

COMUNE DI SAN GIULIANO TERME

PROVINCIA DI PISA

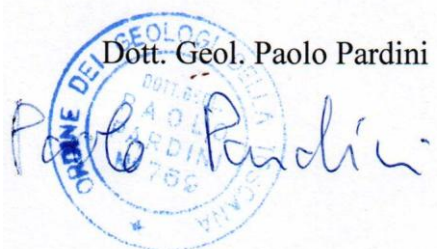
RICHIESTA PER L'INDIVIDUAZIONE DI UN PIANO ATTUATIVO COME PREVISTO DALL'ART. 109 DELLA L.R. 65/2014 IN SAN GIULIANO TERME VIA DI PALAZZETTO

Proprietà: Sig. Autocarrozzeria ZO-VA snc

RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

Maggio 2022

Dott. Geol. Paolo Pardini



The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Paolo Pardini". To the left of the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI DELLA PROVINCIA DI PISA" around the perimeter and "DOTT. PAOLO PARDINI" in the center, with the number "1786" below the name.

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
3. MODELLO GEOLOGICO	4
4. CATEGORIA STRATIGRAFICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	5
5. CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA, SISMICA E IDRAULICA	7
6. CONDIZIONI DI FATTIBILITA'	7
6.1. Fattibilità geologica e fattibilità sismica	7
6.2. Fattibilità idraulica	8

ELENCO DELLE FIGURE E ALLEGATI

Fig. 1 – Corografia scala 1:25.000

Fig. 2 – Carta geologico-morfologica della zona in esame scala 1:10.000

Fig. 3 – Planimetria delle prove geognostiche scala 1:2.000

Fig. 4 – Condizioni di Pericolosità Geologica, Idraulica e Sismica del Piano Operativo Comunale (POC).

1. PREMESSA

Su incarico della Carrozzeria ZO-VA stata eseguita la presente relazione riguardante l'indagine geologica necessaria per la richiesta per l'individuazione di un Piano attuativo come previsto dalla L.R. 65/2014, in Via di Palazzetto, nel Comune di San Giuliano Terme (Provincia di Pisa) (Fig. 1).

Detta indagine ottempera a quanto prescritto dal Decreto del Presidente della Giunta Regionale 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 Piano Operativo Comunale (POC).

Il Comune di San Giuliano Terme non veniva classificato come sismico nei decreti fino al 1984 ma è stato classificato in Zona 3 secondo Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20/03/03 (Ordinanza n. 3274).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di intervento si trova a sud dell'abitato di San Giuliano Terme, ad una quota assoluta di circa +1,9 m sul livello del mare.

Nella porzione dei Monti Pisani a Nord Nord-Est dell'area d'intervento affiorano formazioni rocciose prevalentemente calcaree. Sono inoltre presenti aree di cava, aree di frana e depositi eluvio-colluviali.

Nella Pianura Pisana immediatamente circostante, e su cui insiste l'area d'intervento sono invece presenti:

- Successioni di litotipi prevalentemente argillosi (argille, argille limose, argille sabbiose e limi argillosi; Olocene). Questi depositi a granulometria molto fine, originati dalle esondazioni dell'Arno e del Serchio, sono stati depositi nelle zone morfologicamente più depresse, soggette ad impaludamenti e ristagni.
- Successioni di litotipi prevalentemente sabbiosi (sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi; Olocene). Si tratta di depositi a granulometria superiore rispetto a quelli dell'unità

precedente, in quanto depositi durante le esondazioni nelle zone più prossime ai corsi d'acqua.

I depositi della Pianura Pisana risalgono verosimilmente all'Olocene, essendosi formati in seguito al sovralluvionamento che si è sviluppato in tutta la Pianura Pisana man mano che il livello marino risaliva in seguito all'ultimo evento interglaciale. Durante tale evento inoltre è aumentato lo sbarramento a mare da parte del sistema dei lidi del delta dell'Arno e del Serchio; di conseguenza, notevoli spessori di sedimenti limo-sabbioso-argillosi si sono depositati in tutta la Pianura di Pisa.

In aree adiacenti alla zona d'intervento sono presenti anche Paleoalvei sepolti. La pianura del Serchio è caratterizzata da numerosi alvei fluviali abbandonati nel corso del tempo a causa di opere antropiche. Tali alvei sono composti prevalentemente da depositi sabbiosi.

3. MODELLO GEOLOGICO

La diretta osservazione dei terreni affioranti eseguita durante il rilevamento geologico, le ricostruzioni lito-stratigrafiche derivanti dalle prove geognostiche note e i risultati di una penetrometria (CPT1) eseguita nelle vicinanze (Fig. 3) hanno permesso di ricostruire la stratigrafia di dettaglio dell'area e la determinazione dei parametri geotecnici.

La penetrometria è stata effettuata utilizzando un penetrometro statico con punta meccanica tipo Begemann dotata di manicotto laterale per la misura dell'attrito laterale.

Analizzando i dati di resistenza alla punta (q_c) e resistenza laterale (f_s) e utilizzando le relazioni di:

- Searle '72, e dell'A.G.I. per la stratigrafia,
- Searle '72 per determinare consistenza e angolo di attrito (ϕ),
- Mitchell e Gardner '75 per quanto riguarda il modulo Edometrico (E_d)
- Beer '67 per determinare la coesione (c_u)

è stata ricostruita la stratigrafia e sono stati ricavati i parametri geotecnici; i dettagli esecutivi, le specifiche di prova e i parametri determinati sono riportati in All. 1.

1. superficialmente, e fino a circa -0,4 m dal p.c. è presente un suolo argilloso bruno rimaneggiato.
2. Da -0,4 m a -1,6 m sono stati misurati valori di Q_c da 27 a 40 kg/cm^2 , di coesione C_u da 1,13 a 1,71 kg/cm^2 , modulo di deformazione edometrico M_o da 67 a 100 kg/cm^2 ; si ricostruisce perciò la presenza di **argilla limosa**.
3. Da -1,6 m a -3,2 m sono stati misurati valori di Q_c da 9 a 15 kg/cm^2 , di coesione C_u da 0,33 a 0,47 kg/cm^2 , modulo di deformazione edometrico M_o da 45 a 75 kg/cm^2 ; si ricostruisce perciò la presenza di livelli costituiti da **argilla compatta**.
4. Da -3,2 m a -4,4 m sono stati misurati valori di Q_c da 4 a 8 kg/cm^2 , di coesione C_u da 0,10 a 0,27 kg/cm^2 , modulo di deformazione edometrico M_o da 32 a 45 kg/cm^2 ; si ricostruisce perciò la presenza di livelli costituiti da **argilla organica**.
5. Da -4,4 m a -5,2 m sono stati misurati valori di Q_c da 15 a 25 kg/cm^2 , di angolo di attrito interno Φ da 26° a 27° , modulo di deformazione edometrico M_o da 58 a 98 kg/cm^2 ; si ricostruisce perciò la presenza di un livello costituito da **sabbia limosa**.
6. Da -5,2 m a -7,6 m sono stati misurati valori di Q_c da 5 a 7 kg/cm^2 , di coesione C_u da 0,13 a 0,22 kg/cm^2 , modulo di deformazione edometrico M_o da 40 a 56 kg/cm^2 ; si ricostruisce perciò la presenza di livelli costituiti da **argilla organica**.
7. Da -7,6 m fino alla profondità indagata sono stati misurati valori di Q_c da 8 a 19 kg/cm^2 , C_u da 0,32 a 0,49 kg/cm^2 , modulo di deformazione edometrico M_o da 40 a 70 kg/cm^2 ; si ricostruisce perciò la presenza di **argilla compatta**.

Il livello di falda è stato rilevato alla profondità di -1,0 m dal piano di campagna.

4. CATEGORIA STRATIGRAFICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Nelle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 vengono definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (Tabella 3.2.II):

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grani fine molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per la determinazione sia della V_{s30} che della frequenza caratteristica di risonanza del sito (la frequenza caratteristica di risonanza del sito rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi) è stata presa in considerazione un'indagine geofisica costituita da una prova sismica in foro (Down-Hole), e da un sondaggio di sismica passiva a stazione singola ubicati come in Fig. 3. L'integrazione dei risultati ottenuti dall'indagine di sismica attiva e passiva ha permesso di determinare il valore di V_{s30} e la frequenza di vibrazione del suolo; in All. 2 è riportata la descrizione dei metodi e i risultati dell'indagine.

La V_{s30} così determinata vale:

$$V_{s30} = 157 \text{ m/s}$$

e pertanto la categoria del suolo di fondazione è la “D”; inoltre la frequenza caratteristica del sito è uguale a 0,80 Hz.

5. CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA, SISMICA E IDRAULICA

In base alle ‘Carte di Pericolosità’ allegate al Piano Operativo Comunale (POC) del Comune di San Giuliano Terme (PI), la zona in esame risulta inserita nelle seguenti classi:

- Pericolosità geologica G3 (elevata), in cui ricadono “*terreni alluvionali soffici*”;
- Pericolosità idraulica I3 (elevata), definita per le “*aree suscettibili da allagamenti per eventi con $30 < Tr < 200$ anni*” e Pericolosità idraulica I4 (molto elevata), definita per le “*aree suscettibili da allagamenti per eventi con $0 < Tr < 30$ anni*”.
- Pericolosità sismica locale S3 (elevata): “*terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica*”.

6. CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

Dai dati emersi nel presente lavoro all’area sede del Piano Attuativo in oggetto possono essere attribuite le seguenti condizioni di fattibilità:

6.1. Fattibilità geologica e fattibilità sismica

Relativamente ai criteri di fattibilità connessi alle condizioni di pericolosità geologica (G3) e sismica locale (S3), sono definite le seguenti condizioni di fattibilità:

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.

Saranno quindi da eseguire le indagini geognostiche, geotecniche e sismiche previste dal regolamento D.P.G.R. 1/R/2022.

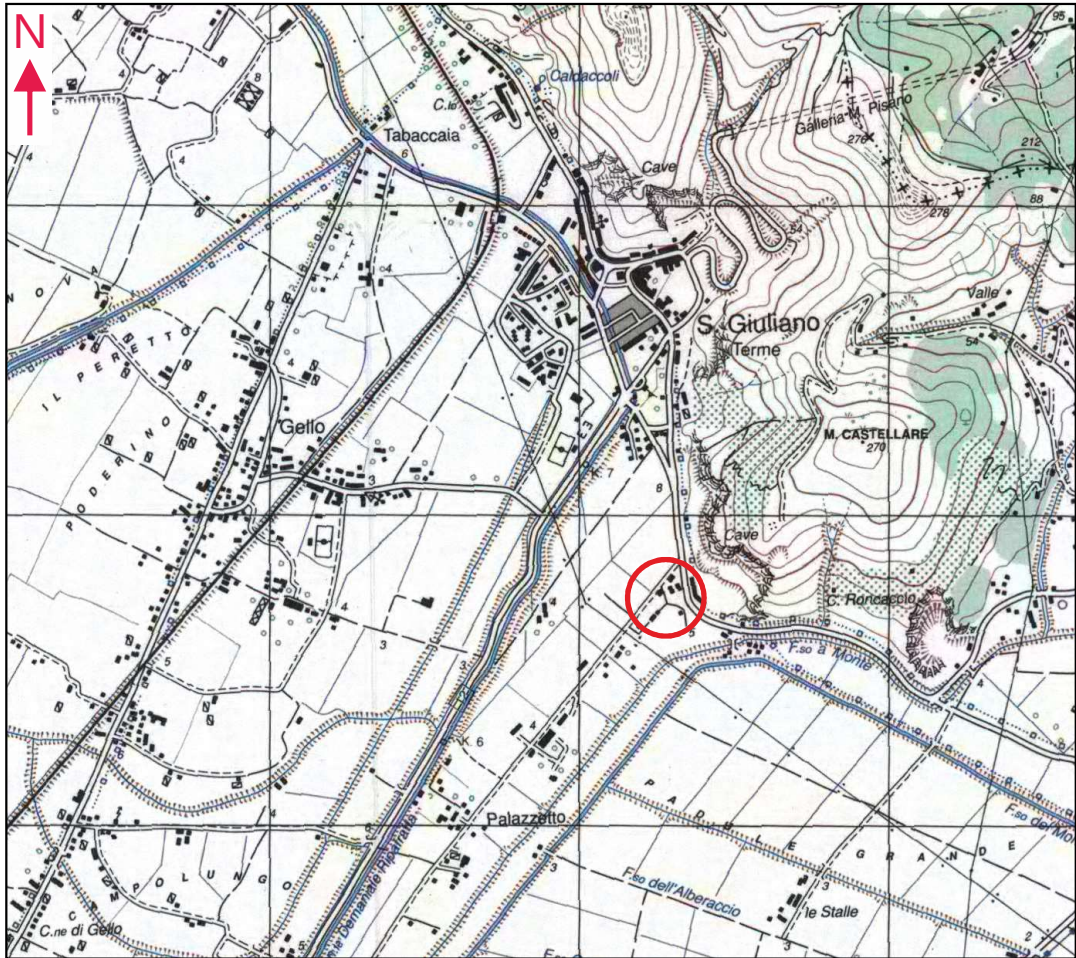
6.2. Fattibilità idraulica

Relativamente ai criteri di fattibilità connessi alle condizioni di pericolosità idraulica (I3 e I4) è definita la seguente condizioni di fattibilità:

Fattibilità limitata (F4). Le indagini e le prescrizioni contenute nella Relazione di Fattibilità Idraulica a corredo del presente progetto eseguita dagli Ingegneri Idraulici Dott. Fabio Bonacci e Dott.ssa Valentina Altieri sono da ritenersi ampiamente sufficienti per l'esecuzione dell'intervento in oggetto.

Arena Metato, lì 16/05/2022

Dott. Geol. Paolo Pardini

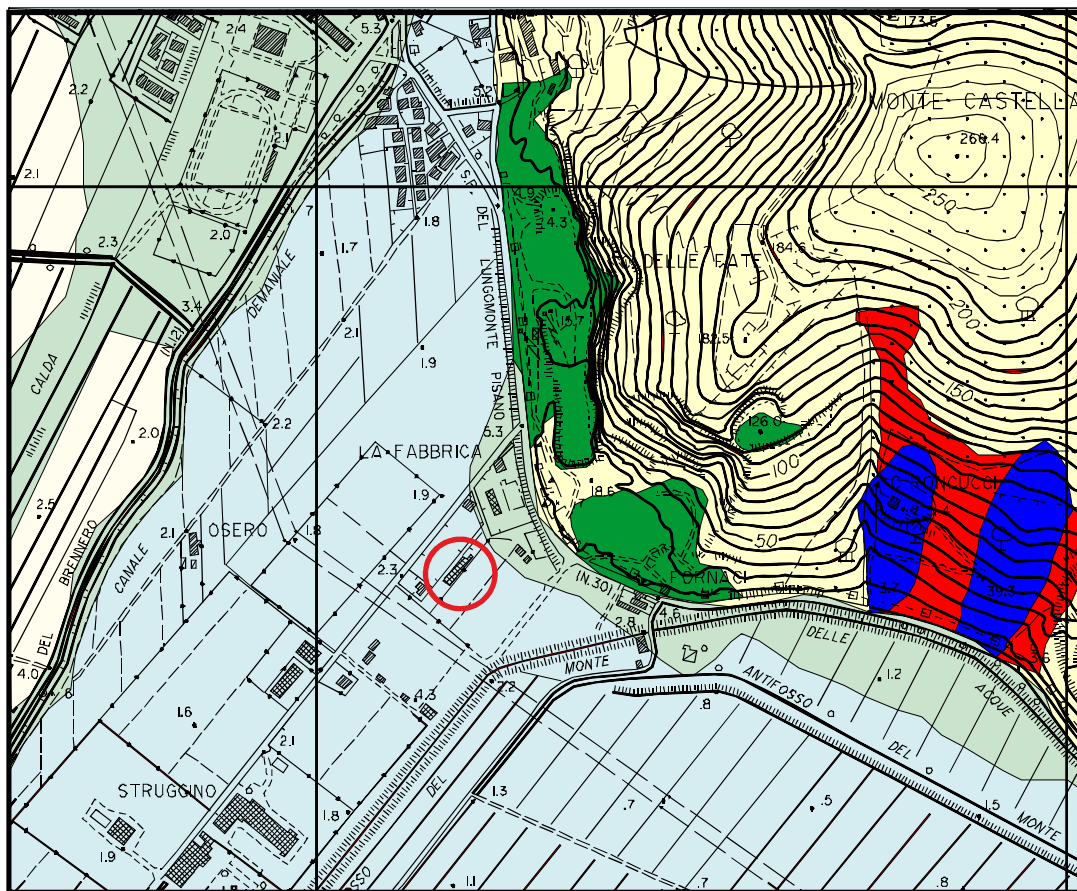


LEGENDA



Ubicazione dell'area d'intervento.

Fig. 1 - Corografia (scala 1:25.000).



LEGENDA









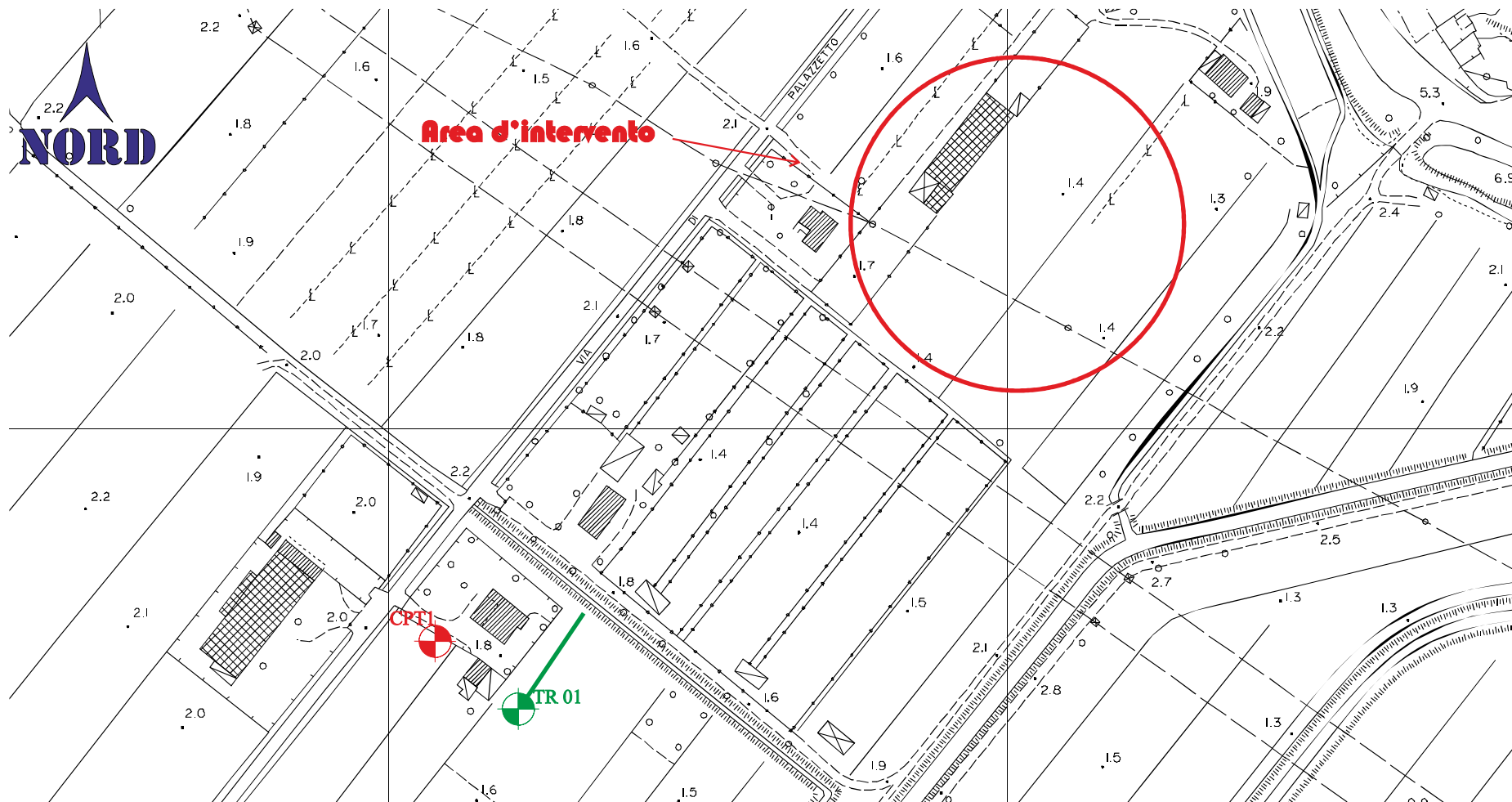
-  Aree di cava
-  Depositi alluvionali costituiti da limi e argille (Olocene)
-  Depositi alluvionali costituiti da sabbie e limi (Olocene)
-  Alvei fluviali abbandonati prevalentemente sabbiosi
-  Corpo di frana
-  Depositi eluvio-colluviali
-  Formazioni rocciose prevalentemente calcaree
-  Ubicazione dell'area d'intervento

Fig. 2 - Carta geologico-morfologica della zona in esame alla scala 1:10.000.



LEGENDA




- 
sondaggio penetrometrico statico
- 
sondaggio sismico passivo a stazione singola
- 
indagine MASW

Fig. 3 - Planimetria prove geognostiche (scala 1:2.000).





 G3 - Pericolosità geologica elevata





I.3 - Pericolosità idraulica elevata

Aree interessate da allagamenti con $30 < T_r \leq 200$ anni

-  Da studio idraulico eseguito nella presente indagine
-  Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)

I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata

Aree interessate da allagamenti con $0 < T_r \leq 30$ anni

-  Da studio idraulico eseguito nella presente indagine
-  Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)



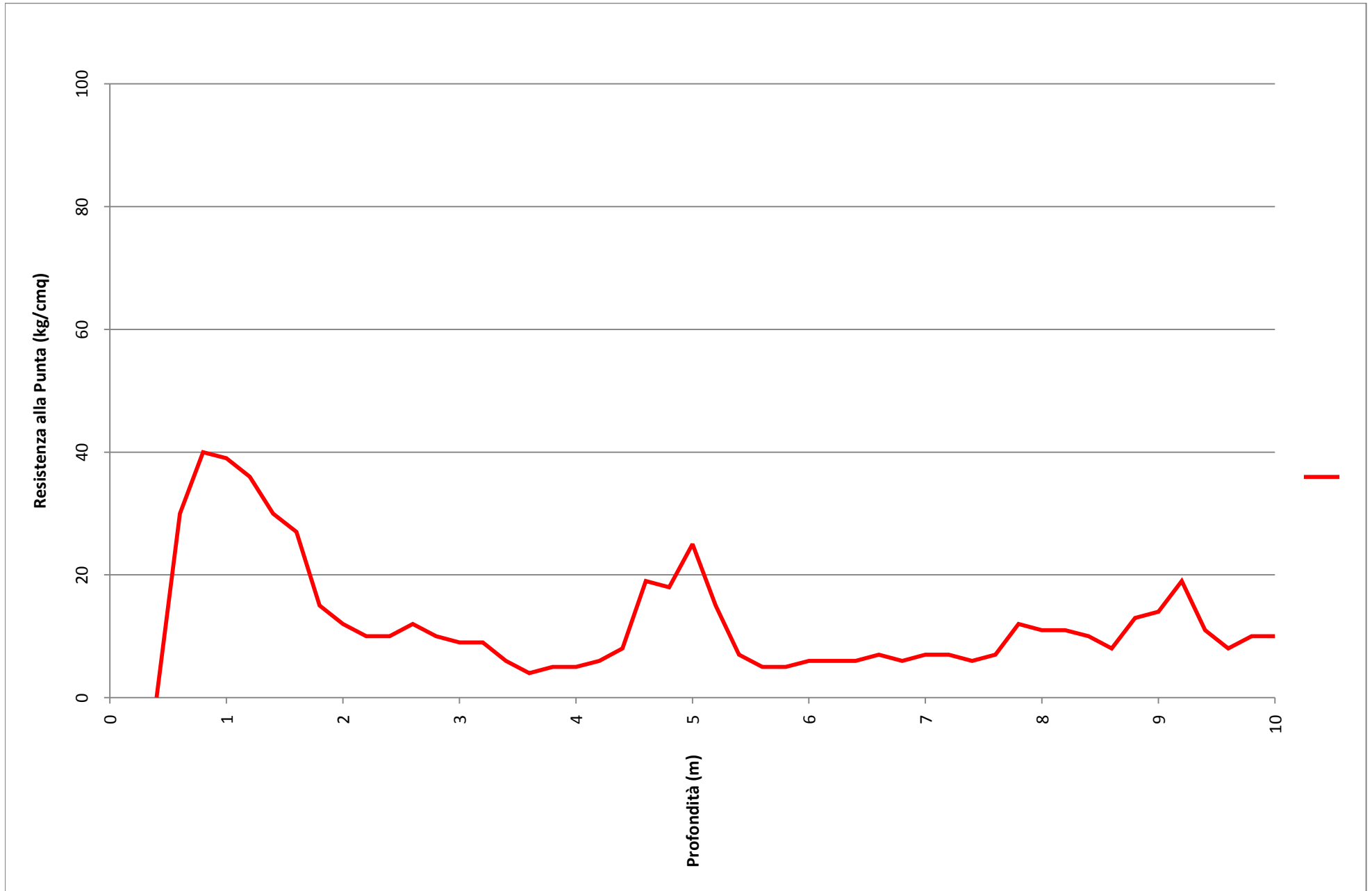
 S.3 - Pericolosità sismica locale elevata

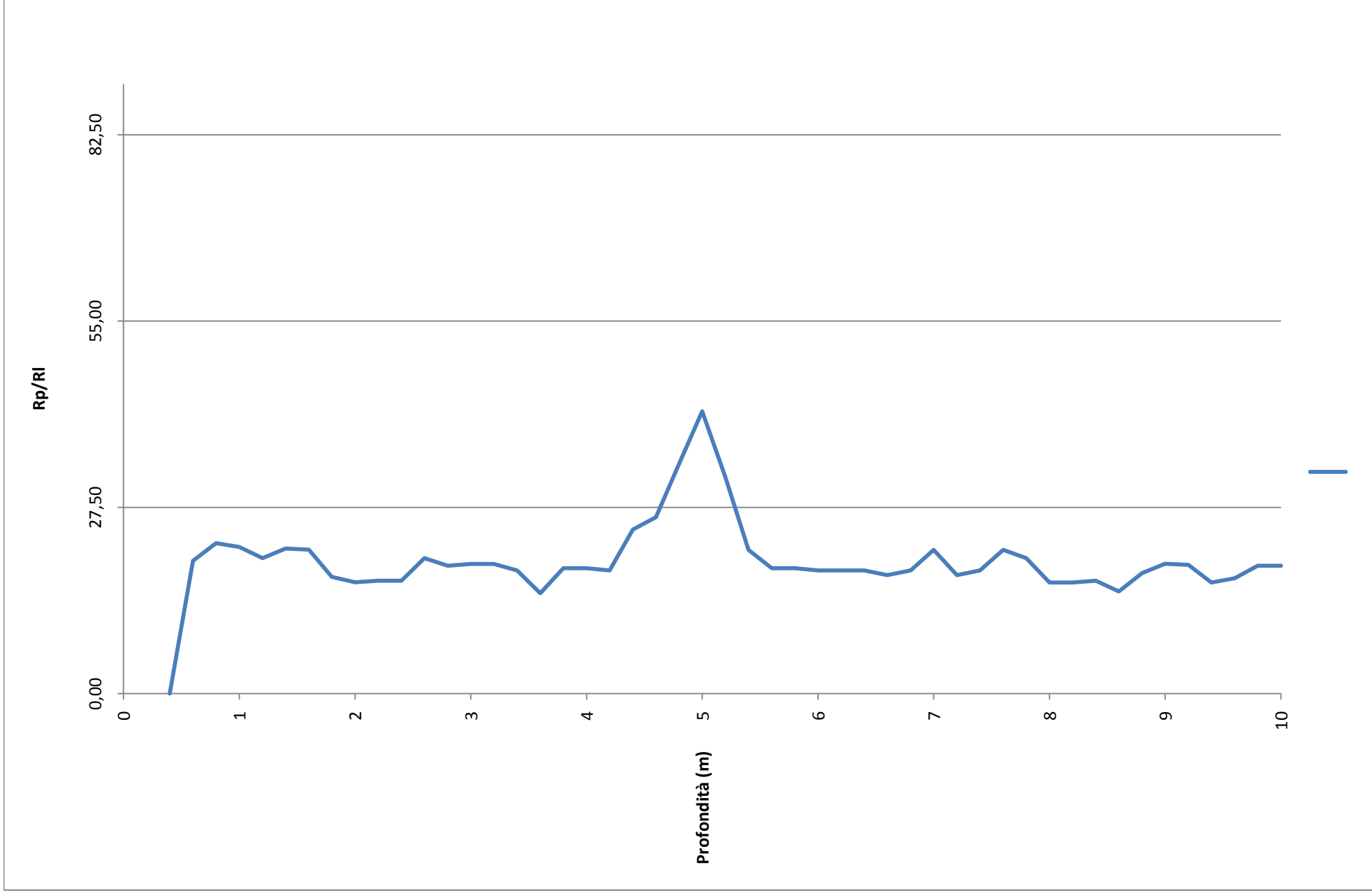
Fig. 4 - Condizioni di Pericolosità Geologica, Idraulica e Sismica del Piano Operativo Comunale (POC).

AII. 1 - SONDAGGIO PENETROMETRICO STATICO CPT

Prova n° 1		Località Palazzetto Comune San Giuliano Terme			Data 01/10/2007			Livello falda (m da p.c.) 1				
				Natura coesiva			Natura granulare					
Profondità m	Rp kg/cmq	RI kg/cmq	Rp/RI	Natura	cu kg/cmq	Stato di consistenza	OCR	φ °	Dr %	Stato di addensamento	γ t/mc	mv cmq/kg
0,2												
0,4												
0,6	30	1,53	19,61	Argilla limosa	1,50	CONSISTENTE	157,3				1,90	0,010
0,8	40	1,8	22,22	Argilla limosa	2,00	CONSISTENTE	152,3				1,95	0,007
1	39	1,8	21,67	Argilla limosa	1,95	CONSISTENTE	112,0				1,95	0,007
1,2	36	1,8	20,00	Argilla limosa	1,80	CONSISTENTE	81,5				1,93	0,008
1,4	30	1,4	21,43	Argilla limosa	1,50	CONSISTENTE	54,6				1,90	0,010
1,6	27	1,27	21,26	Argilla limosa	1,35	CONSISTENTE	40,9				1,89	0,011
1,8	15	0,87	17,24	Argilla limosa	0,75	PLASTICA	17,6				1,83	0,018
2	12	0,73	16,44	Argilla	0,60	PLASTICA	11,8				1,81	0,023
2,2	10	0,6	16,67	Argilla	0,50	SOFFICE	8,4				1,80	0,027
2,4	10	0,6	16,67	Argilla	0,50	SOFFICE	7,5				1,80	0,027
2,6	12	0,6	20,00	Argilla limosa	0,60	SOFFICE	8,5				1,81	0,023
2,8	10	0,53	18,87	Argilla limosa	0,50	SOFFICE	6,2				1,80	0,027
3	9	0,47	19,15	Argilla limosa	0,45	SOFFICE	5,0				1,80	0,028
3,2	9	0,47	19,15	Argilla limosa	0,45	SOFFICE	4,6				1,80	0,028
3,4	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	2,6				1,78	0,042
3,6	4	0,27	14,81	Argilla	0,20	SOFFICE	1,5				1,77	0,089
3,8	5	0,27	18,52	Argilla limosa	0,25	SOFFICE	1,8				1,78	0,071
4	5	0,27	18,52	Argilla limosa	0,25	SOFFICE	1,7				1,78	0,071
4,2	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	2,0				1,78	0,042
4,4	8	0,33	24,24	Limo argilloso	0,40	SOFFICE	2,7				1,79	0,050
4,6	19	0,73	26,03	Limo argilloso	0,95	PLASTICA	7,2				1,85	0,021
4,8	18	0,53	33,96	Sabbia argillosa limosa			0,0	28	50	Mediamente addensata	1,79	0,022
5	25	0,6	41,67	Sabbia argillosa limosa			0,0	29	50	Mediamente addensata	1,83	0,010
5,2	15	0,47	31,91	Limo argilloso sabbioso			0,0	27	50	Mediamente addensata	1,78	0,027
5,4	7	0,33	21,21	Argilla limosa	0,35	SOFFICE	1,8				1,79	0,036
5,6	5	0,27	18,52	Argilla limosa	0,25	SOFFICE	1,1				1,78	0,071
5,8	5	0,27	18,52	Argilla limosa	0,25	SOFFICE	1,1				1,78	0,071
6	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	1,3				1,78	0,042
6,2	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	1,2				1,78	0,042
6,4	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	1,2				1,78	0,042
6,6	7	0,4	17,50	Argilla limosa	0,35	SOFFICE	1,4				1,79	0,036
6,8	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	1,1				1,78	0,042
7	7	0,33	21,21	Argilla limosa	0,35	SOFFICE	1,3				1,79	0,036
7,2	7	0,4	17,50	Argilla limosa	0,35	SOFFICE	1,2				1,79	0,036
7,4	6	0,33	18,18	Argilla limosa	0,30	SOFFICE	1,0				1,78	0,042
7,6	7	0,33	21,21	Argilla limosa	0,35	SOFFICE	1,2				1,79	0,036
7,8	12	0,6	20,00	Argilla limosa	0,60	SOFFICE	2,2				1,81	0,023
8	11	0,67	16,42	Argilla	0,55	PLASTICA	1,9				1,81	0,025
8,2	11	0,67	16,42	Argilla	0,55	PLASTICA	1,8				1,81	0,025
8,4	10	0,6	16,67	Argilla	0,50	SOFFICE	1,6				1,80	0,027
8,6	8	0,53	15,09	Argilla	0,40	SOFFICE	1,2				1,79	0,031
8,8	13	0,73	17,81	Argilla limosa	0,65	PLASTICA	2,0				1,82	0,021
9	14	0,73	19,18	Argilla limosa	0,70	PLASTICA	2,2				1,82	0,019
9,2	19	1	19,00	Argilla limosa	0,95	PLASTICA	3,0				1,85	0,014
9,4	11	0,67	16,42	Argilla	0,55	PLASTICA	1,5				1,81	0,025
9,6	8	0,47	17,02	Argilla limosa	0,40	SOFFICE	1,0				1,79	0,031
9,8	10	0,53	18,87	Argilla limosa	0,50	SOFFICE	1,3				1,80	0,027
10	10	0,53	18,87	Argilla limosa	0,50	SOFFICE	1,3				1,80	0,027

Resistenza alla punta





ALL. 2 - INDAGINE SISMICA

1. PREMESSA

La seguente indagine geofisica è stata eseguita nel Comune di San Giuliano Terme (PI), in località Palazzetto ed è stata finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S), al calcolo del parametro V_{s30} e al calcolo della frequenza di risonanza caratteristica del sito.

L'indagine, svolta in data 5 Febbraio 2011, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2. TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro V_{s30} si è deciso di eseguire n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves").

Per il calcolo della frequenza di risonanza caratteristica di sito e per verificare i risultati ottenuti dal MASW è stato eseguito un sondaggio in sismica passiva a stazione singola elaborati attraverso la metodologia basata sul rapporto spettrale H/V (HVSR).

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

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

- **un sistema di energizzazione ad impatto verticale per le onde di Rayleigh** costituito dalla caduta di un grave direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;
- **un sistema di ricezione e di acquisizione dati** digitali della Micromed;
- **un sistema di trigger** consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

La strumentazione utilizzata per la misura dei microtremori ambientali, elaborati attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale (Tromino della Micromed) dotato di tre terne di sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

4. INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_s , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) 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; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;

- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs e il parametro Vs30.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software GRILLA (della Micromed).

Le acquisizioni sono state eseguite secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW	
Coordinate WGS84 centro stesa	43,7526810029019– 10,4417298878595
Orientazione	NE - SO
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0 m
Lunghezza stendimento	37 m

L'omogeneità laterale del sottosuolo al disotto dello stendimento della MASW è stata ulteriormente verificata attraverso l'esecuzione di un sondaggi in sismica passiva a stazione singola effettuati in corrispondenza degli estremi dello stendimento stesso.

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con i sondaggi in sismica passiva.

I risultati dell'indagine condotta sono riportati nelle figure allegate fuori testo.

5. INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

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

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

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

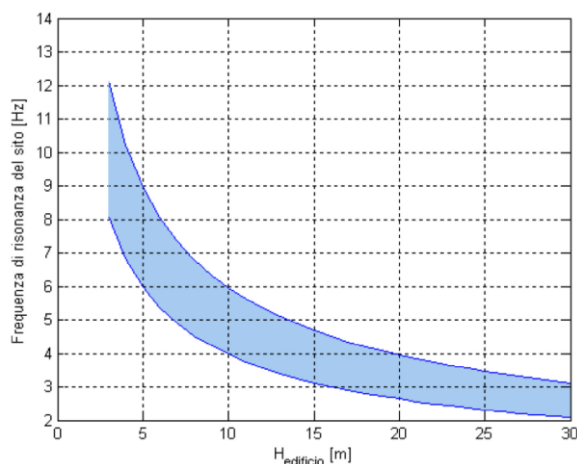
Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale 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.

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

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

Per quanto concerne il fenomeno della "doppia risonanza" (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza.

Nella figura seguente (tratta da Masi et al., 2007) si riporta, a titolo esemplificativo, una possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza di sito. La fascia azzurra indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.



La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Durante questa campagna geofisica è stata eseguita 1 misura di microtremore ambientale (sondaggi in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR				
Denominazione	Coordinate WGS84		Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
TR1	10,3689525106845	43,7523306490424	14 min	128 Hz

Le misure di microtremore ambientale, orientate secondo il Nord e della durata di 14 minuti, sono state effettuate con il tromografo digitale Tromino.

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

6. ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, sia per mezzo delle analisi della prova di sismica attiva MASW che dell'indagine di sismica passiva con il metodo HVSR, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde S e il relativo il parametro V_{s30} ¹ che relativi la frequenza di vibrazione del sottosuolo del sito indagato.

L'elaborazione dei dati ottenuti della MASW integrato e confrontato con i dati ottenuti dalla sismica passiva² ha dato il seguente profilo di velocità sismica, riferito al piano di campagna:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	60
1.20	0.70	100
3.20	2.00	150
4.20	1.00	140
12.20	8.00	130
14.20	2.00	150
35.20	21.00	200
inf.	inf.	350

Il profilo di velocità sismica indica una V_{s30} , riferita a 1 m da p.c., pari a 158 m/s

¹ La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità (V_{s30}) è calcolata con l'espressione $V_{s30} = 30 / (\sum h_i / V_i)$

² Tale indagine contribuisce in particolar modo a migliorare la determinazione della V_s in profondità e all'individuazione di eventuali inversioni di velocità.

Dalle misure dei microtremori ambientali effettuate attraverso il sondaggi a stazione singola risulta che il segnale sismico, così come trasmesso in superficie, viene amplificato alla frequenze di **0.88 Hz**.

Tali frequenze possono essere considerate come frequenze fondamentali di sito.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008) i risultati dell'indagine geofisica, dal punto di vista prettamente numerico, concorrono ad ascrivere il sito come appartenente alla **Categoria D** di sottosuolo.

INDAGINE MASW

11-01 PARDINI PALAZZETTO, [Z] MASW

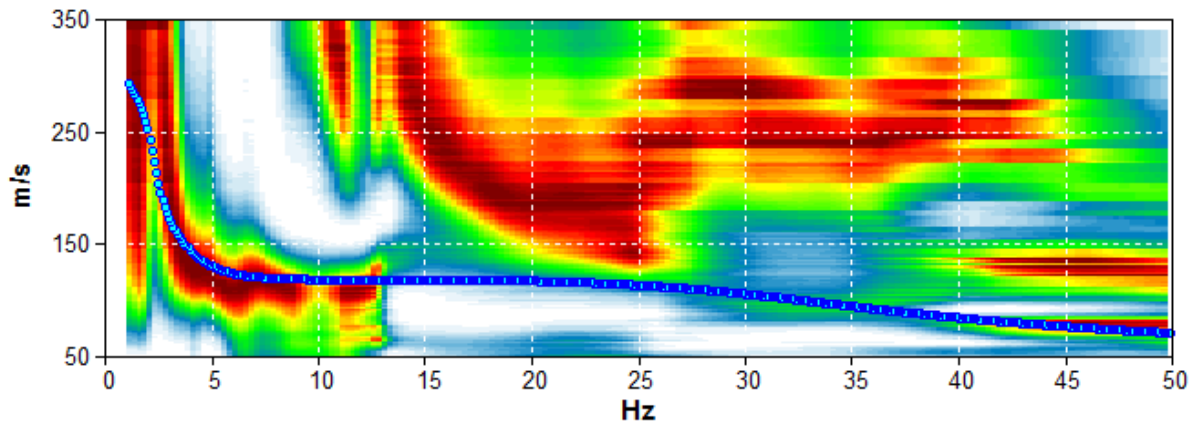
Inizio registrazione: 05/02/11 17:41:46 Fine registrazione: 05/02/11 17:54:01

Durata registrazione: 0h12'12".

Freq. campionamento: 512 Hz

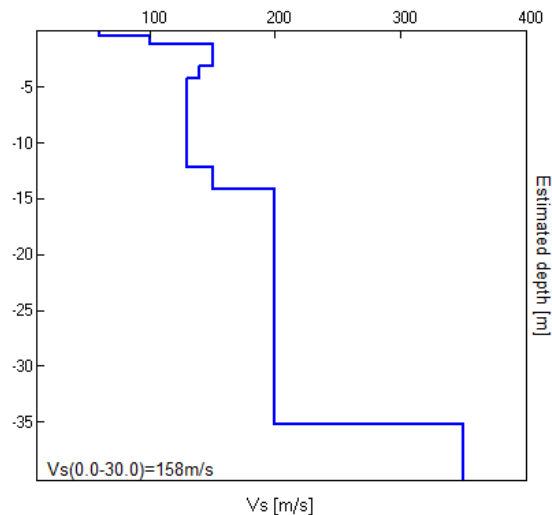
Nomi canali: B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12
 Array geometry (x): .2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0
 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	60	0.35
1.20	0.70	100	0.35
3.20	2.00	150	0.35
4.20	1.00	140	0.35
12.20	8.00	130	0.35
14.20	2.00	150	0.35
35.20	21.00	200	0.35
inf.	inf.	350	0.35

Vs(0.0-30.0)=158m/s



INDAGINE H/V

11-01 PARDINI PALAZZETTO, TR1

Strumento: TEP-0085/01-10

Inizio registrazione: 05/02/11 17:55:52 Fine registrazione: 05/02/11 18:09:53

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00". Analizzato 69% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

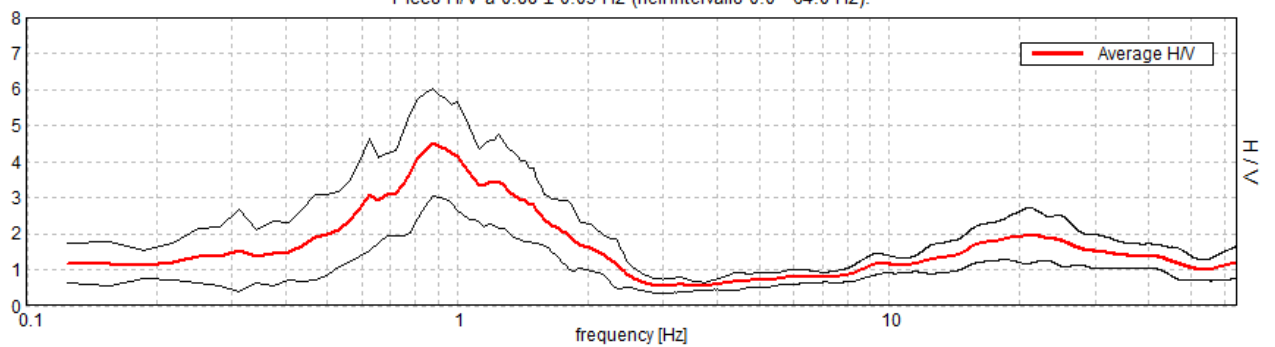
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

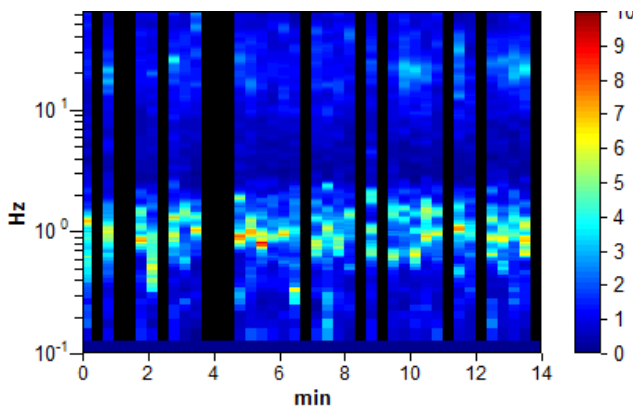
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

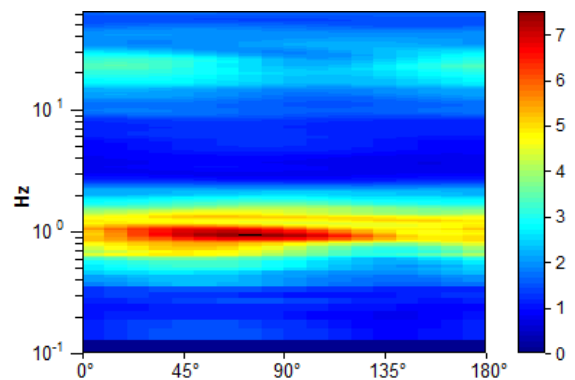
Picco H/V a 0.88 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



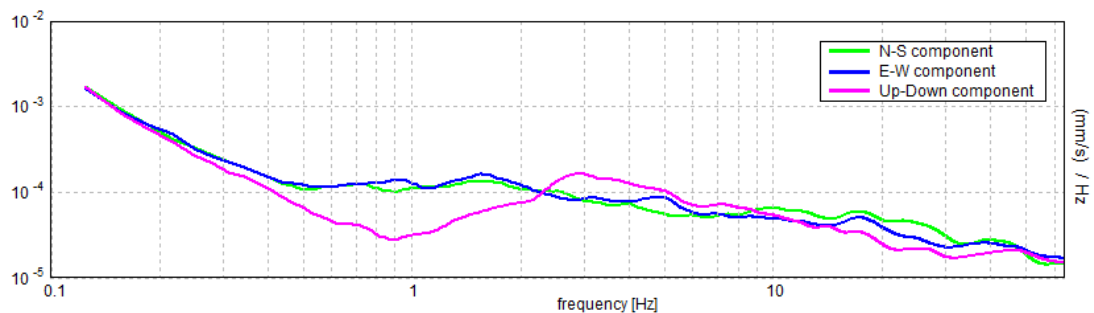
SERIE TEMPORALE H/V



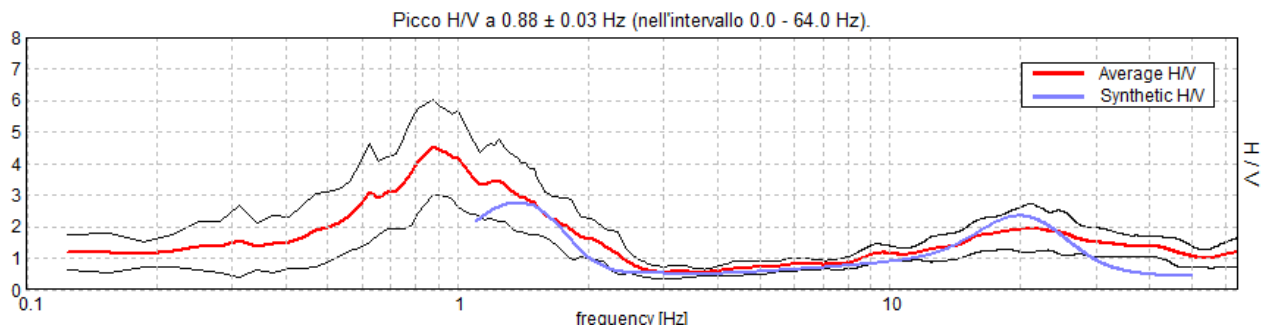
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

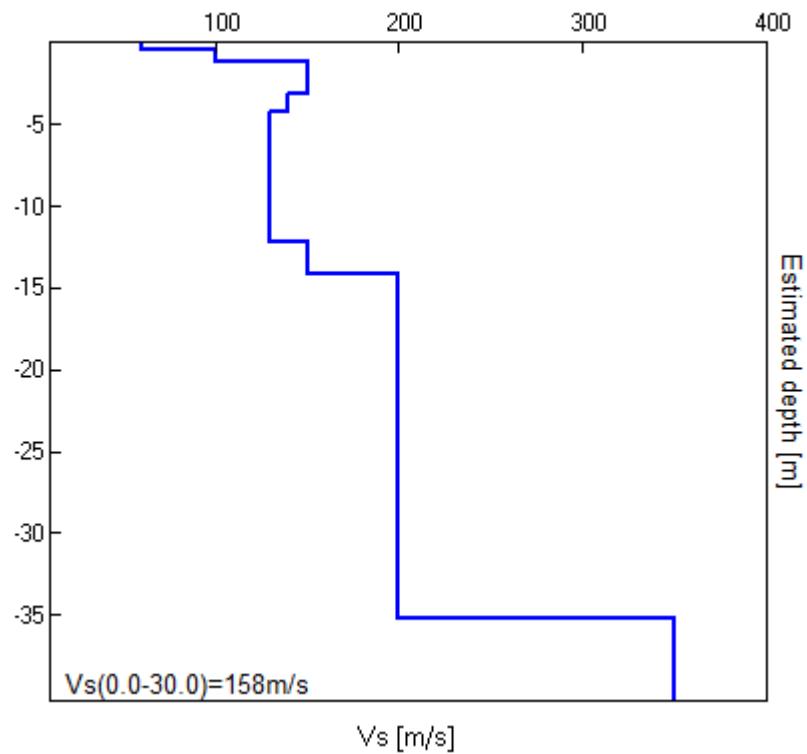


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	60	0.35
1.20	0.70	100	0.35
3.20	2.00	150	0.35
4.20	1.00	140	0.35
12.20	8.00	130	0.35
14.20	2.00	150	0.35
35.20	21.00	200	0.35
inf.	inf.	350	0.35

Vs(0.0-30.0)=158m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente.**]

Picco H/V a 0.88 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$507.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 43	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.531 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.656 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.51 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01755 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01535 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7152 < 2.0$	OK	

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

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20