

Studio di Geologia  
GEODES

via Valmaira, 14  
55032 Castelnuovo Garfagnana (LU)  
tel 0583 - 644096  
e.mail - geodes@inwind.it

Provincia di Pisa  
Comune di San Giuliano Terme

VARIANTE PUNTUALE AL PIANO OPERATIVO  
(ai sensi dell'articolo 34 della L.R.65\_2014)  
inerente l'intervento di  
*“Rifacimento di un tratto del muro di contenimento del rilevato  
stradale della Via dei Molini in frazione di Molina di Quosa, con  
allargamento della sede stradale”*

Reazione geologico tecnica

COMMITTENTE : Amministrazione Comunale San Giuliano Terme



dott.geol. Leonardo Moni

collaboratori : geom. Consuelo Adami  
geol. Luca Moni

data: 19 aprile 2022

File testo : Relazioni 2022/ Molina di Quosa  
VARIANTE al P.O.

## **INDICE**

Premessa

A.Sintesi delle conoscenze

B.Analisi e approfondimenti

B1.Elementi per la valutazione degli aspetti geologici

B2.Elementi per la valutazione degli aspetti geomorfologici

B3.Elementi per la valutazione degli aspetti geologico tecnici

B4.Elementi per la valutazione degli aspetti idraulici

B5.Elementi per la valutazione degli aspetti connessi alla risorsa idrica sotterranea

B6.Elementi per la valutazione degli effetti sismici locali

C. Valutazione della pericolosità

C1.Carta della pericolosità geologica

C2.Carta della pericolosità idraulica

C3.Carta della pericolosità sismica

D.Valutazione della fattibilità

D1a.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geologici  
(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)

D1b.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geologici  
(definiti sulla base degli abachi di fattibilità geologica di POC vigente)

D2a.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti legati alla pericolosità da alluvioni  
(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)

D2b.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici  
(definiti sulla base degli abachi di fattibilità idraulica di POC vigente)

D3.Criteri generali di fattibilità in relazione a problematiche connesse alla risorsa idrica

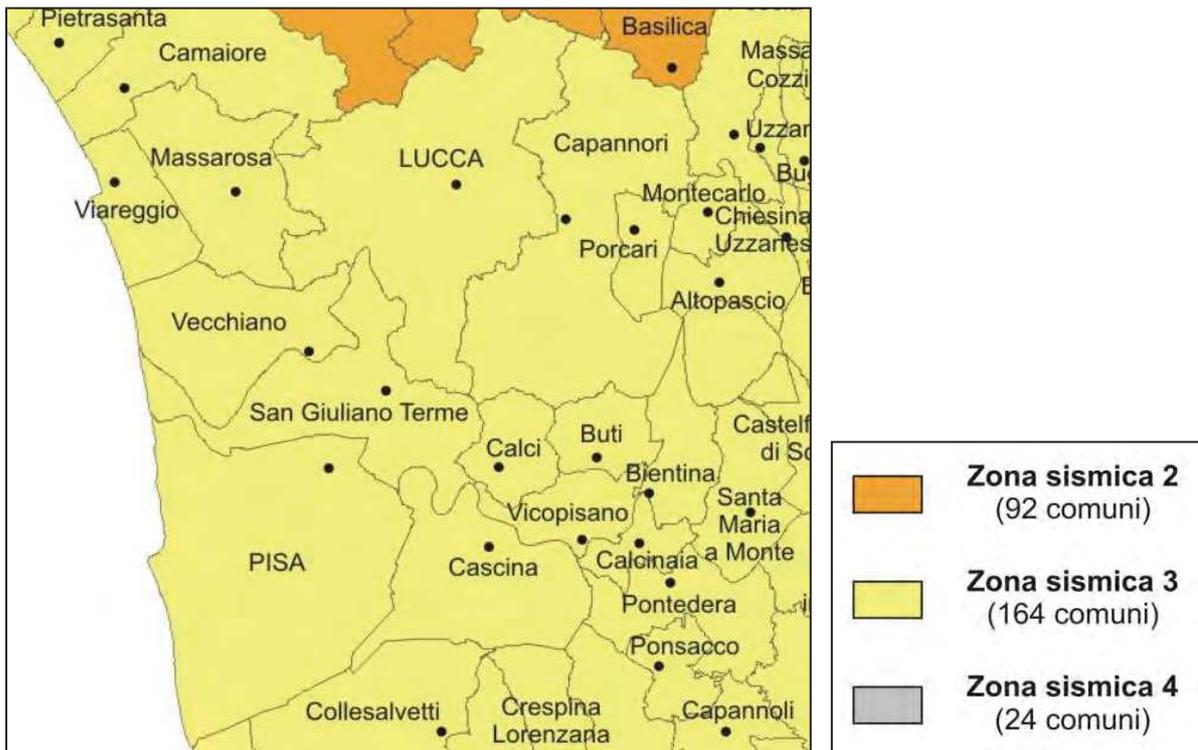
D4a.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti sismici  
(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)

D4b.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti sismici  
(definiti sulla base degli abachi di fattibilità sismica di POC vigente)

## Premessa

Su incarico dell'Amministrazione di S.Giuliano Terme (Pisa) sono state condotte indagini geologiche a supporto di variante puntuale al Piano Operativo Comunale (POC), condotta ai sensi dell'articolo 34 della L.R. 65\_2014 (*Varianti mediante approvazione del progetto*), inerente l'intervento di "Rifacimento di un tratto del muro di contenimento del rilevato stradale della Via dei Molini in frazione di Molina di Quosa, con allargamento della sede stradale"

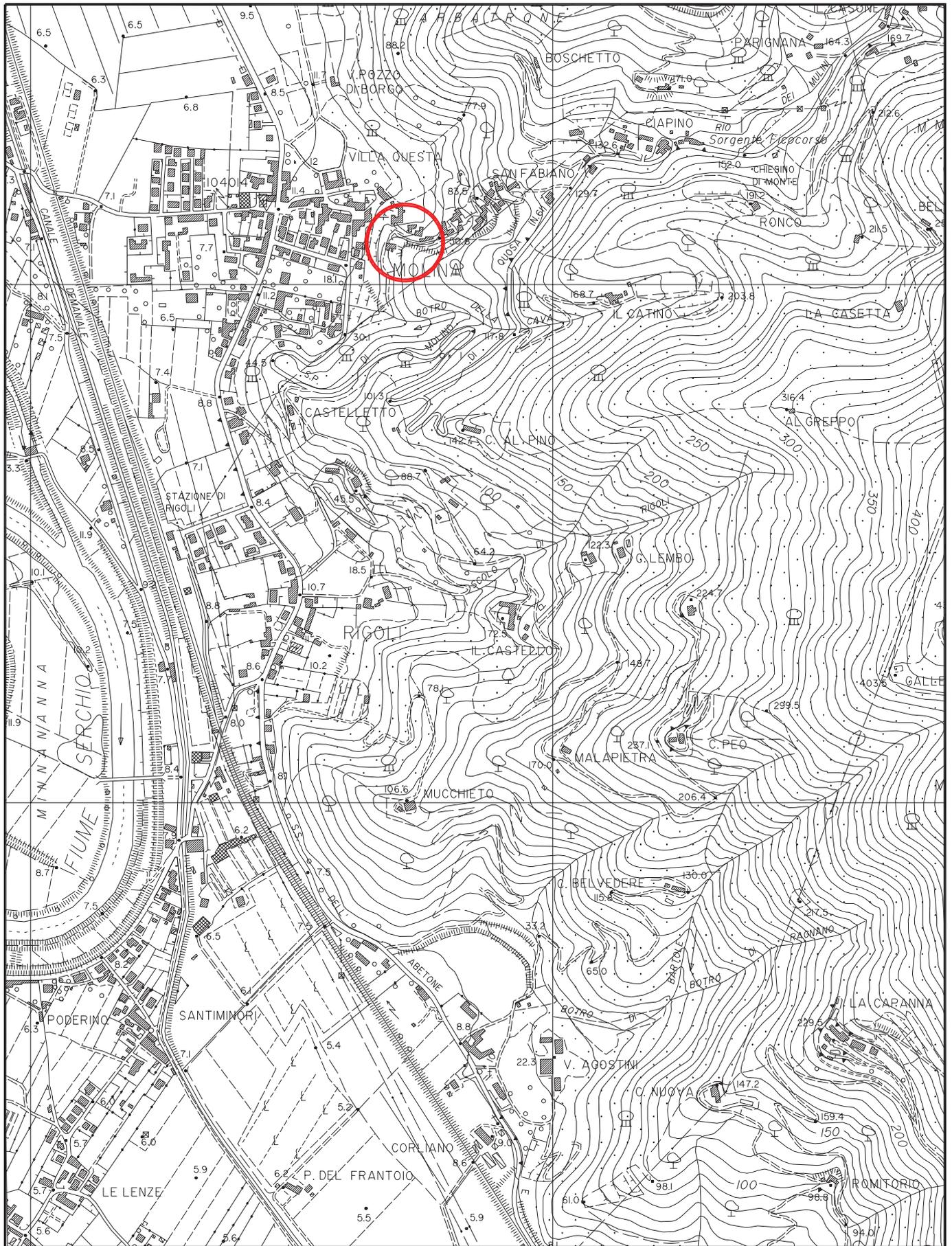
Il Comune di San Giuliano terme (codice ISTAT 09050031) e' stato classificato in zona sismica 3 (Delibera GRT n.421 del 26/05/2014).



La variante e' state realizzata in rispetto delle disposizioni contenute in Decreto del Presidente della Giunta Regionale Toscana 30 gennaio 2020, n. 5/R.

Il quadro conoscitivo preso a riferimento e' quello di Piano Operativo Comunale, di recente approvazione.

La variante riguarda una modesta area adiacente il tracciato viario comunale che sara' interessata dagli interventi di *rifacimento di un tratto del muro di contenimento del rilevato stradale della Via dei Molini in frazione di Molina di Quosa, con allargamento della sede stradale.*



INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO in scala 1:10000

## **A.Sintesi delle conoscenze**

*La sintesi delle conoscenze comprende la raccolta della documentazione relativa al quadro conoscitivo ..... ed è finalizzata ad inquadrare le problematiche ed i vincoli presenti sul territorio (DGRT n.31 del 20 gennaio 2020 - Direttive tecniche - allegato A della 5/R).*

Il Piano Operativo Comunale (POC) del Comune di San Giuliano Terme e' stato approvato con delibera di Consiglio Comunale n°54 del 30 ottobre 2019 ed aggiornato ai sensi dell'art. 21 della L.R. 65/2014 e s.m.i. alla data del 30/11/2021; esso rappresenta pertanto uno strumento recente che racchiude al suo interno tutte le conoscenze, informazioni e dati necessari per la definizione della presente variante.

Sempre nella definizione della presente variante si e' inoltre preso atto dei contenuti della Delibera n.26 del 20/12/2021 - Conferenza Istituzionale Permanente del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale - Secondo ciclo Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) - Adozione primo aggiornamento (2021-2027) ai sensi degli articoli 65 e 66 del d.lgs 152/2006 e adozione delle relative misure di salvaguardia ai sensi dell'articolo 65 commi 7 e 8 del medesimo decreto.

## **B.Analisi e approfondimenti**

*Gli approfondimenti sono quelli ritenuti necessari per dare completezza, integrare ed aggiornare le conoscenze sugli aspetti geologici, geomorfologici, sismici, idraulici, caratterizzanti l'intero territorio comunale..... L'analisi consente di individuare le problematiche presenti che sono di norma rappresentate in scala 1:10.000 (DGRT n.31 del 20 gennaio 2020 - Direttive tecniche - allegato A della 5/R).*

Data la natura degli interventi di variante e la limitata estensione dell'area da essi interessata non si e' ritenuto necessario condurre analisi ed approfondimenti ulteriori rispetto a quelli correlati con il progetto da realizzare ed a quelli derivanti dal POC.

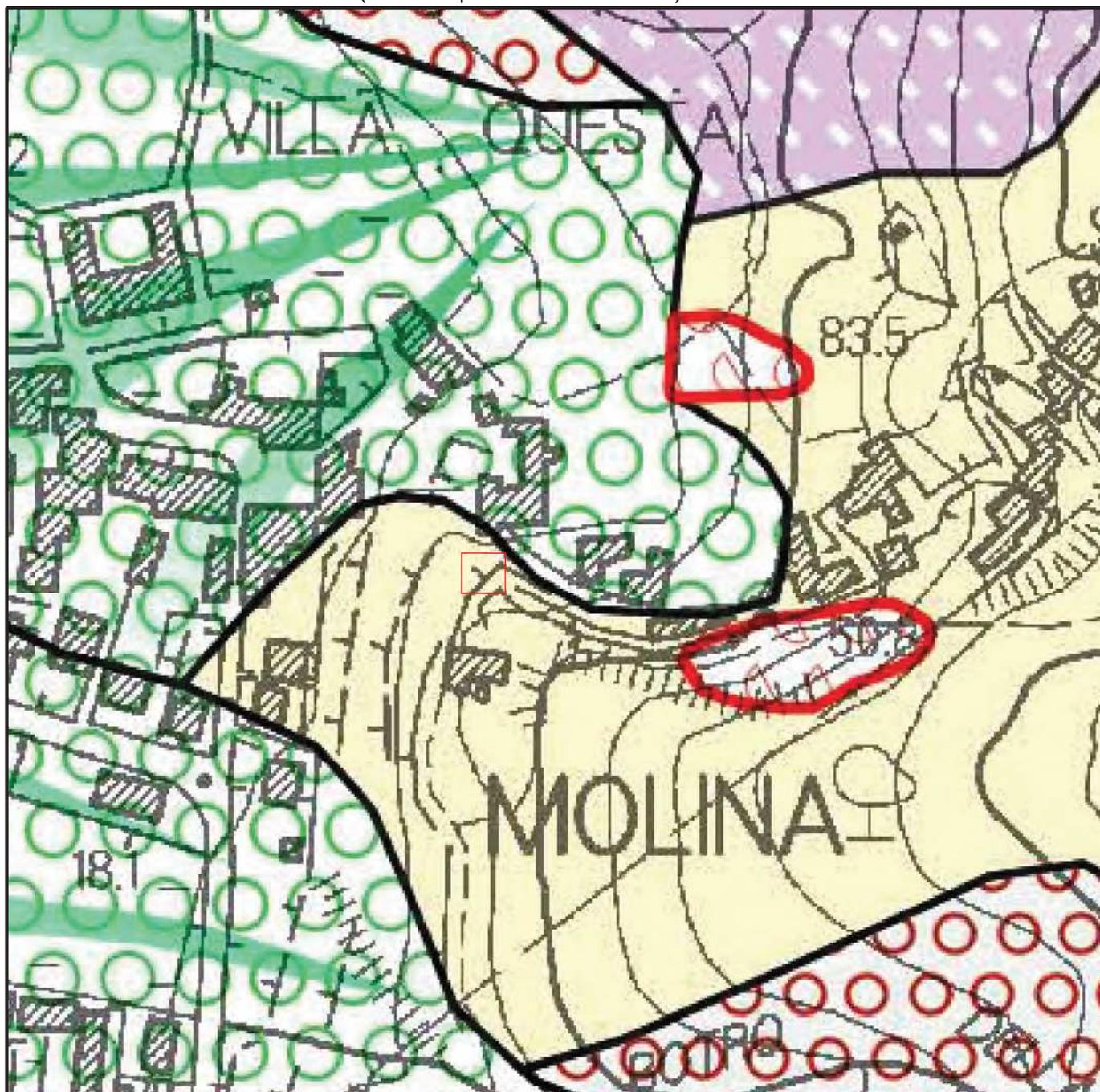
### **B1.Elementi per la valutazione degli aspetti geologici**

### **B2.Elementi per la valutazione degli aspetti geomorfologici**

La carta di riferimento e' quella geomorfologica di POC, dettagliata e modificata attraverso i risultati delle indagini condotte a supporto degli interventi di bonifica del dissesto sviluppatosi, nell'area di variante, lungo il tracciato stradale comunale (Via dei Molini).

Le specifiche analisi condotte a supporto del progetto di bonifica del dissesto sviluppatosi hanno consentito di bene definire le caratteristiche e le geometrie di frana, come rappresentato sugli elaborati grafici di seguito allegati.

La zona di variante *per allargamento della sede stradale* coincide praticamente con l'impronta della soletta a sbalzo prevista dal progetto, oltre ad un suo "congruo" intorno.



**Legenda**

Limite comunale

Corpi d'acqua

**Aree molto acclivi/scarpate**

- Scarpata di ex cava
- Scarpata di ex cava ripristinata
- Scarpata morfologica

**Forme e processi antropici**

- Area di cava
- Principali rilevati arginali e stradali

**Forme, processi e depositi di versante**

- Frana attiva
- Frana quiescente
- Sessala
- Detrito di versante
- Falda detritica

**Forme, processi e depositi fluviali**

- Corpo d'acqua
- Cono detritico
- Cono di deiezione
- Area golenali
- Impluvio in erosione
- Paleocanali

**Forme, processi e depositi costieri**

- Morfologia costiera. Area con evidenza di erosione e trasporto di origine marina ed eolica
- Terreni prevalentemente limoso-argillosi di depressione retrodunare
- Sabbie pulite di duna

**Aree di fondovalle**

**Sedimenti alluvionali attuali e recenti**

- Terreni prevalentemente sabbioso-limosi
- Terreni prevalentemente argillosi
- Terreni argillosi organici

**Sedimenti del Pleistocene superiore**

- Sabbie e limi di Vicarello
- Alluvioni terrazzate

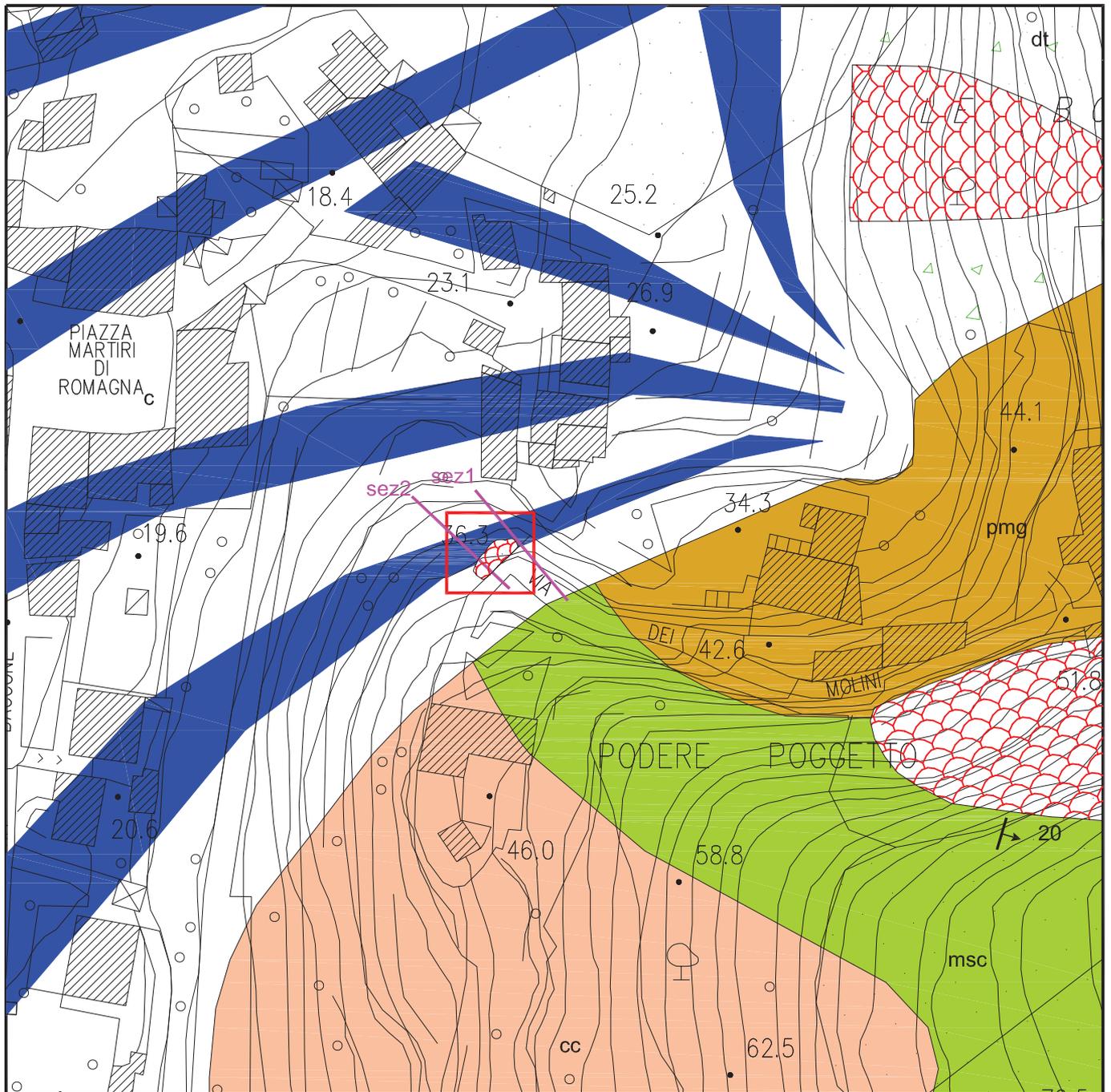
**Aree di versante**

- Copertura pedologica
- Formazioni silicoclastiche non metamorfiche
- Formazioni metamorfiche con foliazione
- Formazioni calcaree
- Formazioni metamorfiche quarzitiche
- Formazioni metamorfiche conglomeratiche



Area di variante

CARTA GEOMORFOLOGICA DI VARIANTE in scala 1:1000



QUATERNARIO

-  Frane attive
-  Detriti e terreni di copertura (dt)
-  Conoidi di deiezione (c)

SUCCESSIONE TOSCANA NON METAMORFICA

-  Calcare cavernoso (cc): calcari a "cellette", dolomie e calcari dolomitici brecciati  
età: Norico - Retico

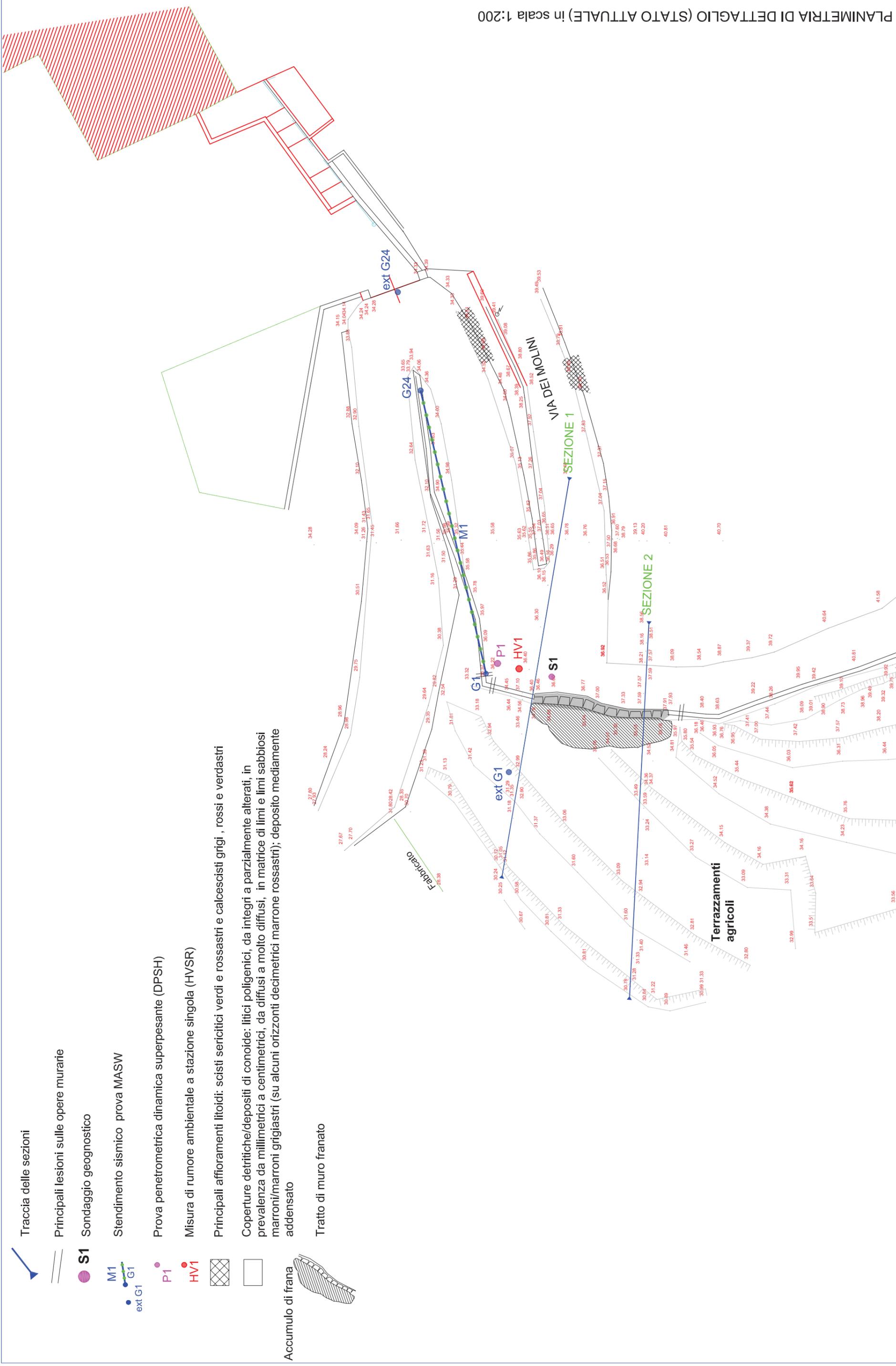
SUCCESSIONE TOSCANA METAMORFICA

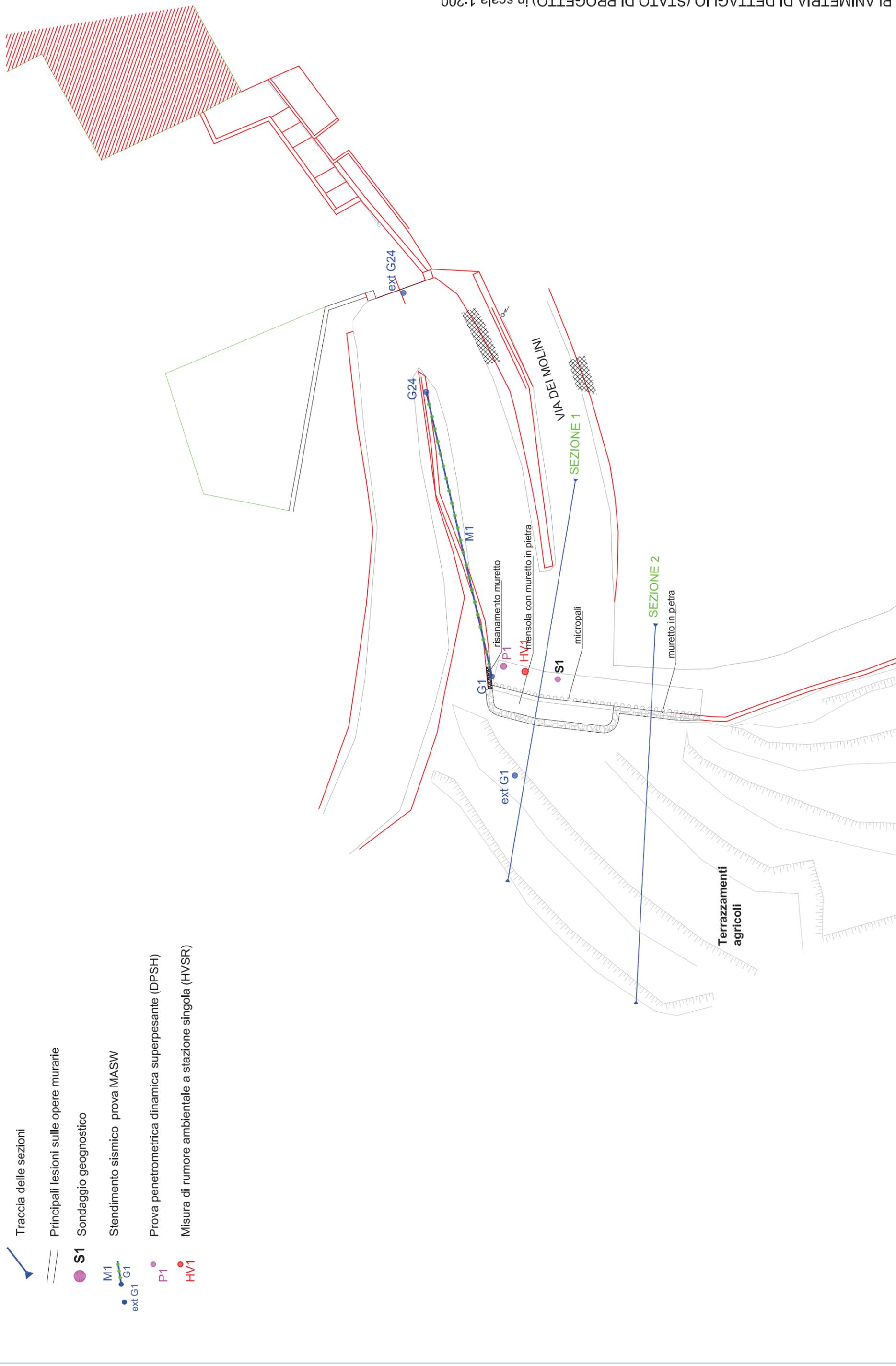
-  Pseudomacigno (pmg): metarenarie quarzoso - feldspatico - micacee , alternate a filladi quarzitiche  
età: Oligocene superiore
-  Scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi, rossi e verdastrì (msc)  
età: Eocene - Cretaceo

SEGNI CONVENZIONALI

-  20 Misure di stratificazione
-  Area di variante
-  Traccia delle sezioni

-  Traccia delle sezioni
-  Principali lesioni sulle opere murarie
-  **S1** Sondaggio geognostico
-  M1  
G1  
ext G1 Stendimento sismico prova MASW
-  P1 Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)
-  HV1 Misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR)
-  Principali affioramenti litoidi: scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi, rossi e verdastri
-  Coperture detritiche/depositi di conoide: litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni/marroni grigiastri (su alcuni orizzonti decimetrici marrone rossastri); deposito mediamente addensato
-  Accumulo di frana





Traccia delle sezioni

Principali lesioni sulle opere murarie

S1 Sondaggio geognostico

M1 Stendimento sismico prova MASW

P1 Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)

HV1 Misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR)

M1  
G1  
ext G1

P1

HV1

Terrazzamenti  
agricoli

VIA DEI MOLINI

SEZIONE 1

SEZIONE 2

ext G24

G24

G1

ext G1

risanamento muretto

P1

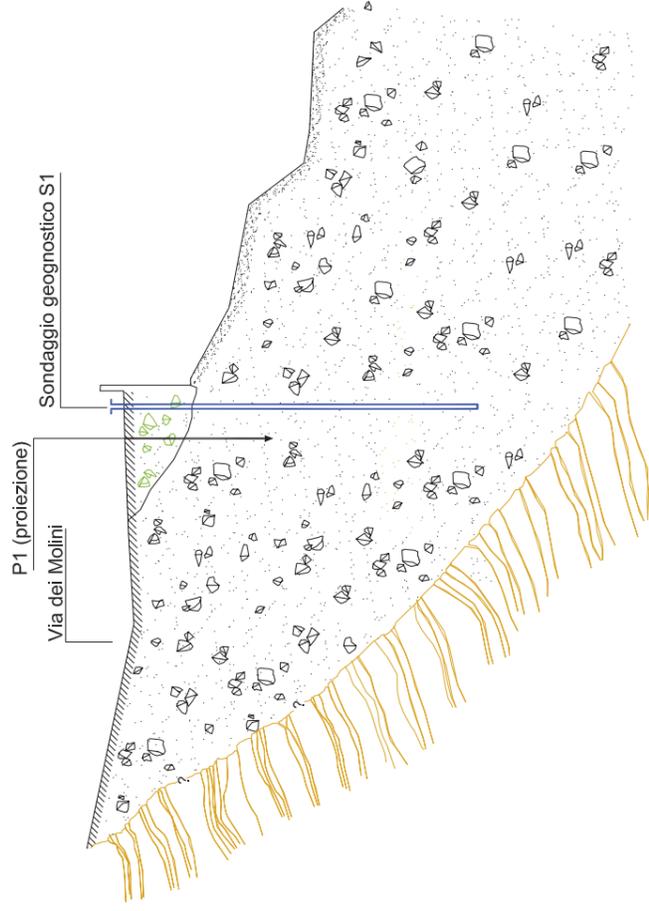
HV1

S1

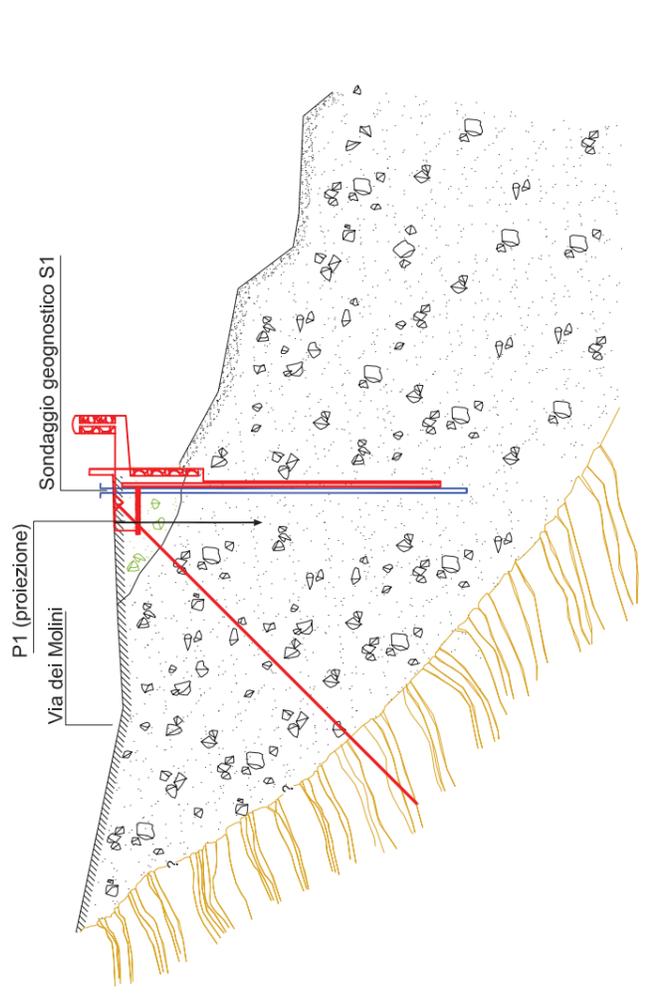
mensola con muretto in pietra

micropali

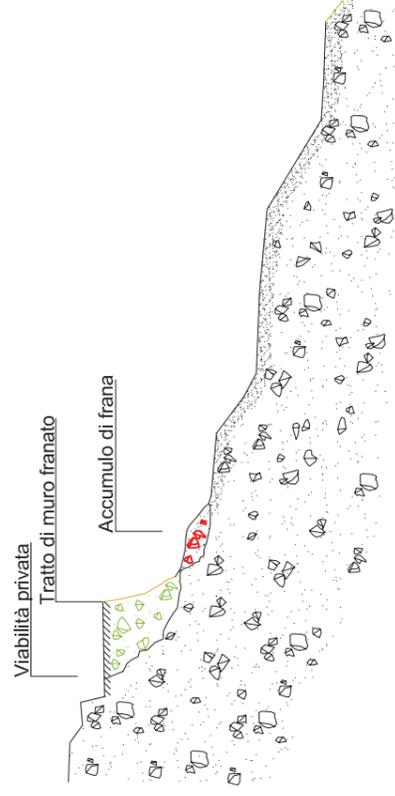
muretto in pietra



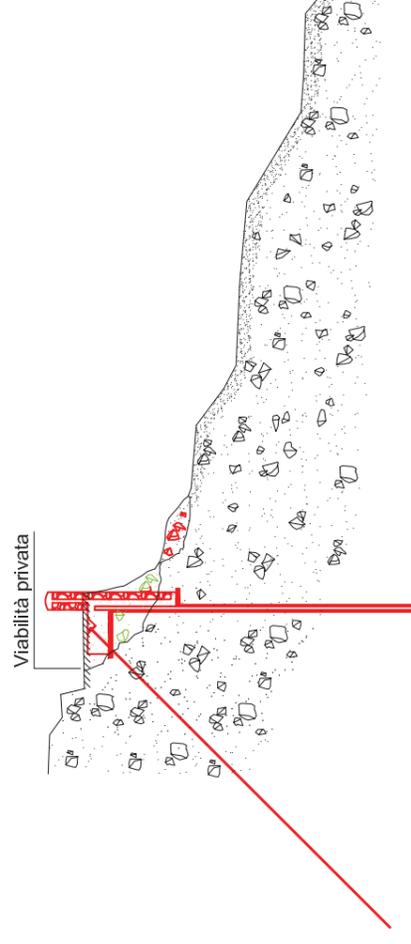
SEZIONE 1 - stato attuale



SEZIONE 1 - stato di progetto



SEZIONE 2 - stato attuale



SEZIONE 2 - stato di progetto



Accumuli di riporto/sottofondo stradale: litici poligenici millimetrico centimetrici in matrice di sabbie; deposito da sciolto a poco addensato



Coperture detritiche/depositi di conoide: litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni/marroni grigiastri (su alcuni orizzonti decimetrici marrone rossastri); deposito mediamente addensato



Substrato litoide: scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi rossi e verdastri

### **B3. Elementi per la valutazione degli aspetti geologico tecnici**

Sull'area sono state realizzate sezioni finalizzate, in ragione del loro numero e della loro distribuzione, ad una esauriente comprensione della natura geologico litologica e delle morfologie di substrato.

Attraverso l'analisi congiunta dei dati geologici di campagna e di quelli derivanti dalle indagini geognostiche condotte e' stato possibile elaborare sia la carta geologico tecnica che le sezioni geologiche - geologico tecniche prodotte.

Su tale carta geologico tecnica risultano suddivisi ed evidenziati :

i materiali di copertura, suddivisi, in ragione della loro genesi, in :  
materiali di conoide (cz) di deiezione  
materiali di falda detritica (fd) .

i substrati geologici, suddivisi, in ragione della loro natura, in:  
substrati costituiti da alternanza di litotipi (AL)  
substrati costituiti da alternanza di litotipi, stratificati (ALS)

I materiali di copertura, evidenziati solo quando presenti con spessore > metri 3, sono stati inseriti in una unica classe :

**GM** - ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo  
*inglobano sostanzialmente tutte le coperture presenti sulla pendice, compresi i modesti riporti stradali*

I substrati geologici sono stati accorpati secondo le seguenti suddivisioni :

**AL** - substrato costituito da alternanza di litotipi  
*al suo interno ricadono i materiali in assetto caotico del "calcare cavernoso", sostanzialmente, localmente integri*

**ALS** - substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato  
*al suo interno ricadono sia i materiali piu' fittamente stratificati (stratificazione talora fissile) degli "scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi, rossi e verdastris" che quelli piu' grossolanamente stratificati dello "pseudomacigno", sostanzialmente, localmente integri*

In carta geologico tecnica sono inoltre evidenziate le forme di instabilita' sul versante, tutte classificate, in ragione della loro cinematica, come *non definite attive*

Evidenziati infine gli elementi geologici :

*misure di stratificazione  
sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico*



**Terreni di copertura**

-  GMfd - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di falda detritica
-  GMcz - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di conoide di deiezione

**Substrato geologico**

-  AL - Alternanza di litotipi
-  ALS - Alternanza di litotipi, stratificato

**Forme di superficle e sepolte**

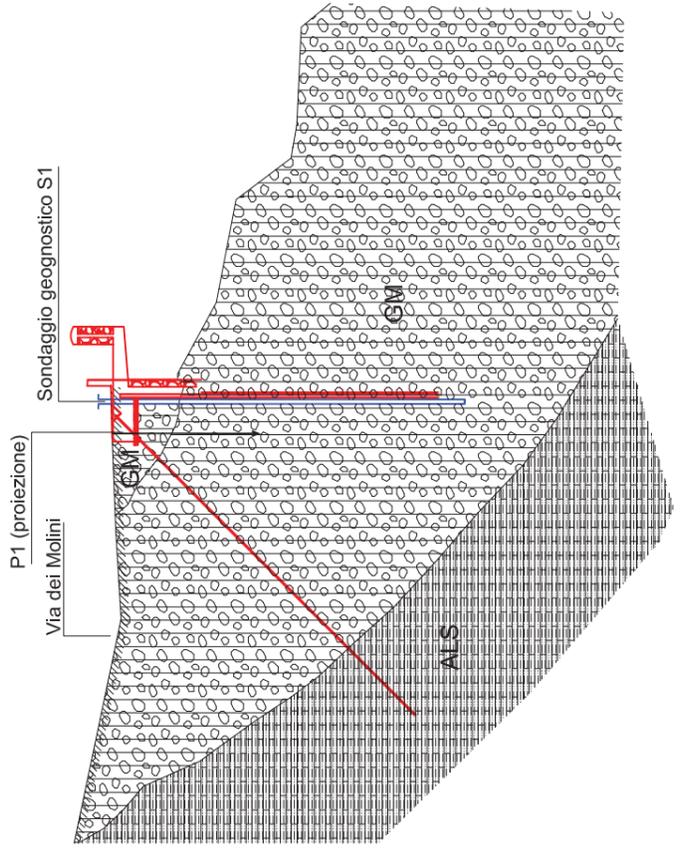
-  Conoide alluvionale

**Instabilità di versante**

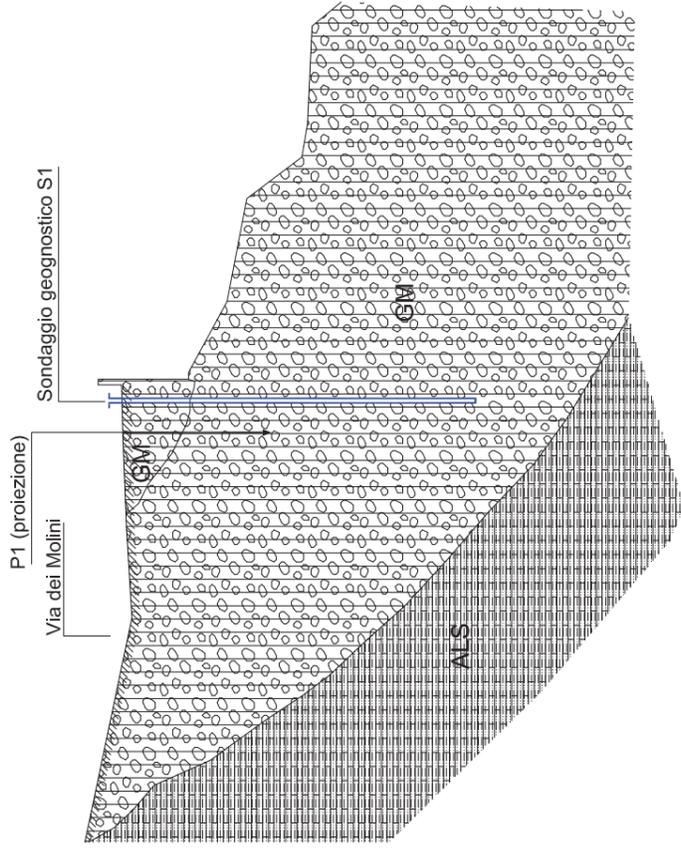
-  Non definita - attiva

**Elementi geomorfologici e idrogeologici**

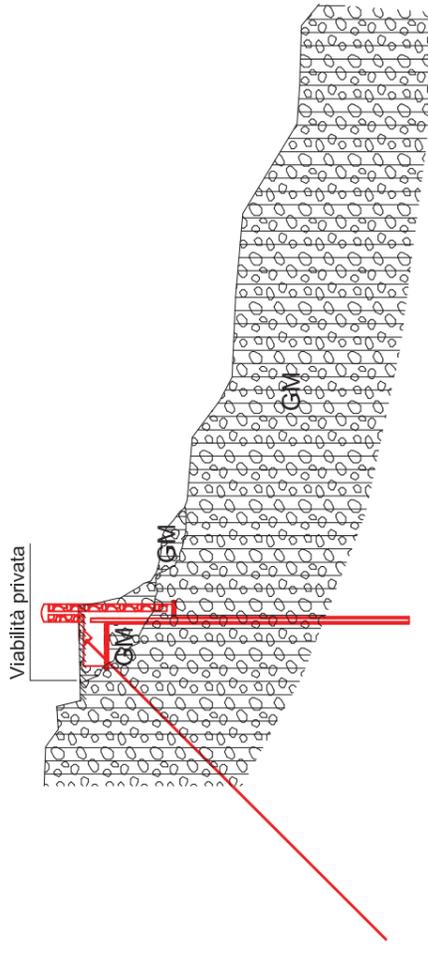
-  Giacitura strati
-  Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico
-  Area di variante
-  Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo



SEZIONE 1 - stato di progetto



SEZIONE 1 - stato attuale



SEZIONE 2 - stato di progetto



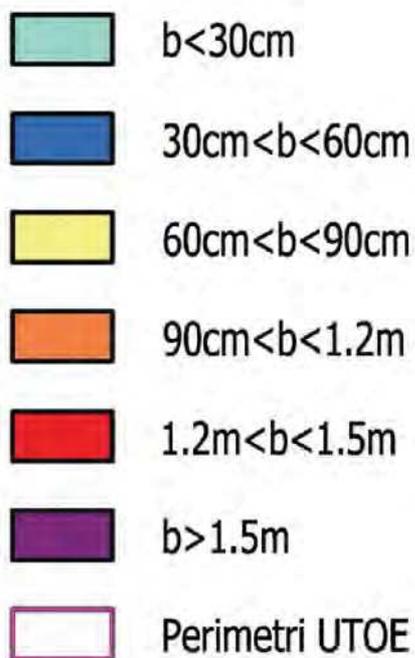
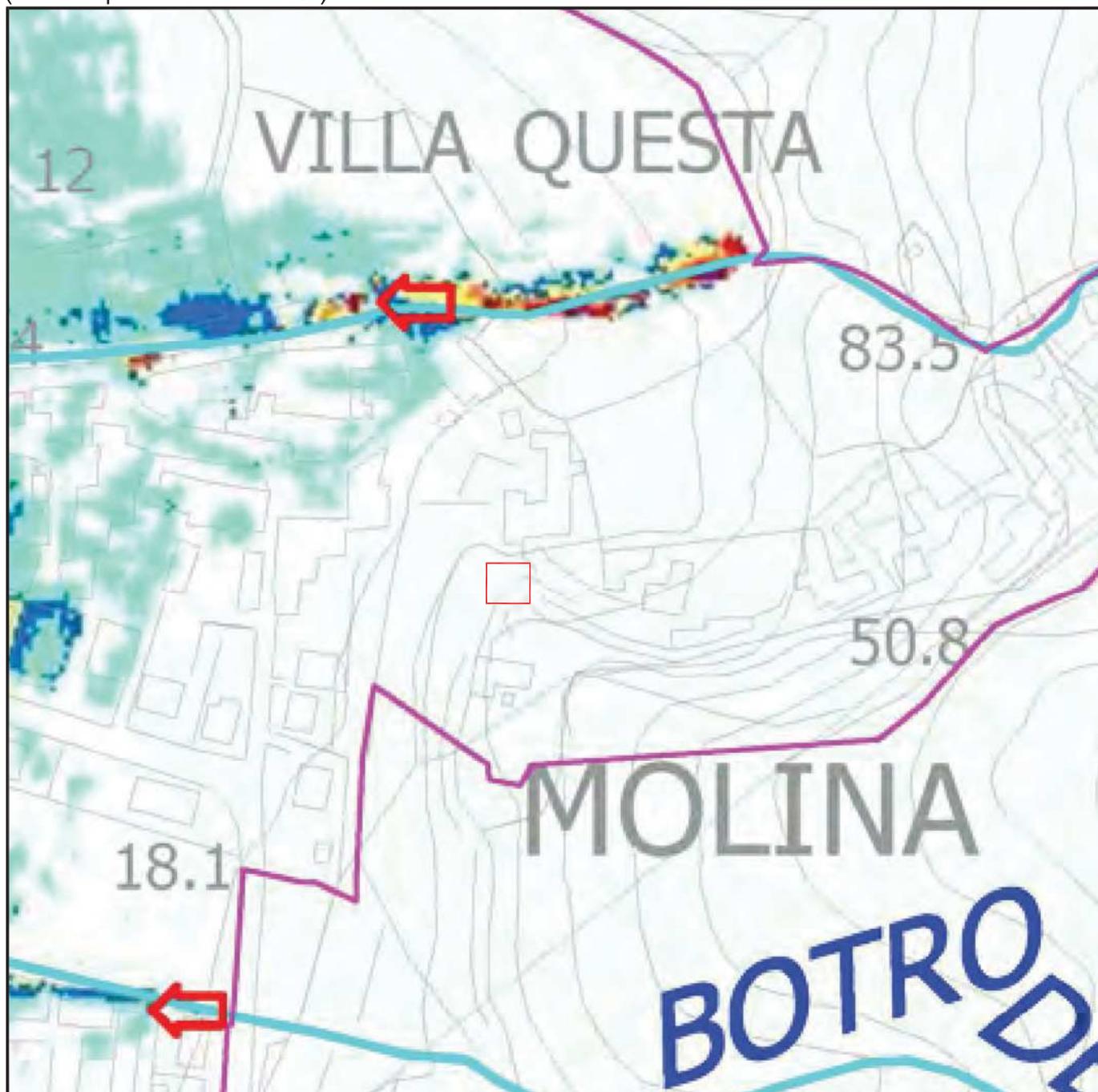
SEZIONE 2 - stato attuale

-  GM - Coperture - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
-  ALS - Substrato geologico - Alternanza di litotipi, stratificato

#### **B 4. Elementi per la valutazione degli aspetti idraulici**

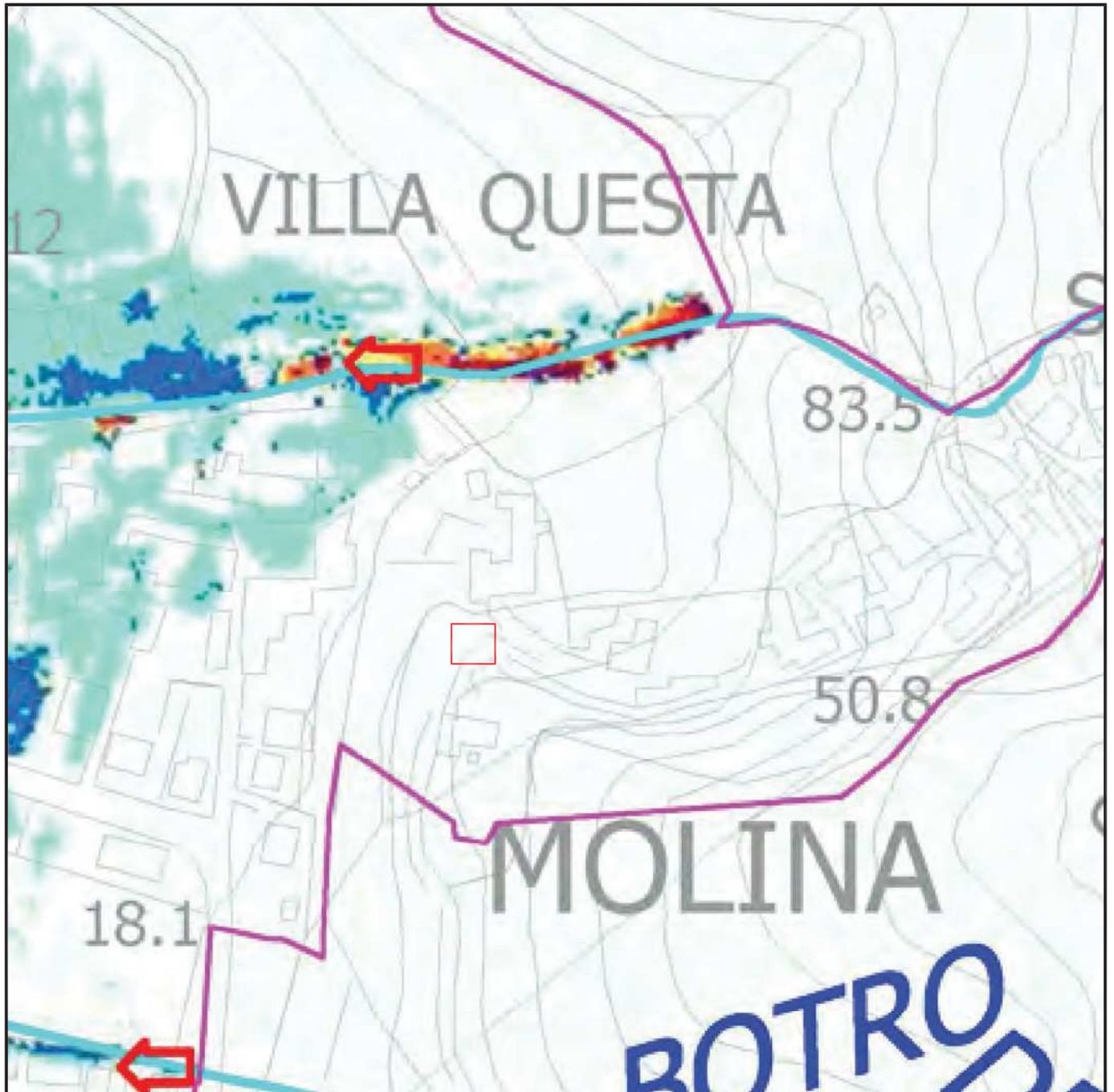
La posizione del sito di variante, bene sopraelevato rispetto alla spianata di fondovalle e non interferente con linee di deflusso superficiale (fossi, canali, rii), e' tale da garantirne la salvaguardia in rapporto a possibili fenomeni di esondazione, alluvionamento e/o ristagno.

CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI DI MODELLO TR30 DIVISI PER UTOE in scala 1:2000  
(Piano Operativo Comunale)

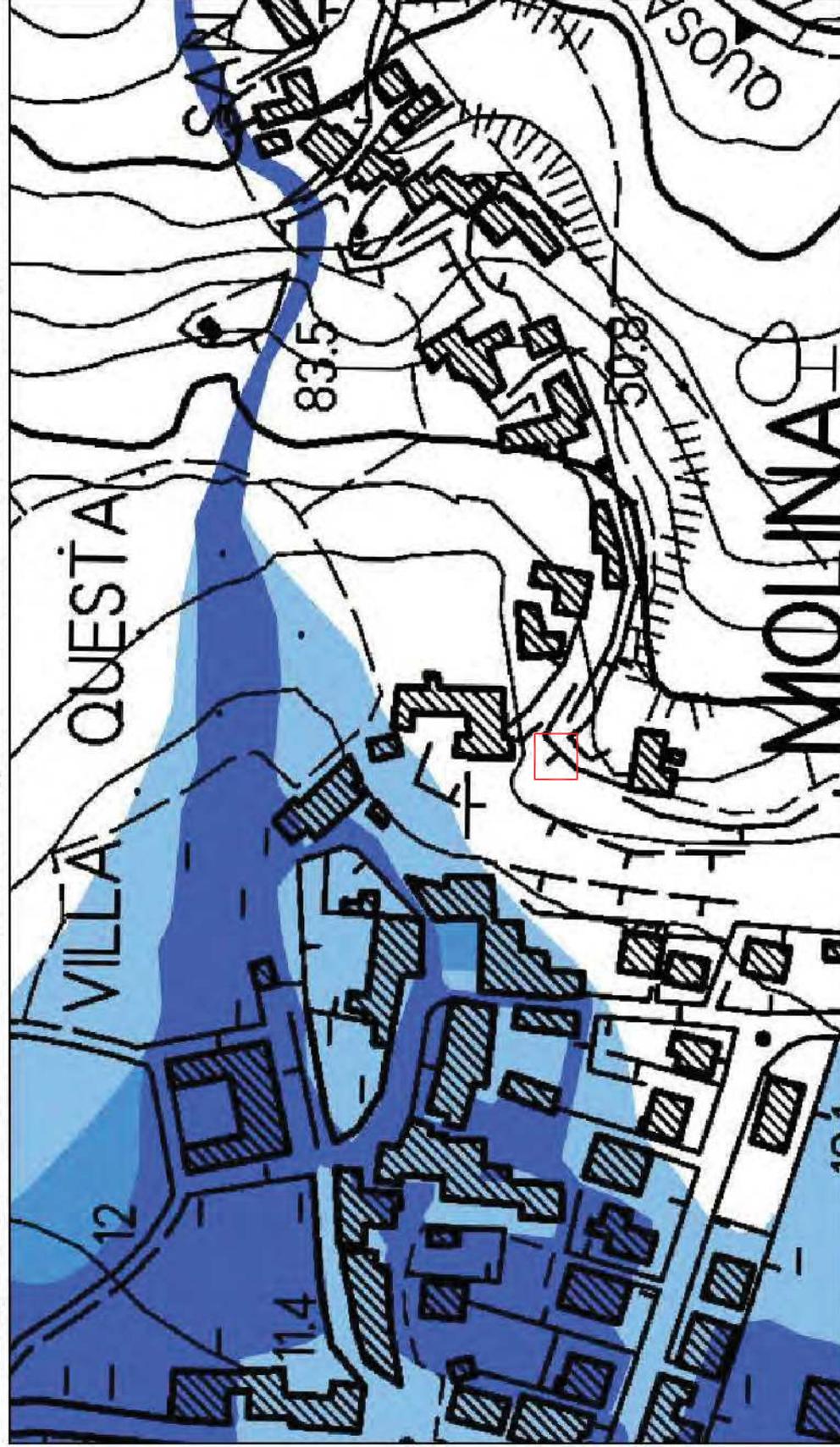


 Area di variante

CARTA DEI BATTENTI IDRAULICI DI MODELLO TR200 DIVISI PER UTOE in scala 1:2000  
(Piano Operativo Comunale)



Mapa della Pericolosità da alluvione Vigente - UoM Arno ed ex bacini regionali toscani



5/4/2022, 15:35:41

- Reticolo\_principale P2
- Pericolosità Dominio Fluviale P3
- P1

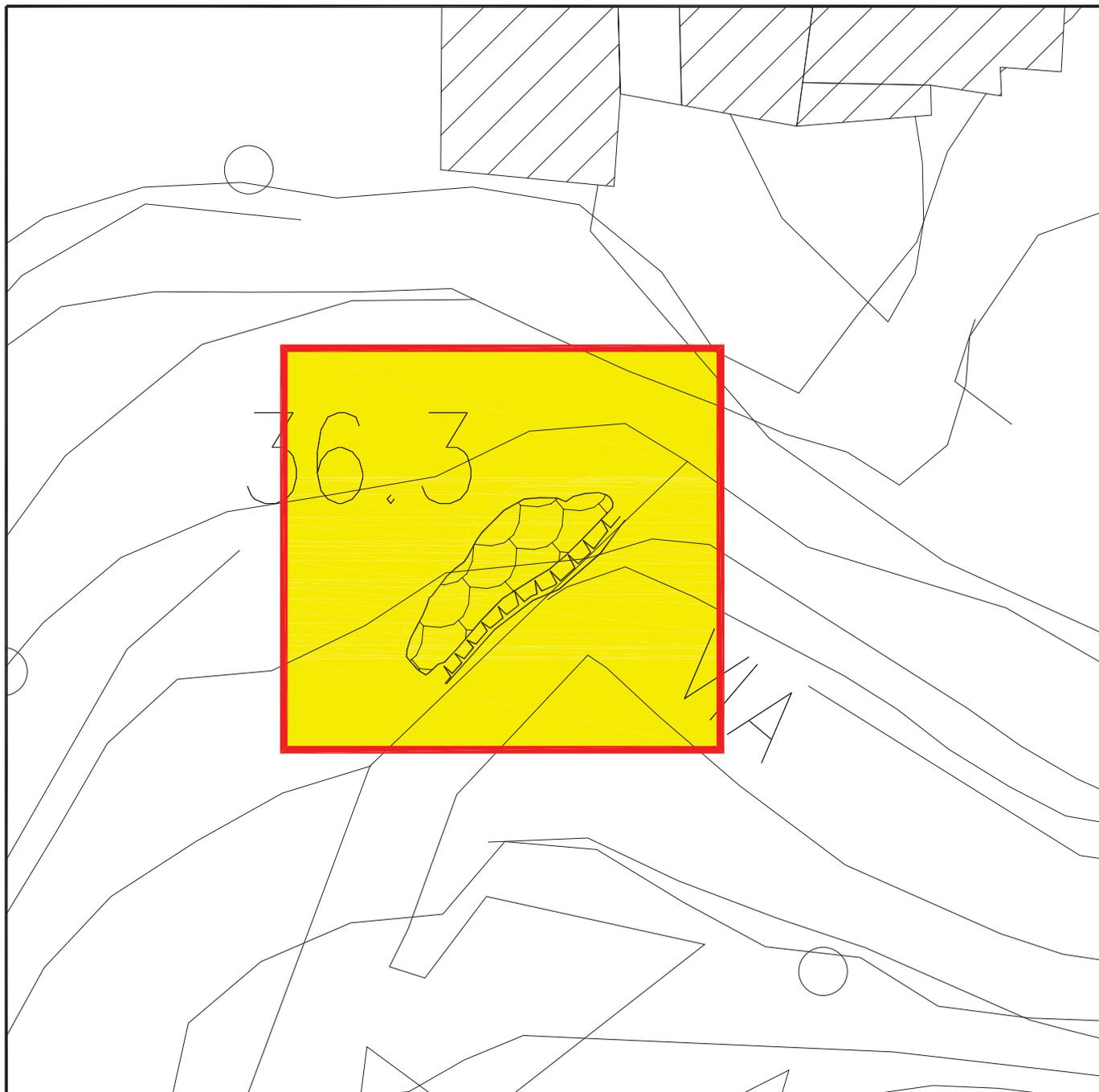
Area di variante

112.257  
0 0.01 0.03 0.05 mi  
0 0.02 0.04 0.08 km  
Atto di abdicazione della Mappa di UoM Arno ed ex bacini regionali toscani

#### **B 5. Elementi per la valutazione degli aspetti connessi alla risorsa idrica sotterranea**

Nella carta idrogeologica di variante, di seguito allegata, e' evidenziato, anche per le aree immediatamente esterne ad essa (in questo caso solo in via tabellare), in ragione della permeabilita' dei depositi e delle formazioni affioranti, il relativo grado di vulnerabilita' (medio per l'intera zona di variante).

La tipologia del dissesto verificatosi nell'area di variante (frana superficiale) e la tipologia degli interventi di sua prevista bonifica, in assenza di scavi che possano intercettare e/o interagire con eventuali scorrimenti profondi di falda (per altro non rilevati attraverso le indagini condotte), garantiscono l'assenza di interferenze con la "risorsa idrica sotterranea".



		GRADO DI PERMEABILITA'		
		ALTO	MEDIO	BASSO
TIPO DI PERMEABILITA'				
Primaria (per porosità)			Coni di deiezione (c) Detriti, terreni di copertura (dt) e riporti (rp)	
Secondaria (per fratturazione)	Calcare cavernoso (cc)		Pseudomacigno (pmg)	
Impermeabile				Scisti sericitici (msc)

Il colore di fondo di ogni singola casella indica il grado di vulnerabilità delle formazioni al suo interno elencate, come da tabella successiva; alle aree di frana è stato attribuito il colore della formazione su cui esse si sviluppano

GRADO DI VULNERABILITA'			
ESTREMAMENTE ELEVATO	ELEVATO	MEDIO	BASSO

## **B 6. Elementi per la valutazione degli effetti sismici locali**

Attraverso l'utilizzo dei risultati delle indagini condotte sull'area, in rispetto delle direttive regionali, sono state condotte valutazioni sui possibili effetti sismici locali.

Le indagini (per ubicazione vedi la relativa cartografia tematica) :

n.1 prospezione sismica MASW (dicembre 2018)

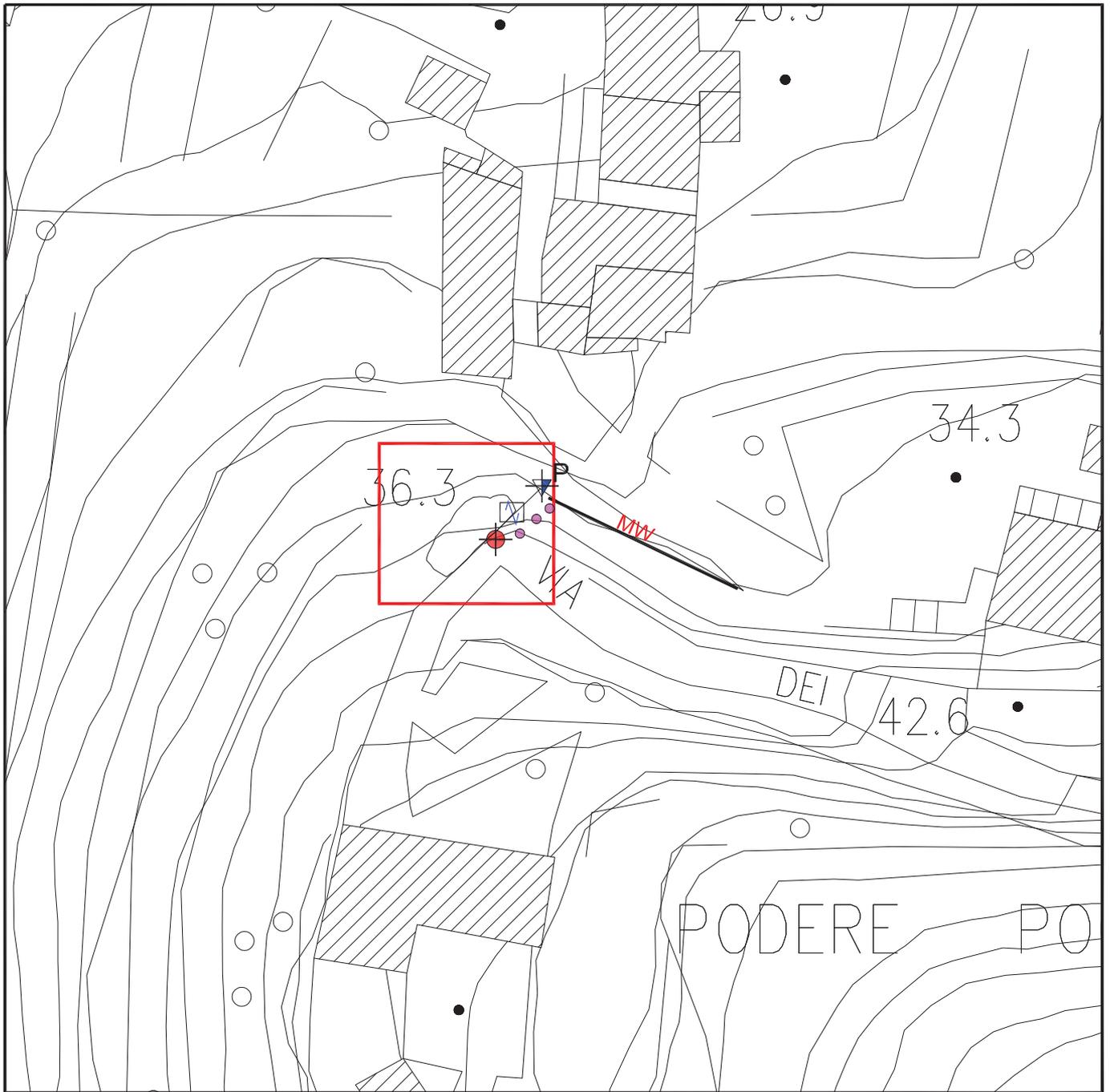
n.1 misura di rumore ambientale a stazione singola HVSR (dicembre 2018)

I dati sismici sono stati integrati con quelli derivanti dalle altre indagini condotte sul sito :

n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (maggio 2005)

n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH (dicembre 2018)

CARTA DELLE INDAGINI in scala 1:500



-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Prova penetrometrica dinamica pesante
-  Misura di microtremore a stazione singola
-  MASW
-  Area di variante

## Prospezione sismica MASW

Lo stendimento sismico MASW ha permesso di individuare orizzonti sismici sovrapposti, caratterizzati, nell'ambito dei 34 metri dal piano campagna, dalla seguente successione:

<i>spessore di ogni singolo orizzonte</i>	<i>velocità onde S in metri/secondo</i>	<i>profondità progressiva dal piano campagna</i>
per metri 1.0	→ Vs = 192 m/sec	mt 1.0
per metri 2.0	→ Vs = 200 m/sec	mt 3.0
per metri 5.0	→ Vs = 351 m/sec	mt 8.0
per metri 5.0	→ Vs = 450 m/sec	mt 13.0
per metri 4.7	→ Vs = 903 m/sec	mt 17.7
per metri 4.7	→ Vs = 946 m/sec	mt 22.4
per metri 11.6	→ Vs = 1004 m/sec	mt 34.0

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/sec), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N (per\ i\ compreso\ fra\ 1\ ed\ N)\ h_i / V_{s,i}}$$

$h_i$  = spessore dell' *i*-esimo strato

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato

$N$  = numero di strati

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 msec

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso specifico, tenendo conto anche della tipologia di intervento prevista per la bonifica del dissesto ricadente all'interno del perimetro di variante (\*), in presenza di un substrato sismico alla profondità di metri 13 dal piano campagna, il valore di  $V_{s,eq} = V_{s30}$  determinato risulta pari a 320 m/sec.

( \* ) le NTC 2018 indicano che, per fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali

Facendo riferimento alla classificazione riportata in NTC 2018 la categoria di sottosuolo relativa a tali valori di  $V_{s,eq}$  risulta essere la E : Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## **Categorie di sottosuolo**

- A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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** *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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** *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

dataset: 8470.dat  
 sampling: 0.5 ms  
 minimum offset: 6 m  
 geophone spacing: 0.75 m

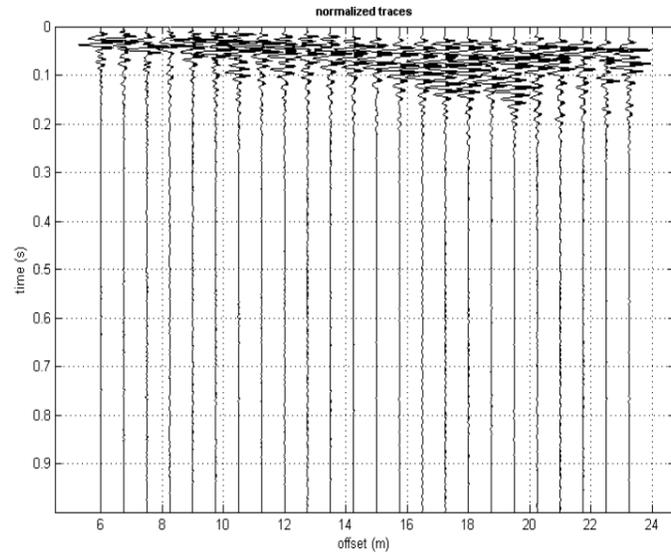


Figura 1 - Dataset - sismogramma registrato

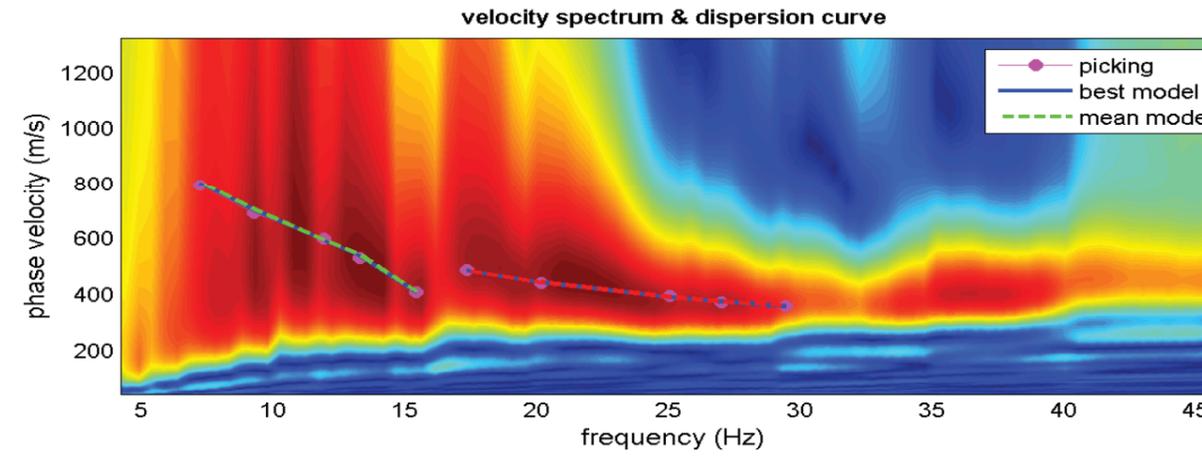


Figura 2 - Spettro di velocità e curve di dispersione

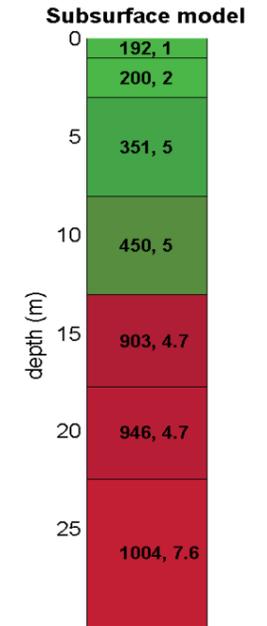
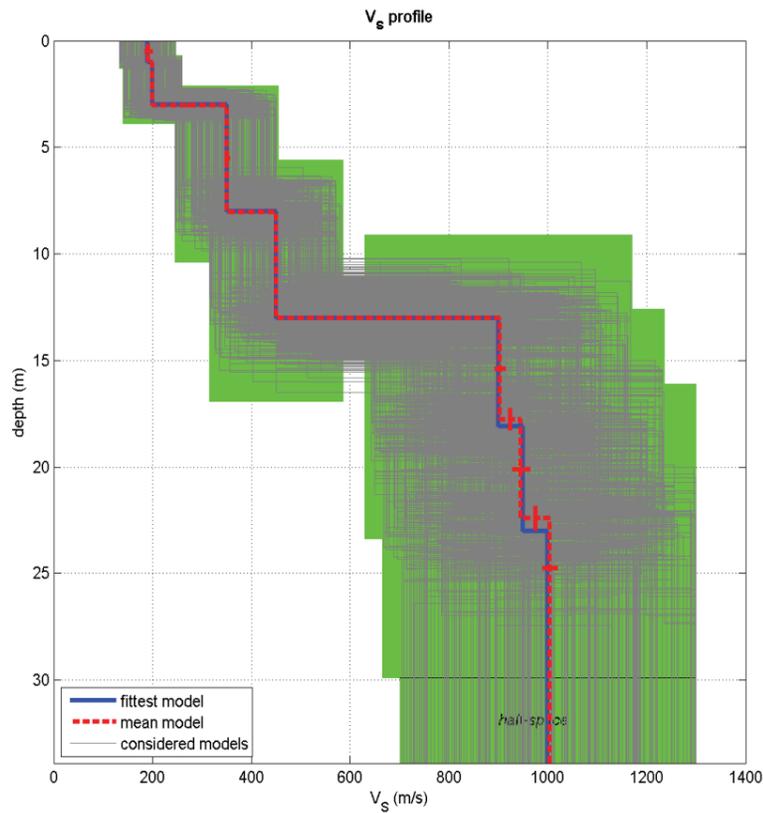


Figura 3 - Modello di sottosuolo ricavato  
 Vs (m/sec) - Spessore (m)



dataset: 8470.dat  
 Figura 4 - Profilo verticale delle velocità Vs

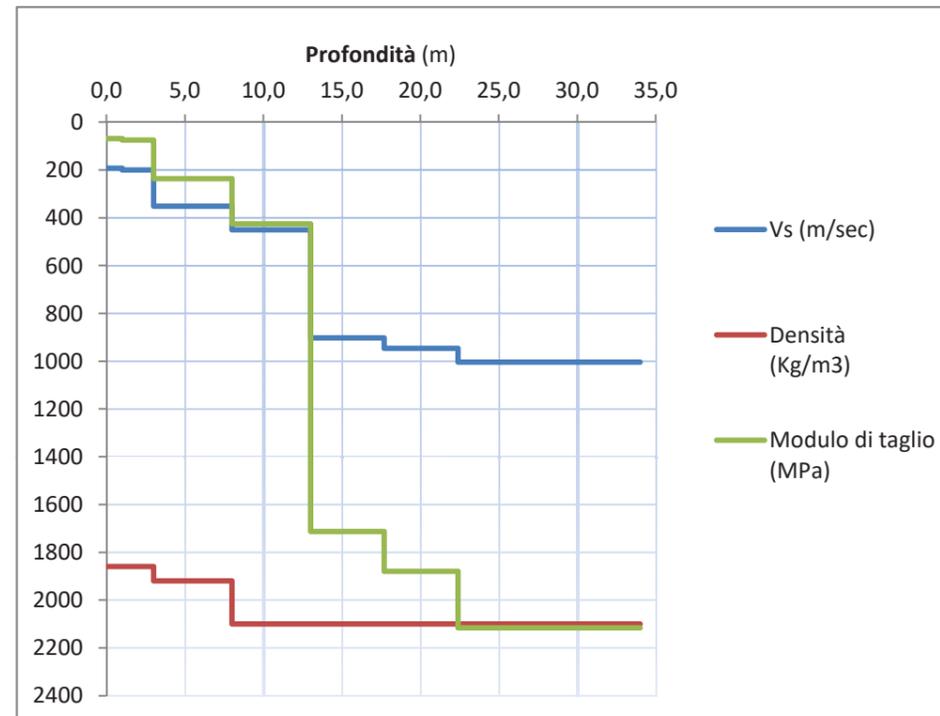


Figura 5 - Modello di sottosuolo ricavato  
 (Profilo di Velocità Vs, Densità e Modulo di taglio)

Da Prof. (m)	A Prof. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	Vs <sub>x</sub> (m/sec)	Densità (gr/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio (MPa)
0,0	1,0	1,0	192	192	1,86	69
1,0	3,0	2,0	200	197	1,86	74
3,0	8,0	5,0	351	272	1,92	237
8,0	13,0	5,0	450	320	2,10	425
13,0	17,7	4,7	903	387	2,10	1712
17,7	22,4	4,7	946	441	2,10	1879
22,4	34,0	11,6	1004	546	2,10	2117

Prof. sub. 13 m Vs,eq 320 m/sec

<b>PROVA SISMICA MASW M1</b>		
Componente Verticale ZVF - Onde di Rayleigh		
Località: Molina di Quosa (San Giuliano Terme)		
Committente: Amministrazione Comunale		
Cantiere: Ripristino e messa in sicurezza strada comunale		
<b>All. 4</b>	Dicembre 2018	Pro.Geo. s.r.l.

## Misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR)

Della misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR) si evidenziano i seguenti risultati :

la misura è stata eseguita con condizioni meteorologiche di cielo coperto con vento leggero, a tratti moderato

la durata della registrazione è stata di 30 minuti (1800 sec).

lo strumento è stato piazzato perfettamente in bolla, con uno dei due assi orizzontali (Y) disposto secondo il Nord geografico

presenza di vari transienti

l'elaborazione della misura ha messo evidenza

la presenza di un primo picco a frequenza (F) = 19.1 Hz ed ampiezza (A) = 5.16, correlabile con il passaggio fra gli *accumuli di riporto e di sottofondo stradale, sciolti / poco addensati, superficiali ed i sottostanti depositi detritici - depositi di conoide mediamente addensati*

la presenza di un secondo picco, piu' profondo, a frequenza (F) = 5.30 Hz ed ampiezza (A) = 3.23, correlabile con il passaggio fra i *depositi detritici - depositi di conoide mediamente addensati ed il sottostante substrato litoide*

curva classificabile come A1 (Albarello D. et al., 2010, 2011).

## Allegato 5: Scheda di elaborazione della misura di rumore ambientale (HVSR)

### Dati generali

Nome progetto: Molina di Quosa\_HV1  
Località: Molina di Quosa  
Comune: San Giuliano Terme  
Provincia: Pisa  
Data: 19/12/2018  
Inizio registrazione: 11:45:46  
Latitudine: 43.794981  
Longitudine: 10.425343  
Condizioni meteo: Coperto – vento assente  
Tipo di superficie: Terreno naturale; strumento posizionato in corrispondenza di piazzola  
Note: Vari transienti ed artefatti

Lat: 43.794981 Long: 10.425343  
Via dei Molini Molina di Quosa, 12, 56017  
Molina di Quosa-rigoli PI, Italia



### Tracce in input

#### Dati riepilogativi:

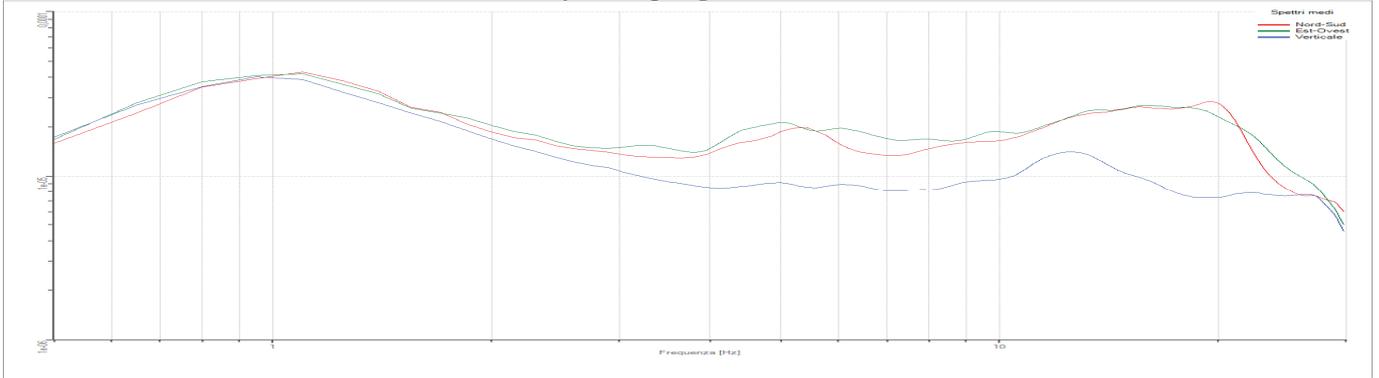
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1800 s  
Frequenza di campionamento: 200,00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Finestre selezionate

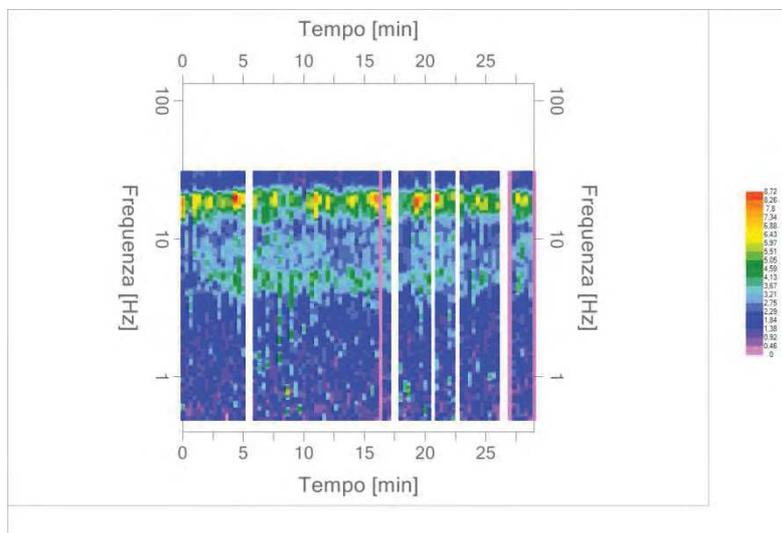
#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre: 90  
Numero finestre incluse nel calcolo: 77  
% finestre incluse nel calcolo: 85.55% (selezione manuale)  
Dimensione temporale finestre: 20,000 s  
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
Padding: Eseguito

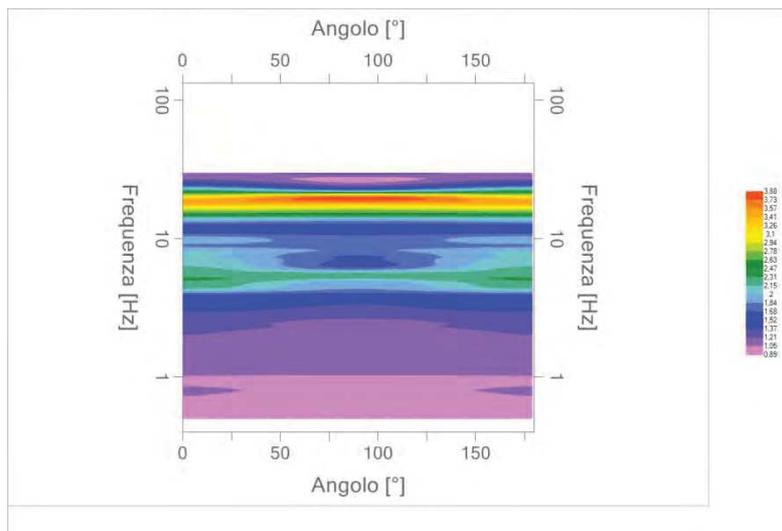
### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

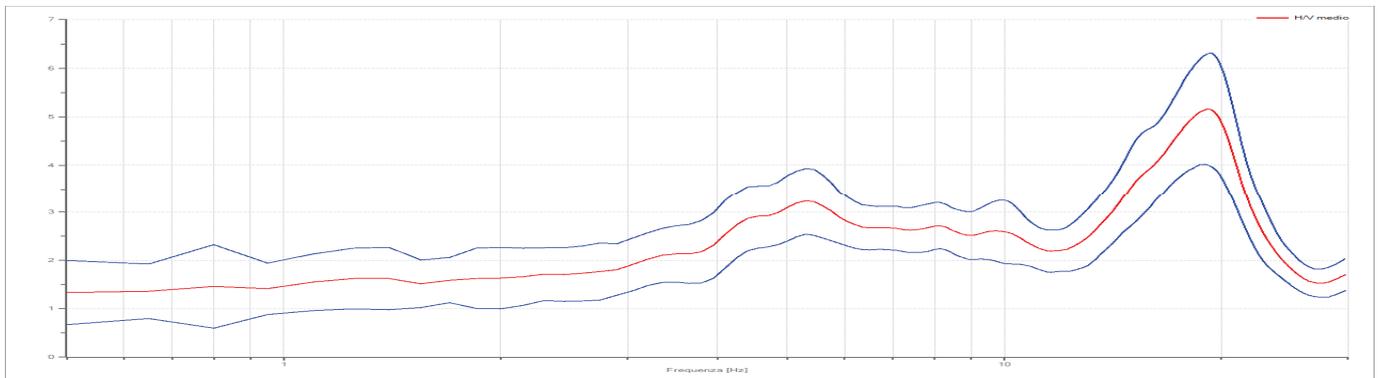
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 30,00 Hz  
 Frequenza minima: 0,50 Hz  
 Passo frequenze: 0,15 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica  
 Tapering: 5%

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 19,10 Hz  $\pm$  0,22 Hz      Ampiezza: 5,16

### Grafico rapporto spettrale H/V



### Criteria SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

### Classificazione della curva H/V

Classe	<b>A</b>
Tipo	<b>1</b>

## **Sondaggio geognostico a carotaggio continuo**

Il sondaggio geognostico a carotaggio continuo ha permesso di definire la seguente stratigrafia di sito :

mt 0.0 – mt 2.0

ACCUMULI DI RIPORTO E DI SOTTOFONDO STRADALE - Litici poligenici millimetrico centimetrici, in matrice di sabbie (deposito da sciolto a poco addensato),

mt 2.0 – mt 10.0

COPERTURE DETRITICHE / DEPOSITI DI CONOIDE - Litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni / marroni grigiastri ( su alcuni orizzonti decimetrici marrone rossastri) (deposito mediamente addensato).

Misure di falda eseguite nel foro di sondaggio non hanno denunciato la presenza di scorrimenti idrici significativi nello spessore attraversato.

# Sondaggio S1



Ubicazione sondaggio S1



Cassa n° 1 mt 0.0 - mt 5.0



Cassa n° 2 mt 5.0 - mt 10.0

### **Prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH)**

Della prova penetrometrica si evidenziano i seguenti risultati:

la prova, eseguita in modalita' dinamico pesante, ha raggiunto il rifiuto all'infissione alla profondita' di metri 4.20 dal piano campagna

la prova penetrometrica eseguita non ha denunciato, alla data di realizzazione, scorrimenti idrici di substrato

e' stata riconosciuto il seguente assetto stratigrafico locale :

mt 0.0 – 1.6

*accumuli di riporto e di sottofondo stradale*

mt 1.6 - 4.0

*coperture detritiche - depositi di conoide*

mt 4.0 - 4.2

*trovante*

## Allegato 3 - PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Amministrazione Comunale San Giuliano Terme  
Descrizione: BONIFICA DISSESTO  
Località: Molina di Quosa

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 19/12/2018  
 Profondità prova 4,20 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio Minimo

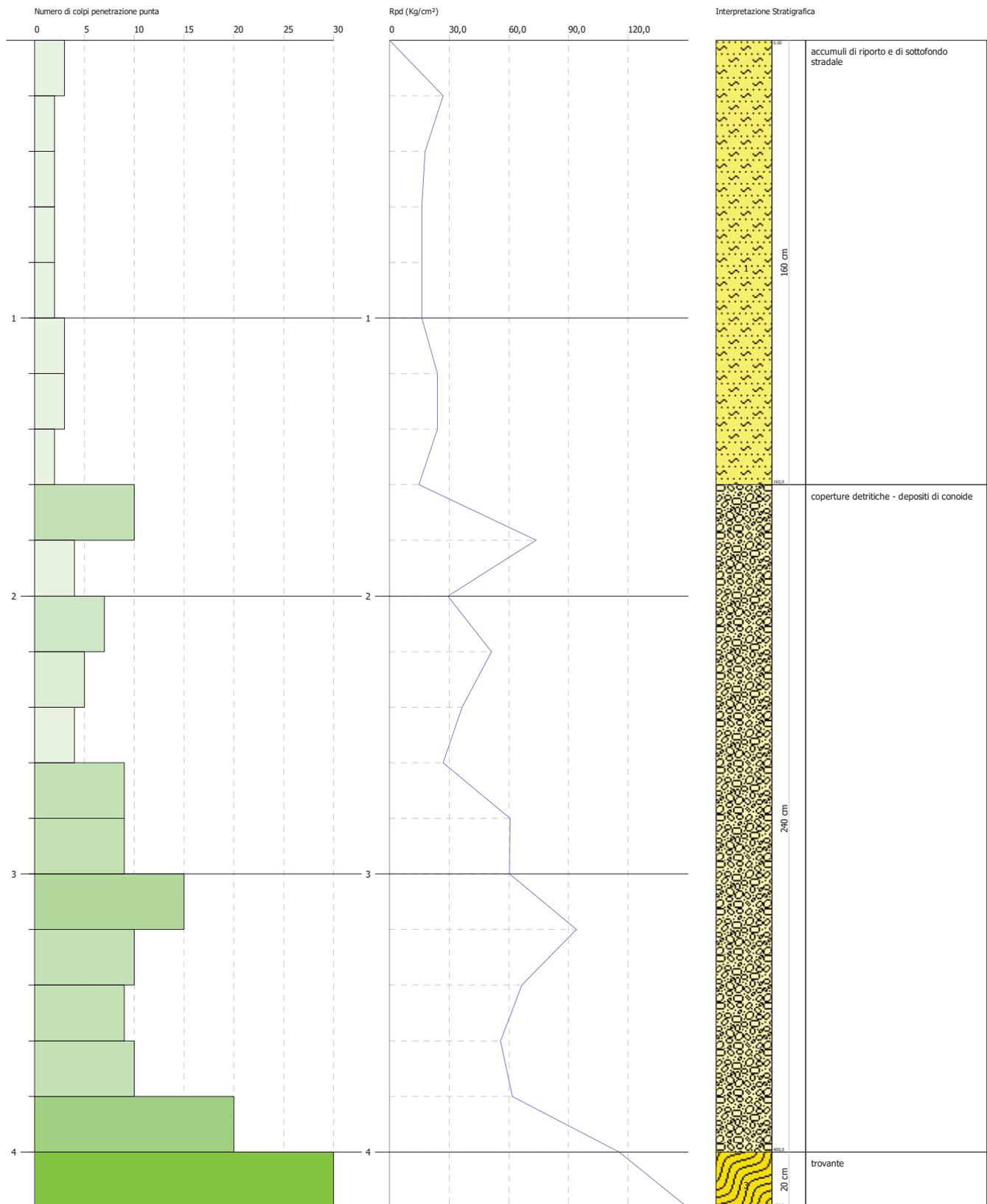
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	3	0,855	26,94	31,52	1,35	1,58
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	2	0,847	16,34	19,29	0,82	0,96
0,80	2	0,843	16,27	19,29	0,81	0,96
1,00	2	0,840	16,20	19,29	0,81	0,96
1,20	3	0,836	24,19	28,93	1,21	1,45
1,40	3	0,833	24,10	28,93	1,20	1,45
1,60	2	0,830	14,78	17,82	0,74	0,89
1,80	10	0,826	73,63	89,11	3,68	4,46
2,00	4	0,823	29,34	35,64	1,47	1,78
2,20	7	0,820	51,16	62,38	2,56	3,12
2,40	5	0,817	36,41	44,55	1,82	2,23
2,60	4	0,814	26,97	33,13	1,35	1,66
2,80	9	0,811	60,48	74,54	3,02	3,73
3,00	9	0,809	60,27	74,54	3,01	3,73
3,20	15	0,756	93,91	124,23	4,70	6,21
3,40	10	0,803	66,54	82,82	3,33	4,14
3,60	9	0,801	55,76	69,62	2,79	3,48
3,80	10	0,798	61,76	77,36	3,09	3,87
4,00	20	0,746	115,42	154,71	5,77	7,74
4,20	50	0,594	229,63	386,78	11,48	19,34

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Amministrazione Comunale San Giuliano Terme  
 Descrizione: BONIFICA DISSESTO  
 Località: Molina di Quosa

Data: 19/12/2018

Scala 1:20



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

### TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Meyerhof 1957	41,7
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Meyerhof 1957	61,57

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Sowers (1961)	28,9
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Sowers (1961)	30,74

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	34,08
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	47,59

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Terzaghi-Peck 1948	1,39
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Terzaghi-Peck 1948	1,48

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Terzaghi-Peck 1948	1,86
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Terzaghi-Peck 1948	1,92

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	(A.G.I.)	0,35
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	(A.G.I.)	0,33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Ohsaki (Sabbie pulite)	195,12
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Ohsaki (Sabbie pulite)	555,48

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Navfac 1971-1982	0,57
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Navfac 1971-1982	2,06

$Q_c$  ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Kg/cm²)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Robertson 1983	6,44
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Robertson 1983	19,60

Sono quindi state realizzate le ulteriori cartografie :

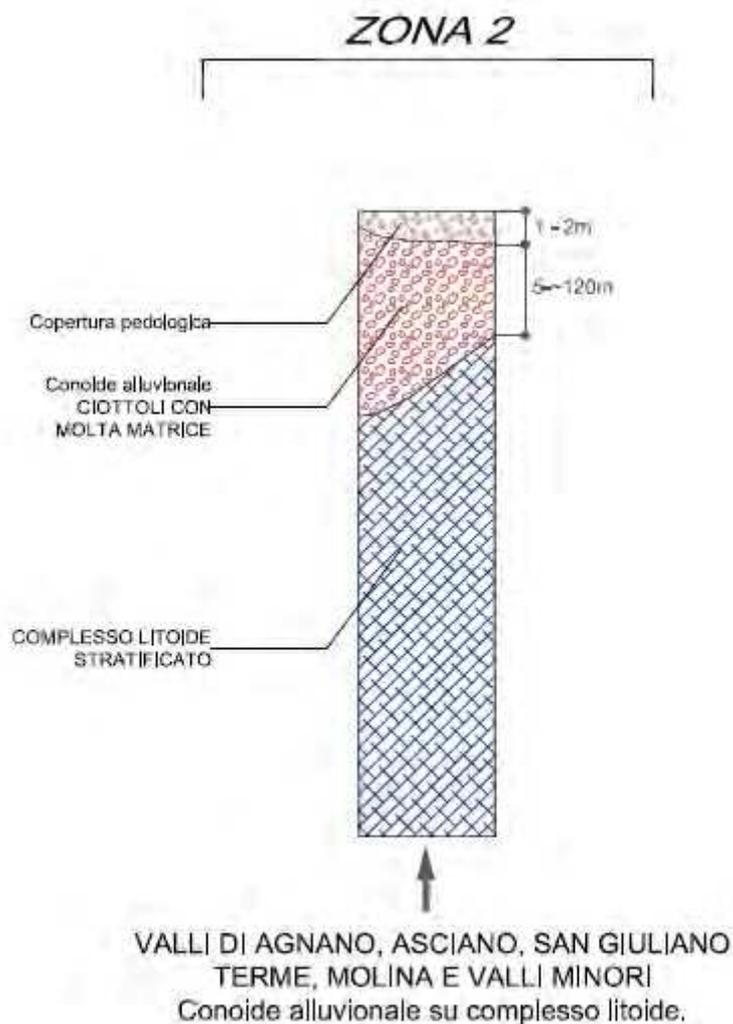
### Carta delle frequenze

Sulla carta e' evidenziato il principale picco evidenziato dalla misura di rumore eseguita sul sito (*picco a frequenza (F) = 19.1 Hz e di ampiezza (A) = 5.16*)

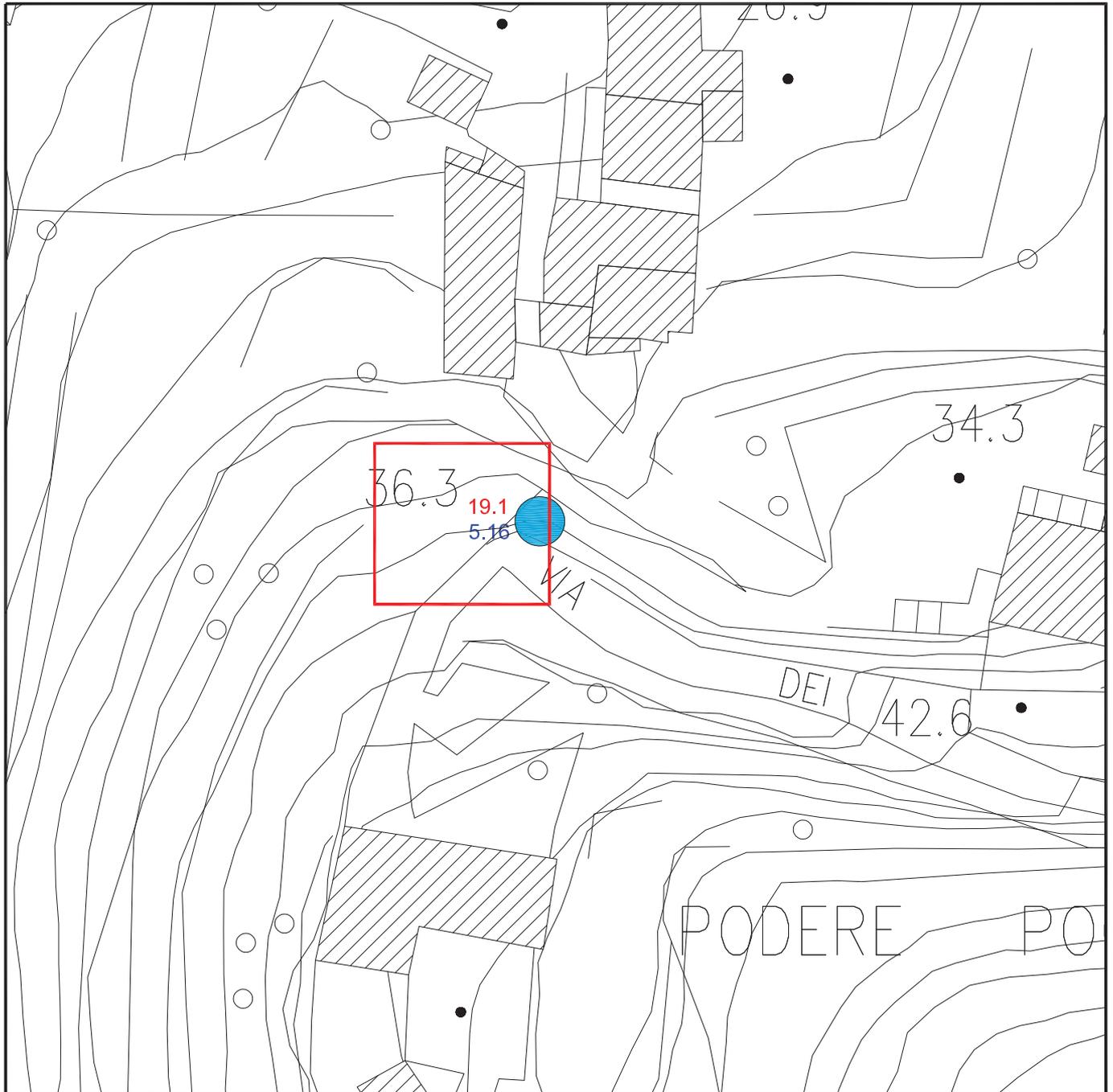
### Carta delle MOPS e relativa colonna stratigrafica

Nell'area di variante, oltre al perimetro di frana (*zona di attenzione per instabilita'*) si differenzia una sola zona (*zona 1 - zona stabile suscettibile di amplificazione locale*) caratterizzata da coperture GM di spessore 10 - 15 metri, su substrato litoide stratificato ALS, di spessore indefinito.

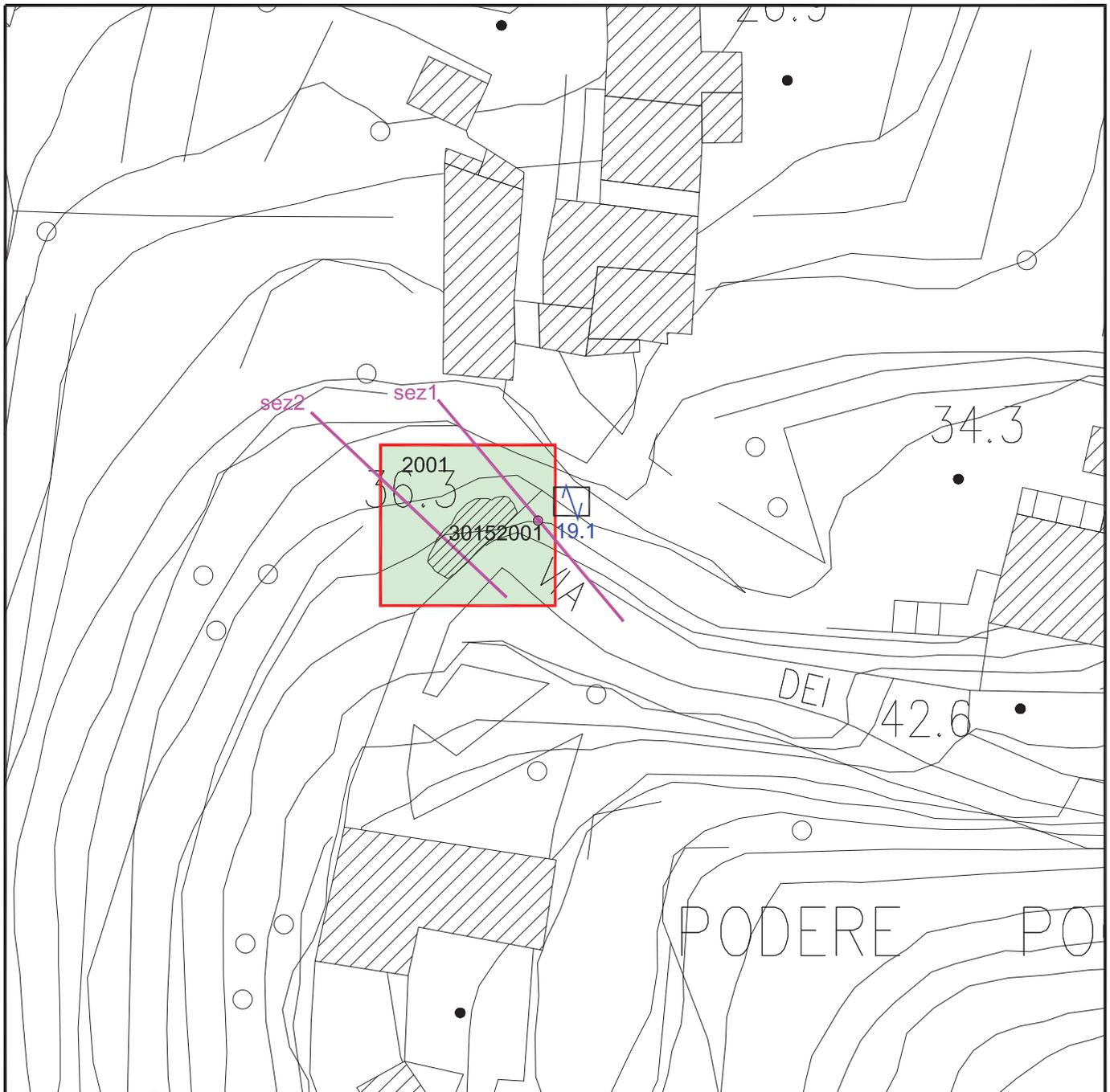
Tale colonnina e' analoga a quella definita in POC, per la stessa area e per le stesse condizioni sismostratigrafiche, come zona 2



CARTA DELLE FREQUENZE in scala 1:500



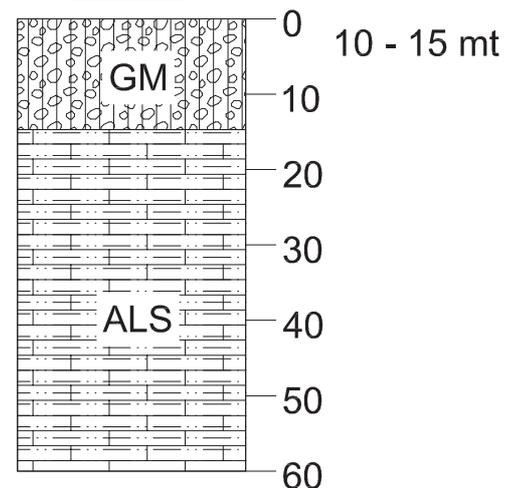
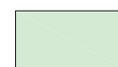
f0 (Hz)	A0
● Nessuna risonanza	● Nessuna risonanza
● 0.1 < f0 < 0.5	○ 1.1 < A0 < 2.0
● 0.5 < f0 < 1.0	○ 2.0 < A0 < 3.0
● 1.0 < f0 < 2.5	○ 3.0 < A0 < 5.0
● 2.5 < f0 < 5.0	○ 5.0 < A0
● 5.0 < f0 < 7.5	
● 7.5 < f0 < 10.0	
● 10.0 < f0 < 15.0	
● 15.0 < f0 < 20.0	



**COLONNINA STRATIGRAFICA**

**ZONA1**

2001



**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**



Zona 1

**Zone di attenzione per instabilità**



ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1

sez1

Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo



Punto di misura di rumore ambientale con indicazioni di valore di fo



Area di variante

## C. Valutazione della pericolosità

Il territorio è caratterizzato in funzione della pericolosità geologica, da alluvione e sismica ed è distinto in aree a pericolosità geologica, da alluvione, nonché a pericolosità sismica locale. Attraverso le analisi e gli approfondimenti, sono caratterizzate aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità, rispetto agli specifici fenomeni che le generano. Tali analisi e approfondimenti sono integrati rispetto a quelli già contenuti nei piani di bacino e nei quadri conoscitivi esistenti e certificati.

### C1. Carta della pericolosità geologica

La caratterizzazione delle aree a pericolosità geologica comprende, oltre agli elementi geologici in senso stretto, anche gli elementi geomorfologici e quelli relativi alla dinamica costiera, secondo la classificazione, di seguito indicata.

- Pericolosità geologica molto elevata (G.4): aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione, ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo.
- Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi.
- Pericolosità geologica media (G.2): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15 gradi.
- Pericolosità geologica bassa (G.1): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

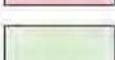
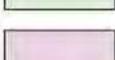
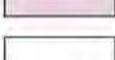
Sulla base delle definizioni sopra riportate si debbono attribuire, nella zona di variante :

una pericolosità geologica molto elevata G.4 all'area di frana attiva

una pericolosità geologica elevata G.3 alla restante parte dell'area di variante  
questa seconda classificazione è dovuta alla pendenza riconosciuta localmente per i depositi detritici (depositi di conoide) presenti sul versante;  
la carta dell'acclività di POC attribuisce infatti a tali depositi una acclività locale compresa fra il 35% ed il 50%, cui corrisponde una pendenza compresa fra i 19.29° ed i 26.56°, quindi sempre superiore ai 15° indicati in normativa come soglia limite al di sopra della quale è dovuto l'inserimento in classe G.3 (*corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi*).



### CLASSI DI PENDENZA

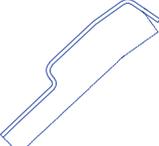
- |   |                                |
|---|--------------------------------|
|  | 1 - Acclività tra 0 e 10%      |
|  | 2 - Acclività tra 10 e 15%     |
|  | 3 - Acclività tra 15 e 25%     |
|  | 4 - Acclività tra 25 e 35%     |
|  | 5 - Acclività tra 35 e 50%     |
|  | 6 - Acclività tra 50 e 75%     |
|  | 7 - Acclività superiore al 75% |



Area di variante

# CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DI VARIANTE in scala 1:200



-  Pericolosità geologica molto elevata (G.4): aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione, ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo.
-  Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15 gradi.
-  Pericolosità geologica media (G.2): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15 gradi.
-  Pericolosità geologica bassa (G.1): aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.
-  Area di variante
-  Intervento in progetto

## **C2. Carta della pericolosità idraulica**

La caratterizzazione delle aree a pericolosità da alluvioni è effettuata secondo la seguente classificazione:

- Aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera d) della l.r.41/2018
- Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2), come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera e) della l.r.41/2018
- Aree a pericolosità da alluvioni rare o di estrema intensità (P1), come classificate negli atti di pianificazione di bacino in attuazione del d.lgs.49/2010

Come già in precedenza detto, la posizione del sito di variante, bene sopraelevato rispetto alla spianata di fondovalle e non interferente con linee di deflusso superficiale (fossi, canali, rii), è tale da garantirne la salvaguardia in rapporto a possibili fenomeni di esondazione, alluvionamento e/o ristagno.

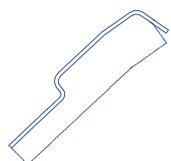
L'area di variante non è pertanto classificabile, facendo riferimento alle suddivisioni riportate in l.r. 41/2018, in termini di pericolosità idraulica.

Si può pertanto affermare che l'area di variante non è soggetta a condizioni di pericolosità idraulica.

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA DI VARIANTE in scala 1:200



**Non classificabile sotto il profilo della pericolosità idraulica definita ai sensi della L.R. 41/2018**



Intervento in progetto

### C3. Carta della pericolosità sismica

Data la modesta estensione dell'area di variante appare giustificato non produrre, in sua corrispondenza, uno studio di microzonazione sismica di livello 2 o di livello 3.

Tali studi infatti rappresentano strumenti per la valutazione quantitativa degli effetti di amplificazione attesi su aree vaste (le cosiddette microzone omogenee in prospettiva sismica definite dagli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - ICMS*) e vanno utilizzati esclusivamente ai fini di una pianificazione territoriale "estesa".

Cio' premesso la definizione della pericolosità sismica dell'area di variante viene condotta attraverso l'utilizzo dei risultati delle indagini eseguite, riconducibili ad uno studio di microzonazione sismica di livello 1 - MS1.

La sintesi di tutte le informazioni derivanti dagli studi di MS di livello 1, 2 o 3, ove presente, consente la valutazione delle condizioni di pericolosità sismica locale delle aree studiate all'interno del territorio urbanizzato secondo la seguente classificazione:

Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):

- aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie;
- terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche oppure notizie storiche o studi preesistenti;
- aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici;

Pericolosità sismica locale elevata (S.3):

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
- aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ )  $> 1.4$ ;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici;

Pericolosità sismica locale media (S.2):

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ )  $< 1.4$ ;
- zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi);
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3;

Pericolosità sismica locale bassa (S.1):

- zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

Si specifica che, per “alto contrasto di impedenza sismica”, sono da intendersi situazioni caratterizzate da rapporti tra le velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) del substrato sismico di riferimento e delle coperture sismiche sovrastanti - oppure all'interno delle coperture stesse - almeno pari a 2, come stimato dalle indagini sismiche. In alternativa, la medesima situazione è individuabile mediante il valore relativo all'ampiezza del picco di frequenza fondamentale delle misure passive di rumore ambientale a stazione singola, che deve essere almeno pari a 3.

Si specifica inoltre che, per “alcune decine di metri”, sono da intendersi spessori indicativamente intorno a 40 metri.

Sulla base delle definizioni sopra riportate si debbono attribuire, nella zona di variante :

una pericolosità sismica molto elevata S.4 all'area di frana attiva (*area interessata da instabilità di versante attiva e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici*)

una pericolosità sismica elevata S.3 alla restante parte dell'area di variante riferita a zona stabile suscettibile di amplificazioni locali, connessa con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna

Facendo riferimento alla definizione di alto contrasto di impedenza sismica” sopra riportata e ad uno spessore di 40 metri di profondità, il rapporto fra la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s_{eq \text{ substrato}}}$ ) del substrato sismico di riferimento e la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s_{eq \text{ coperture}}}$ ) delle coperture sismiche sovrastanti risulta infatti essere :

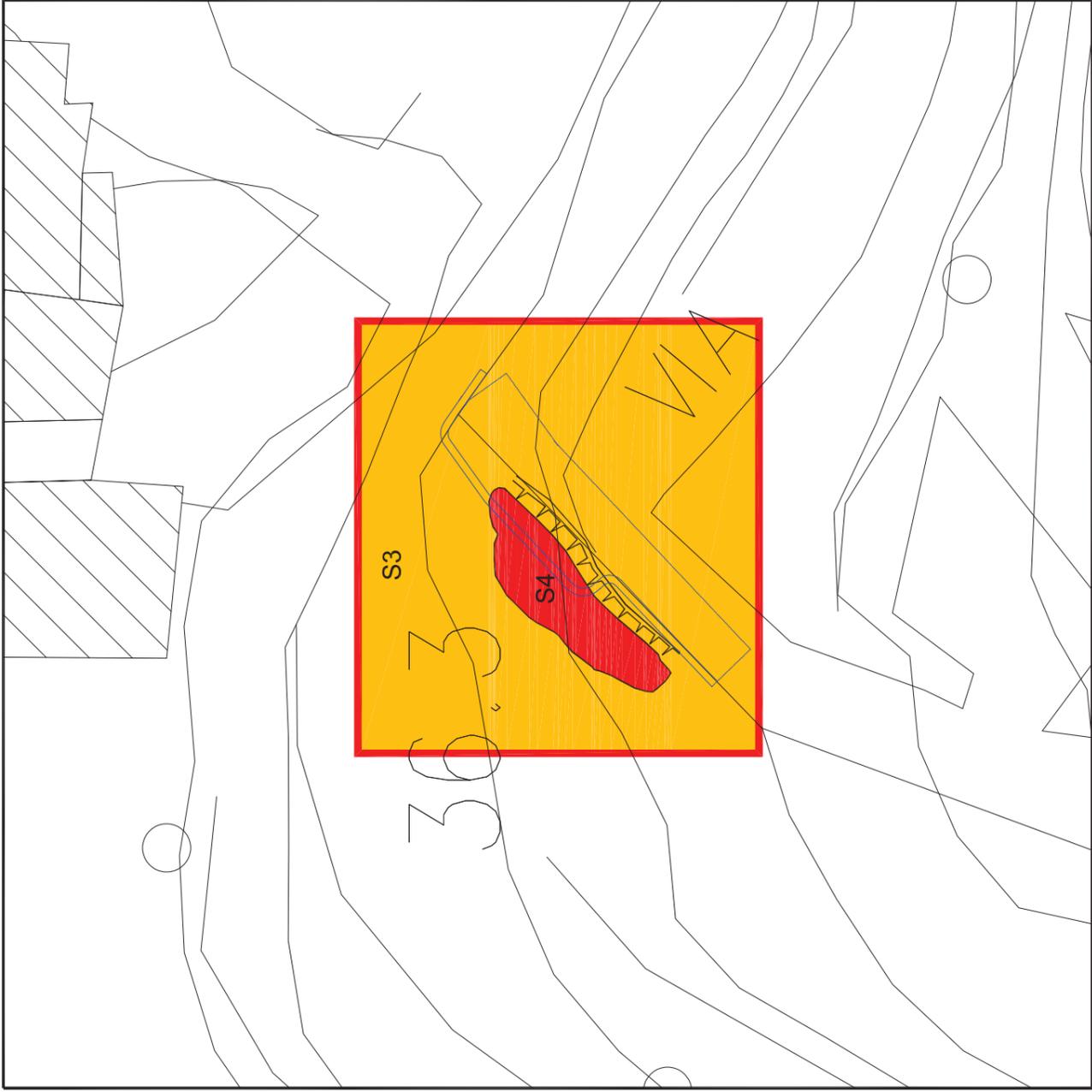
velocità equivalente ( $V_{s_{eq \text{ substrato}}}$ ) del substrato sismico =  $V_{s_{27}} = 974 \text{ m/sec}$

velocità equivalente ( $V_{s_{eq \text{ coperture}}}$ ) delle coperture =  $V_{s_{27}} = 320 \text{ m/sec}$

$V_{s_{eq \text{ substrato}}} / V_{s_{eq \text{ coperture}}} = 974 \text{ m/sec} / 320 \text{ m/sec} = 3.04$

ben superiore al valore 2 assunto dalla normativa quale valore limite.

Anche facendo riferimento al valore relativo all'ampiezza del picco di frequenza fondamentale della misura passiva di rumore ambientale a stazione singola condotta sul sito ( $A = 5.16 \gg$  del valore  $A = 3$  assunto dalla normativa quale valore limite) la classe di pericolosità sismica attribuibile rimane invariata.



**Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):**

- aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie;
- terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche oppure notizie storiche o studi preesistenti;
- aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici;



**Pericolosità sismica locale elevata (S.3):**

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
- aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-mecaniche significativamente diverse;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione  $(F_x) > 1.4$ ;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici;



**Pericolosità sismica locale media (S.2):**

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione  $(F_x) < 1.4$ ;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi);
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3;

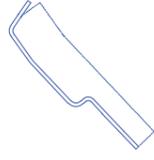


**Pericolosità sismica locale bassa (S.1):**

- zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.



Area di variante



Intervento in progetto

## D.Valutazione della fattibilità

La valutazione della fattibilità degli interventi si limita alle condizioni progettuali ed alle pericolosità individuate per la specifica area di variante puntuale relativa al "rifacimento di un tratto del muro di contenimento del rilevato stradale della Via dei Molini in frazione di Molina di Quosa, con allargamento della sede stradale" :

### D1a.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geologici

(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)

Gli interventi di progetto possono essere classificati come "interventi di messa in sicurezza di fenomeno franoso attivo" e, per la parte di allargamento della sede stradale, come interventi "di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare".

Le pericolosità attribuite all'area di variante puntuale sono :

una pericolosità geologica molto elevata G.4 all'area di frana attiva, oggetto di bonifica

una pericolosità geologica elevata G.3 alla restante parte dell'area di variante, relativa quindi anche al sito di modesto allargamento della sede stradale.

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità geologica molto elevata (G4)** è necessario rispettare i criteri generali di seguito indicati, oltre a quelli già previsti dalla pianificazione di bacino.

### **Sottolineate le sole parti di interesse per la presente variante puntuale, cancellate le rimanenti**

~~a) nelle aree soggette a fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione la fattibilità degli interventi di nuova costruzione o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla preventiva esecuzione di interventi di messa in sicurezza e relativi sistemi di monitoraggio sull'efficacia degli stessi. Gli interventi di messa in sicurezza, che sono individuati e dimensionati in sede di piano operativo sulla base di studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche e opportuni sistemi di monitoraggio propedeutici alla progettazione, sono tali da:~~

~~a.1) non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;~~

~~a.2) non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;~~

~~a.3) consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.~~

~~La durata del monitoraggio relativo agli interventi di messa in sicurezza è definita in relazione alla tipologia del dissesto ed è concordata tra il comune e la struttura regionale competente.~~

~~a bis) nelle aree soggette a intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo, la fattibilità degli interventi di nuova costruzione ai sensi della l.r. 41/2018 o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla preventiva esecuzione di interventi di messa in sicurezza. Gli interventi di messa in sicurezza, sono individuati e dimensionati in sede di piano operativo sulla base di studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche e sono tali da:~~

~~a bis.1) non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;~~

~~a bis.2) non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni in atto;~~

~~a bis.3) consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.~~

~~b) la fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente che comportano la demolizione e ricostruzione, o aumenti di superficie coperta o di volume, e degli interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla valutazione che non vi sia un peggioramento delle condizioni di instabilità del versante e un aggravio delle condizioni di rischio per la pubblica incolumità.~~

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità geologica elevata (G3)** è necessario rispettare i criteri generali di seguito indicati, oltre a quelli già previsti dalla pianificazione di bacino.

**Sottolineate le sole parti di interesse per la presente variante puntuale, cancellate le rimanenti**

~~La fattibilità degli interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata all'esito di studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche, effettuate in fase di piano attuativo e finalizzate alla verifica delle effettive condizioni di stabilità. Qualora dagli studi, dai rilievi e dalle indagini ne emerga l'esigenza, la fattibilità degli interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla preventiva realizzazione degli interventi di messa in sicurezza.~~

~~Gli interventi di messa in sicurezza, che sono individuati e dimensionati in sede di piano attuativo oppure, qualora non previsto, a livello edilizio diretto, sono tali da:~~

~~a.1) non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;~~

~~a.2) non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;~~

~~a.3) consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.~~

~~La durata del monitoraggio relativo agli interventi di messa in sicurezza è definita in relazione alla tipologia del dissesto ed è concordata tra il comune e la struttura regionale competente.~~

~~Il raggiungimento delle condizioni di sicurezza costituisce il presupposto per il rilascio di titoli abilitativi.~~

~~La fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente che comportano la demolizione e ricostruzione, o aumenti di superficie coperta o di volume, e degli interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla valutazione che non vi sia un peggioramento delle condizioni di instabilità del versante e un aggravio delle condizioni di rischio per la pubblica incolumità.~~

~~Nelle aree caratterizzate da **pericolosità geologica media (G2)**, 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.~~

~~Nelle aree caratterizzate da **pericolosità geologica bassa (G1)**, non è necessario dettare condizioni di attuazione dovute a limitazioni di carattere geomorfologico.~~

~~Nelle aree situate lungo i litorali caratterizzate da fenomeni di erosione costiera, la fattibilità degli interventi è subordinata alla loro sostenibilità ai fini della morfodinamica costiera, fermo restando il rispetto dei criteri stabiliti nel presente paragrafo per le diverse aree di pericolosità geologica, nonché il rispetto degli atti di programmazione regionale in materia di tutela della costa e degli abitati costieri.~~

**Tutti i criteri sopra elencati per le aree a diversa pericolosità geologica risultano rispettati nel progetto degli interventi, cui direttamente si rimanda.**

### **D1b.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti geologici**

*(definiti sulla base degli abachi di fattibilità geologica di POC vigente)*

Volendo, per completezza di indagine, definire la fattibilità degli interventi in progetto anche in relazione ai criteri di POC vigente, pure se redatto ai sensi di una normativa ormai superata (D.P.G.R. 25/11/2011 n.53/R), troviamo le seguenti condizioni.

Gli interventi di progetto possono essere classificati come :

*a) interventi di messa in sicurezza di fenomeno franoso attivo*

*b) per la parte di allargamento della sede stradale, interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare".*

La tipologia a) sopra descritta può essere ricondotta al punto 23 - *Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica* dell'abaco di fattibilità geologica di POC vigente.

A tale tipologia di interventi, ricadenti in area a pericolosità geologica G.4, viene attribuita una fattibilità geologica 3.

La tipologia b) sopra descritta può essere ricondotta al punto 4 - *Interventi di adeguamento e/o ristrutturazione di infrastrutture a sviluppo puntuale, lineare e a rete, con modifiche nella distribuzione dei carichi sulle fondazioni e/o aumento di superficie coperta* dell'abaco di fattibilità geologica di POC vigente.

A tale tipologia di interventi, ricadenti in area a pericolosità geologica G.3 (in area collinare), viene attribuita una fattibilità geologica 3.

**I "criteri per la trasformazione in relazione agli aspetti geologici" riportati in POC vigente, relativi alla classe di fattibilità geologica sopra indicata (fattibilità 3), risultano rispettati.**

## **D2a.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti legati alla pericolosità da alluvioni**

*(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)*

Gli interventi di progetto possono essere classificati come "*interventi di messa in sicurezza di fenomeno franoso attivo*" e, per la parte di allargamento della sede stradale, come interventi "*di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare*".

Come già in precedenza detto, la posizione del sito di variante, bene sopraelevato rispetto alla spianata di fondovalle e non interferente con linee di deflusso superficiale (fossi, canali, rii), e' tale da garantirne la salvaguardia in rapporto a possibili fenomeni di esondazione, alluvionamento e/o ristagno.

L'area di variante non e' pertanto classificabile, facendo riferimento alle suddivisioni riportate in l.r. 41/2018, in termini di pericolosità idraulica.

Si può pertanto affermare che per l'area di variante, non soggetta a condizioni di pericolosità idraulica, non esistono problemi di fattibilità idraulica

**Dei criteri di fattibilità idraulica riportati in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A sono sotto cancellati quelli non applicabili alla presente variante.**

~~Nelle aree caratterizzate da pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti la fattibilità degli interventi è perseguita secondo quanto disposto dalla l.r. 41/2018, oltre a quanto già previsto dalla pianificazione di bacino.~~

~~La fattibilità degli interventi è subordinata alla gestione del rischio di alluvioni rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti, con opere idrauliche, opere di sopraelevazione, interventi di difesa locale, ai sensi dell'articolo 8, comma 1 della l.r.41/2018.~~

~~Nei casi in cui, la fattibilità degli interventi non sia condizionata dalla l.r.41/2018 alla realizzazione delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, ma comunque preveda che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali, la gestione del rischio alluvioni può essere perseguita attraverso misure da individuarsi secondo criteri di appropriatezza, coniugando benefici di natura economica, sociale ed ambientale, unitamente ai costi ed ai benefici.~~

~~In particolare, sono da valutare le possibili alternative nella gestione del rischio alluvioni dalle misure maggiormente cautelative che garantiscono assenza degli allagamenti fino alle misure che prevedono eventuali allagamenti derivanti da alluvioni poco frequenti.~~

~~Nel caso di interventi in aree soggette ad allagamenti, la fattibilità è subordinata a garantire, durante l'evento alluvionale l'incolumità delle persone, attraverso misure quali opere di sopraelevazione, interventi di difesa locale e procedure atte a regolare l'utilizzo dell'elemento esposto in fase di evento. Durante l'evento sono accettabili eventuali danni minori agli edifici e alle infrastrutture tali da essere rapidamente ripristinabili in modo da garantire l'agibilità e la funzionalità in tempi brevi post evento.~~

~~Nelle aree di fondovalle poste in situazione morfologica sfavorevole, come individuate al paragrafo B4, la fattibilità degli interventi è condizionata alla realizzazione di studi idraulici finalizzati all'aggiornamento e riesame delle mappe di pericolosità di alluvione di cui alla l.r. 41/2018.~~

~~Nelle aree caratterizzate da pericolosità (P3) per alluvioni costiere frequenti come definite negli atti di pianificazione di bacino, fermo restando il rispetto degli atti di programmazione regionale in materia di tutela della costa, degli abitati costieri e delle norme di pianificazione di bacino, la fattibilità degli interventi è subordinata alla sostenibilità in relazione alla morfodinamica costiera e agli effetti dovuti ad inondazioni marine.~~

**D2b.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici**  
(definiti sulla base degli abachi di fattibilità idraulica di POC vigente)

Volendo, per completezza di indagine, definire la fattibilità degli interventi in progetto anche in relazione ai criteri di POC vigente, pure se redatto ai sensi di una normativa ormai superata (D.P.G.R. 25/11/2011 n.53/R), troviamo le seguenti condizioni.

Gli interventi di progetto possono essere classificati come :

a) *interventi di messa in sicurezza di fenomeno franoso attivo*

b) per la parte di allargamento della sede stradale, *interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare*".

La tipologia a) sopra descritta può essere ricondotta al punto 24 - *Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica* dell'abaco di fattibilità idraulica di POC vigente.

A tale tipologia di interventi, ricadenti in area a pericolosità idraulica I.1 (non sono riconosciute condizioni di pericolosità idraulica per l'area di variante), viene attribuita una fattibilità idraulica 1.

La tipologia b) sopra descritta può essere ricondotta al punto 9 - *Ampliamento e adeguamento di opere e infrastrutture pubbliche, di interesse pubblico e relative attrezzature* dell'abaco di fattibilità idraulica di POC vigente.

A tale tipologia di interventi, ricadenti in area a pericolosità idraulica I.1 (non sono riconosciute condizioni di pericolosità idraulica per l'area di variante), viene attribuita una fattibilità idraulica 1.

**I "criteri per la trasformazione in relazione agli aspetti idraulici" riportati in POC vigente, relativi alla classe di fattibilità idraulica sopra indicata (fattibilità 1), risultano rispettati.**

### **D3.Criteri generali di fattibilità in relazione a problematiche connesse alla risorsa idrica**

*(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)*

Nelle aree ove la previsione possa incrementare una situazione di squilibrio in atto della risorsa idrica o generare situazioni di criticità della risorsa idrica è necessario rispettare i seguenti criteri generali, oltre a quelli già previsti dalla pianificazione di bacino:

- la fattibilità degli interventi è subordinata alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di eliminazione o mitigazione dello stato di rischio idrogeologico accertato o potenziale, tenuto conto della natura della trasformazione e delle attività ivi previste.
- la fattibilità degli interventi è subordinata a contenere i possibili rischi d'inquinamento.

**Come già' evidenziato in precedenza la tipologia del dissesto verificatosi nell'area di variante (frana superficiale) e la tipologia degli interventi di sua prevista bonifica, in assenza di scavi che possano intercettare e/o interagire con eventuali scorrimenti profondi di falda (per altro non rilevati attraverso le indagini condotte), garantiscono l'assenza di interferenze con la "risorsa idrica sotterranea".**

#### **D4a.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti sismici**

*(definiti in DPGRT 30 gennaio 2020, n. 5/R - allegato A)*

Gli interventi di progetto possono essere classificati come "*interventi di messa in sicurezza di fenomeno franoso attivo*" e, per la parte di allargamento della sede stradale, come interventi "*di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare*".

Le pericolosità attribuite all'area di variante puntuale sono :

una pericolosità sismica locale molto elevata S.4 all'area di frana attiva, oggetto di bonifica

una pericolosità sismica locale elevata S.3 alla restante parte dell'area di variante, relativa quindi anche al sito di modesto allargamento della sede stradale.

Nelle aree caratterizzate da **pericolosità sismica locale molto elevata (S4)**, in sede di piano operativo, sono da studiare e approfondire i seguenti aspetti:

#### **sottolineate le sole parti di interesse per la presente variante puntuale, cancellate le rimanenti**

~~• nel caso di aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci è effettuato uno studio geologico e geomorfologico di dettaglio, integrato con indagini geofisiche, così come indicato nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci" - FAC, approvate dalla Conferenza delle Regioni e Province autonome nella seduta del 7 maggio 2015 e contenute nelle specifiche tecniche regionali di cui all'o.d.p.c.m. 3907/2010. Per tali aree sono individuate le "zone di suscettibilità - ZSFAC" e le "zone di rispetto - ZRFAC" della faglia attiva e capace.~~

~~• per i terreni soggetti a liquefazione dinamica, sono realizzate indagini geognostiche e verifiche geotecniche per il calcolo del fattore di sicurezza relativo alla liquefazione dei terreni e della distribuzione areale dell'Indice del potenziale di liquefazione, così come indicato nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione" - LIQ, emanate dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica e recepite all'interno delle specifiche tecniche regionali di cui all'o.d.p.c.m.3907/2010. Tali valutazioni sono finalizzate alla individuazione delle "zone di suscettibilità a liquefazione - ZSLQ" e delle "zone di rispetto a liquefazione - ZRLQ".~~

~~• nel caso di zone di instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione sono effettuati studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche per la predisposizione di verifiche di stabilità del versante, secondo quanto definito al paragrafo.3.1.1, tenuto conto anche dell'azione sismica e in coerenza con quanto indicato nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte" - FR, emanate dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica e recepite all'interno delle specifiche tecniche regionali di cui all'o.d.p.c.m. 3907/2010.~~

**In ragione della tipologia di variante in essere e della tipologia degli interventi previsti sono state condotte sul sito indagini geognostiche e geofisiche tali da consentire la esecuzione delle verifiche di stabilità contenute nel progetto esecutivo, cui direttamente si rimanda.**

Nelle aree caratterizzate da pericolosità sismica locale molto elevata (S4) si fa riferimento ai seguenti **criteri**:

~~• per le aree di rispetto (ZRFAC) delle faglie attive e capaci sono da escludere previsioni di nuova edificazione ai sensi dell'art.134 commi 1a), h), l) della L.r. 65/2014;~~

~~• per le aree di suscettibilità (ZSFAC) delle faglie attive e capaci sono da escludere previsioni di nuova edificazione ai sensi dell'art.134 commi 1a), h), l) della L.r. 65/2014, fatto salvo per le classi d'uso I e II (NTC 2018, Cap.2 par.2.4.2) previa verifica in fase attuativa e/o edilizia delle condizioni di instabilità mediante gli approfondimenti previsti dalle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci - FAC";~~

~~• nelle aree individuate come zone di suscettibilità a liquefazione (ZSLQ) e di rispetto a liquefazione (ZRLQ), la fattibilità degli interventi di nuova edificazione è subordinata alla preventiva realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione della pericolosità sismica dei terreni (in conformità a NTC 2018, punto 7.11.3.4) da accertare infunzione dell'esito delle verifiche geotecniche in fase di rilascio del titolo abilitativo;~~

• relativamente alle aree di instabilità di versante attive, la fattibilità degli interventi di nuova edificazione, è subordinata alla preventiva esecuzione di interventi di messa in sicurezza, secondo le indicazioni di cui al paragrafo 3.1.1, lettera a). Agli interventi sul patrimonio esistente, si applicano i criteri definiti al paragrafo 3.1.1 lettera b);

~~• la fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente, fatti salvi quelli che non incidono sulle parti strutturali degli edifici e fatti salvi gli interventi di riparazione o locali (NTC18, punto 8.4.3), è subordinata all'esecuzione di interventi di miglioramento o adeguamento sismico (in coerenza con le NTC 2018, punto 8.4).~~

~~Limitatamente alle aree di suscettibilità (ZSLQ) e rispetto alla liquefazione (ZRLQ), oltre agli interventi di miglioramento o adeguamento, la fattibilità è subordinata anche ad interventi di riduzione della pericolosità (in conformità a NTC 2018, punto 7.11.3.4).~~

**I previsti interventi di messa in sicurezza del dissesto verificatosi, garantiscono la fattibilità degli interventi di nuova edificazione, intesi, senso lato, quali interventi di allargamento della sede stradale.**

**D4b.Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti sismici  
(definiti sulla base degli abachi di fattibilità sismica di POC vigente)**

Volendo, per completezza di indagine, definire la fattibilità degli interventi in progetto anche in relazione ai criteri di POC vigente, pure se redatto ai sensi di una normativa ormai superata (D.P.G.R. 25/11/2011 n.53/R), troviamo le seguenti condizioni.

Gli interventi di progetto possono essere classificati come :

a) *interventi di messa in sicurezza di fenomeno franoso attivo*

b) per la parte di allargamento della sede stradale, *interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare*".

La tipologia a) sopra descritta può essere ricondotta al punto 23 - *Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica* dell'abaco di fattibilità sismica di POC vigente.

A tale tipologia di interventi, ricadenti in area a pericolosità sismica S.4, viene attribuita una fattibilità sismica 3.

La tipologia b) sopra descritta può essere ricondotta al punto 4 - *Interventi di adeguamento e/o ristrutturazione di infrastrutture a sviluppo puntuale, lineare e a rete, con modifiche nella distribuzione dei carichi sulle fondazioni e/o aumento di superficie coperta* dell'abaco di fattibilità sismica di POC vigente.

A tale tipologia di interventi, ricadenti in area a pericolosità sismica S.3, viene attribuita una fattibilità sismica 3.

**I "criteri per la trasformazione in relazione agli aspetti sismici" riportati in POC vigente, relativi alla classe di fattibilità sismica sopra indicata (fattibilità 3), risultano rispettati.**

Castelnuovo Garfagnana 19 aprile 2022

il geologo

Leonardo Moni



**ALLEGATO**

**Relazione geologica di supporto alla progettazione  
dell'intervento di ripristino e messa in sicurezza della strada  
comunale Via dei Mulini in Molina di Quosa**

**(gennaio 2019)**

Studio di Geologia  
GEODES

via Valmaira, 14  
55032 Castelnuovo Garfagnana (LU)  
tel 0583 - 644096  
e.mail - geodes@inwind.it

Provincia di Pisa  
Comune di San Giuliano Terme

Progetto di ripristino e messa in sicurezza  
strada comunale per Molina di Quosa

INDAGINI GEOLOGICHE

COMMITTENTE : Amministrazione Comunale San Giuliano Terme  
PROGETTISTA : ing. Angelo Cecchi

dott.geol. Leonardo Moni

collaboratori : geom. Consuelo Adami  
geol. Luca Moni

data: gennaio 2019

File disegno : Disegni 2019 / San Giuliano Terme  
Molina di Quosa

File testo : Relazioni 2019/ S.C. per Molina di Quosa  
Bonifica Dissesto

## **INDICE**

1.Premessa

2.Descrizione del dissesto - Assetto geologico e stratigrafico locale

*2.1.Ubicazione del dissesto*

*2.2.Morfologia e geologia del dissesto*

*2.3.Acque superficiali e profonde*

*2.4.Cause del dissesto*

3.Indagini geognostiche - Categoria di sottosuolo e categoria topografica

4.Assetto stratigrafico locale

5.Parametri geotecnici dei materiali

6.Liquefazione dei terreni

7.Verifiche di stabilita'

8. Verifica della conformita' dell'intervento con le indicazioni e prescrizioni del Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno (attualmente ricadente nel Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale)

9. Verifica della conformita' dell'intervento con le indicazioni e prescrizioni di Piano Operativo Comunale

10.Conclusioni

## **ALLEGATO FUORI TESTO (TAVOLA UNICA)**

*Inquadramento topografico* *in scala 1:10.000*

*Carta geologica* *in scala 1:2.000*

*Planimetria di dettaglio (stato attuale)* *in scala 1: 200*

*Planimetria di dettaglio (stato progetto)* *in scala 1: 200*

*Sezioni geologiche (stato attuale)* *in scala 1:100*

*Sezioni geologiche (stato progetto)* *in scala 1:100*

## **ALLEGATO FUORI TESTO**

Risultati delle indagini geognostiche (Pro.Geo. s.r.l.)

## 1.Premessa

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di S.Giuliano Terme (Pisa) sono state condotte indagini in frazione Molina di Quosa, a supporto del progetto per il *ripristino e la messa in sicurezza di tratto di viabilità comunale (via dei Mulini), interessato da dissesto.*

Il dissesto censito si manifesta attraverso il crollo di muro di contenimento di tratto di viabilità comunale e di adiacente viabilità secondaria, con parziale asportazione dei piani stradali; i materiali di frana hanno interessato sottostante proprietà privata.

Evidenze di degrado strutturale e potenziale instabilità si manifestano anche in tratti adiacenti a quello già interessato da dissesto.

Per una esatta ubicazione del sito di intervento si rimanda agli specifici elaborati cartografici al testo.

Lo studio si è articolato attraverso la preliminare acquisizione dei dati forniti dalla cartografia geologica esistente con particolare riferimento alla *Cartografia di Piano Operativo Comunale.*

I dati cartografici sono stati verificati nell'area attraverso un accurato rilevamento di campagna, con esame di affioramenti naturali e di tagli antropici presenti in corrispondenza e nell'intorno del sito di specifico interesse.

Per una corretta definizione del locale assetto stratigrafico e delle morfologie di frana nonché per una esatta parametrizzazione, anche in termini sismici, dei materiali di substrato sono state eseguite, in tempi diversificati, specifiche prove geognostiche e geofisiche in corrispondenza dell'area in dissesto :

- n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo - S1 (maggio 2005)
- n.1 prospezione sismica MASW - M1 (dicembre 2018)
- n.1 prova penetrometrica dinamico superpesante (DPSH) - P1 (dicembre 2018)
- n.1 misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR) - HV1 (dicembre 2018)

L'intervento non è classificabile ai sensi del DGRT n.387 del 11 maggio 2009 36/R.

Per la realizzazione dello studio sono stati utilizzati ingrandimenti della Carta Tecnica Regionale, oltre a rilievi di maggiore dettaglio, appositamente eseguiti.

## **2.Descrizione del dissesto - Assetto geologico e stratigrafico locale**

### **2.1.Ubicazione del dissesto**

Il tratto viario interessato dal dissesto si ubica, a quota media 36.3 metri s.l.m. , lungo la strada comunale dei Molini, in corrispondenza di tornante viario da cui si diparte viabilità secondaria di accesso al Podere Poggetto.

### **2.2.Morfologia e geologia del dissesto**

La sede viaria comunale sembra impostarsi, localmente, su precedente più antico tracciato, ottenuta per sopraelevazione di originari muri di contenimento , con successivo accumulo di materiali di riporto a tergo degli stessi.

Il dissesto si manifesta attraverso il totale crollo, per uno sviluppo di circa 10 / 12 metri, del muro di sostegno del piano viario (strada comunale e strada secondaria) e della sovrastante spalletta di protezione , con parziale coinvolgimento della stessa sede rotabile.

Lesionamenti diffusi si riscontrano su opere murarie adiacenti a quelle interessate dal crollo, ma solo in parte ad esso correlabili ( alcune lesioni infatti trovano origine in cause analoghe a quelle che hanno provocato il dissesto, senza essere però diretta conseguenza dello stesso; la loro evoluzione potrebbe comunque produrre fenomenologie analoghe).

L'indagine di campagna evidenzia inoltre la presenza di fessurazioni della sede stradale, soprattutto lungo il contatto fra manto bituminoso e murature di sostegno del piano viario; tali aree rappresentano zona di preferenziale penetrazione nel substrato delle acque meteoriche; e' ragionevole ipotizzare che le acque di infiltrazione disperdendosi all'interno dei materiali di riporto e sottofondo stradale, ne peggiorino le caratteristiche fisico meccaniche di portanza e stabilità' .

La stratigrafia locale, individuata attraverso le indagini eseguite, risulta caratterizzata dalla presenza di accumuli superficiali di riporto e di sottofondo stradale (spessore = circa metri 2), costituiti da litici poligenici millimetrico centimetrici, in matrice di sabbie (deposito da sciolto a poco addensato); seguono, fino a circa metri 13 dal piano campagna, coperture detritiche / depositi di conoide costituiti da litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni / marroni grigiastri ( su alcuni orizzonti decimetrici marrone rossastri) → deposito mediamente addensato.

Il substrato profondo dell'area e' attribuito a materiali litoidi integri e tenaci costituiti da scisti sericitici verdi e rossastri e da calcescisti grigi, rossi e verdastri, parzialmente affioranti lungo la sede stradale in zone adiacenti a quella di dissesto.

### **2.3.Acque superficiali e profonde**

Non esistono linee di deflusso superficiale concentrato che interessino direttamente la zona di intervento; in aree limitrofe si hanno valleciole morfologiche comunque prive di deflussi significativi al fondo ; fa eccezione il *Botro della Cava* che scorre, con portate comunque modeste, a sud dell'area.

La mancanza di deflussi concentrati e' imputabile anche alla elevata percentuale di dispersione per infiltrazione delle acque meteoriche, in ragione delle buone caratteristiche di permeabilità dei materiali affioranti e di substrato (permeabilità per porosità nelle coperture detritiche e di conoide, permeabilità per fratturazione all'interno degli ammassi rocciosi ).

Laddove, come in corrispondenza del sito di intervento, si hanno coltri di copertura di significativo spessore possono comunque originarsi circolazioni ipodermiche temporanee legate al regime delle precipitazioni.

Circuiti idraulici estesi si sviluppano, a quote inferiori, negli antichi depositi alluvionali che costituiscono la pianura sottostante.

Si e' gia' detto di come le fessurazioni della sede stradale, nel tratto di maggiore interesse ed in altri limitrofi, rappresentino via di preferenziale penetrazione nel substrato delle acque meteoriche ; e' ragionevole ipotizzare che le acque di infiltrazione disperdendosi all'interno dei materiali di riporto e sottofondo stradale, ne peggiorino le caratteristiche fisico meccaniche di portanza e stabilita' .

Misure di falda eseguite nel foro di sondaggio realizzato nel maggio 2015 non hanno denunciato la presenza di scorrimenti idrici significativi nello spessore attraversato (metri 10 dal piano campagna).

#### **2.4.Cause del dissesto**

Quali principali cause del dissesto rilevato possono individuarsi :

degrado strutturale e carenze fondazionali delle murature interessate da crollo,

vibrazioni ed urti indotti, sulle murature interessate da crollo, dal traffico veicolare presente lungo la viabilita' comunale,

infiltrazione diffusa e concentrata, nei materiali di riporto e sottofondo stradale, delle acque meteoriche, anche attraverso le fessurazioni presenti sul manto viario,

azione di allentamento delle piu' antiche murature di pietra indotta dagli apparati radicali della vegetazione che, almeno stagionalmente, si sviluppa le murature stesse.

Si evidenzia come fenomenologie di degrado simili siano presenti, in varie fasi di sviluppo, anche sui manufatti presenti in zone limitrofe a quella di attuale intervento; per esse puo' ipotizzarsi una evoluzione verso analoghe forme di dissesto.

### **3.Indagini geognostiche - Categoria di sottosuolo e categoria topografica**

Per una corretta definizione del locale assetto stratigrafico e delle morfologie di frana nonché per una esatta parametrizzazione, anche in termini sismici, dei materiali di substrato sono state eseguite, in tempi diversificati, specifiche prove geognostiche e geofisiche in corrispondenza dell'area in dissesto :

n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo - S1 (maggio 2005)

n.1 prospezione sismica MASW - M1 (dicembre 2018)

n.1 prova penetrometrica dinamico superpesante (DPSH) - P1 (dicembre 2018)

n.1 misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSr) - HV1 (dicembre 2018)

#### **Sondaggio geognostico a carotaggio continuo - S1 (maggio 2015)**

In corrispondenza del sito di dissesto e' stato realizzato, in data 24/25 maggio 2005, un sondaggio a carotaggio continuo, al fine di individuare la stratigrafia locale e le caratteristiche dei materiali di substrato.

E' stata individuata la seguente stratigrafia :

mt 0.0 – mt 2.0

ACCUMULI DI RIPOSO E DI SOTTOFONDO STRADALE - Litici poligenici millimetrico centimetrici, in matrice di sabbie (deposito da sciolto a poco addensato),

mt 2.0 – mt 10.0

COPERTURE DETRITICHE / DEPOSITI DI CONOIDE - Litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni / marroni grigiastri ( su alcuni orizzonti decimetrici marrone rossastri) (deposito mediamente addensato).

Misure di falda eseguite nel foro di sondaggio non hanno denunciato la presenza di scorrimenti idrici significativi nello spessore attraversato.

# Sondaggio S1



Ubicazione sondaggio S1



Cassa n° 1 mt 0.0 - mt 5.0



Cassa n° 2 mt 5.0 - mt 10.0

Lo **stendimento sismico MASW - M1** (dicembre 2018) ha permesso di individuare orizzonti sismici sovrapposti, caratterizzati, nell'ambito dei 34 metri dal piano campagna , dalla seguente successione :

<i>spessore di ogni singolo orizzonte</i>	<i>velocita' onde S in metri/secondo</i>	<i>profondita' progressiva dal piano campagna</i>
per metri 1.0	→ Vs = 192 m/sec	mt 1.0
per metri 2.0	→ Vs = 200 m/sec	mt 3.0
per metri 5.0	→ Vs = 351 m/sec	mt 8.0
per metri 5.0	→ Vs = 450 m/sec	mt 13.0
per metri 4.7	→ Vs = 903 m/sec	mt 17.7
per metri 4.7	→ Vs = 946 m/sec	mt 22.4
per metri 11.6	→ Vs = 1004 m/sec	mt 34.0

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocita' equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/sec), definita dall'espressione :

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N (per\ i\ compreso\ fra\ 1\ ed\ N)\ h_i / V_{s,i}}$$

$h_i$  = spessore dell' *i*-esimo strato

$V_{s,i}$  = velocita' delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato

$N$  = numero di strati

$H$  = profondita' del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 msec

Per depositi con profondita'  $H$  del substrato superiore a 30 metri, la velocita' equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  e' definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprieta' degli strati di terreno fino a tale profondita'.

Nel caso specifico, tenendo conto anche della tipologia di intervento prevista (\*), in presenza di un substrato sismico alla profondita' di metri 13 dal piano campagna, il valore di  $V_{s,eq}$  determinato risulta pari a 320 m/sec.

( \* ) le NTC 2018 indicano che, per fondazioni superficiali, la profondita' del substrato e' riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali e' riferita alla testa dei pali

Facendo riferimento alla classificazione riportata in NTC 2018 la categoria di sottosuolo relativa a tali valori di  $V_{s,eq}$  risulta essere la E : *Terreni con caratteristiche e valori di velocita' equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondita' del substrato non superiore a 30 m.*

### ***Categorie di sottosuolo***

- A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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** *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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** *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

La categoria topografica attribuibile al sito, sulla base della classificazione riportata in capitolo 3 – comma 3.2.2 -Tabella 3.2.III. del D.M. 17.01.2018, risulta essere la T2 : *pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .*

Della **prova penetrometrica P1** (dicembre 2018) si evidenziano i seguenti risultati:

la prova, eseguita in modalita' dinamico pesante, ha raggiunto il rifiuto all'infissione alla profondita' di metri 4.20 dal piano campagna

la prova penetrometrica eseguita non ha denunciato, alla data di realizzazione, scorrimenti idrici di substrato

e' stata riconosciuto il seguente assetto stratigrafico locale :

mt 0.0 – 1.6  
*accumuli di riporto e di sottofondo stradale*

mt 1.6 - 4.0  
*coperture detritiche - depositi di conoide*

mt 4.0 - 4.2  
*trovante*

Della **misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR) - HV1** (dicembre 2018) si evidenziano i seguenti risultati :

la misura è stata eseguita con condizioni meteorologiche di cielo coperto con vento leggero, a tratti moderato

la durata della registrazione è stata di 30 minuti (1800 sec).

lo strumento è stato piazzato perfettamente in bolla, con uno dei due assi orizzontali (Y) disposto secondo il Nord geografico

presenza di vari transienti

l'elaborazione della misura ha messo evidenza

la presenza di un primo picco a frequenza (F) = 19.1 Hz ed ampiezza (A) = 5.16, correlabile con il passaggio fra gli *accumuli di riporto e di sottofondo stradale, sciolti / poco addensati, superficiali ed i sottostanti depositi detritici - depositi di conoide mediamente addensati*

la presenza di un secondo picco, piu' profondo, a frequenza (F) = 5.30 Hz ed ampiezza (A) = 3.23, correlabile con il passaggio fra i *depositi detritici - depositi di conoide mediamente addensati ed il sottostante substrato litoide*

curva classificabile come A1 (Albarello D. et al., 2010, 2011).

Per una trattazione piu' completa del dato sismico e del dato penetrometrico si rimanda agli elaborati prodotti dalla ditta Pro.Geo. s.r.l., esecutrice delle indagini, allegati alla presente relazione.

#### 4. Assetto stratigrafico locale

Sulla base delle evidenze di campagna e sulla base dei risultati del complesso di indagini svolte, e' stato possibile ricostruire il locale 'assetto stratigrafico, graficamente schematizzato sulla sezione geologica di dettaglio allegata al testo:

in corrispondenza della zona di principale dissesto, a tergo del muro lesionato, per la sua complessiva altezza, sono presenti vecchi *accumuli di riporto, costituenti il sottofondo stradale di questo tratto viario*; si tratta di *litici poligenici millimetrico centimetrici, in matrice di sabbie (deposito da sciolto a poco addensato)*

in corrispondenza della zona di principale dissesto, a substrato del muro di sostegno del piano viario, per uno spessore di circa metri 11.5, sono presenti *coperture detritiche - depositi di conoide*; si tratta di *litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni / marroni grigiastri (su alcuni orizzonti decimetrici marroni rossastri) (deposito mediamente addensato)*

in corrispondenza della zona di principale dissesto, a substrato profondo dell'area, per spessore indefinito, sono presenti, quale substrato litoie, *scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi, rossi e verdastr*

## 5. Parametri geotecnici dei materiali

I parametri geomeccanici dei terreni affioranti e di substrato sono stati determinati attraverso la elaborazione delle indagini eseguite ed attraverso valutazioni legate alla esperienza personale dello scrivente.

### LIVELLO 1 - dal piano campagna a circa metri 2.0 (in corrispondenza circa dell'intervento)

#### ACCUMULI DI RIPORTO E DI SOTTOFONDO STRADALE

Litici poligenici millimetrico centimetrici, in matrice di sabbie (deposito da sciolto a poco addensato)

$V_s = 192-450$  m/sec

Angolo di attrito $\phi$ ( $^{\circ}$ )	Peso di volume $\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> )	Peso di volume saturo $\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )	Coesione $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico $E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
28°	1.86	2.10	0.0	34
<i>da penetrometria e sismica</i>				

### LIVELLO 2 - dal circa metri 2.0 a circa metri 13.0

#### COPERTURE DETRITICHE - DEPOSITI DI CONOIDE

Litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni / marroni grigiastri (su alcuni orizzonti decimetrici marroni rossastri) (deposito mediamente addensato)

$V_s = 903 - 1004$  m/sec

Angolo di attrito $\phi$ ( $^{\circ}$ )	Peso di volume $\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> )	Peso di volume saturo $\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )	Coesione $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico $E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
30°	1.92	2.20	0.0	48
<i>da penetrometria e sismica</i>				

### LIVELLO 3 - dal circa metri 13, per spessore indefinito

#### SUBSTRATO LITOIDE

Scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi, rossi e verdastr

$V_s > 1000$  m/sec

Angolo di attrito $\phi$ ( $^{\circ}$ )	Peso di volume $\gamma$ (ton/m <sup>3</sup> )	Peso di volume saturo $\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )	Coesione $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico $E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
40° <i>cautelativo</i>	2.10 <i>cautelativo</i>	2.30 <i>cautelativo</i>	2.0 <i>cautelativo</i>	<i>incompressibile</i>
<i>da bibliografia</i>				

## 6. Liquefazione dei terreni

La verificata assenza nell'area di intervento di circolazioni idriche interne alle coperture detritiche di versante / depositi di conoide e la presenza di un sottostante substrato litoide integro e tenace, esclude il possibile locale innesco di processi di liquefazione.

## 7. Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità di versante sono state eseguite nel rispetto delle indicazioni e prescrizioni del *D.M. 14.01.2018 - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni*, utilizzando la combinazione dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC: Approccio 1, Combinazione 2 → (A2+M2+R2), in cui i coefficienti A2 sono moltiplicativi delle azioni e i coefficienti M2 ed R2 sono rispettivamente riduttivi dei parametri di resistenza e della resistenza globale del sistema, nelle seguenti ipotesi :

le verifiche di pendice sono state eseguite, lungo la sezione più "gravosa", nello stato attuale ed in quello di progetto, in condizioni statiche ed in condizioni dinamiche, tenendo conto dei carichi su di essa ipotizzabili e dei manufatti su di essa presenti  
le caratteristiche delle opere di progetto sono state fornite dall'ing. Angelo Cecchi

nella esecuzione delle verifiche si è tenuto conto dell'assetto stratigrafico di versante riconosciute attraverso le indagini condotte

tutte le verifiche sono state condotte in utilizzo dei coefficienti riduttivi per i parametri geotecnici dei materiali

la categoria di sottosuolo utilizzata è la E

la categoria topografica utilizzata è la T2

In considerazione della granulometria, dello stato di addensamento / fratturazione e della permeabilità dei materiali interessati dalle verifiche, dotati, almeno negli spessori interessati dalle superfici di scivolamento testate, di significative capacità drenanti (in relazione ad eventuali acque di pioggia e/o di scorrimento superficiale e/o profondo che essi interferenti), le verifiche di stabilità stesse sono state eseguite in condizioni drenate, in utilizzo comunque dei valori di  $\gamma_{sat}$  determinati attraverso la prova penetrometrica eseguita.

Le verifiche sono state eseguite in utilizzo della formula di Bishop :

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Si ottiene :

#### STATO ATTUALE

condizioni statiche  $F_s = 1.01$

condizioni dinamiche  $F_s = 0.83$

La pendice, in corrispondenza della zona di dissesto, mostra condizioni di equilibrio limite in condizioni statiche; chiare condizioni di squilibrio si verificano in condizioni dinamiche.

#### STATO PROGETTO

condizioni statiche  $F_s = 18.18$

condizioni dinamiche  $F_s = 18.18$

Il valore  $F_s = 18.18$  e' un valore numero "fittizio" che il programma utilizzato fornisce per condizioni di elevato equilibrio .

## STATO ATTUALE - condizioni statiche → Fs = 1.01

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

---

---

Lat./Long.	43,794973/10,4253
Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

---

---

### Maglia dei Centri

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	17,04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	34,29 m
Ascissa vertice destro superiore xs	19,39 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,87 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

---

---

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	20,6	30,3
8	23,0	30,3
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	22,1	28,7
8	24,2	29,9
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	10,0	13,1
2	13,2	13,8
3	16,0	14,7
4	18,7	15,9
5	21,8	17,6
6	25,7	20,5
7	27,7	22,9
8	30,1	25,8
9	32,2	29,5
10	33,8	31,2

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		28	1860	2100,00	
2	0		30	1920	2200	
3	2		40	2100	2300	

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,91	28,32	0	0,1	2	0,3	0,3	2200

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20,9	30,3	23	30,3	0,1
2	23	30,3	27,4	30,00667	0,1
3	27,4	30	33,8	31,2	0,1

**Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	1,01
Ascissa centro superficie	17,63 m
Ordinata centro superficie	35,31 m
Raggio superficie	7,7 m

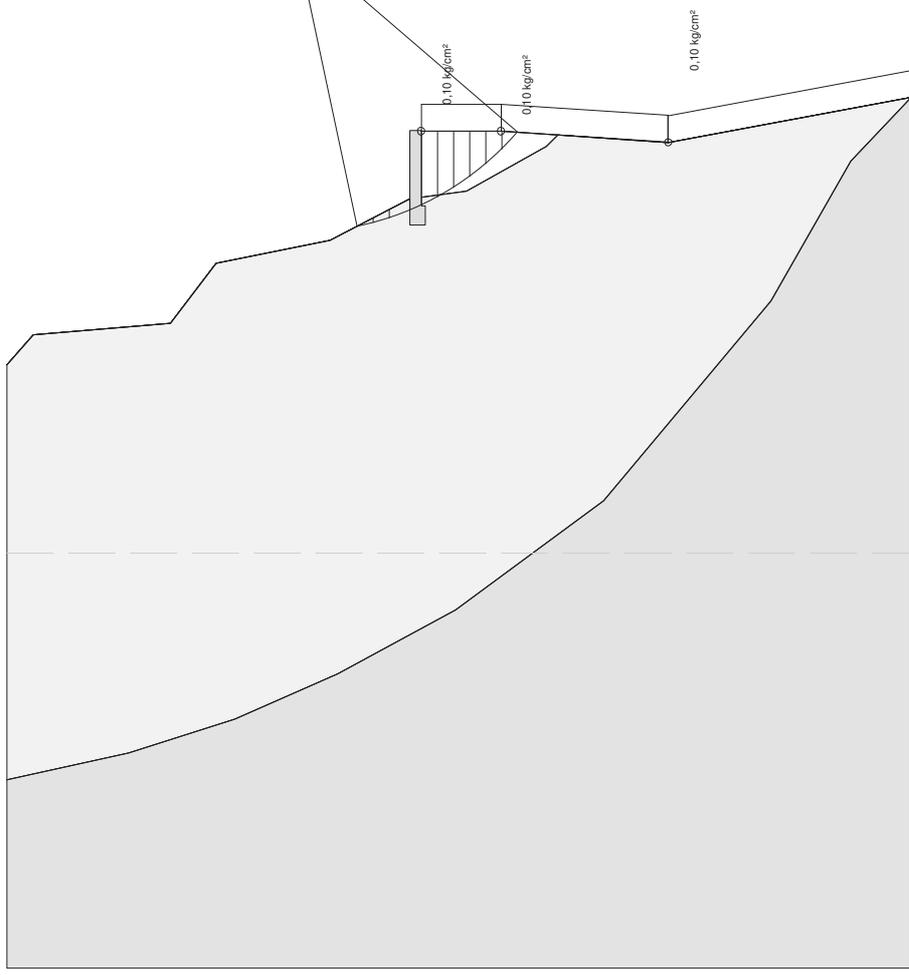
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 17,628 yc = 35,312 Rc = 7,705 Fs=1,011**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,42	13,5	0,44	51,8	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	48,4	20,1
2	0,42	16,7	0,44	139,74	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	129,7	53,9
3	0,54	20,5	0,58	272,54	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	251,8	104,6
4	0,31	23,9	0,34	2929,72	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	2706,3	1124,4
5	0,42	27,0	0,48	1893,52	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	1753,8	728,6
6	0,42	30,6	0,49	1706,5	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1616,5	618,5
7	0,42	34,3	0,51	1493,69	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1433,9	548,6
8	0,42	38,2	0,54	1248,01	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1220,7	467,1
9	0,42	42,4	0,57	964,11	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	967,3	370,1
10	0,42	46,8	0,62	521,44	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	541,3	207,1



xc=17,63 yc=35,31 Rc=7,70 Fs=1,01



- Strato...1  
g=1860Kg/m³  
gs=2100,00Kg/m³  
Fi=28°  
c=0 kg/cm²
- Strato...2  
g=1920Kg/m³  
gs=2200Kg/m³  
Fi=30°  
c=0 kg/cm²
- Strato...3  
g=2100Kg/m³  
gs=2300Kg/m³  
Fi=40°  
c=2 kg/cm²

**STATO ATTUALE - condizioni dinamiche → Fs = 0.83****Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Lat./Long.	43,794973/10,4253
Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	17,04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	34,29 m
Ascissa vertice destro superiore xs	19,39 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,87 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

**Sisma**

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0573
Coefficiente azione sismica verticale	0,0287

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	20,6	30,3
8	23,0	30,3
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	22,1	28,7
8	24,2	29,9
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	10,0	13,1
2	13,2	13,8
3	16,0	14,7
4	18,7	15,9
5	21,8	17,6
6	25,7	20,5
7	27,7	22,9
8	30,1	25,8
9	32,2	29,5
10	33,8	31,2

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		28	1860	2100,00	
2	0		30	1920	2200	
3	2		40	2100	2300	

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,91	28,32	0	0,1	2	0,3	0,3	2200

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20,9	30,3	23	30,3	0,1
2	23	30,3	27,4	30,00667	0,1
3	27,4	30	33,8	31,2	0,1

### Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	0,83
Ascissa centro superficie	17,63 m
Ordinata centro superficie	35,31 m
Raggio superficie	7,7 m

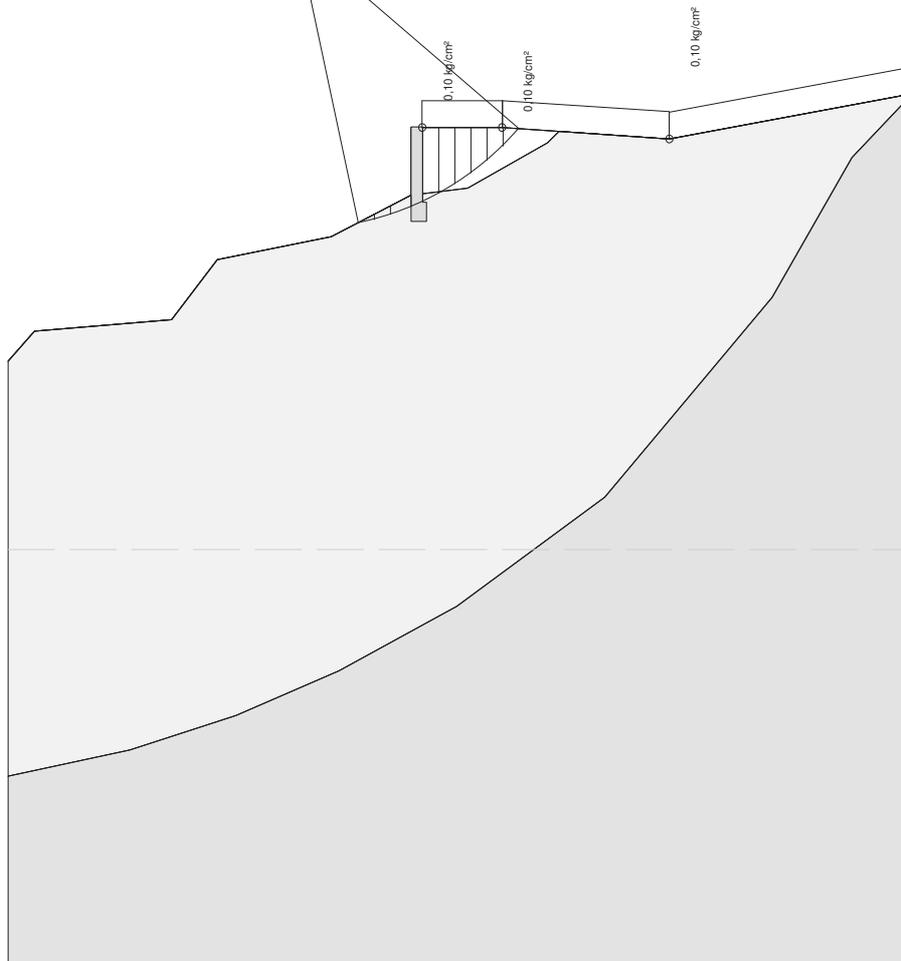
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 17,628 yc = 35,312 Rc = 7,705 Fs=0,831**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,42	13,5	0,44	51,8	2,97	1,49	0,0	24,8	0,0	47,5	24,0
2	0,42	16,7	0,44	139,74	8,01	4,01	0,0	24,8	0,0	126,7	64,0
3	0,54	20,5	0,58	272,54	15,62	7,82	0,0	24,8	0,0	244,7	123,6
4	0,31	23,9	0,34	2929,72	167,87	84,08	0,0	24,8	0,0	2618,4	1322,5
5	0,42	27,0	0,48	1893,52	108,5	54,34	0,0	24,8	0,0	1690,2	853,7
6	0,42	30,6	0,49	1706,5	97,78	48,98	0,0	23,0	0,0	1554,8	723,2
7	0,42	34,3	0,51	1493,69	85,59	42,87	0,0	23,0	0,0	1372,6	638,5
8	0,42	38,2	0,54	1248,01	71,51	35,82	0,0	23,0	0,0	1162,7	540,8
9	0,42	42,4	0,57	964,11	55,24	27,67	0,0	23,0	0,0	916,2	426,2
10	0,42	46,8	0,62	521,44	29,88	14,97	0,0	23,0	0,0	509,5	237,0



$x_c=17,63$   $y_c=35,31$   $R_c=7,70$   $F_s=0,83$



- Strato...1  
 $g=1860 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2100,00 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=28^\circ$   
 $c=0 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...2  
 $g=1920 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2200 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=30^\circ$   
 $c=0 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...3  
 $g=2100 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2300 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=40^\circ$   
 $c=2 \text{ kg/cm}^2$

## STATO PROGETTO - condizioni statiche → Fs = 18.18

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

---

---

Lat./Long.	43,794973/10,4253
Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

---

---

### Maglia dei Centri

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	17,04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	34,29 m
Ascissa vertice destro superiore xs	19,39 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,87 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

---

---

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	20,6	30,3
8	23,0	30,3
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	22,1	28,7
8	24,2	29,9
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	10,0	13,1
2	13,2	13,8
3	16,0	14,7
4	18,7	15,9
5	21,8	17,6
6	25,7	20,5
7	27,7	22,9
8	30,1	25,8
9	32,2	29,5
10	33,8	31,2

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		28	1860	2100,00	
2	0		30	1920	2200	
3	2		40	2100	2300	

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,98	27,81	0	0	2,5	0,4	0,4	2200

**Pali...**

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kg/cm <sup>2</sup> )	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	20,68423	29,5881	0,22	9	90	0,4	50	--	Tensione tangenziale

**Tiranti**

N°	x (m)	y (m)	Lunghezza libera (m)	Lunghezza ancorata (m)	Diametro del bulbo (m)	Inclinazione (°)	Tiro (Kg)
1	20,95094	30,00299	2	10	0,16	45	30000

**Carichi distribuiti**

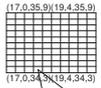
N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20,9	30,3	23	30,3	0,1
2	23	30,3	27,4	30,00667	0,1
3	27,4	30	33,8	31,2	0,1

**Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]**

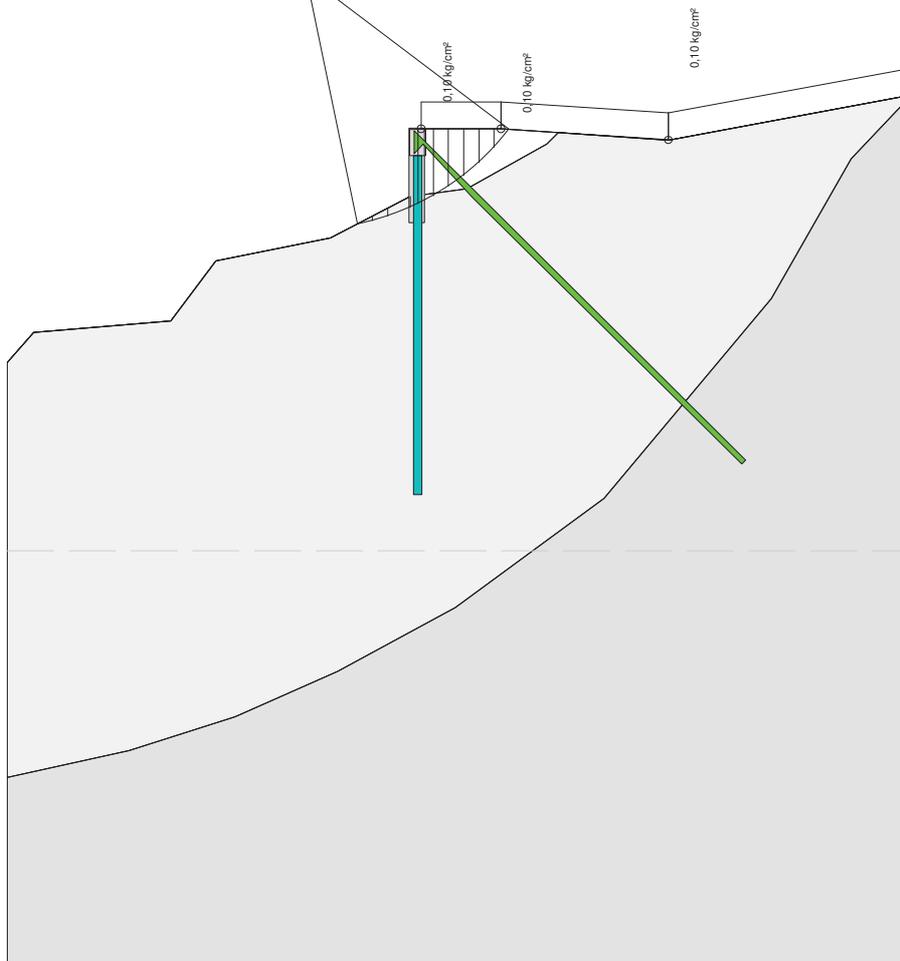
Fs minimo individuato	18,18
Ascissa centro superficie	17,86 m
Ordinata centro superficie	34,36 m
Raggio superficie	6,73 m

**xc = 17,863 yc = 34,364 Rc = 6,729 Fs=18,182**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,4	13,3	0,41	46,76	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	47,9	0,7
2	0,4	16,8	0,42	125,22	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	130,2	2,0
3	0,59	21,3	0,63	284,33	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	303,4	4,7
4	0,21	25,0	0,23	3003,04	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	3289,9	50,7
5	0,4	27,9	0,45	1717,3	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	1927,8	29,7
6	0,4	31,9	0,47	1631,26	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1903,8	27,0
7	0,4	36,0	0,49	1430,84	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1750,0	737,3
8	0,4	40,3	0,53	1196,77	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1551,0	22,0
9	0,4	45,0	0,57	922,43	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	1285,6	18,2
10	0,4	50,0	0,62	496,83	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	760,6	10,8



$x_c=17,86$   $y_c=34,36$   $R_c=6,73$   $F_s=18,18$



- Strato...1  
 $g=1860 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2100,00 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=28^\circ$   
 $c=0 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...2  
 $g=1920 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2200 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=30^\circ$   
 $c=0 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...3  
 $g=2100 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2300 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=40^\circ$   
 $c=2 \text{ kg/cm}^2$

## STATO PROGETTO - condizioni dinamiche → Fs = 18.18

### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43,794973/10,4253
Calcolo eseguito secondo	[A2+M2+R2]
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	17,04 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	34,29 m
Ascissa vertice destro superiore xs	19,39 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,87 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,057
Coefficiente azione sismica verticale	0,029

### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	20,6	30,3
8	23,0	30,3
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

### Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	10,0	24,1
2	10,7	24,9
3	14,3	25,2
4	15,5	26,8
5	18,5	27,4
6	20,6	28,5
7	22,1	28,7
8	24,2	29,9
9	24,5	30,2
10	27,4	30,0
11	33,8	31,2

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	10,0	13,1
2	13,2	13,8
3	16,0	14,7
4	18,7	15,9
5	21,8	17,6
6	25,7	20,5
7	27,7	22,9
8	30,1	25,8
9	32,2	29,5
10	33,8	31,2

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

**Stratigrafia**

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		28	1860	2100,00	
2	0		30	1920	2200	
3	2		40	2100	2300	

**Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche**

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m <sup>3</sup> )
1	20,98	27,81	0	0	2,5	0,4	0,4	2200

**Pali...**

N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezza (m)	Inclinazione (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kg/cm <sup>2</sup> )	Momento plasticizzazione (kN*m)	Metodo stabilizzazione
1	20,68423	29,5881	0,22	9	90	0,4	50	--	Tensione tangenziale

**Tiranti**

N°	x (m)	y (m)	Lunghezza libera (m)	Lunghezza ancorata (m)	Diametro del bulbo (m)	Inclinazione (°)	Tiro (Kg)
1	20,95094	30,00299	2	10	0,16	45	30000

**Carichi distribuiti**

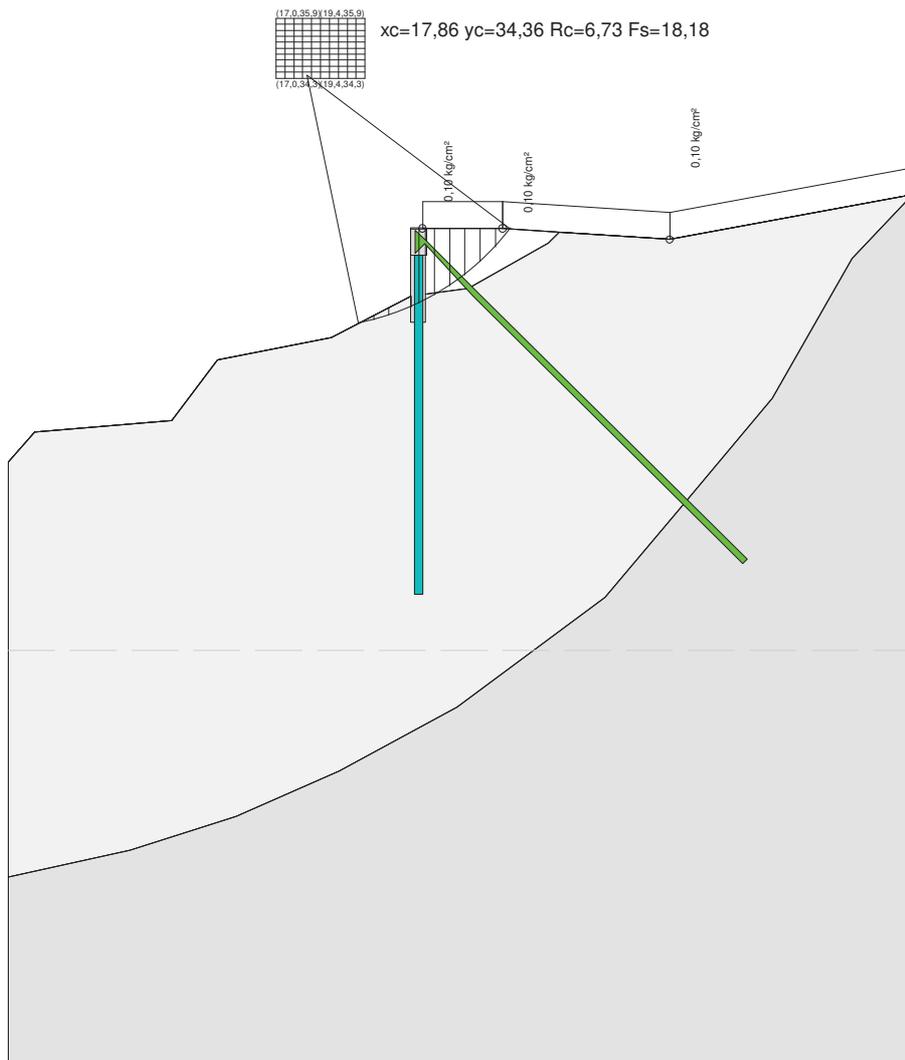
N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	20,9	30,3	23	30,3	0,1
2	23	30,3	27,4	30,00667	0,1
3	27,4	30	33,8	31,2	0,1

**Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]**

Fs minimo individuato	18,18
Ascissa centro superficie	17,86 m
Ordinata centro superficie	34,36 m
Raggio superficie	6,73 m

**xc = 17,863 yc = 34,364 Rc = 6,729 Fs=18,182**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,4	13,3	0,41	46,76	2,67	1,36	0,0	24,8	0,0	47,9	0,7
2	0,4	16,8	0,42	125,22	7,14	3,63	0,0	24,8	0,0	130,2	2,0
3	0,59	21,3	0,63	284,33	16,21	8,25	0,0	24,8	0,0	303,4	4,7
4	0,21	25,0	0,23	3003,04	171,17	87,09	0,0	24,8	0,0	3289,9	50,7
5	0,4	27,9	0,45	1717,3	97,89	49,8	0,0	24,8	0,0	1927,8	29,7
6	0,4	31,9	0,47	1631,26	92,98	47,31	0,0	23,0	0,0	1903,8	27,0
7	0,4	36,0	0,49	1430,84	81,56	41,49	0,0	23,0	0,0	1750,0	737,3
8	0,4	40,3	0,53	1196,77	68,22	34,71	0,0	23,0	0,0	1551,0	22,0
9	0,4	45,0	0,57	922,43	52,58	26,75	0,0	23,0	0,0	1285,6	18,2
10	0,4	50,0	0,62	496,83	28,32	14,41	0,0	23,0	0,0	760,6	10,8



- Strato...1  
 $g=1860 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2100,00 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=28^\circ$   
 $c=0 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...2  
 $g=1920 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2200 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=30^\circ$   
 $c=0 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...3  
 $g=2100 \text{ Kg/m}^3$   
 $g_s=2300 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i=40^\circ$   
 $c=2 \text{ kg/cm}^2$

## **8. Verifica della conformita' dell'intervento con le indicazioni e prescrizioni del Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno (attualmente ricadente nel Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale)**

L'area di intervento e' classificata sulla *cartografia di perimetrazione delle aree con pericolosita' da fenomeni geomorfologici di versante - livello di sintesi in scala 1:25000* di PAI, come a pericolosita' PF1 - pericolosita' moderata, propria di *aree apparentemente stabili ed interessate da litologie con caratteri favorevoli alla stabilita' dei versanti che, talora, possono essere causa di rischio reale o potenziale moderato*

Tali aree sono soggette alle prescrizioni e limitazioni dell'articolo 12 delle norme di PAI

*Art. 12 – Aree a pericolosità media e moderata da processi geomorfologici di versante e da frana.*

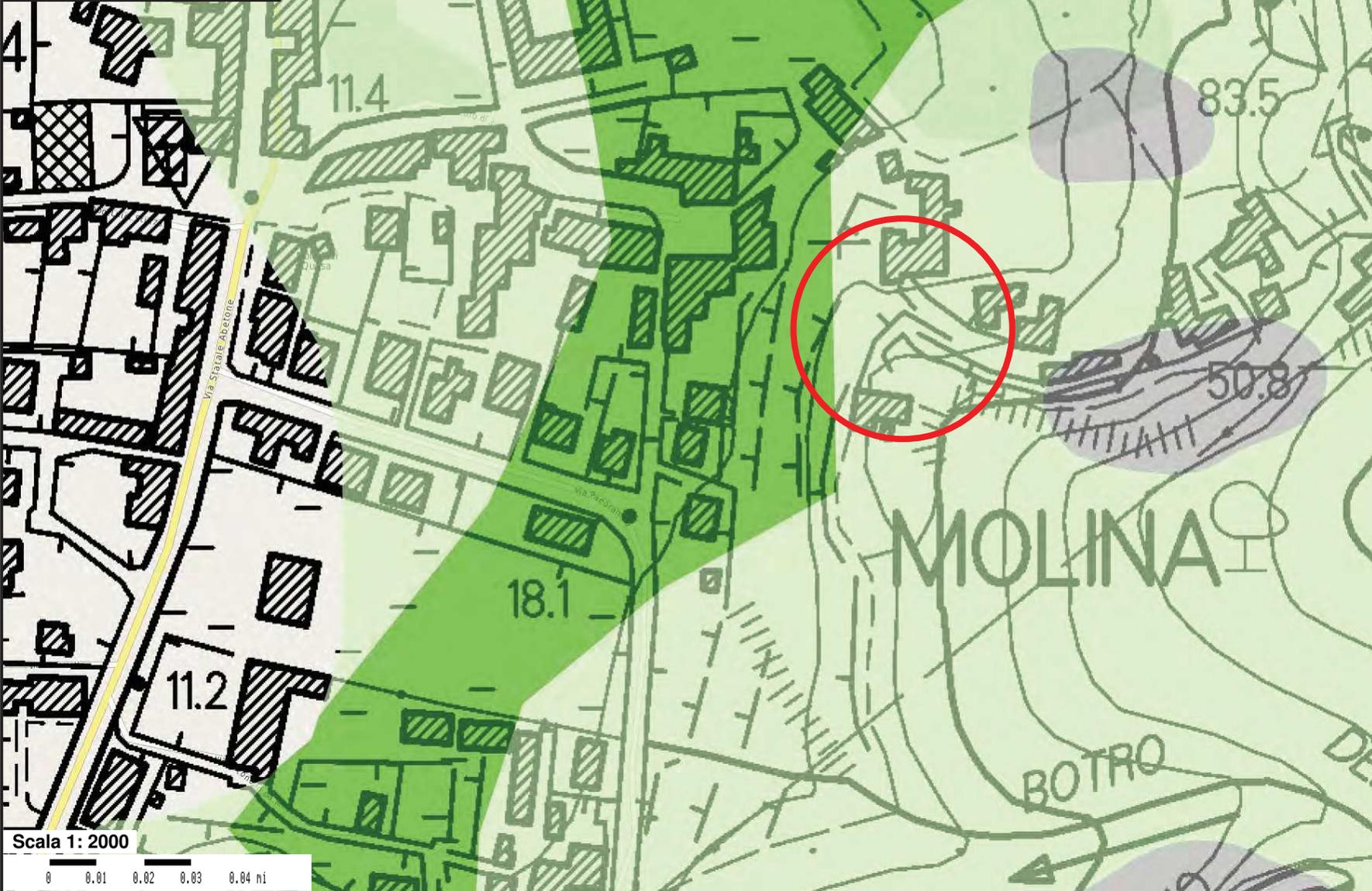
*Nelle aree P.F. 2 è consentita ogni tipologia di intervento prevista dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.*

*Nelle aree P.F.2 e P.F.1 si persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 di programmi di previsione e prevenzione.*

Non e' richiesta l'acquisizione del parere autorizzativo rilasciato dall'Autorita' di Bacino

*Cartografia di perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni  
geomorfologici di versante*

*livello di sintesi in scala 1:25000  
(stampato in scala 1:2.000)*



**PAI frane 25k**

Pericolosità geomorfologica\_25k

- Aree studiate al 10.000
- PF3
- PF2
- PF1

**Limiti Amministrativi**

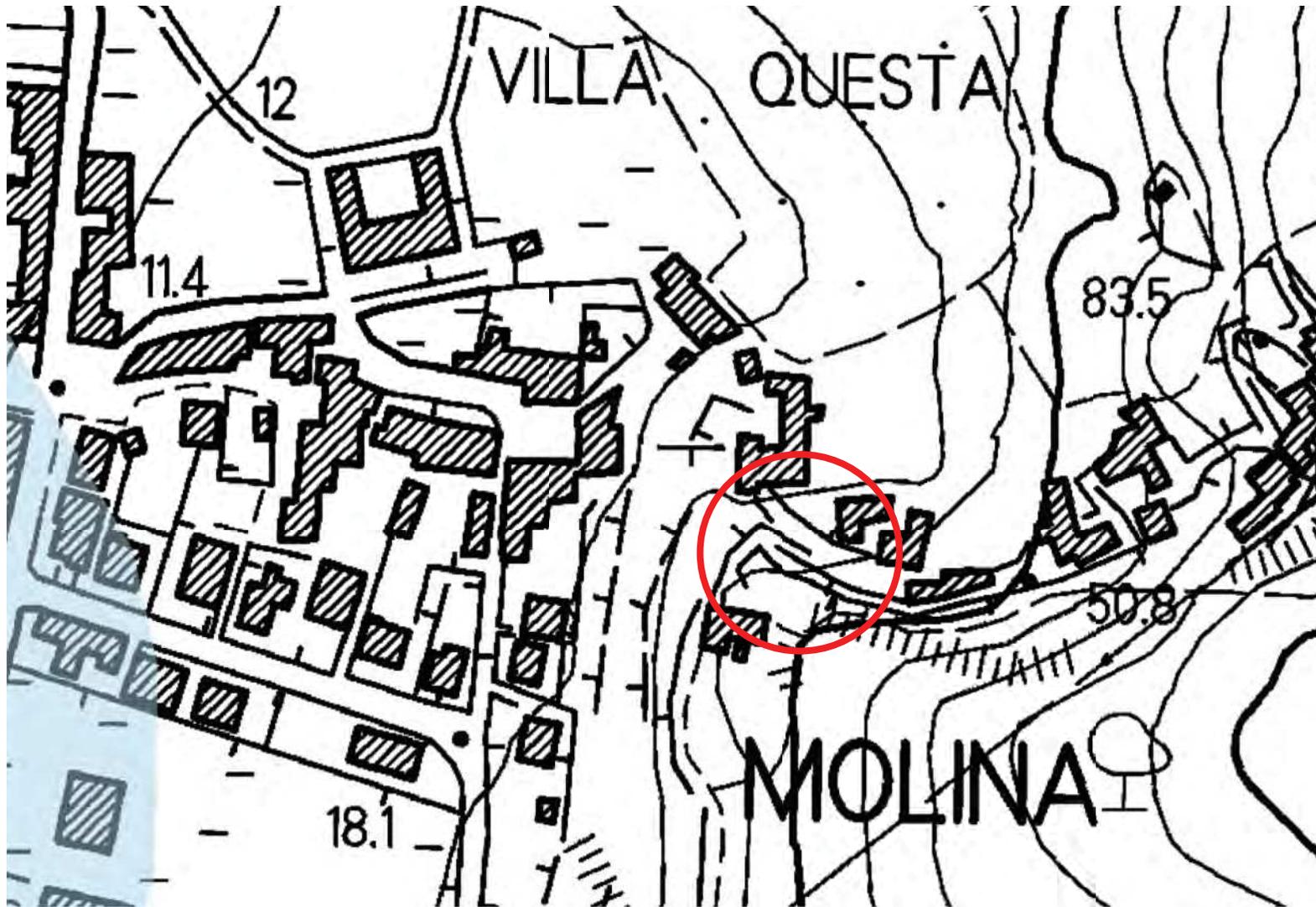
- ▨ Limite AdB Arno



Il Piano Gestione Rischio Alluvioni PGRA del Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale non individua condizioni di pericolosità idraulica per l'area degli interventi.



# Autorità di Bacino del Fiume Arno



Distretto Appennino Settentrionale

■ Single symbol

Reticolo principale

▬ Corsi d'acqua

PGRA\_ITC\_Fluvial

■ 1

■ 2

■ 3

CTR10K\_Toscana

## 9. Verifica della conformita' dell'intervento con le indicazioni e prescrizioni di Piano Operativo Comunale

Il Piano Operativo Comunale di San Giuliano Terme attribuisce all'area di intervento le seguenti pericolosita' :

pericolosita' geologica → G.2 media

pericolosita' sismica → S.2 media

pericolosita' idraulica → I.1 bassa

Sotto il profilo della pericolosita' geologica gli interventi in progetto possono essere inseriti, per tipologia, al punto 23 del relativo abaco di fattibilita' → *Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica*

Per tale tipologia di interventi, inseriti in classe di pericolosita' geologica G.2 - media, l'abaco prevede una fattibilita' 1.

Sotto il profilo della pericolosita' sismica gli interventi in progetto possono essere inseriti, per tipologia, al punto 23 del relativo abaco di fattibilita' → *Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica*

Per tale tipologia di interventi, inseriti in classe di pericolosita' sismica S.2 - media, l'abaco prevede una fattibilita' 1.

Sotto il profilo della pericolosita' idraulica gli interventi in progetto possono essere inseriti, per tipologia, al punto 24 del relativo abaco di fattibilita' → *Interventi di difesa del suolo o di regimazione idraulica*

Per tale tipologia di interventi, inseriti in classe di pericolosita' idraulica I.1 - bassa, l'abaco prevede una fattibilita' 1.

Le prescrizioni di Piano Operativo Comunale per la classe di fattibilita' F1 -*Fattibilita' 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.*

*Per gli interventi edilizi di modesto impatto che ricadono in questa classe, la caratterizzazione geotecnica del terreno a livello di progetto, può essere ottenuta per mezzo di raccolta di notizie; i calcoli geotecnici, di stabilità e la valutazione dei cedimenti possono essere omessi ma la validità delle soluzioni progettuali adottate deve essere motivata con un'apposita relazione.*

*Gli interventi di nuova edificazione, di Ristrutturazione Urbanistica, di Sostituzione Edilizia o di Ristrutturazione Edilizia (con variazione dell'entità e/o della distribuzione dei carichi sul terreno di fondazione) dovranno comunque essere supportati da specifiche ed adeguate indagini geognostiche, che amplino le conoscenze sulle caratteristiche litologiche e le problematiche evidenziate nelle cartografie tematiche inserite nel Quadro Conoscitivo dello Strumento Urbanistico.*

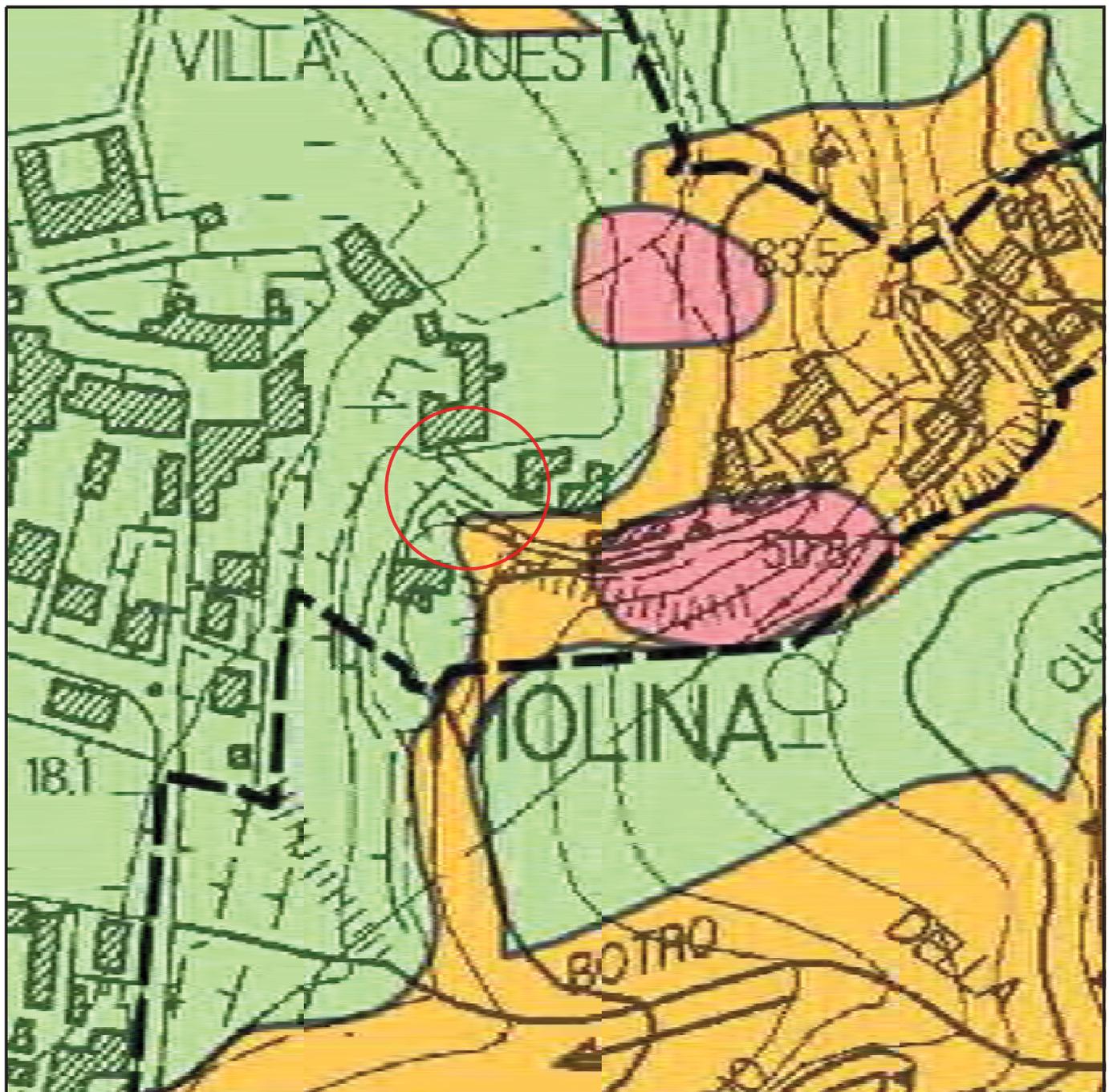
*Gli interventi previsti dallo Strumento Urbanistico sono attuabili senza particolari condizioni.*

Il Piano Operativo Comunale consente, senza particolari limitazioni, la realizzazione degli interventi in progetto.

Il complesso delle indagini condotte nella presente studio garantisce il rispetto di tutte le indicazioni e prescrizioni riportate in D.M. 14.01.2018 - Norme Tecniche per le costruzioni, vincolanti per l'attuazione dell'intervento in progetto.

Carta della pericolosità geologica

*Piano Operativo Comunale*



### Legenda

 Limite comunale

 Limite UTOE

#### PERICOLOSITA' GEOLOGICA D.P.G.R. 53/R/2011

 G1 - Pericolosità geologica bassa

 G2 - Pericolosità geologica media

 G3 - Pericolosità geologica elevata

 G4 - Pericolosità geologica molto elevata

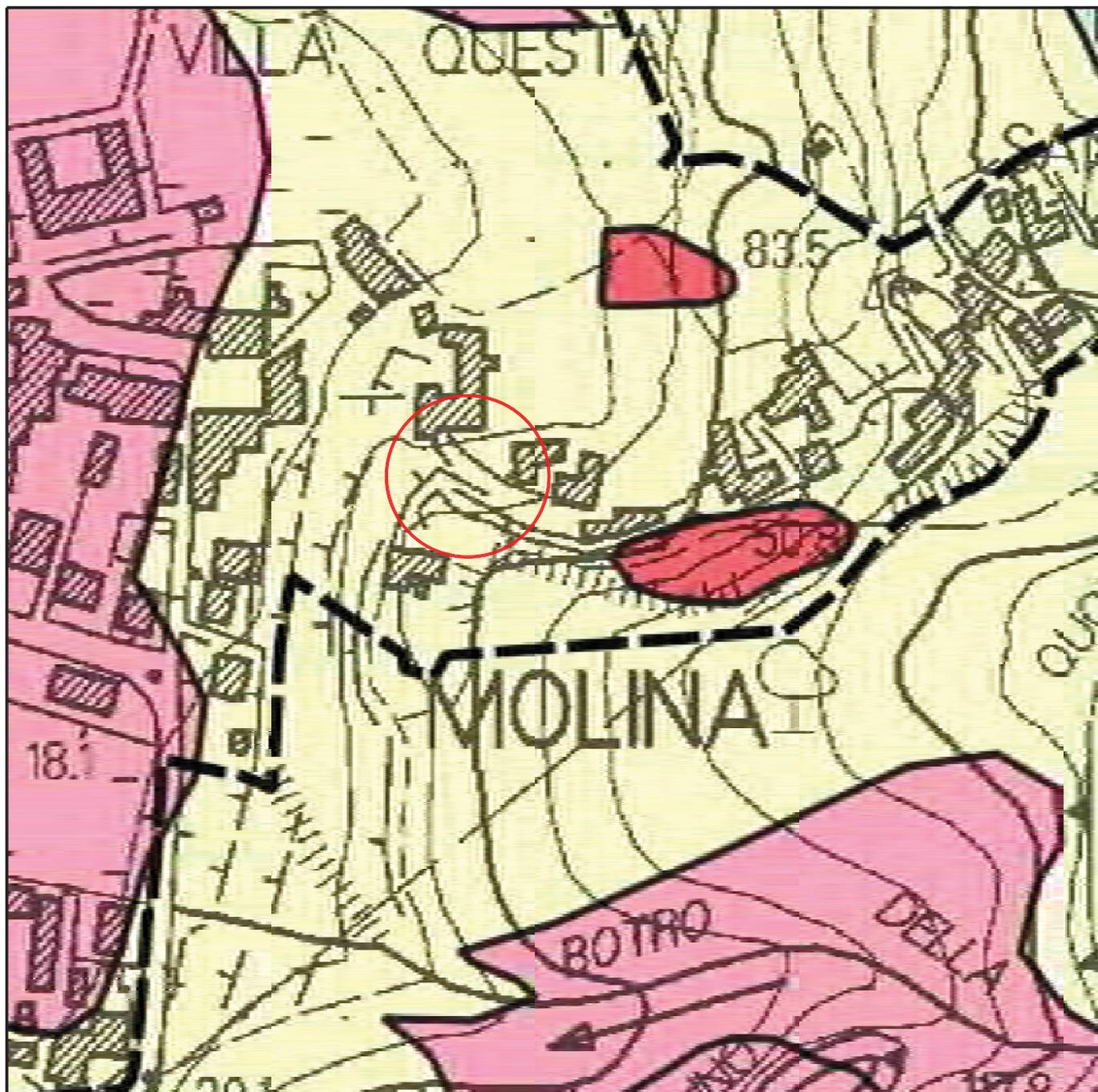
#### Processi particolari

 Aree vulnerabili da fenomeni detritici torrentizi

 Aree vulnerabili da fenomeni di dinamica costiera

Carta della pericolosità sismica

*Piano Operativo Comunale*



**Legenda**

Limite comunale

Area di indagine MOPS

Limite UTOE

**PERICOLOSITA SISMICA D.P.G.R. 53/R/2011**

S.1 - Pericolosità sismica locale bassa

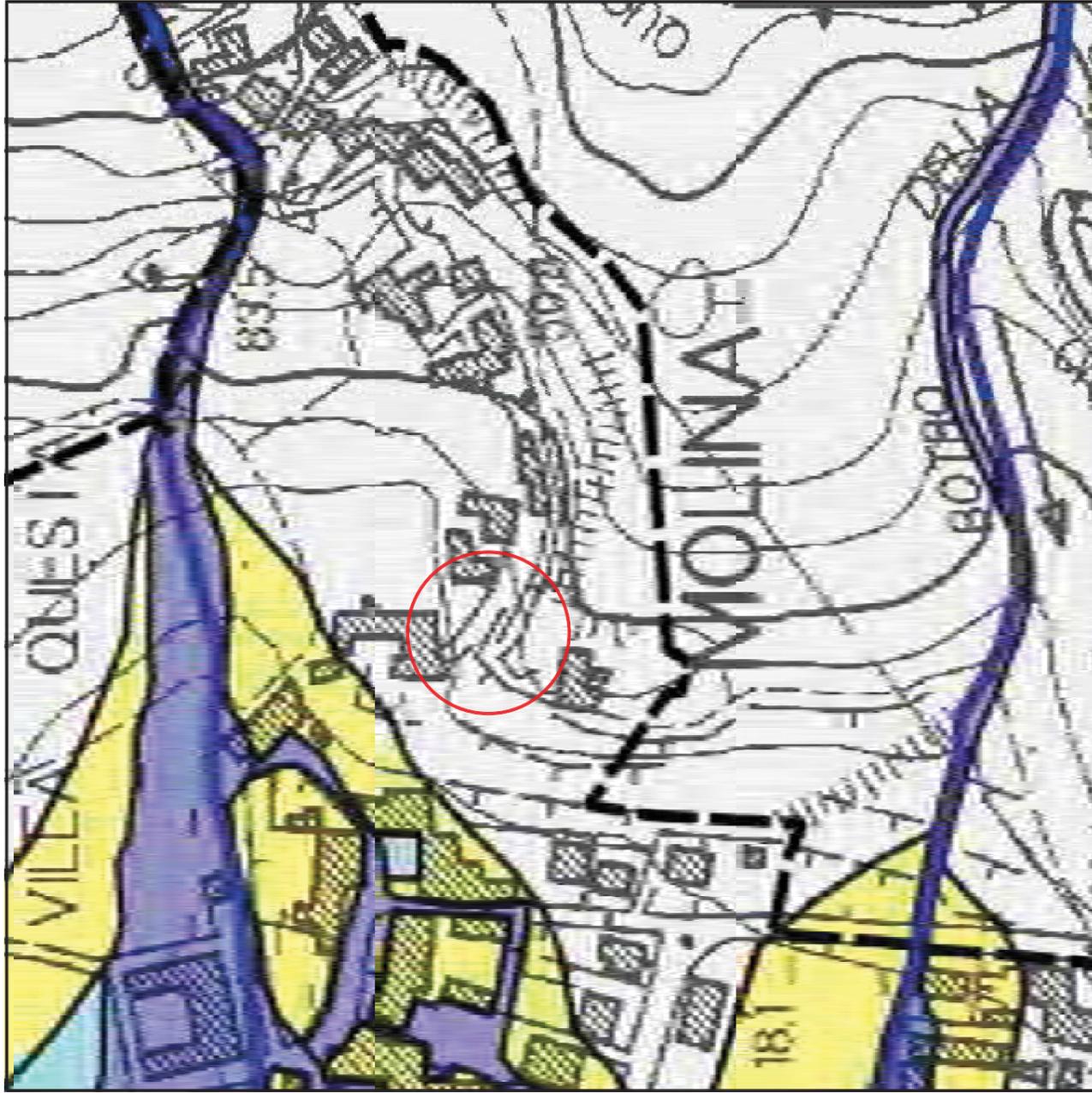
S.2 - Pericolosità sismica locale media

S.3 - Pericolosità sismica locale elevata

S.4 - Pericolosità sismica locale molto elevata

Carta della pericolosità idraulica

*Piano Operativo Comunale*



**Legenda**

Limite comunale

Limite UTOE

**PERICOLOSITA' IDRAULICA D.P.G.R. 53/R/2011**

**I.1 - Pericolosità idraulica bassa**

Aree interessate da allagamenti con  $Tr > 500$ anni

**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)

**I.3 - Pericolosità idraulica elevata**

Aree interessate da allagamenti con  $30 < Tr \leq 200$  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  $0 < Tr \leq 30$  anni

Da studio idraulico eseguito nella presente indagine

Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)

Zona di salvaguardia idraulica

Corpi d'acqua

Reticolo idraulico di gestione Regione Toscana

## 10. Conclusioni

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di S.Giuliano Terme (Pisa) sono state condotte indagini in frazione Molina di Quosa, a supporto del progetto per il *ripristino e la messa in sicurezza di tratto di viabilità comunale (via dei Molini), interessato da dissesto*.

Il dissesto censito si manifesta attraverso il crollo di muro di contenimento di tratto di viabilità comunale e di adiacente viabilità secondaria, con parziale asportazione dei piani stradali; i materiali di frana hanno interessato sottostante proprietà privata.

Evidenze di degrado strutturale e potenziale instabilità si manifestano anche in tratti adiacenti a quello già interessato da dissesto.

Per una corretta definizione del locale assetto stratigrafico e delle morfologie di frana nonché per una esatta parametrizzazione, anche in termini sismici, dei materiali di substrato sono state eseguite, in tempi diversificati, specifiche prove geognostiche e geofisiche in corrispondenza dell'area in dissesto :

n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo - S1 (maggio 2005)

n.1 prospezione sismica MASW - M1 (dicembre 2018)

n.1 prova penetrometrica dinamico superpesante (DPSH) - P1 (dicembre 2018)

n.1 misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSr) - HV1 (dicembre 2018)

L'intervento non è classificabile ai sensi del DGRT n.387 del 11 maggio 2009 36/R.

Il tratto viario interessato dal dissesto si ubica, a quota media 36.3 metri s.l.m. , lungo la strada comunale dei Molini, in corrispondenza di tornante viario da cui si diparte viabilità secondaria di accesso al Podere Poggetto.

La sede viaria comunale sembra impostarsi, localmente, su precedente più antico tracciato, ottenuta per sopraelevazione di originari muri di contenimento , con successivo accumulo di materiali di riporto a tergo degli stessi.

Il dissesto si manifesta attraverso il totale crollo, per uno sviluppo di circa 10 / 12 metri, del muro di sostegno del piano viario (strada comunale e strada secondaria) e della sovrastante spalletta di protezione , con parziale coinvolgimento della stessa sede rotabile.

Lesionamenti diffusi si riscontrano su opere murarie adiacenti a quelle interessate dal crollo, ma solo in parte ad esso correlabili ( alcune lesioni infatti trovano origine in cause analoghe a quelle che hanno provocato il dissesto, senza essere però diretta conseguenza dello stesso; la loro evoluzione potrebbe comunque produrre fenomenologie analoghe).

L'indagine di campagna evidenzia inoltre la presenza di fessurazioni della sede stradale, soprattutto lungo il contatto fra manto bituminoso e murature di sostegno del piano viario; tali aree rappresentano zona di preferenziale penetrazione nel substrato delle acque meteoriche; è ragionevole ipotizzare che le acque di infiltrazione disperdendosi all'interno dei materiali di riporto e sottofondo stradale, ne peggiorino le caratteristiche fisico meccaniche di portanza e stabilità .

Non esistono linee di deflusso superficiale concentrato che interessino direttamente la zona di intervento.

Le indagini condotte hanno verificato l'assenza di scorrimenti idrici di versante, fino almeno al substrato litoide.

Quali principali cause del dissesto rilevato possono individuarsi :

degrado strutturale e carenze fondazionali delle murature interessate da crollo,

vibrazioni ed urti indotti, sulle murature interessate da crollo, dal traffico veicolare presente lungo la viabilità comunale,

infiltrazione diffusa e concentrata, nei materiali di riporto e sottofondo stradale, delle acque meteoriche, anche attraverso le fessurazioni presenti sul manto viario,

azione di allentamento delle più antiche murature di pietra indotta dagli apparati radicali della vegetazione che, almeno stagionalmente, si sviluppa le murature stesse.

Si evidenzia come fenomenologie di degrado simili siano presenti, in varie fasi di sviluppo, anche sui manufatti presenti in zone limitrofe a quella di attuale intervento; per esse può ipotizzarsi una evoluzione verso analoghe forme di dissesto.

Sulla base delle evidenze di campagna e sulla base dei risultati del complesso di indagini svolte, è stato possibile ricostruire il locale 'assetto stratigrafico, graficamente schematizzato sulla sezione geologica di dettaglio allegata al testo:

in corrispondenza della zona di principale dissesto, a tergo del muro lesionato, per la sua complessiva altezza, sono presenti vecchi *accumuli di riporto, costituenti il sottofondo stradale di questo tratto viario*; si tratta di *litici poligenici millimetrico centimetrici, in matrice di sabbie (deposito da sciolto a poco addensato)*

in corrispondenza della zona di principale dissesto, a substrato del muro di sostegno del piano viario, per uno spessore di circa metri 11.5, sono presenti *coperture detritiche - depositi di conoide*; si tratta di *litici poligenici, da integri a parzialmente alterati, in prevalenza da millimetrici a centimetrici, da diffusi a molto diffusi, in matrice di limi e limi sabbiosi marroni / marroni grigiastri (su alcuni orizzonti decimetrici marroni rossastri) (deposito mediamente addensato)*

in corrispondenza della zona di principale dissesto, a substrato profondo dell'area, per spessore indefinito, sono presenti, quale substrato litoide, *scisti sericitici verdi e rossastri e calcescisti grigi, rossi e verdastri*

La verificata assenza nell'area di intervento di circolazioni idriche interne alle coperture detritiche di versante / depositi di conoide e la presenza di un sottostante substrato litoide integro e tenace, esclude il possibile locale innesco di processi di liquefazione.

Attraverso le verifiche di stabilita' eseguite e' stato possibile determinare come la pendice, in corrispondenza della zona di dissesto, mostri, nello stato attuale, condizioni di equilibrio limite in condizioni statiche e chiare condizioni di squilibrio in condizioni dinamiche.

La stabilita' del versante e' sempre ampiamente garantita nello stato di progetto.

Il Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Arno (attualmente ricadente nel Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale) consente, considerate le pericolosita' da frana ed idraulica attribuite al sito, la realizzazione degli interventi in progetto senza acquisizione del parere autorizzativo rilasciato dall'Autorita' di Bacino

Il Piano Operativo Comunale consente, considerata le pericolosita' geologica, sismica ed idraulica attribuite al sito, la realizzazione degli interventi in progetto, senza particolari limitazioni.

Il complesso delle indagini condotte nella presente studio garantisce il rispetto di tutte le indicazioni e prescrizioni riportate in D.M. 14.01.2018 - Norme Tecniche per le costruzioni, vincolanti per l'attuazione dell'intervento in progetto.

La Direzione Lavori dovra' comunicare ogni situazione di rischio e/o difforme da quanto individuato nella presente relazione, che dovesse verificarsi in corso d'opera.

Castelnuovo Garfagnana dicembre 2019

il geologo

Leonardo Moni

### **ALLEGATO FUORI TESTO (TAVOLA UNICA)**

*Inquadramento topografico* *in scala 1:10.000*

*Carta geologica* *in scala 1:2.000*

*Planimetria di dettaglio (stato attuale)* *in scala 1:200*

*Planimetria di dettaglio (stato progetto)* *in scala 1:200*

*Sezioni geologiche (stato attuale)* *in scala 1:100*

*Sezioni geologiche (stato progetto)* *in scala 1:100*

### **ALLEGATO FUORI TESTO**

Risultati delle indagini geognostiche (Pro.Geo. s.r.l.)



---

**Pro.Geo. s.r.l.**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE**

**COMUNE DI SAN GIULIANO TERME  
PROVINCIA DI LUCCA**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE ESEGUITE IN  
FRAZIONE MOLINA DI QUOSA**

**- RELAZIONE TECNICA -**

Committente:  
Amministrazione Comunale  
San Giuliano Terme

PRO.GEO. s.r.l.  
Dott. Geol. Leonardo Moni

DICEMBRE 2018

Rif. PG101\_2018

## INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA .....	4
3. ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI (MASW).....	6
3.1. Le onde di superficie per lo studio del sottosuolo .....	6
3.2. Indagine MASW – proprietà delle onde di superficie .....	8
3.3. Descrizione generale della procedura MASW .....	9
3.4. Acquisizione delle onde di Rayleigh (componente ZVF) - Strumentazione .....	11
3.5. Analisi MASW in onde di Rayleigh (componente ZVF) .....	12
3.6. Tecnica e schema di acquisizione .....	14
4. MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR) .....	19
4.1. Cenni sulla metodologia della tecnica HVSR .....	19
4.2. Strumentazione .....	20
4.3. Elaborazione delle misure e restituzione dei dati .....	21
4.4. Risultati delle misure HVSR - HV1 .....	22

## **Allegati**

all. 1: Inquadramento topografico dell'area (scala 1:10.000)

all. 2 : Planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche (scala 1:500)

all. 3: Tabulati e grafici della prova penetrometrica dinamica DPSH - P1

all.4 : Prova sismica MASW - M1

all.5 : Scheda elaborazione misura rumore ambientale HVSR - HV1

all.6 : Documentazione fotografica

## 1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riguarda le indagini geognostiche e geofisiche eseguite in Comune di San Giuliano Terme (PI), frazione Molina di Quosa (*all. 1*), allo scopo di ricostruire la locale successione stratigrafica <sup>(1)</sup> e di valutare i parametri sismici dei terreni presenti nelle aree oggetto di studio.

Le indagini effettuate (dicembre 2018):

n.1 prova penetrometrica dinamico superpesante (DPSH) - P1

n.1 prospezione sismica MASW - M1

n.1 misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR) - HV1

---

<sup>(1)</sup> Si ricorda che le classificazioni geologiche dei vari livelli individuati (ove proposte) sono puramente indicative. Le prove eseguite mirano infatti, unicamente, alla caratterizzazione geotecnica dei materiali attraversati.

## 2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

### Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici

<i>Tipo</i>	<i>Sigla di riferimento</i>	<i>Peso massa battente M (Kg)</i>
Leggero	DPL (Light)	M < 10
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40
Pesante	DPH (Heavy)	40 < M < 60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M > 60

Per l'esecuzione della prova penetrometrica è stato utilizzato un penetrometro dinamico superpesante (DPSH) (PAGANI mod. TG 63-200) le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

Rif. Norme:	DIN 4094
Peso massa battente (maglio):	63,5 Kg
Altezza di caduta libera (volata):	0,75 m
Peso sistema di battuta (massa passiva):	0,63 Kg
Diametro punta conica:	51 mm
Area base punta conica:	20,43 cm <sup>2</sup>
Angolo apertura punta:	90°
Lunghezza singola asta:	1,0 m
Peso singola asta:	6,31 Kg
Profondità giunzione 1 <sup>a</sup> asta:	0,40 m
Avanzamento punta:	0,20 m
Numero di colpi punta:	N(20) (relativo all'avanzamento)
Rivestimento/Fanghi:	No
Coefficiente di correlazione:	1,472

Della **prova penetrometrica P1** si evidenziano i seguenti risultati:

la prova, eseguita in modalita' dinamico pesante, ha raggiunto il rifiuto all'infissione alla profondita' di metri 4.20 dal piano campagna

la prova penetrometrica eseguita non ha denunciato, alla data di realizzazione, scorrimenti idrici di substrato

e' stata riconosciuto il seguente assetto stratigrafico locale :

mt 0.0 – 1.6

*accumuli di riporto e di sottofondo stradale*

mt 1.6 - 4.0

*coperture detritiche - depositi di conoide*

mt 4.0 - 4.2

*trovante*

### 3. ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI (MASW)

#### 3.1. Le onde di superficie per lo studio del sottosuolo

Le onde di superficie che interessano chi si occupa di studi su terra ferma sono due: le onde di Rayleigh e quelle di Love, dai nomi di coloro i quali, per primi, ne hanno previsto e descritto il carattere.

Tra le varie caratteristiche delle onde superficiali, per brevità e snellezza, in questa sede basterà ricordare che:

- la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di terreno rispetto alle onde di corpo (longitudinali P e trasversali S);

- rispetto alle stesse onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo dominano tipicamente qualsiasi *dataset sismico* e spesso vengono indicate con l'espressione *ground roll*;

- le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto *retrogrado* ed hanno pertanto sia una componente verticale, sia una componente radiale, quest'ultima parallela alla direzione di propagazione dell'onda stessa;

- le onde di Love, viceversa, si muovono solamente su un piano orizzontale, con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda.

Da quanto sopra detto, ne consegue che le onde di Love possono essere acquisite utilizzando solamente geofoni orizzontali disposti perpendicolarmente allo stendimento sismico, mentre le onde di Rayleigh possono essere acquisite sia con geofoni verticali (in questo modo si registra chiaramente la componente verticale), sia con geofoni orizzontali disposti parallelamente allo stendimento sismico (in maniera tale da registrare la componente radiale delle stesse).

Per quanto riguarda la generazione delle onde di superficie, va da sé che il tipo di sorgente dovrà essere differente, se per acquisire le onde di Love sarà necessaria una sorgente di taglio (ad esempio una traversina di legno colpita da una mazzata), nel caso delle onde di Rayleigh potrà essere utilizzata sia una forza verticale (la classica mazzata verticale), sia una sorgente esplosiva (es. cannoncino sismico).

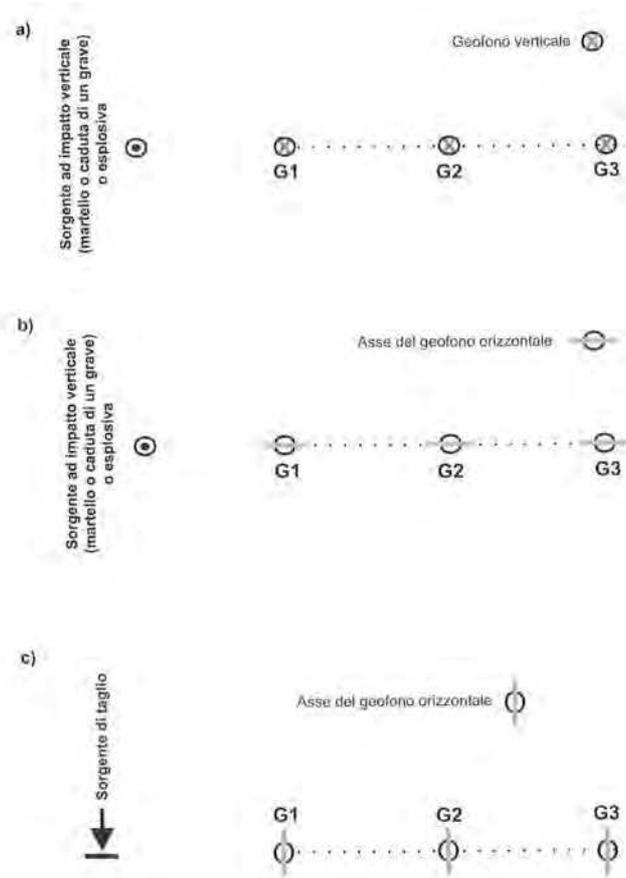
In Figura 1 è riportato uno schema che illustra il modo di gestire i geofoni e le sorgenti a seconda del tipo di componente delle onde superficiali che si vuole acquisire (*fonte: Dal Moro G., 2012* <sup>(5)</sup>); la successiva Tabella 4.1, infine, sintetizza quanto sopra descritto introducendo un acronimo, secondo la convenzione adottata da Herrmann (2003) <sup>(6)</sup>, molto utile sia

---

<sup>(5)</sup> Dal Moro G. (2012) – *Onde di superficie in geofisica applicata – acquisizione ed analisi secondo le tecniche MASW e HVSR*. Dario Flaccovio editore.

<sup>(6)</sup> Herrmann R.B. (2003) – *Computer programs in seismology*. Open file (<http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/CPS330.html>).

nell'identificazione delle componenti di un sismogramma sintetico, sia per la denominazione dei file di acquisizione di campagna (*dataset*).



**Fig. 1. Acquisizione dei dati per analisi MASW (visione dall'alto):** a) geofoni verticali e sorgente verticale o esplosiva (componenti ZVF e ZEX – onde di Rayleigh); b) geofoni orizzontali in assetto radiale e sorgente verticale o esplosiva (componenti RVF e REX – onde di Rayleigh); c) geofoni orizzontali in assetto trasversale e sorgente di taglio (componente THF – onde di Love). Si veda anche la Tabella 4.1.

Acronimo	Sorgente	Geofono	Utilità
ZVF	Forza Verticale (Vertical Force): mazzata o caduta di grave	Verticale (Z) (Fig. 1a)	Acquisizione componente verticale onde di Rayleigh
ZEX	Sorgente esplosiva (EXplosive)	Verticale (Z) (Fig. 1a)	Acquisizione componente verticale onde di Rayleigh
RVF	Forza Verticale (Vertical Force): mazzata o caduta di grave	Orizzontale in assetto Radiale (R) (Fig. 1b) asse parallelo allo stendimento	Acquisizione componente radiale onde di Rayleigh
REX	Sorgente esplosiva (EXplosive)	Orizzontale in assetto Radiale (R) (Fig. 1b) asse parallelo allo stendimento	Acquisizione componente radiale onde di Rayleigh
THF	Sorgente Trasversale (o di taglio) (Horizontal Force)	Orizzontale in assetto Trasversale (T) (Fig. 1c) asse perpendicolare allo stendimento	Acquisizione onde di Love

**Tabella 4.1. Cinque possibili acquisizioni utili per analisi MASW:** la prima lettera dell'acronimo indica il tipo e l'assetto del geofono, la seconda e la terza il tipo di sorgente (Herrmann, 2003)

### 3.2. Indagine MASW – proprietà delle onde di superficie

L'acronimo MASW sta per *Multichannel Analysis of Surface Waves* (Analisi Multicanale delle Onde Superficiali); occorre quindi tenere presente che sia le onde di Rayleigh, sia le onde di Love sono onde di superficie ed è quindi importante non identificare l'indagine MASW con l'analisi delle sole onde di Rayleigh, ma sapere che la stessa MASW può essere eseguita utilizzando anche le onde di Love (*si veda: Dal Moro G., 2012; §4.1*).

Nella procedura MASW, quindi, si analizza la propagazione delle onde di superficie; più specificatamente si analizza la dispersione delle onde di superficie, ovvero il fatto che frequenze diverse (e quindi lunghezze d'onda diverse) viaggiano a velocità diverse.

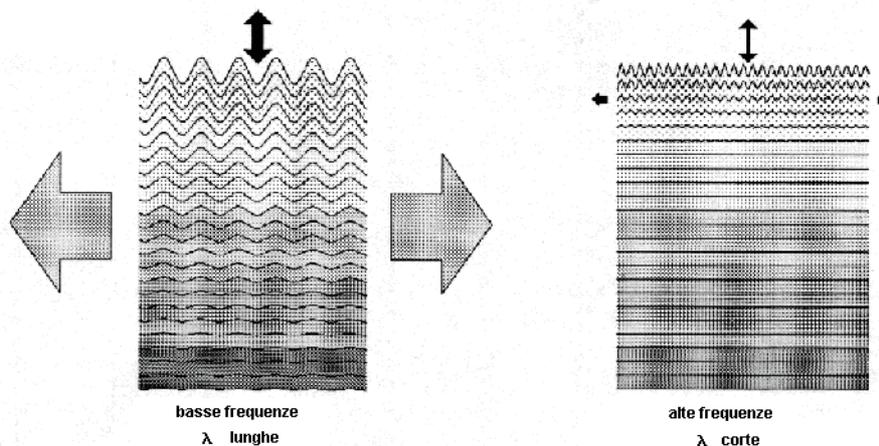
Il principio di base è piuttosto semplice: ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga.

Questa proprietà si chiama dispersione.

In particolare le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda del sottosuolo, in altri termini “sentono” gli strati più profondi; le piccole lunghezze d'onda (frequenze più alte), viceversa, dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale del terreno.

In altre parole, potremmo dire che le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

L'illustrazione di Fig. 2 mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie.



*Fig. 2. Proprietà di dispersione delle onde superficiali*

Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Dal momento che generalmente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità (salvo i casi di inversione di velocità), ciò si riflette nel fatto che le frequenze più basse viaggino solitamente ad una velocità maggiore rispetto alle frequenze più alte.

La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

### **3.3. Descrizione generale della procedura MASW**

Sebbene le onde di superficie siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), attraverso l'analisi delle proprietà dispersive delle onde superficiali, specialmente nella procedura MASW classica/standard più utilizzata (acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh; ZVF, *cfr.* § 4.1) è ormai una delle pratiche più comuni in geofisica applicata.

L'intero processo di analisi della dispersione delle onde di superficie (di qualsiasi tipo, *cfr.* § 4.1) si sviluppa essenzialmente attraverso tre passi successivi (*si veda: Dal Moro G., 2012*):

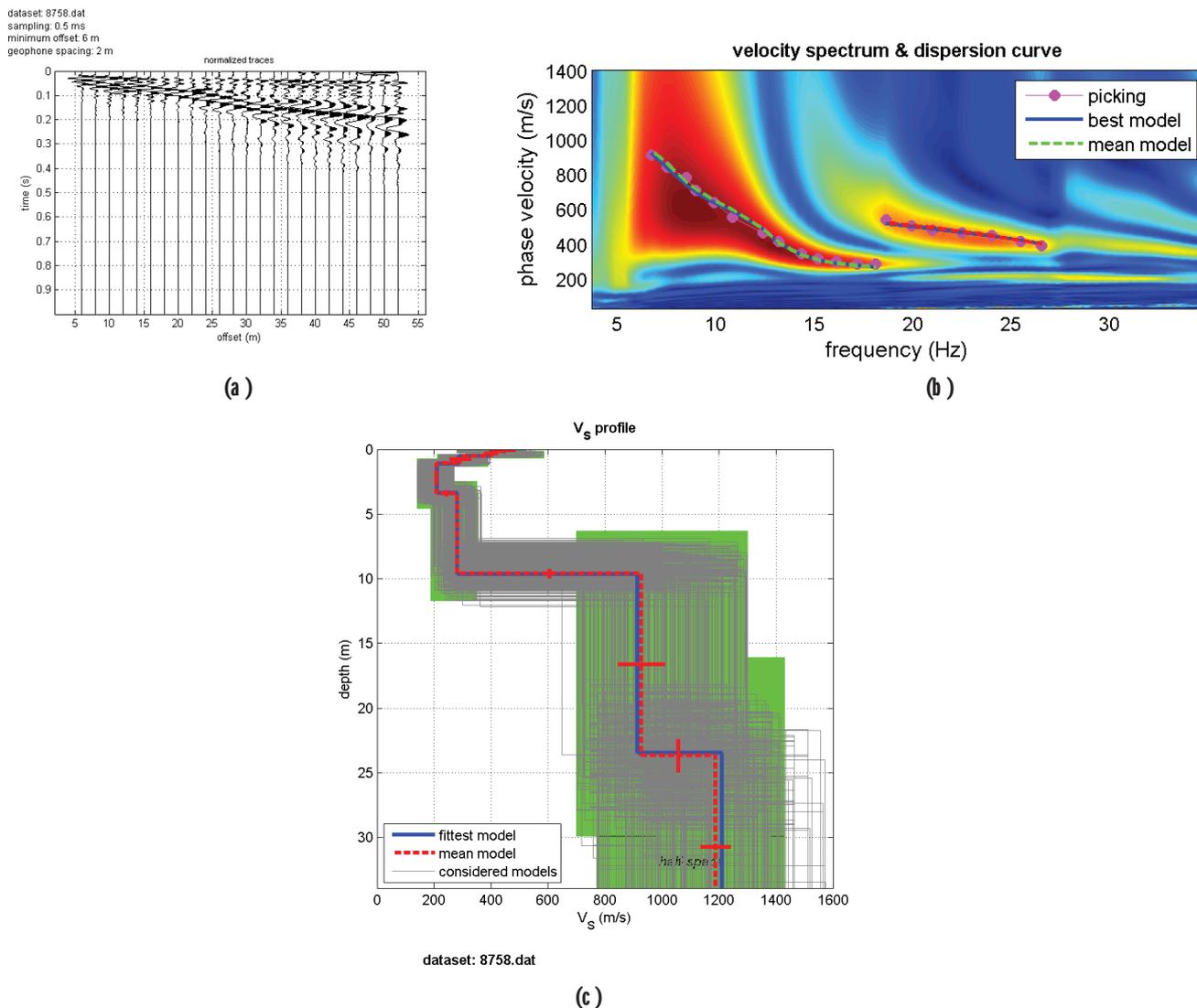
1. acquisizione dei dati di campagna (registrazione dei *dataset*);
2. determinazione dello *spettro di velocità* dal quale vengono estratte le *curve di dispersione* delle onde superficiali (ovvero i grafici della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3. inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  (profilo 1D che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità).

In *Figura 3* vengono illustrati e riassunti i passaggi sopra descritti.

I dati (segnali sismici), come noto, sono acquisiti nel dominio del tempo (*offset-tempo*, x-t); tuttavia, per diverse operazioni, tra cui l'analisi della dispersione, sono molto più gestibili e comprensibili se portati e rappresentati nel dominio *frequenza-velocità* (f-v).

In tale dominio, infatti, è possibile determinare con precisione la velocità di ciascuna componente ed attraverso la determinazione dello spettro di velocità, è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del segnale registrato.

La frequenza (f) e la velocità di fase (v) sono le due variabili, il cui legame costituisce la curva di dispersione.



**Fig. 3. Esempio di procedimento per analisi MASW (componente verticale ZVF onde di Rayleigh): a) acquisizione dei dati di campagna – sismogramma registrato; b) determinazione dello spettro di velocità ed estrazione delle curve di dispersione; c) inversione delle curve di dispersione – profilo verticale della  $V_s$ .**

Il processo di inversione è quello che consente di passare dalla curva di dispersione al profilo verticale delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ); quest'operazione in realtà nasconde due rilevanti problemi che vanno a determinare la qualità e la correttezza del profilo delle  $V_s$  ottenuto:

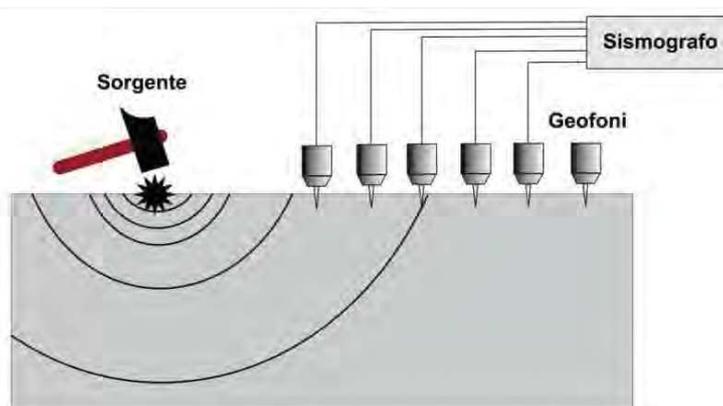
- nell'approccio classico, il dato che si va ad invertire non è un dato oggettivo (quale è ad esempio lo spettro di velocità), bensì un dato interpretato (la curva di dispersione); un errore interpretativo (ad esempio un'interpretazione non corretta dei modi di propagazione delle onde) porta necessariamente ad un errore nel profilo delle  $V_s$  ricostruito;
- qualsiasi metodo di indagine non distruttivo contiene in sé una certa ambiguità; la non univocità o equivalenza dei modelli.

Tutto ciò impone che il processo di inversione sia trattato in maniera non superficiale e sommaria.

Una buona tecnica per ridurre la possibilità di errori di interpretazione, per esempio, è quella di procedere ad un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde di Love, magari utilizzando i soli geofoni orizzontali per acquisire sia la componente radiale delle onde di Rayleigh (RVF), sia la componente THF (onde di Love) (si veda: Dal Moro G., 2012, cfr. § 4.1).

### 3.4. Acquisizione delle onde di Rayleigh (componente ZVF) - Strumentazione

Le onde di Rayleigh sono facilmente generate da una sorgente ad impatto verticale (classica mazzata o caduta di un grave) o da un cannoncino sismico e vengono registrate tramite comuni geofoni a componente verticale ed a bassa frequenza (4,5 Hz), disposti secondo un classico stendimento sismico lineare (Fig. 4).



**Fig. 4. Stendimento sismico:** generazione di onde di Rayleigh tramite sorgente ad impatto verticale e registrazione della componente verticale ZVF per mezzo di geofoni verticali.

La distanza tra la sorgente e ciascun geofono è detta *offset*; ogni traccia registrata ha quindi un suo offset. La distanza tra la sorgente ed il geofono più vicino è detta *offset minimo* (*minimum offset*).

Nel caso in oggetto, l'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

- sismografo GEOMETRICS GEODE a 24 canali, le cui caratteristiche tecniche sono riportate al paragrafo 3.2;
- sorgente energizzante (mazza di massa pari a 6 kg su piastra metallica di battuta);
- trigger;
- apparecchiatura di ricezione (24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz).

### 3.5. Analisi MASW in onde di Rayleigh (componente ZVF)

Nell'approccio classico/standard più utilizzato (acquisizione ed analisi della componente verticale delle onde di Rayleigh; ZVF, *cfr.* § 4.1), l'inversione della curva di dispersione viene generalmente realizzata attraverso una modellazione diretta, il cui scopo è quello di ricostruire un modello di andamento di velocità  $V_s$  con la profondità (profilo 1D di  $V_s$ ) il più possibile rispondente allo spettro di velocità osservato.

Naturalmente, se l'accordo tra il modello identificato in fase di modellazione diretta e lo spettro è già ottimale, non servirà fare alcuna inversione e ci fermeremo al modello identificato; questo è un modo di procedere utilissimo, per esempio, nel caso di situazioni geologiche particolari o complesse (cioè dati sismici di ardua interpretazione).

È possibile altresì utilizzare il modello testato, le cui curve di dispersione calcolate risultano, nella nostra interpretazione, in ragionevole accordo con lo spettro di velocità osservato, come punto di partenza per l'inversione vera e propria.

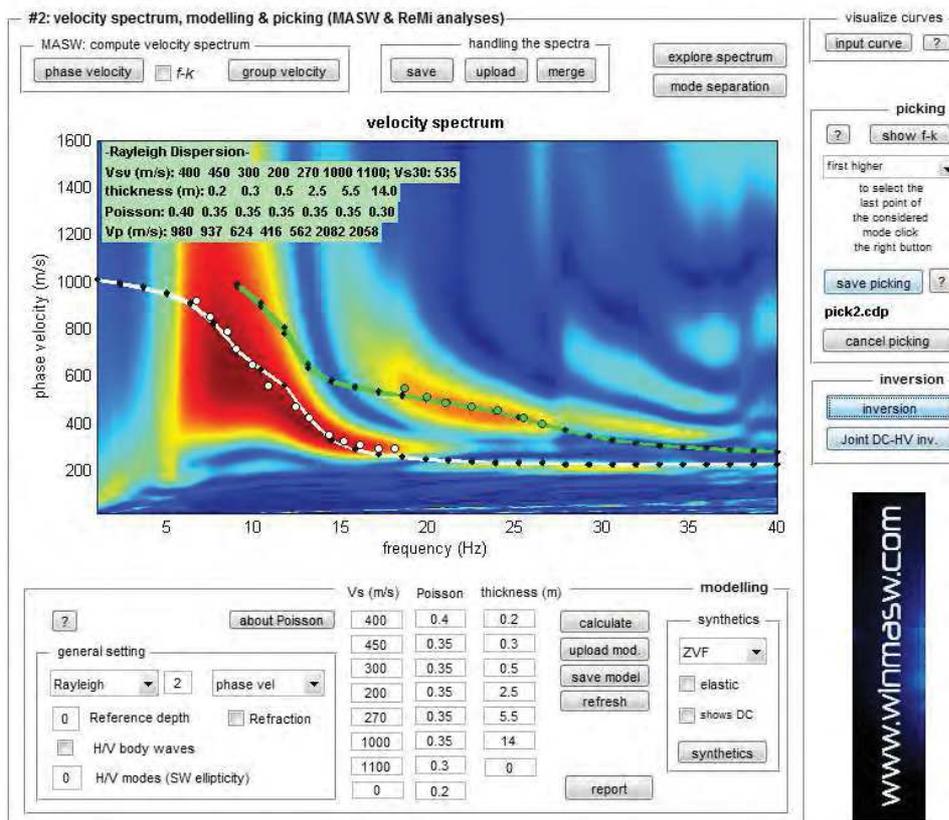
Se si adotta tale approccio, infatti, tale modello è preso come modello di riferimento ed attraverso la ricerca di successive soluzioni in un intervallo di  $V_s$  e spessori attorno al modello iniziale, si procede ad una ottimizzazione del modello stesso.

Sulla base del modello ottenuto, è possibile quindi procedere al *picking* della curva di dispersione (cioè alla selezione dei punti che, nella nostra interpretazione, appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale); fare il *picking* di una curva di dispersione significa dare un senso allo spettro di velocità estraendo quindi informazioni sulle proprietà dispersive del mezzo.

Per procedere con il *picking* della curva di dispersione è necessario:

- identificare correttamente i modi di propagazione delle onde superficiali (modo fondamentale ed eventuali modi superiori);
- selezionare i punti che riteniamo appartenere correttamente ad una curva di dispersione associata ad un determinato modo di propagazione; tale operazione può essere più semplice se partiamo da un modello già definito, attraverso la procedura della modellazione diretta.

In *Figura 5* viene riportato un esempio di modellazione diretta e *picking* delle curve di dispersione, riferito al caso reale illustrato in *Figura 3* (*cfr.* § 4.3), caratterizzato dalla presenza di un modo fondamentale ed un primo modo superiore.



(c)

**Fig. 5. Esempio di modellazione diretta e picking delle curve di dispersione (componente verticale ZVF onde di Rayleigh):** nella parte bassa della schermata sono presenti i parametri da modificare per impostare ed ottimizzare il modello; nella parte superiore è mostrato lo spettro di velocità sul quale sono riportate le curve di dispersione calcolate in base al modello creato ed il picking delle stesse curve eseguito manualmente.

Uno dei rischi maggiori nell'analisi di *dataset* della sola componente verticale delle onde di Rayleigh (ZVF), nel caso di assenza del modo fondamentale nello spettro di velocità, è quello di confondere un qualsiasi modo superiore per il fondamentale; altri errori di interpretazione possono essere generati quando, per esempio, nello spettro più modi si uniscono a formare quello che può essere erroneamente considerato un unico modo.

L'identificazione e il *picking* della curva di dispersione sono chiaramente operazioni d'importanza cruciale per il risultato finale.

L'utente deve avere già sviluppato una buona esperienza per poter effettuare con sicurezza tali operazioni; un'erronea interpretazione del profilo della curva e/o un'attribuzione sbagliata del modo possono portare a risultati approssimativi o addirittura assolutamente inconsistenti.

Una volta eseguito il *picking*, il passo successivo per ottenere il profilo verticale della Vs è quello dell'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata", anche se l'approccio consigliato è comunque quello della modellazione diretta (*si veda: Dal Moro G., 2012, cfr. § 4.1*).

L'intero processo di elaborazione (determinazione dello spettro di velocità, modellazione diretta, *picking* della curva di dispersione ed inversione) viene eseguito attraverso il software **WinMASW** della *Eliosoft* (cfr. § 4.7); in particolare l'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici), che richiede un notevole impegno delle risorse di calcolo del computer.

### **3.6. Tecnica e schema di acquisizione**

L'acquisizione dei dati sismici è stata eseguita utilizzando la tecnica definita di *stacking* (sommatoria) verticale, ovvero sommando più acquisizioni pertinenti allo stesso stendimento sismico; in pratica si tratta di eseguire, su ciascun punto di energizzazione, un numero  $n$  di battute che saranno sommate in un unico *dataset* di acquisizione.

In questa maniera si ottengono diversi *dataset* acquisiti con diversi *offset* (distanza sorgente-geofoni) e diversi *stacking* (numero di battute); ciò permetterà, nella successiva fase di elaborazione dei dati, di poter scegliere il dataset più adatto per la migliore restituzione dello spettro di velocità.

#### Prova MASW - M1

Per la prova MASW M1, ubicata così come riportato in planimetria allegata al testo, è stato scelto un interasse tra i geofoni pari a 0.75 m, per una lunghezza complessiva di 17.25 metri.

Sono state effettuate 5 registrazioni, con *stacking* variabili (da 1 a 5 numero di battute), in 2 punti di energizzazione posizionati secondo il seguente schema:

- un tiro esterno, ubicati alla distanza di + 3,0 m dal geofono G4;
- un tiro esterno, ubicati alla distanza di + 6,0 m dal geofono G4;

La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona.

### 3.7. Risultati della prova sismica MASW

Allegati al testo sono riportati i risultati delle prove MASW elaborate attraverso il programma *WinMASW* della *Eliosoft*.

In particolare in *figura 1* viene riportato il sismogramma acquisito durante la prova di campagna (*dataset*), con indicazione della distanza intergeofonica, dell'*offset* minimo e dell'intervallo di campionamento (*sampling*) utilizzati; in *figura 2* viene mostrato lo spettro di velocità e le curve di dispersione (relative al “picking”, al “modello migliore” e al “modello medio”).

Per quanto riguarda il modello di sottosuolo ricavato, in *figura 3* sono riportati, in colonna stratigrafica, per ogni orizzonte definito, i valori di velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ) e lo spessore dell'orizzonte stesso, mentre le successive *figure 4* e *5* mostrano i profili verticali (andamento con la profondità) delle velocità  $V_s$ , della densità stimata dei terreni e del modulo di taglio stimato.

Si potrà notare come in *figura 4* siano due i modelli presentati come soluzione: il modello “migliore” (in termini di minor *misfit*, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata) e un modello medio calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (Marginal Posterior Probability Density; *Dal Moro G. et al., 2006* <sup>(7)</sup>); quest'ultimo è quello preso in considerazione come risultato finale (ad ogni modo i due modelli solitamente non differiscono in modo significativo).

Nella tabella riassuntiva di fondo pagina, infine, vengono riportati, per ogni singolo orizzonte sismico definito, i valori relativi a:

- quote di testa e di base;
- spessore;
- velocità  $V_s$  ricavata;
- velocità  $V_{s_x}$  calcolata alle diverse profondità ( $x$ );
- densità stimata dei materiali;
- modulo di taglio stimato.

Riguardo ai valori stimati per la Densità ed il Modulo di taglio, occorre tener presente che la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla  $V_s$  e dagli spessori degli strati (cioè dalla geometria); per tale motivo, dall'analisi delle onde di superficie non si possono avere solide informazioni sui valori di densità dei materiali e delle velocità  $V_p$  (e i conseguenti moduli elastici); i valori di densità forniti devono essere pertanto considerati solamente come stime largamente approssimative.

---

<sup>(7)</sup> Dal Moro G. et al. (2006) – *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation*.

Tra i moduli elastici dei terreni, infine, l'unico che possiamo considerare come una buona stima del valore reale è il modulo di taglio (che non dipende dalla  $V_p$ ).

Il valore del parametro  $V_{sx}$ , calcolato alle diverse profondità ( $x$ ), è ricavato utilizzando la stratigrafia di  $V_s$  e la seguente formula:

$$V_{sx} = \frac{x}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti.

Sulla base delle specifiche indagini geofisiche eseguite (prove MASW) è stato possibile definire la categoria di sottosuolo propria del sito di intervento, in ottemperanza a quanto riportato dal **D.M. 17 gennaio 2018 - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (capitolo 3 – comma 3.2.2)** e di seguito sintetizzato nella seguente tabella:

#### **Categorie di sottosuolo**

**A** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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** Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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** Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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** Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## Sismica MASW - M1

Sulla base dei risultati della prova MASW - M1 e' stato possibile definire, in ottemperanza a quanto riportato in D.M. 17.01.2018 - Nuove Norme Tecniche per le costruzioni (capitolo 3 – comma 3.2.2) la categoria di sottosuolo propria del sito di intervento.

Lo stendimento sismico MASW - M1 ha permesso di individuare orizzonti sismici sovrapposti, caratterizzati, nell'ambito dei 34 metri di spessore dal piano campagna, dalla successione sotto descritta.

<i>spessore di ogni singolo orizzonte</i>	<i>velocita' onde S in metri/secondo</i>	<i>profondita' progressiva dal piano campagna</i>
per metri 1.0	→ $V_s = 192$ m/sec	mt 1.0
per metri 2.0	→ $V_s = 200$ m/sec	mt 3.0
per metri 5.0	→ $V_s = 351$ m/sec	mt 8.0
per metri 5.0	→ $V_s = 450$ m/sec	mt 13.0
per metri 4.7	→ $V_s = 903$ m/sec	mt 17.7
per metri 4.7	→ $V_s = 946$ m/sec	mt 22.4
per metri 11.6	→ $V_s = 1004$ m/sec	mt 34.0

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocita' equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/sec), definita dall'espressione :

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N (per\ i\ compreso\ fra\ 1\ ed\ N)\ h_i / V_{s,i}}$$

$h_i$  = spessore dell' i-esimo strato

$V_{s,i}$  = velocita' delle onde di taglio nell'i-esimo strato

$N$  = numero di strati

$H$  = profondita' del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 msec

Per depositi con profondita' H del substrato superiore a 30 metri, la velocita' equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  e' definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprieta' degli strati di terreno fino a tale profondita'.

Nel caso specifico, tenendo conto anche della tipologia di intervento prevista (\*), in presenza di un substrato sismico alla profondita' di metri 13 dal piano campagna, il valore di  $V_{s_{eq}}$  determinato risulta pari a 320 m/sec.

( \* ) *le NTC 2018 indicano che, per fondazioni superficiali, la profondita' del substrato e' riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali e' riferita alla testa dei pali*

Facendo riferimento alla classificazione riportata in NTC 2018 la categoria di sottosuolo relativa a tali valori di  $V_{s_{eq}}$  risulta essere la E : *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

## 4. MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

### 4.1. Cenni sulla metodologia della tecnica HVSR

Le misure speditive di rumore ambientale, mediante tecnica di acquisizione a stazione singola e la tecnica di analisi HVSR (altrimenti conosciuta anche come “metodo di Nakamura”) permettono in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito o frequenza del picco fondamentale del sito ( $f_0$ ) e quindi la possibile esistenza di fenomeni di risonanza sismica nell’intervallo di frequenza significativo.

La stessa tecnica, inoltre, consente di avere una prima indicazione sull’entità del contrasto d’impedenza, sulla base dell’ampiezza del picco (H/V) e sulla profondità dell’interfaccia stratigrafica legata a tale contrasto (*Albarello D. et al., 2010*).

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Se queste sono soddisfatte, la procedura per l’indagine con tecnica HVSR può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate:

- esecuzione della *registrazione* di rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione; tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME (2004), per una durata non inferiore a 20 minuti;

- operazione detta di “*windowing*”, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali, la cui durata prefissata (*long period*), secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME, deve essere almeno pari a 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre “long”, che sono sincronizzate fra le tracce;

- *filtraggio* delle finestre in base a criteri che permettono di individuare l’eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione;

- estrazione dello *spettro di Fourier* per ciascuna delle finestre rimanenti, ritenute valide ed operazione di “*tapering*” e *lisciamento* di ciascun spettro, secondo una delle varie tecniche note in letteratura;

- determinazione, per ciascuna finestra, della componente in frequenza (V) relativa allo spettro nella direzione verticale (z) e della componente in frequenza (H), quest’ultima calcolata attraverso una semplice media aritmetica o una somma euclidea delle due componenti relative agli spettri nelle direzioni orizzontali (x,y); la coppia di componenti orizzontali (x,y) e la componente verticale (z) naturalmente devono essere relative a finestre temporali sincrone. Questo permette di ottenere il ricercato *rapporto spettrale (H/V)* per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l’operazione di *windowing*;

- calcolo del rapporto spettrale (H/V) medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

#### 4.2. Strumentazione

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando la seguente strumentazione:

- Acquisitore a 24 bit SolGeo "Dymas-24" ad alta risoluzione ed ampio spettro in frequenza (DC÷4000 Hz), per registrazioni in continuo o a soglia, sino a 20.000 campioni al secondo;

- Sismometro triassiale SolGeo "Veloget3D" di classe I, con range selezionabile (1-80 Hz o 1-315 Hz), conforme alle normative di riferimento (DIN e UNI); sensori da 4,5 Hz, linearizzati elettronicamente a 1 Hz, con dinamica superiore a 130 dB.

Esso è alloggiato in contenitore metallico dotato di piastra di appoggio, piedini regolabili e bolla di controllo, per il corretto fissaggio al terreno.

- Computer portatile collegato all'acquisitore "Dymas-24".

- Batteria di alimentazione elettrica collegata all'acquisitore "Dymas-24".

- Software dedicati per l'acquisizione dei dati ed il calcolo della curva H/V (Metodo "Nakamura").



**Fig. 6.** Sistema di acquisizione "Dymas-24" collegato a PC portatile e sismometro "Veloget3D" per misure di rumore ambientale a stazione singola (metodo HVSR)

### 4.3. Elaborazione delle misure e restituzione dei dati

Nel caso specifico, l'analisi è stata eseguita su una finestra di frequenze significativa dal punto di vista geologico di 0,5 – 20 Hz (dal momento che picchi con frequenze > 20 Hz risultano non significativi);

La scala delle ampiezze (H/V) è stata “normalizzata”, in maniera da fare risaltare l'ampiezza dell'eventuale picco fondamentale.

L'elaborazione è stata fatta attraverso:

- media geometrica:  $H/V = \sqrt{(H_{NS}^2 + H_{EW}^2)} / V$ ;
- “padding”, “tapering” del 5%;
- lisciamento dello spettro di ampiezza: triangolare proporzionale del 10%.

(*Albarello D. et al., 2010; Al Yuncha Z. et al., 2004*).

Al fine di fornire una prima informazione di massima sugli spessori delle coperture, ovvero sulla profondità dei “contrast di impedenza” responsabili dei picchi osservati ed una stima, in prima approssimazione, dell'entità di tali contrasti, si fa riferimento agli abachi forniti da vari autori, in particolare *Albarello D. et al. (2010)*.

La frequenza di risonanza delle coperture dipende dal loro spessore H e dalla velocità media delle onde S ( $V_s$ ) negli stessi sedimenti; conoscendo quindi la frequenza ( $f_0$ ) e la velocità media  $V_s$  di tali sedimenti, si può ricavare in prima approssimazione il loro spessore attraverso la seguente formula:

$$H = V_s / 4 \cdot f_0$$

Ne deriva che in base alla frequenza di picco è possibile stimare la profondità del “contrasto d'impedenza” collegato al picco stesso.

Per “basso contrasto” d'impedenza si intende quando  $2 < H/V < 3$ ;

per “alto contrasto” si intende quando l'ampiezza di  $H/V > 3$ .

Per la classificazione delle misure e della curva H/V, infine, si fa riferimento ai criteri *SESAME (2004)* e ad *Albarello D. et al. (2010, 2011)*.

Allegati al testo sono riportati i risultati delle prove di rumore a stazione singola elaborate con la tecnica HVSR.

In particolare la scheda contiene le seguenti informazioni ed elaborati:

- dati generali relativi alla misura eseguita;
- ubicazione con sistema GPS e documentazione fotografica della prova;
- dati riepilogativi della registrazione e del tipo di elaborazione eseguita;
- grafici degli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e Verticale);
- mappe di stazionarietà e direzionalità degli spettri;
- grafico del rapporto spettrale H/V e relativa frequenza di picco fondamentale ( $f_0$ );
- riepilogo dei criteri *SESAME (2004)* e classificazione della curva secondo *Albarello D. et al. (2010, 2011)*.

#### 4.4. Risultati delle misure HVSR - HV1

Della **misura di rumore ambientale a stazione singola HV1** si evidenziano i seguenti risultati :

la misura è stata eseguita con condizioni meteorologiche di cielo coperto con vento leggero, a tratti moderato

la durata della registrazione è stata di 30 minuti (1800 sec).

lo strumento è stato piazzato perfettamente in bolla, con uno dei due assi orizzontali (Y) disposto secondo il Nord geografico

presenza di vari transienti

l'elaborazione della misura ha messo evidenza

la presenza di un primo picco a frequenza ( $F$ ) = 19.1 Hz ed ampiezza ( $A$ ) = 5.16, correlabile con il passaggio fra gli *accumuli di riporto e di sottofondo stradale, sciolti / poco addensati, superficiali ed i sottostanti depositi detritici - depositi di conoide mediamente addensati*

la presenza di un secondo picco, piu' profondo, a frequenza ( $F$ ) = 5.30 Hz ed ampiezza ( $A$ ) = 3.23, correlabile con il passaggio fra i *depositi detritici - depositi di conoide mediamente addensati ed il sottostante substrato litoide*

curva classificabile come A1 (Albarello D. et al., 2010, 2011).

Castelnuovo di Garfagnana, dicembre 2018

PRO.GEO. s.r.l.

Dott. Geol. LEONARDO MONI

## **Allegati**

all. 1: Inquadramento topografico dell'area (scala 1:10.000)

all. 2 : Planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche e geofisiche (scala 1:500)

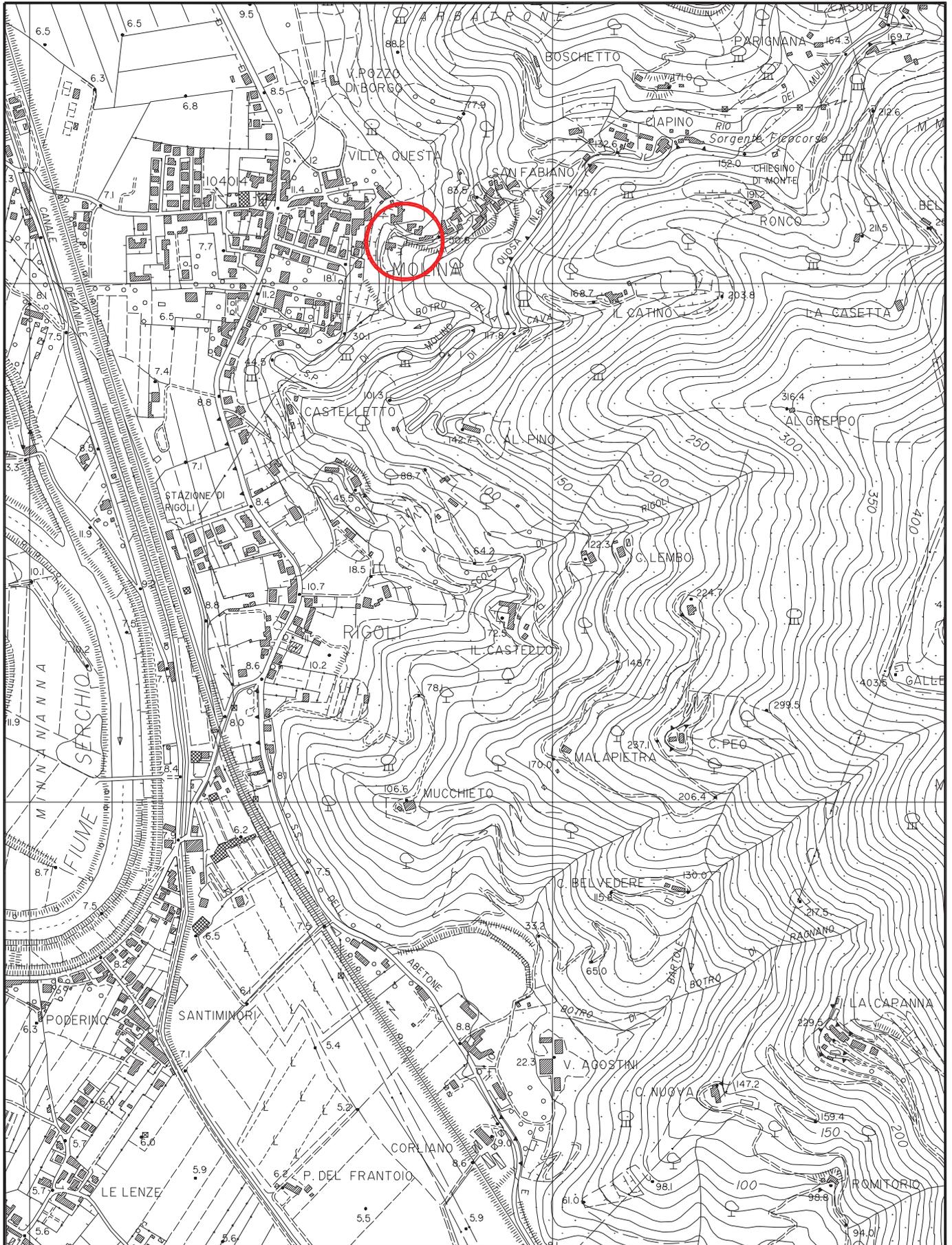
all. 3: Tabulati e grafici della prova penetrometrica dinamica DPSH - P1

all.4 : Prova sismica MASW - M1

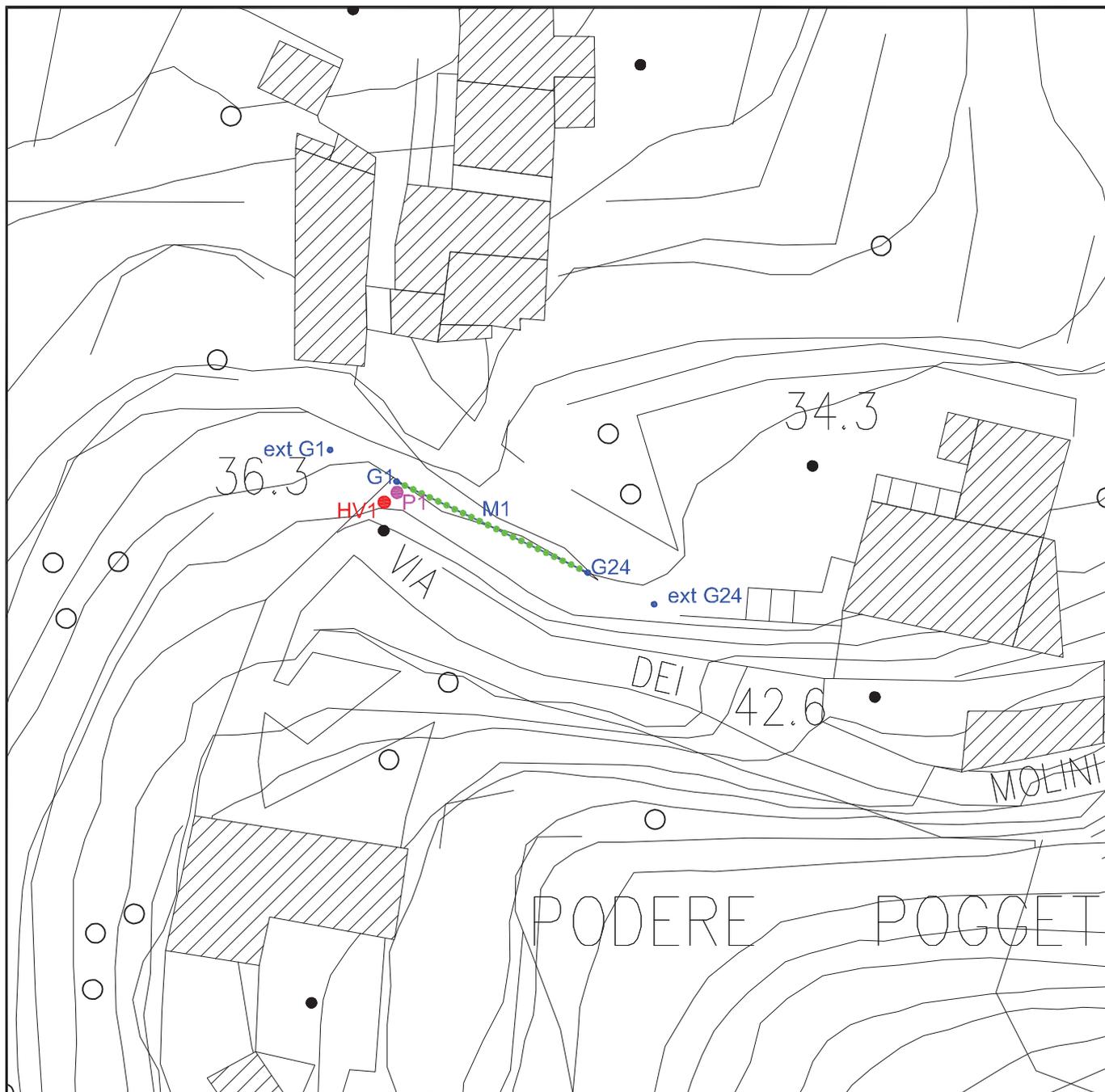
all.5 : Scheda elaborazione misura rumore ambientale HVSR - HV1

all.6 : Documentazione fotografica

Allegato 1: INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO in scala 1:10000



Allegato 2: PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE in scala 1:500



M1  
G1  
ext G1

Stendimento sismico prova MASW

P1

Prova penetrometrica dinamica superpesante

HV1

Misura di rumore ambientale a stazione singola (HVSR)

## **Allegato 3 - PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

Committente: Amministrazione Comunale San Giuliano Terme

Descrizione: BONIFICA DISSESTO

Località: Molina di Quosa

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI  
 Prova eseguita in data 19/12/2018  
 Profondità prova 4,20 mt  
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio Minimo

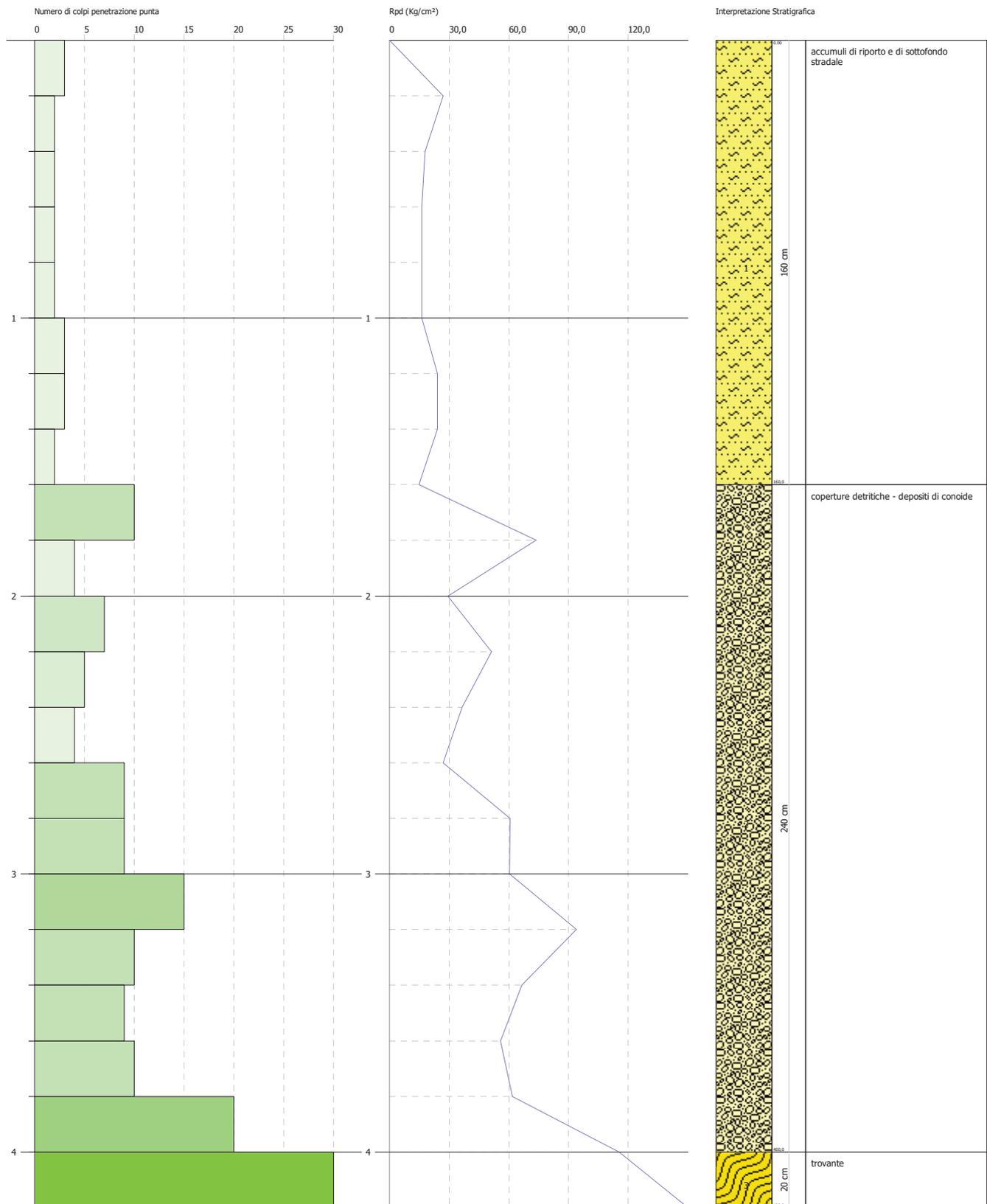
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	3	0,855	26,94	31,52	1,35	1,58
0,40	2	0,851	17,88	21,01	0,89	1,05
0,60	2	0,847	16,34	19,29	0,82	0,96
0,80	2	0,843	16,27	19,29	0,81	0,96
1,00	2	0,840	16,20	19,29	0,81	0,96
1,20	3	0,836	24,19	28,93	1,21	1,45
1,40	3	0,833	24,10	28,93	1,20	1,45
1,60	2	0,830	14,78	17,82	0,74	0,89
1,80	10	0,826	73,63	89,11	3,68	4,46
2,00	4	0,823	29,34	35,64	1,47	1,78
2,20	7	0,820	51,16	62,38	2,56	3,12
2,40	5	0,817	36,41	44,55	1,82	2,23
2,60	4	0,814	26,97	33,13	1,35	1,66
2,80	9	0,811	60,48	74,54	3,02	3,73
3,00	9	0,809	60,27	74,54	3,01	3,73
3,20	15	0,756	93,91	124,23	4,70	6,21
3,40	10	0,803	66,54	82,82	3,33	4,14
3,60	9	0,801	55,76	69,62	2,79	3,48
3,80	10	0,798	61,76	77,36	3,09	3,87
4,00	20	0,746	115,42	154,71	5,77	7,74
4,20	50	0,594	229,63	386,78	11,48	19,34

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1**  
**Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI**

Committente: Amministrazione Comunale San Giuliano Terme  
 Descrizione: BONIFICA DISSESTO  
 Località: Molina di Quosa

Data: 19/12/2018

Scala 1:20



## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

### TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Meyerhof 1957	41,7
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Meyerhof 1957	61,57

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Sowers (1961)	28,9
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Sowers (1961)	30,74

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	34,08
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	47,59

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Terzaghi-Peck 1948	1,39
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Terzaghi-Peck 1948	1,48

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Terzaghi-Peck 1948	1,86
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Terzaghi-Peck 1948	1,92

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	(A.G.I.)	0,35
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	(A.G.I.)	0,33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Ohsaki (Sabbie pulite)	195,12
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Ohsaki (Sabbie pulite)	555,48

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Navfac 1971-1982	0,57
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Navfac 1971-1982	2,06

$Q_c$  ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Kg/cm²)
Strato (1) accumuli di riporto e di sottofondo stradale	3,22	0.00-1,60	3,22	Robertson 1983	6,44
Strato (2) coperture detritiche - depositi di conoide	9,8	1,60-4,00	9,8	Robertson 1983	19,60

dataset: 8470.dat  
 sampling: 0.5 ms  
 minimum offset: 6 m  
 geophone spacing: 0.75 m

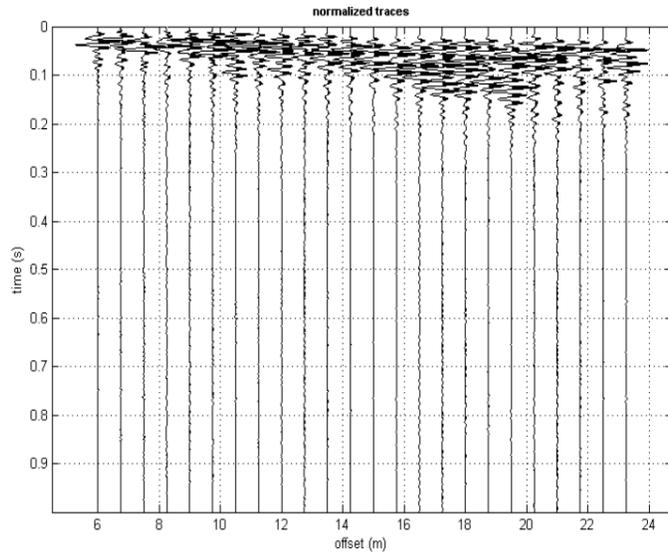


Figura 1 - Dataset - sismogramma registrato

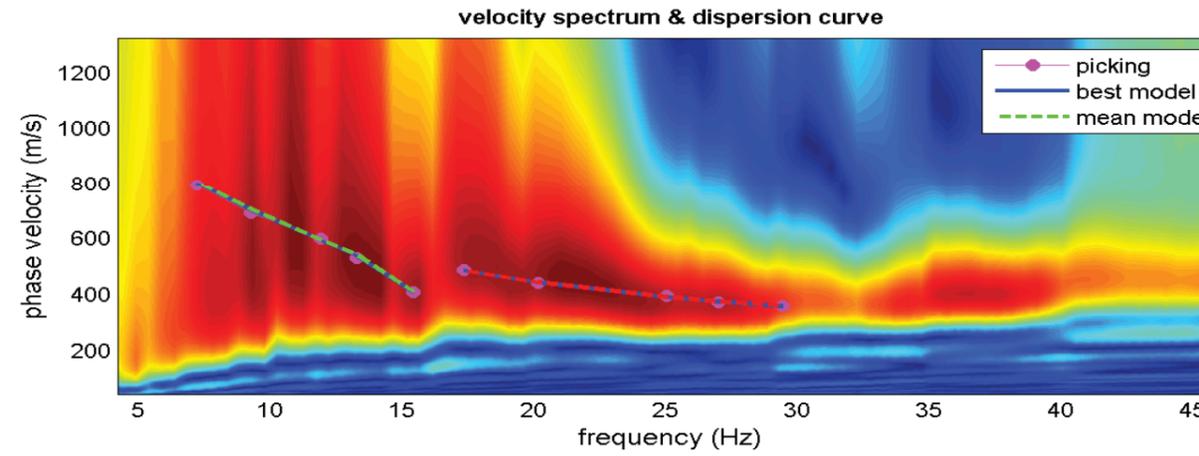


Figura 2 - Spettro di velocità e curve di dispersione

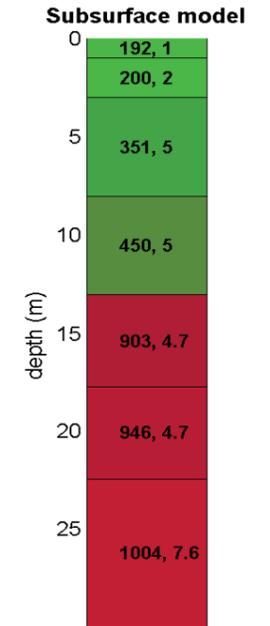
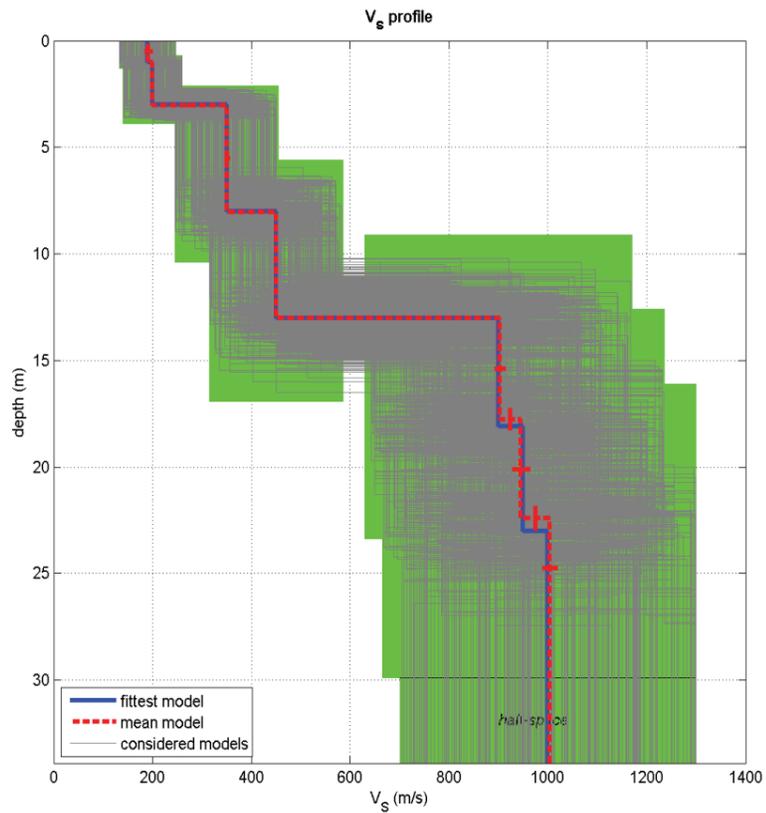


Figura 3 - Modello di sottosuolo ricavato  
 Vs (m/sec) - Spessore (m)



dataset: 8470.dat  
 Figura 4 - Profilo verticale delle velocità Vs

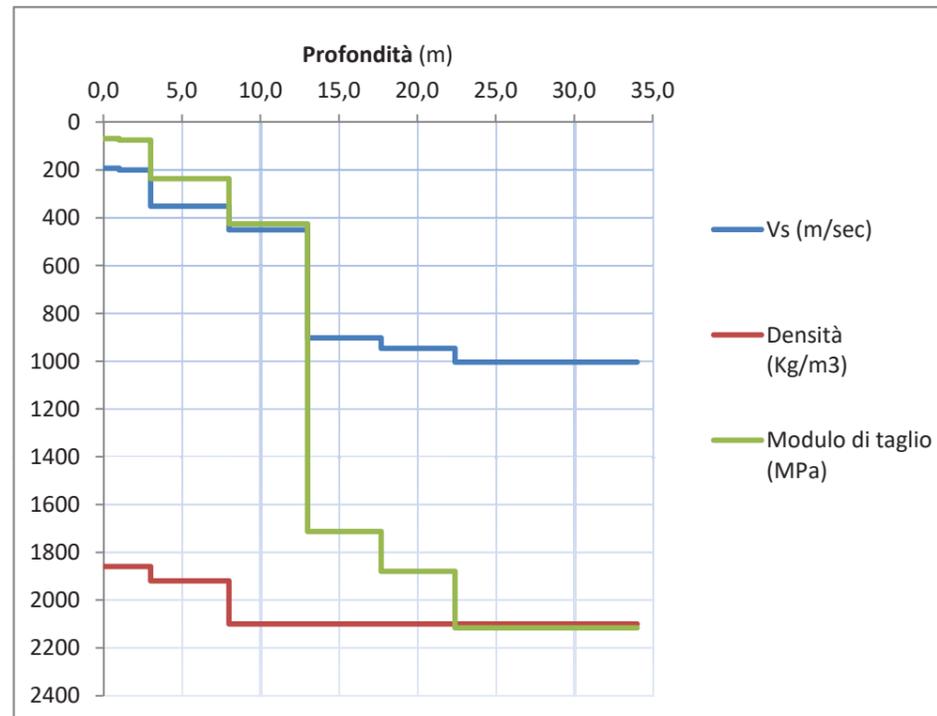


Figura 5 - Modello di sottosuolo ricavato  
 (Profilo di Velocità Vs, Densità e Modulo di taglio)

Da Prof. (m)	A Prof. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	Vs <sub>x</sub> (m/sec)	Densità (gr/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio (MPa)
0,0	1,0	1,0	192	192	1,86	69
1,0	3,0	2,0	200	197	1,86	74
3,0	8,0	5,0	351	272	1,92	237
8,0	13,0	5,0	450	320	2,10	425
13,0	17,7	4,7	903	387	2,10	1712
17,7	22,4	4,7	946	441	2,10	1879
22,4	34,0	11,6	1004	546	2,10	2117

Prof. sub. 13 m Vs,eq 320 m/sec

<b>PROVA SISMICA MASW M1</b>		
Componente Verticale ZVF - Onde di Rayleigh		
Località: Molina di Quosa (San Giuliano Terme)		
Committente: Amministrazione Comunale		
Cantiere: Ripristino e messa in sicurezza strada comunale		
<b>All. 4</b>	Dicembre 2018	PRO.GE.O. S.R.L.

## Allegato 5 Scheda di elaborazione della misura di rumore ambientale (HVSR)

### Dati generali

Nome progetto: Molina di Quosa\_HV1  
Località: Molina di Quosa  
Comune: San Giuliano Terme  
Provincia: Pisa  
Data: 19/12/2018  
Inizio registrazione: 11:45:46  
Latitudine: 43.794981  
Longitudine: 10.425343  
Condizioni meteo: Coperto – vento assente  
Tipo di superficie: Terreno naturale; strumento posizionato in corrispondenza di piazzola  
Note: Vari transienti ed artefatti

Lat: 43.794981 Long: 10.425343  
Via dei Molini Molina di Quosa, 12, 56017  
Molina di Quosa-rigoli PI, Italia



### Tracce in input

#### Dati riepilogativi:

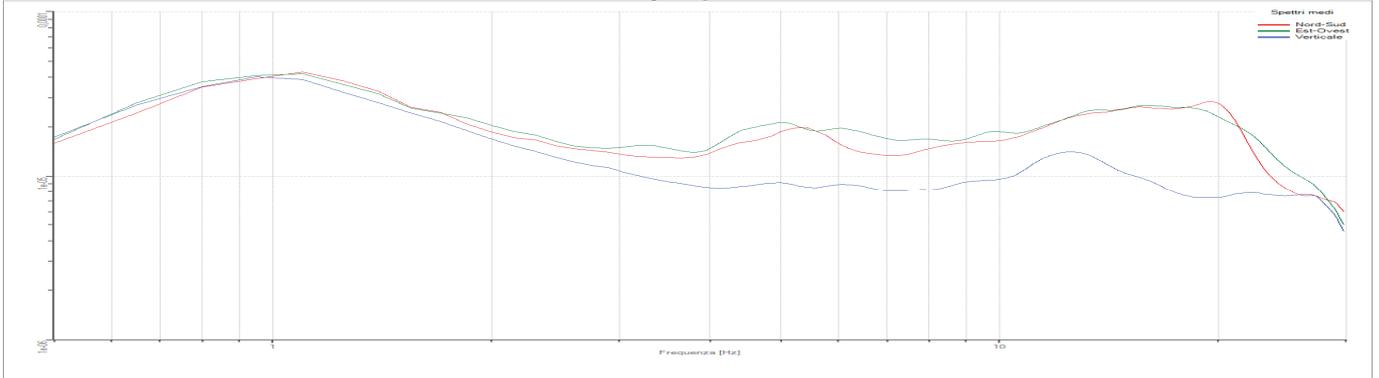
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1800 s  
Frequenza di campionamento: 200,00 Hz  
Numero campioni: 360000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

### Finestre selezionate

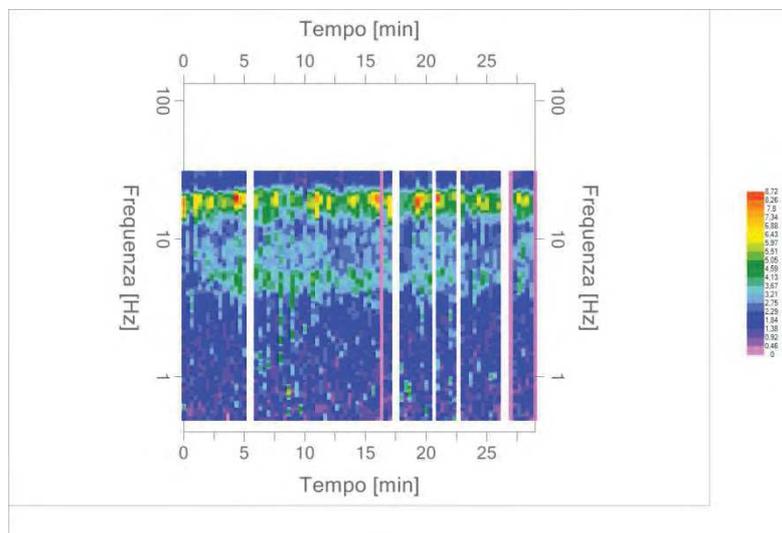
#### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre: 90  
Numero finestre incluse nel calcolo: 77  
% finestre incluse nel calcolo: 85.55% (selezione manuale)  
Dimensione temporale finestre: 20,000 s  
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 10,00 %  
Padding: Eseguito

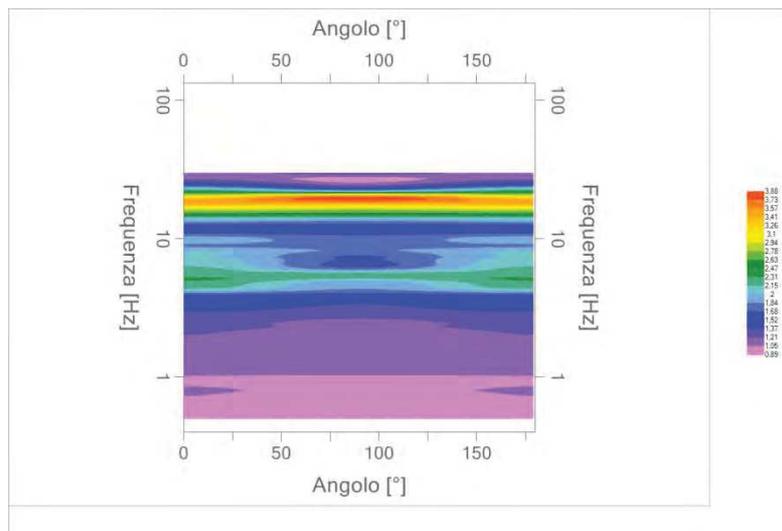
## Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

## Rapporto spettrale H/V

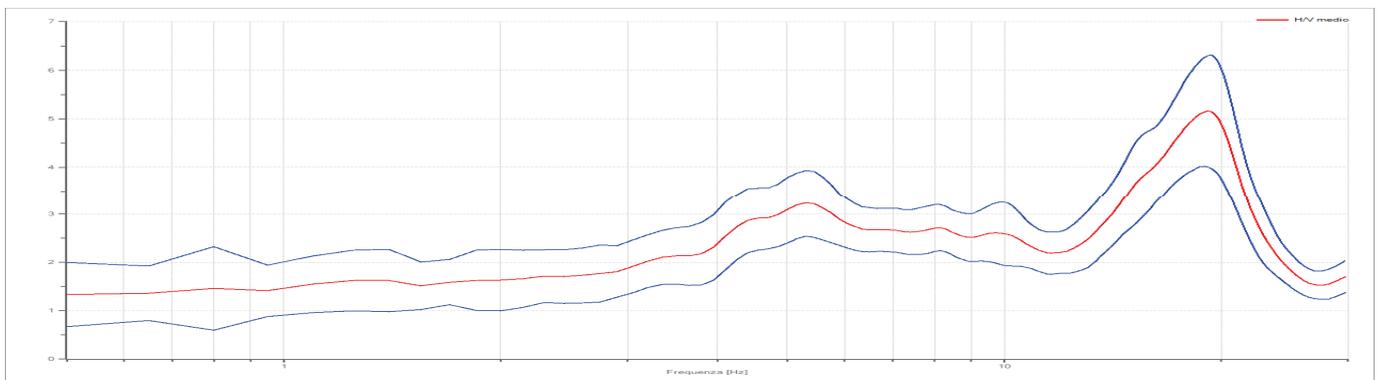
### Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 30,00 Hz  
 Frequenza minima: 0,50 Hz  
 Passo frequenze: 0,15 Hz  
 Tipo lisciamto:: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamto: 10,00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media geometrica  
 Tapering: 5%

### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 19,10 Hz  $\pm$  0,22 Hz      Ampiezza: 5,16

### Grafico rapporto spettrale H/V



### Criteri SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

### Classificazione della curva H/V

Classe	A
Tipo	1

Allegato 6: Documentazione fotografica



**Foto 1** – Prova penetrometrica dinamica superpesante P1



**Foto 2** – Stendimento sismico ST1 – M1