

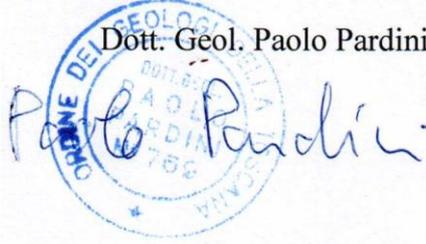
**COMUNE DI SAN GIULIANO TERME**  
**PROVINCIA DI PISA**

**PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PRIVATA PER I BENI DI MOLINA DI  
QUOSA, VIA DON STURZO N. 39 A-B**

*Proprietà: Sig.ra Mattolini Michela*

**RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA**

Maggio 2022

Dott. Geol. Paolo Pardini  


## *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	7
6.2. Fattibilità idraulica	8
6.3. Fattibilità sismica	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 Signora Michela Mattolini stata eseguita la presente relazione riguardante l'indagine geologica necessaria per la richiesta per l'esecuzione di un Piano di Recupero di iniziativa privata come previsto dalla L.R. 65/2014, in Via Don Sturzo 39ab a Molina di Quosa nel Comune di San Giuliano Terme (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**

La zona in esame è ubicata nella pianura alluvionale del Serchio. L'area d'intervento si trova ad una quota assoluta di circa 7 m sul livello del mare.

Come può essere osservato dalla Carta geologica, riportata in fig.2, in un intorno significativo della zona di intervento, affiorano i seguenti tipi di terreno:

### **FORMAZIONI DEL QUATERNARIO**

ALL2 – Alluvioni recenti

ALL1 – Conoidi di deiezione ed alluvioni antiche

### **FORMAZIONI DELLA FALDA TOSCANA**

T2 - Calcere dolomitico cavernoso, con brecce poligeniche caratterizzate in massima parte da elementi superiori della Falda Toscana (Norico)

## FORMAZIONI DEL NUCLEO AUTOCTONO DEI MONTI PISANI

Pmg - Arenarie quarzoso micacee alternate a marne siltose grigio scure - Pseudomacigno (Cretaceo - Eocene)

Sc - Scisti sericitici grigi, verdi e rossastri inglobanti i terreni della precedente formazione (Cretaceo - Eocene)

mp - Marne e calcari marnosi - Marne a Posidonomia (Dogger)

Dal punto di vista geologico la zona di intervento ricade nella formazione denominata con la sigla "ALL2" che rappresenta depositi verosimilmente olocenici formati in seguito al sovralluvionamento che si è sviluppato nella Pianura pisana in seguito all'ultimo evento interglaciale. Le zone di pianura il cui substrato è costituito dai terreni "ALL2" sono spesso leggermente più rilevate rispetto alle ex aree palustri più lontane dal Serchio in cui si ritrovano sedimenti mediamente più fini.

### 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 ( $\phi$ ),
- Mitchell e Gardner '75 per quanto riguarda il modulo Edometrico (Ed)
- 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.

La ricostruzione stratigrafica è la seguente:

- da 0,00 m a -0,60 m dal p.c. Unità LITOTECNICA A costituita da terreno incoerente di riporto;
- da -0,60 m a -12,60 m dal p.c. Unità LITOTECNICA B costituita da argilla limosa.

I valori medi ponderati dei parametri geotecnici determinati nelle varie Unità Litotecniche con la prova penetrometrica CPT1 sono riportati nella tabella seguente:

Unità Litotecnica	Spessore (m)	litologia	Angolo di attrito $\phi$	Coesione non drenata $c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di deformazione edometrico $M_o$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso di volume $\gamma$ (kg/dm <sup>3</sup> )
A	0,60	Terreno incoerente di riporto	30		138	1,85
B	12,00	Argilla limosa		0,45	38	1,85

La falda freatica è stata localizzata a -0,90 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):

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<b><i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i></b> 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>B</b>	<b><i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grani fine molto consistenti</i></b> , 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.
<b>C</b>	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i></b> , 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.
<b>D</b>	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</i></b> , 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.
<b>E</b>	<b><i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D</i></b> , 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 prospezione sismica mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") 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:

$$V_{s30} = 200 \text{ m/s}$$

e pertanto la categoria del suolo di fondazione è la “C”; inoltre la frequenza caratteristica del sito è uguale a 1,59Hz.

## 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 G2 (media), in cui ricadono “*aree con elementi geomorfologici, litologici e giacitureali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto*”;
- Pericolosità idraulica I2 (media), definita per le “*aree suscettibili da allagamenti per eventi con  $200 < Tr < 500$  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

Relativamente ai criteri di fattibilità connessi alle condizioni di pericolosità geologica (G2), sono definite le seguenti condizioni di fattibilità:

Fattibilità con normali vincoli (F2). Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

## *6.2. Fattibilità idraulica*

Relativamente ai criteri di fattibilità connessi alle condizioni di pericolosità idraulica (I2) è definita la seguente condizioni di fattibilità:

Fattibilità con normali vincoli (F2). Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

Per perseguire un maggiore livello di sicurezza idraulica è richiesto comunque di rialzare il piano di calpestio dei fabbricati di almeno 20 cm rispetto al piano di campagna, a meno di limitazioni derivanti da elementi di carattere tipologico e formale del patrimonio edilizio esistente. Trattandosi di interventi al di fuori delle zone a pericolosità idraulica elevata e molto elevata, non è richiesto il recupero dei volumi sottratti alla naturale esondazione.

## *6.3. Fattibilità sismica*

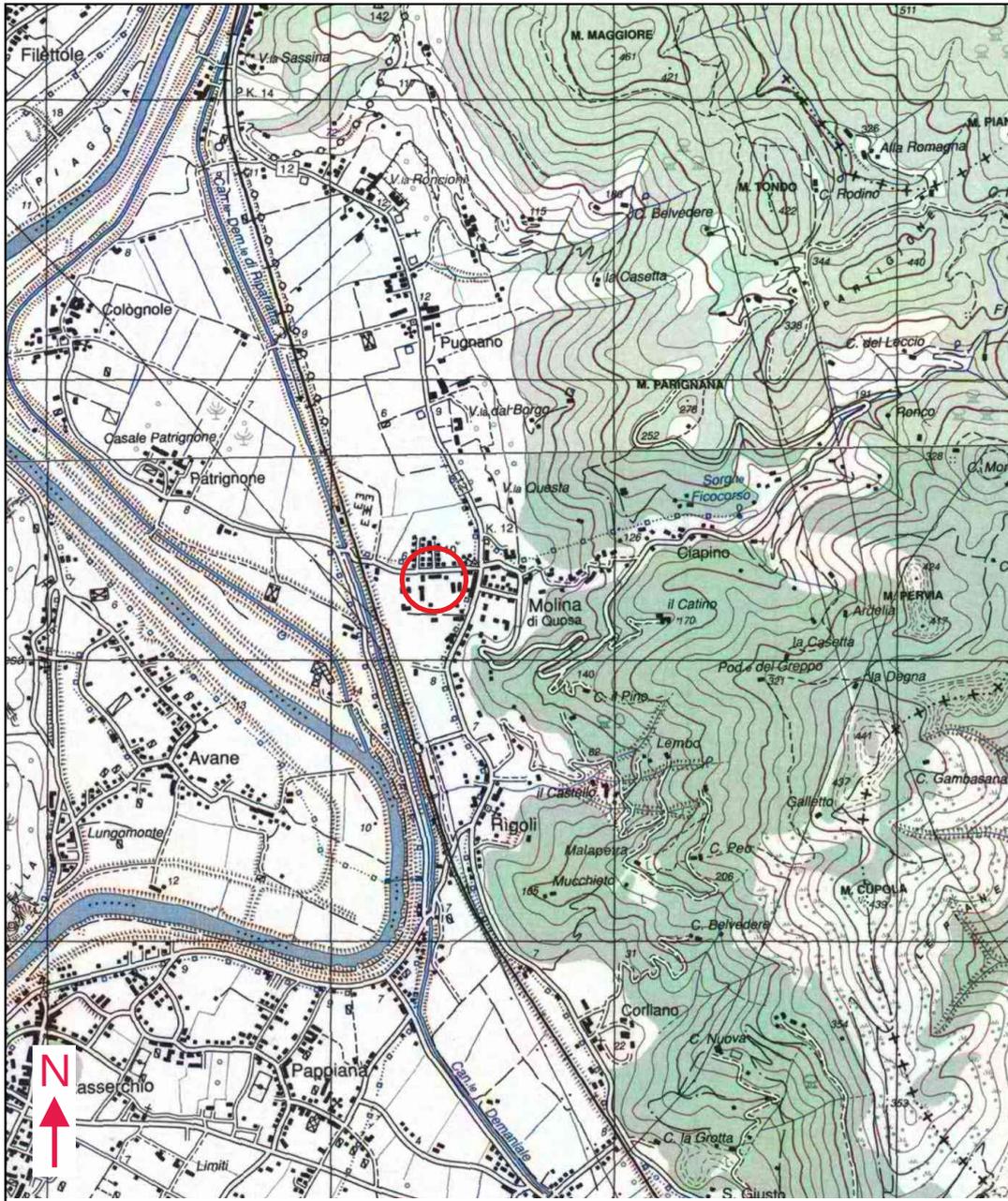
Relativamente ai criteri di fattibilità connessi alle condizioni di pericolosità sismica locale (S3) è definita la seguente condizioni di fattibilità:

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.

Si ritiene in questo caso che la prospezione sismica mediante la tecnica MASW e il sondaggio di sismica passiva a stazione singola illustrati in questa relazione siano sufficienti.

Arena Metato, lì 16/05/2022

Dott. Geol. Paolo Pardini

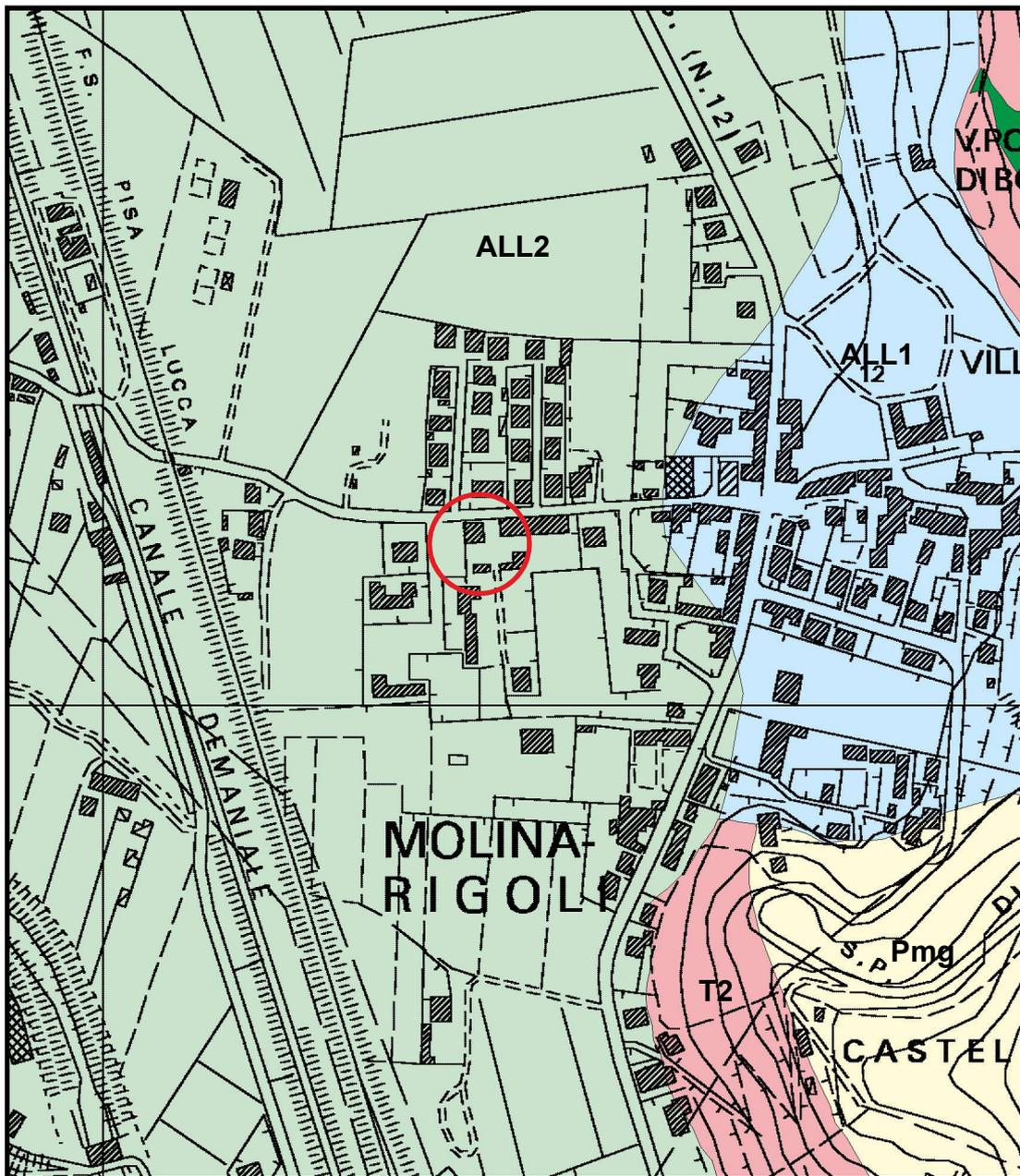


**LEGENDA**



Ubicazione dell'area d'intervento.

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



## LEGENDA

**ALL2**

Alluvioni recenti (Olocene)

**ALL1**

Conoidi di deiezione e alluvioni antiche (Quaternario)

**T2**

Calcare dolomitico cavernoso con breccie poligeniche (Norico)

**Pmg**

Arenarie quarzose micacee alternate a marne siltose grigio scure - Pseudomacigno (Cretaceo - Eocene)

**Sc**

Scisti sericitici grigi, verdi e rossastri inglobanti i terreni della precedente formazione (Cretaceo - Eocene)



Ubicazione dell'area d'intervento

Fig. 2 - Carta geologico-morfologica della zona in esame alla scala 1:5.000.

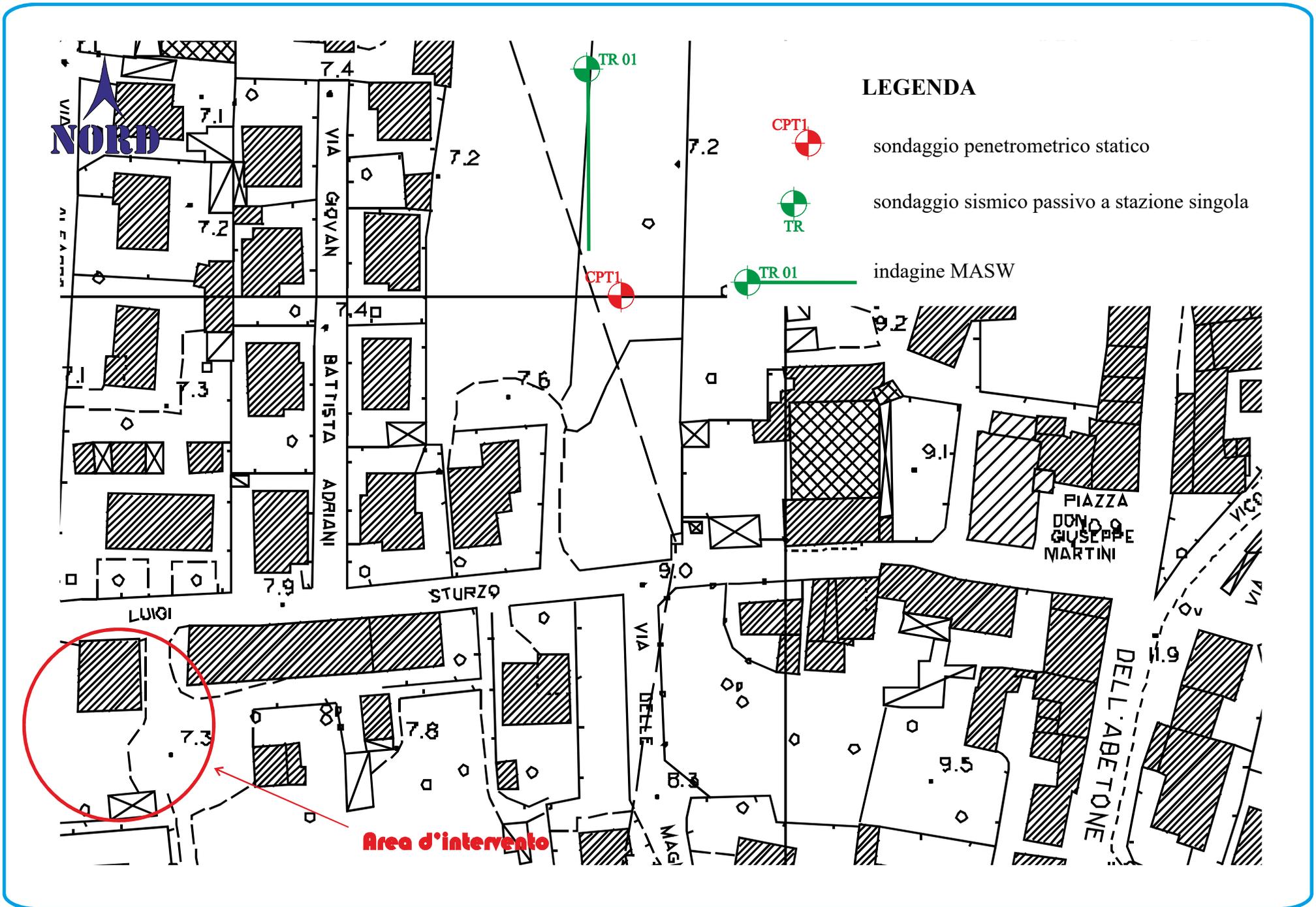
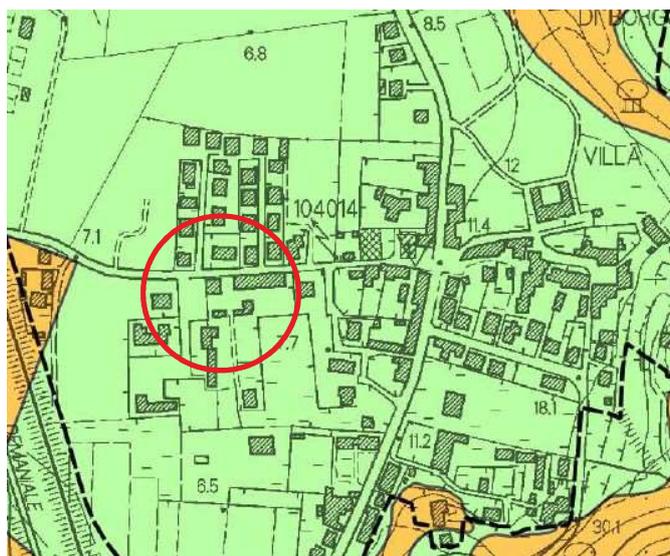
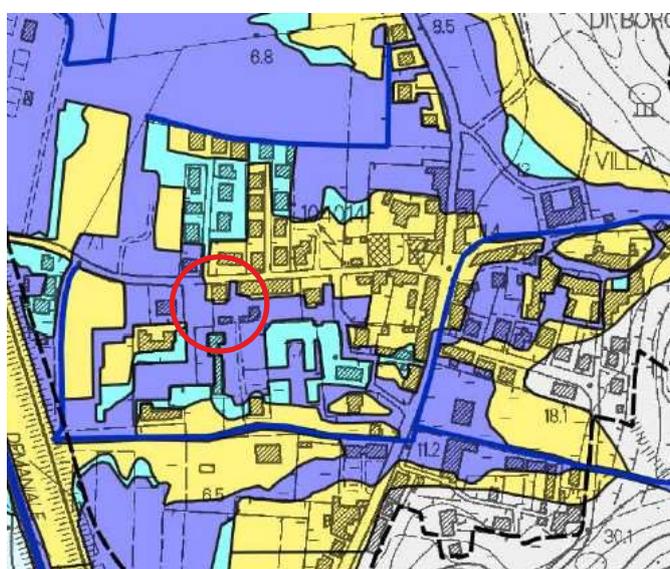


Fig. 3 - Planimetria prove geognostiche (scala 1:2.000).



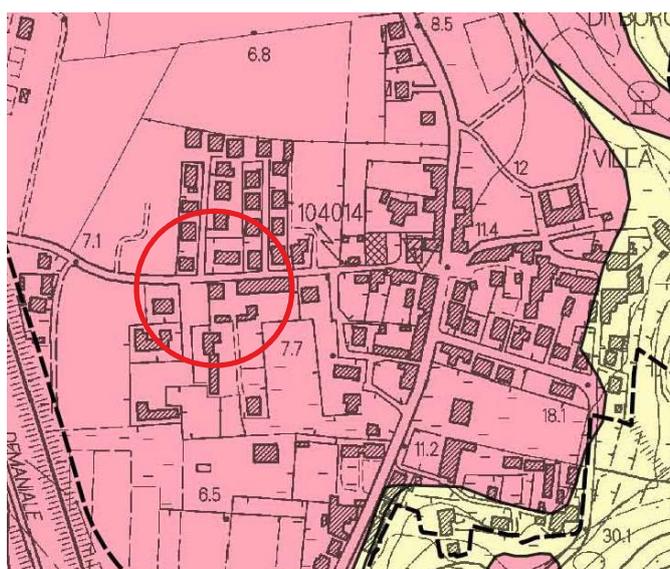
 G2 - Pericolosità geologica media



I.2 - Pericolosità idraulica media

Aree interessate da allagamenti con  $200 < Tr \leq 500$  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).



Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



## RELAZIONE TECNICA

Committente: Geol. Paolo Pardini

Località: Molina di Quosa

Data Indagine: 13/09/2012

Codice lavoro: 120913a

Norma di rif: ASTM D 3441-98

# PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.n.c.**

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

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data elaborazione: 17/09/2012

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

Codifica: PR 7.5 01\_17 Rev. 1 del 11/2011

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 1: Prova penetrometrica CPT1

# 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. : causa 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 20 cm sopra la 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/m<sup>2</sup> = 0,001 MN/m<sup>2</sup> = 0,001 MPa  $\approx$  0,1 t/m<sup>2</sup> = 0,01 kg/cm<sup>2</sup>

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1.000 kN/m<sup>2</sup> = 1000 kPa  $\approx$  100 t/m<sup>2</sup> = 10 kg/cm<sup>2</sup>

1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 t/m<sup>2</sup>  $\approx$  100 kN/m<sup>2</sup> = 100 kPa = 0,1 MN/m<sup>2</sup> = 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.



<b>PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA</b> <b>LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI</b>	<b>CPT</b>	<b>1</b>
	riferimento	<b>120913a</b>
	certificato n°	348/12

Committente: <b>Geol. Paolo Pardini</b>	U.M.: <b>kg/cm²</b>	Data esec.: 13/09/2012
Cantiere: <b>120913a</b>	Pagina: 1	Data certificato: 17/09/2012
Località: <b>Molina di Quosa - San Giuliano Terme</b>	Elaborato:	Falda:

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%	m	-	-	-	kg/cm²	kg/cm²	-	%
0.20	0.0	0	0	0.00	0.33	0									
0.40	37.0	42	0	37.00	0.80	46	2.2								
0.60	55.0	67	0	55.00	1.27	43	2.3								
0.80	23.0	42	0	23.00	1.13	20	4.9								
<b>1.00</b>	8.0	25	0	8.00	0.60	13	7.5								
1.20	10.0	19	0	10.00	0.60	17	6.0								
1.40	12.0	21	0	12.00	0.53	23	4.4								
1.60	14.0	22	0	14.00	0.67	21	4.8								
1.80	11.0	21	0	11.00	0.53	21	4.8								
<b>2.00</b>	10.0	18	0	10.00	0.40	25	4.0								
2.20	11.0	17	0	11.00	0.40	28	3.6								
2.40	10.0	16	0	10.00	0.53	19	5.3								
2.60	13.0	21	0	13.00	0.47	28	3.6								
2.80	12.0	19	0	12.00	0.53	23	4.4								
<b>3.00</b>	10.0	18	0	10.00	0.53	19	5.3								
3.20	11.0	19	0	11.00	0.47	23	4.3								
3.40	10.0	15	0	10.00	0.31	32	3.1								
3.60	22.0	31	0	22.00	0.57	39	2.6								
3.80	9.0	12	0	9.00	0.33	27	3.7								
<b>4.00</b>	9.0	14	0	9.00	0.47	19	5.2								
4.20	9.0	16	0	9.00	0.27	33	3.0								
4.40	8.0	12	0	8.00	0.33	24	4.1								
4.60	8.0	13	0	8.00	0.27	30	3.4								
4.80	8.0	12	0	8.00	0.40	20	5.0								
<b>5.00</b>	7.0	13	0	7.00	0.40	18	5.7								
5.20	7.0	13	0	7.00	0.40	18	5.7								
5.40	8.0	14	0	8.00	0.40	20	5.0								
5.60	8.0	14	0	8.00	0.40	20	5.0								
5.80	7.0	13	0	7.00	0.40	18	5.7								
<b>6.00</b>	7.0	13	0	7.00	0.53	13	7.6								
6.20	7.0	15	0	7.00	0.40	18	5.7								
6.40	6.0	12	0	6.00	0.40	15	6.7								
6.60	6.0	12	0	6.00	0.27	22	4.5								
6.80	6.0	10	0	6.00	0.27	22	4.5								
<b>7.00</b>	6.0	10	0	6.00	0.47	13	7.8								
7.20	8.0	15	0	8.00	0.47	17	5.9								
7.40	8.0	15	0	8.00	0.53	15	6.6								
7.60	8.0	16	0	8.00	0.40	20	5.0								
7.80	7.0	13	0	7.00	0.33	21	4.7								
<b>8.00</b>	6.0	11	0	6.00	0.33	18	5.5								
8.20	7.0	12	0	7.00	0.33	21	4.7								
8.40	7.0	13	0	7.00	0.39	18	5.6								
8.60	10.0	20	0	10.00	0.40	25	4.0								
8.80	7.0	13	0	7.00	0.33	21	4.7								
<b>9.00</b>	7.0	13	0	7.00	0.39	18	5.6								
9.20	9.0	15	0	9.00	0.39	23	4.3								
9.40	9.0	13	0	9.00	0.53	17	5.9								
9.60	17.0	25	0	17.00	0.60	28	3.5								
9.80	9.0	18	0	9.00	0.47	19	5.2								
<b>10.00</b>	8.0	15	0	8.00	0.47	17	5.9								
10.20	9.0	16	0	9.00	0.47	19	5.2								
10.40	11.0	18	0	11.00	0.60	18	5.5								
10.60	10.0	19	0	10.00	0.60	17	6.0								
10.80	13.0	22	0	13.00	0.73	18	5.6								
<b>11.00</b>	13.0	24	0	13.00	0.73	18	5.6								
11.20	11.0	22	0	11.00	0.67	16	6.1								
11.40	11.0	21	0	11.00	0.73	15	6.6								
11.60	10.0	21	0	10.00	0.53	19	5.3								
11.80	10.0	18	0	10.00	0.73	14	7.3								
<b>12.00</b>	11.0	22	0	11.00	0.73	15	6.6								
12.20	11.0	22	0	11.00	0.67	16	6.1								
12.40	11.0	21	0	11.00	0.60	18	5.5								
12.60	12.0	21	0	12.00	0.00	18	0.0								

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	0.20 m sopra quota qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT =10.00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI DI RESISTENZA

**CPT**

**1**

riferimento

**120913a**

certificato n°

348/12

Committente: **Geol. Paolo Pardini**

Cantiere: **120913a**

Località: **Molina di Quosa - San Giuliano Terme**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Scala: **1:65**

Pagina: **1**

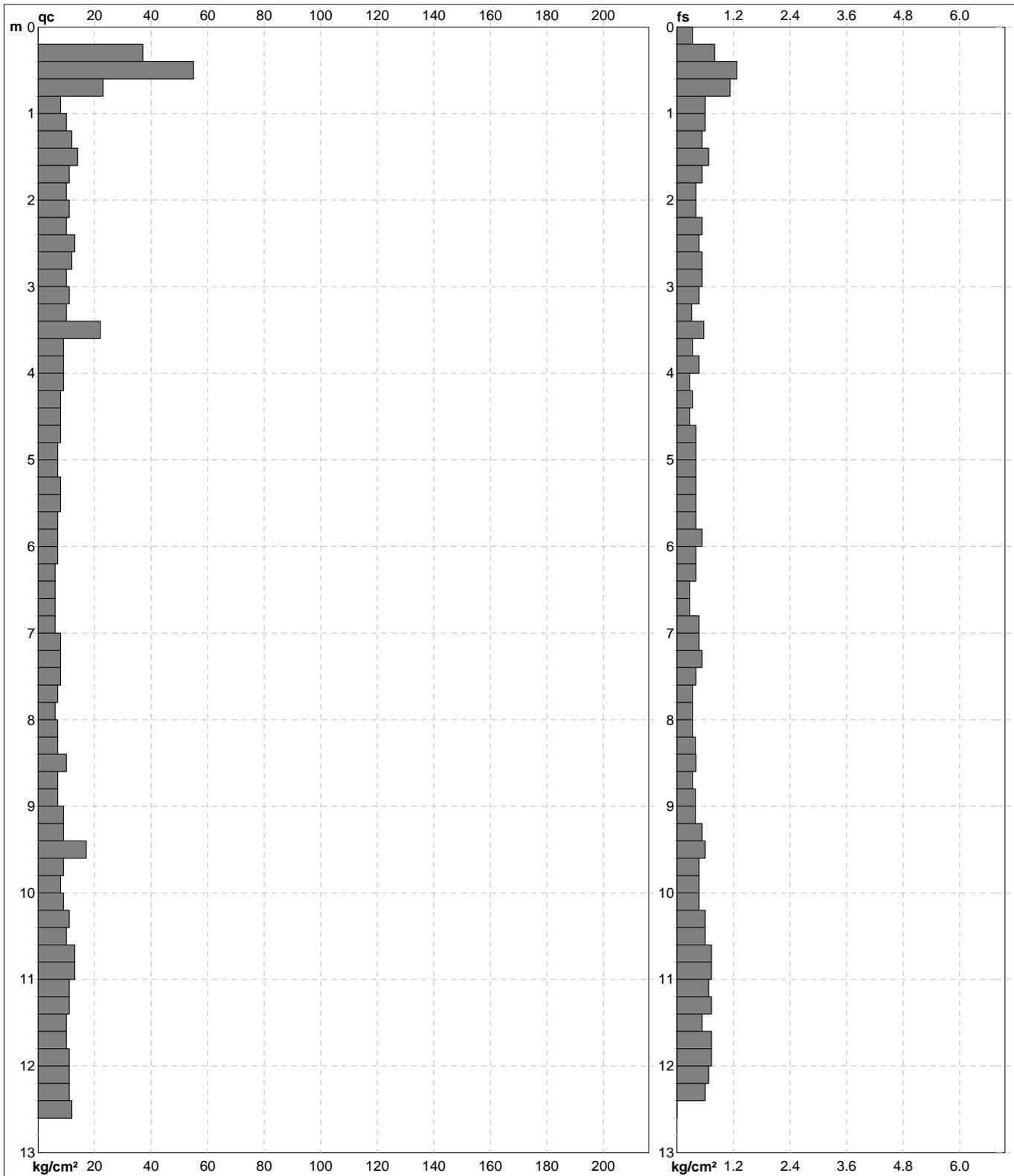
Elaborato:

Data esec.: **13/09/2012**

Data certificato: **17/09/2012**

Quota inizio:

Falda:



Penetrometro: TG63-200  
 Responsabile: Geol. Jacopo Martini  
 Assistente: Dott. Filippo Nerli

Preforo: m  
 Corr.astine: kg/ml  
 Cod. punta:

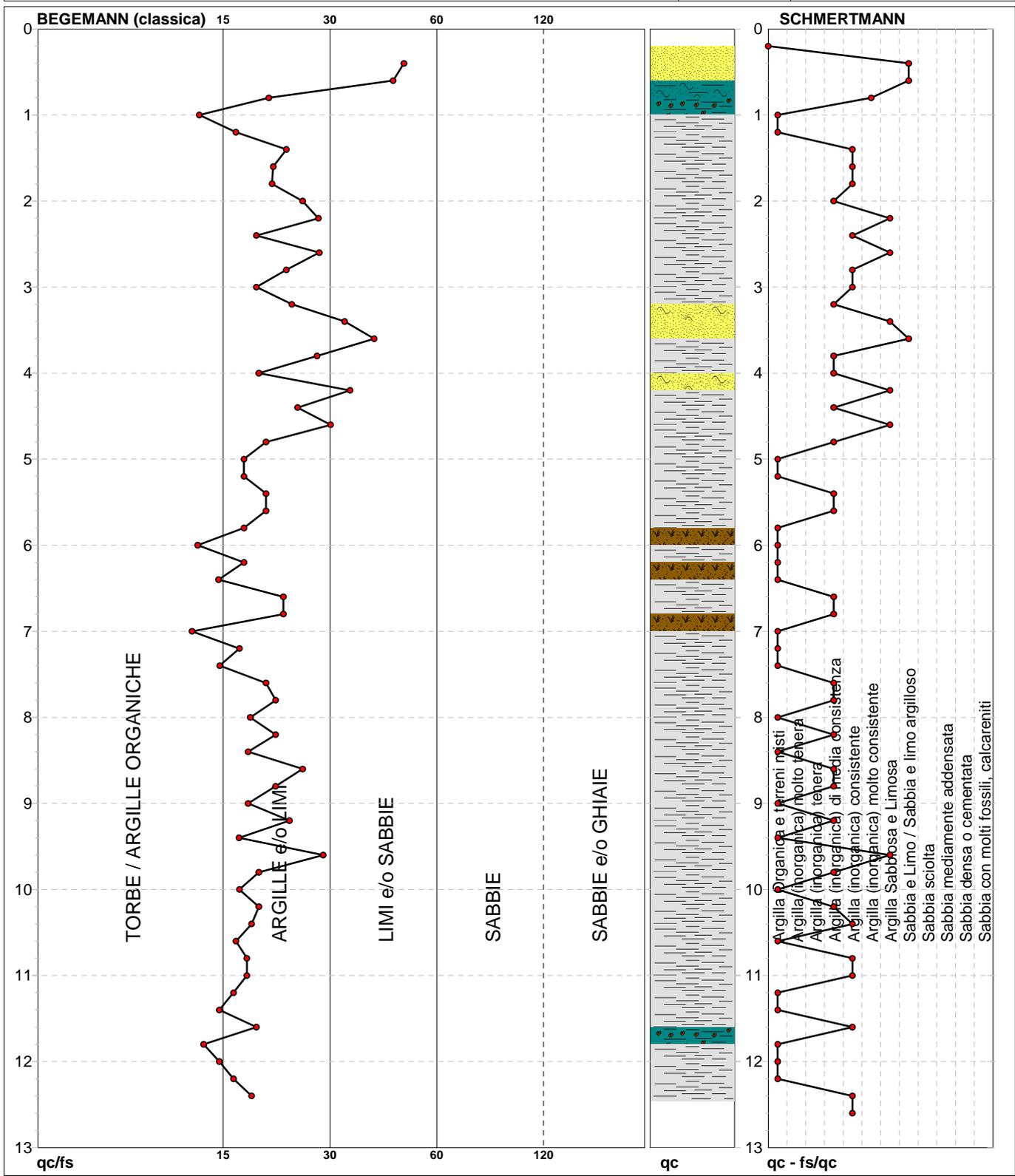
# PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

## DIAGRAMMI LITOLOGIA

<b>CPT</b>	<b>1</b>
riferimento	<b>120913a</b>
certificato n°	348/12

Committente: **Geol. Paolo Pardini**  
 Cantiere: **120913a**  
 Località: **Molina di Quosa - San Giuliano Terme**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 13/09/2012  
 Scala: 1:65    Data certificato: 17/09/2012  
 Pagina: 1  
 Elaborato:    Falda:



Torbe / Argille org. :	9 punti, 14.06%	Argilla Organica e terreni misti:	22 punti, 34.38%	Argilla Sabbiosa e Limosa:	6 punti, 9.38%
Argille e/o Limi :	51 punti, 79.69%	Argilla (inorganica) media consist.:	18 punti, 28.13%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	3 punti, 4.69%
Limi e/o Sabbie :	5 punti, 7.81%	Argilla (inorganica) consistente:	11 punti, 17.19%		
		Argilla (inorganica) molto consist.:	1 punti, 1.56%		



ALL. 2 - INDAGINE SISMICA

## 1. PREMESSA

La seguente indagine geofisica è stata eseguita nel Comune di San Giuliano Terme (PI), in località Molina di Quosa ed è stata finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S), al calcolo del parametro Vs30 e al calcolo della frequenza di risonanza caratteristica del sito.

L'indagine, svolta in data 11 Ottobre 2010, 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 Vs, 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 rigidezza 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 rigidezza 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:

<b>PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW</b>	
Coordinate WGS84 centro stesa	43,7971381192638– 10,4222630657557
Orientazione	N - S
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.

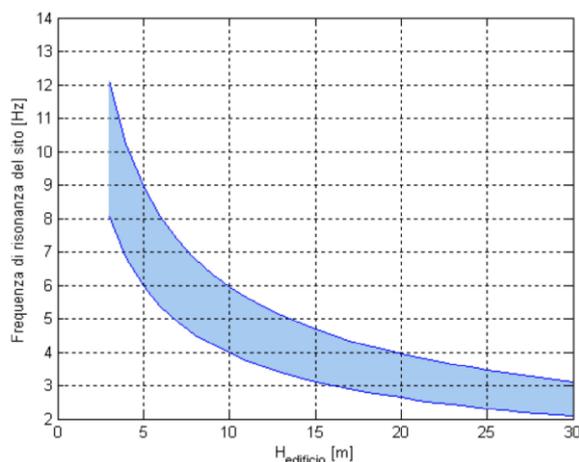
Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale 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
<b>TR1</b>	10,4222630657557	43,7971381192638	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  $V_{s30}$ <sup>1</sup> 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 passiva<sup>2</sup> 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]
0.30	0.30	70
2.30	2.00	150
7.30	5.00	160
11.30	4.00	140
19.30	8.00	200
29.30	10.00	330
64.30	35.00	350
inf.	inf.	550

Il profilo di velocità sismica indica una  $V_{s30}$ , riferita a 1 m da p.c., pari a 200 m/s

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

<sup>2</sup> 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 **1.59 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 C** di sottosuolo.

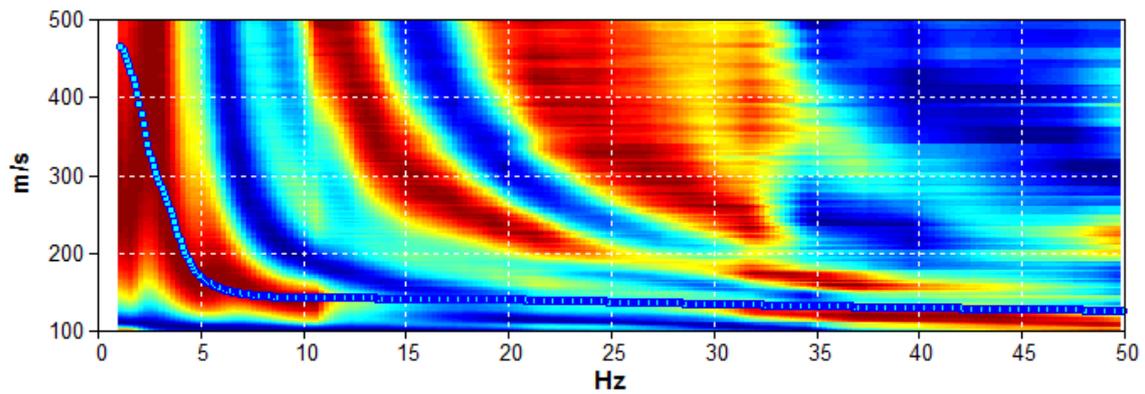
**MOLINA DI QUOSA, [Z] MASW**

Inizio registrazione: 16/10/10 16:44:16 Fine registrazione: 16/10/10 16:53:58  
 Durata registrazione: 0h09'36". Analizzato 54% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 512 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ;  
 B9 ; B10 ; B11 ; B12

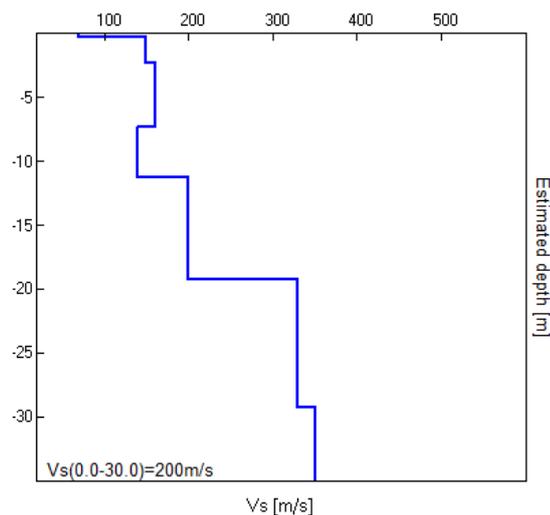
Array geometry (x): 2.0 3.0 5.0 7.0 11.0 13.0 17.0 19.0 23.0 29.0 31.0 37.0 m.

THEORETICAL RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	70	0.35
2.30	2.00	150	0.35
7.30	5.00	160	0.35
11.30	4.00	140	0.35
19.30	8.00	200	0.35
29.30	10.00	330	0.35
64.30	35.00	350	0.35
inf.	inf.	550	0.35

Vs(0.0-30.0)=200m/s



### INDAGINE H/V

Strumento: TEP-0085/01-10

Inizio registrazione: 16/10/10 16:55:50 Fine registrazione: 16/10/10 17:03:51

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h08'00". Analizzato 54% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

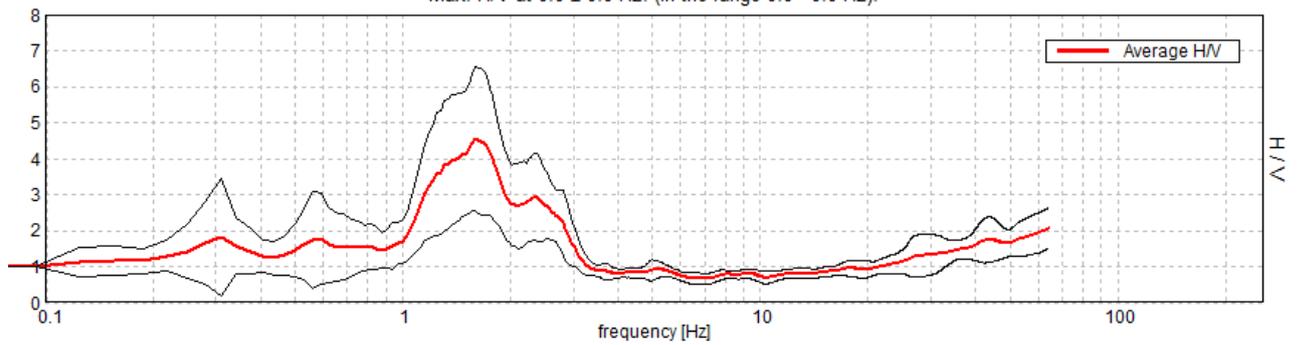
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

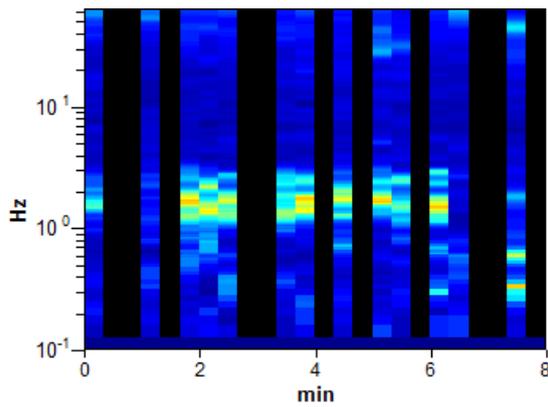
Lisciamento: 10%

#### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

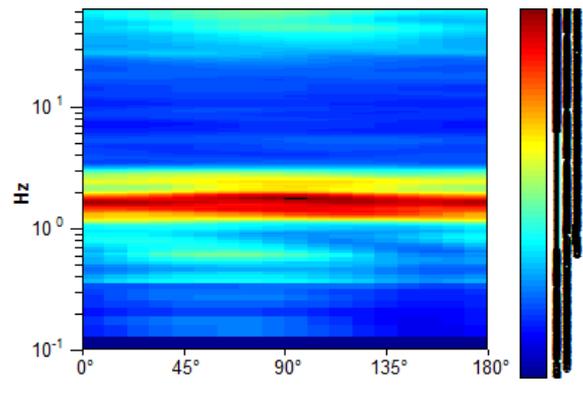
Max. H/V at 0.0 ± 0.0 Hz. (In the range 0.0 - 0.0 Hz).



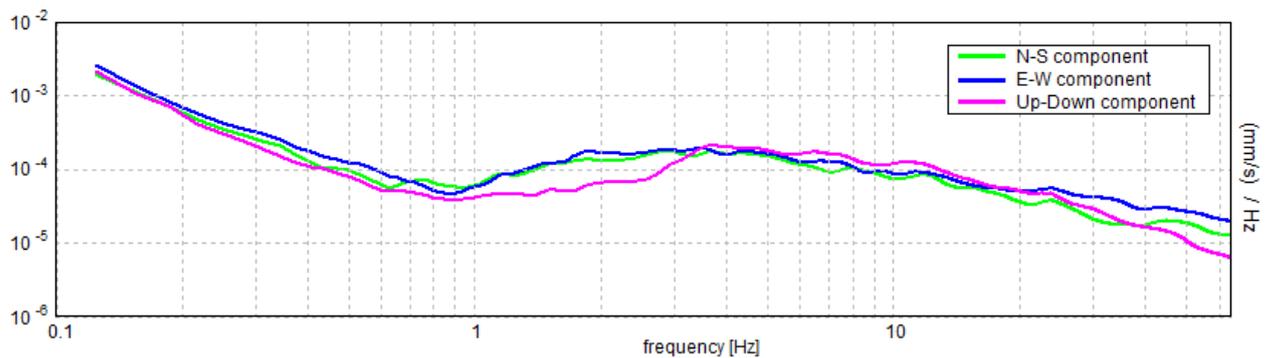
#### SERIE TEMPORALE H/V



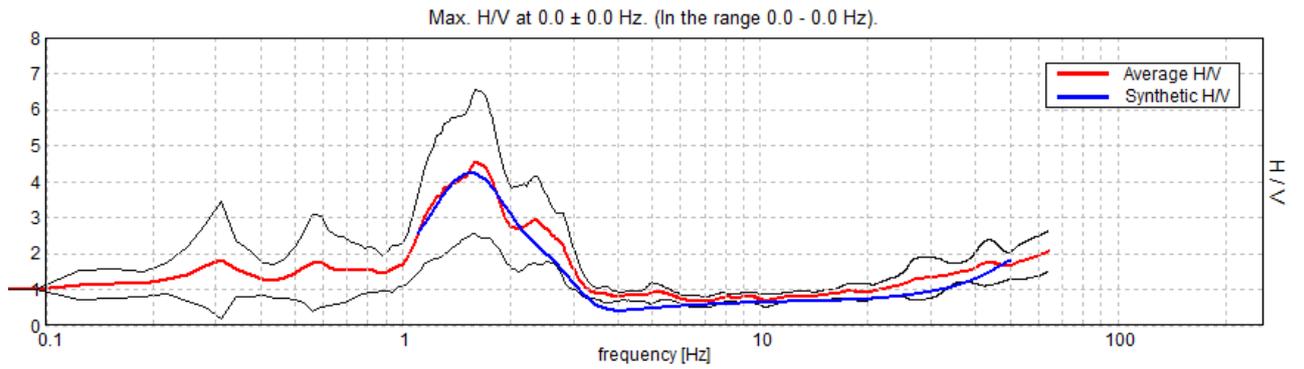
#### DIREZIONALITA' H/V



#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

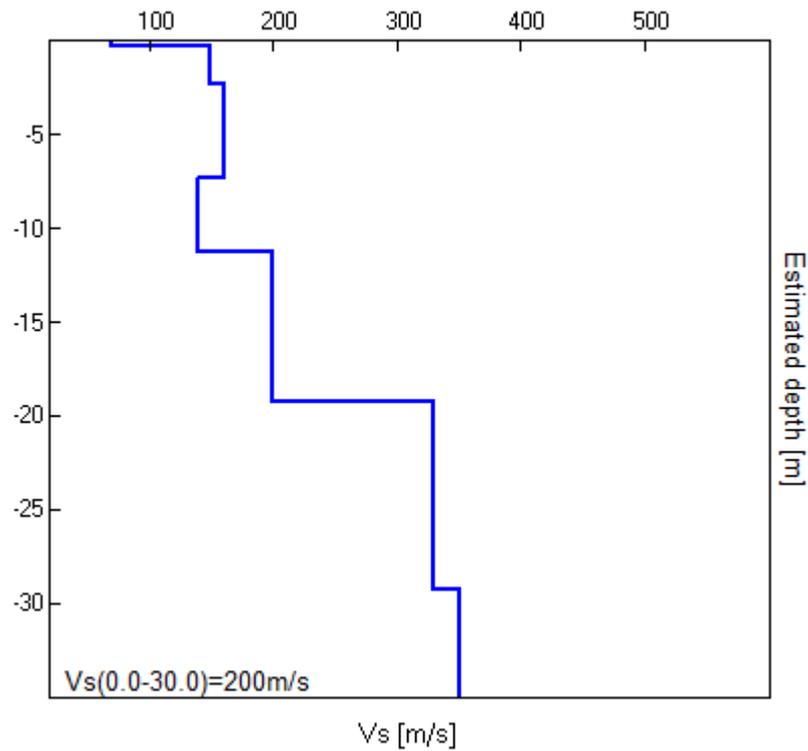


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	70	0.35
2.30	2.00	150	0.35
7.30	5.00	160	0.35
11.30	4.00	140	0.35
19.30	8.00	200	0.35
29.30	10.00	330	0.35
64.30	35.00	350	0.35
inf.	inf.	550	0.35

Vs(0.0-30.0)=200m/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  $1.59 \pm 0.04$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.59 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$414.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 2 volte su 78		NO

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.063 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.55 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01088  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01733 < 0.15938$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8748 < 1.78$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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