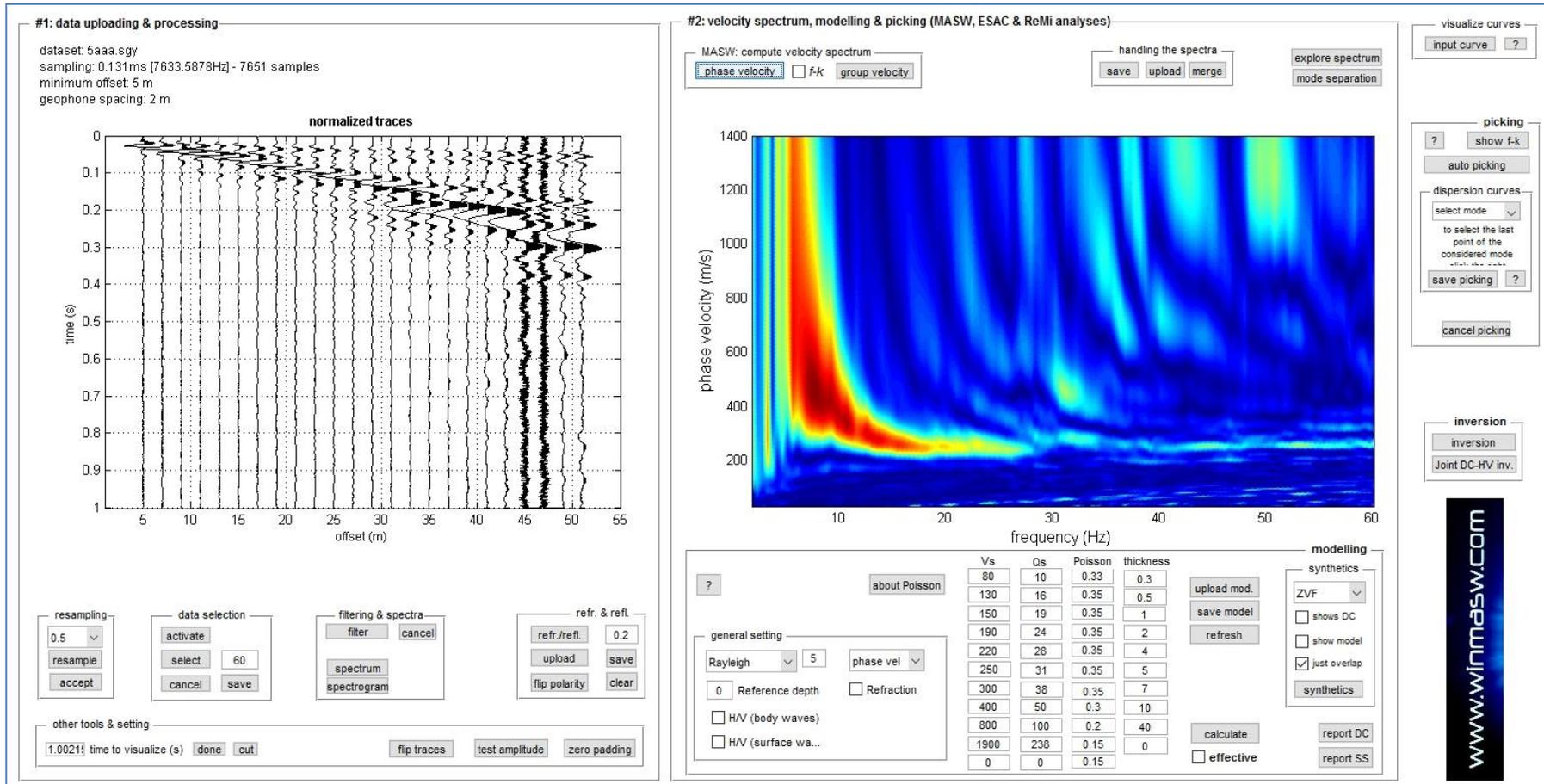


Figura 4: Sulla sinistra le tracce sismiche relative alla componenti ZVF e sulla destra i relativi spettri di velocità

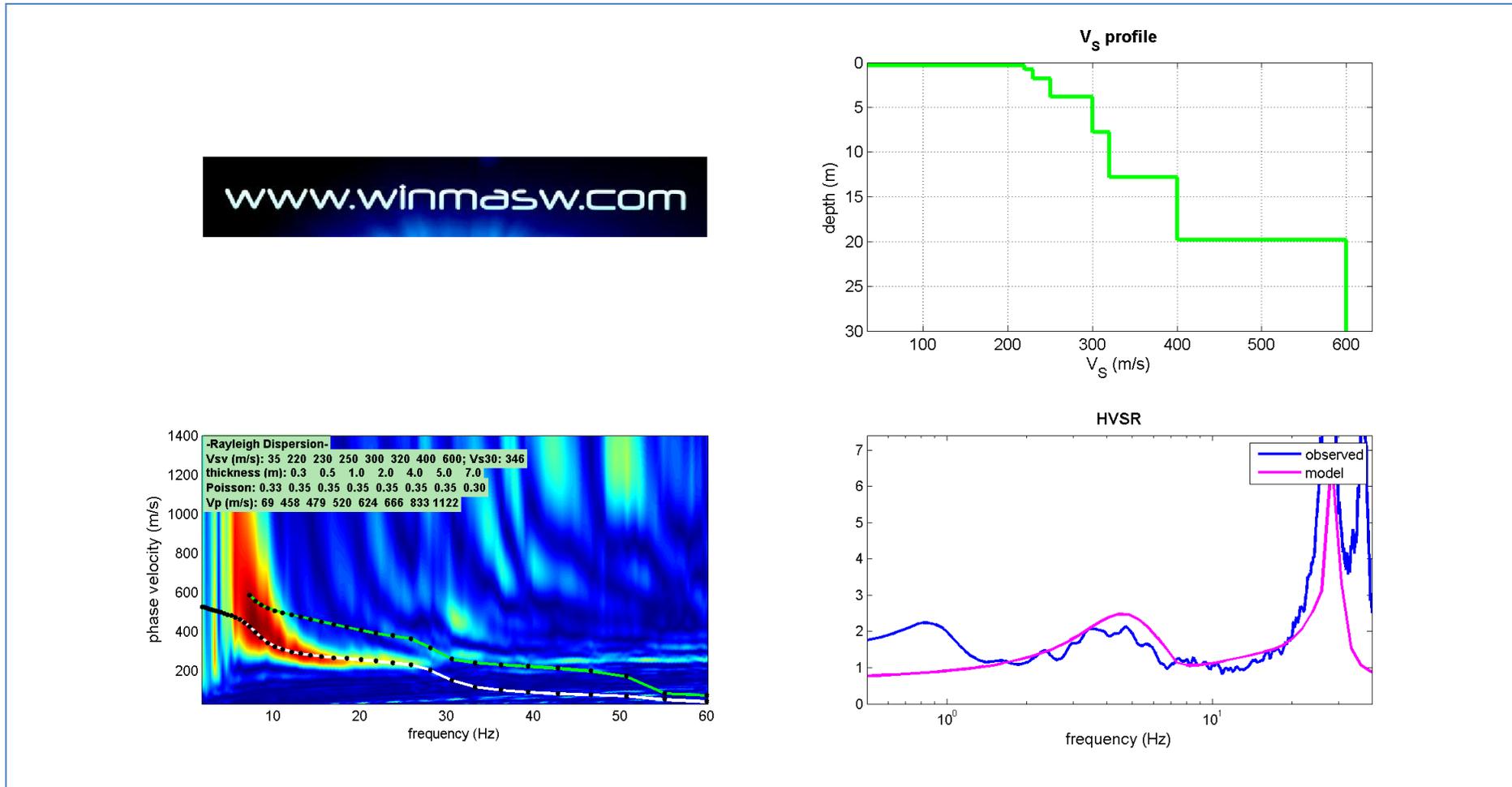


Figura 5: Sulla sinistra gli spettri di velocità relativi alla componenti ZVF con in sovrapposizione le curve di dispersione per l'onda di Rayleigh; Sulla destra in basso in blu le misure HVSR effettuate in sito e in magenta la curva HVSR modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei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

Mean model

Vs (m/s): 35, 220, 230, 250, 300, 320, 400, 600

Thickness (m): 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0, 7.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.41 1.87 1.88 1.90 1.94 1.96 2.01 2.08

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 2 90 99 118 175 200 322 750

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

Vp (m/s): 69 458 479 520 624 666 833 1122

Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

Vs30 (m/s): 346

San Giuliano Terme (PI),

1 aprile 2017

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