

PROVINCIA DI FIRENZE

S.P. 130 km 7+200 RIPRISTINO SEDE STRADALE

Progetto Definitivo/Esecutivo

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

										ELABORATO N.		
NOME FILE					SCALA					DATA		2.1.1
O414	DEX	GEO	001	A	N.A.					22/04/2014		
REDATTO: PELLEGRINI—MARCHETTI					CONTROLLATO: PELLEGRINI MARCHETTI					REVISIONE		
										REV.	DATA	DESCRIZIONE
					APPROVATO: MARCHETTI					B		
										C		

PROGETTISTA



Ing. CLAUDIA MARCHETTI
Ordine degli Ingegneri
di Pisa n° 2002



Ing. ROBERTO VALLARINO
Ordine degli Ingegneri
della Spezia n° A957

Responsabile Unico del Procedimento
Dott. Ing. Matteo Izzo

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

INDICE

1	RELAZIONE GEOLOGICA.....	3
1.1	Premessa	3
1.2	Pregresso e stato attuale dei luoghi.....	3
1.3	Inquadramento geografico del sito	5
1.4	Vincoli e pericolosità del sito	5
1.5	Inquadramento geologico e geomorfologico dell'area	6
1.6	Caratteristiche idrauliche e idrogeologiche dell'area	7
1.7	Interpretazione delle indagini geognostiche	9
1.7.1	Prove sismiche (rifrazione e HVSR)	9
1.7.2	Sondaggio a carotaggio continuo e prove SPT.....	10
1.7.3	Prova di permeabilità Lefranc	11
1.8	Caratteristiche geotecniche dei materiali.....	12
1.9	Modello geologico dell'area in esame.....	14
1.10	Verifiche di stabilità del pendio e interventi proposti.....	16
2	RELAZIONE GEOTECNICA	21
2.1	Introduzione.....	21
2.2	Caratterizzazione stratigrafica e geotecnica	21
2.3	Classificazione sismica del sottosuolo.....	23
2.4	Considerazioni sui fenomeni di instabilità	27
2.5	Interventi necessari per prevenire i fenomeni di instabilità.....	28
2.6	Verifica di stabilità post operam.....	29


	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

FIGURE

- Fig. 1: COROGRAFIA (Scala 1:5000)*
Fig. 2: ESTRATTO CARTA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO
Fig. 3: ESTRATTO CARTA DELLA CARTA DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA
Fig. 4: ESTRATTO CARTA GEOLOGICA CARG REGIONE TOSCANA (elemento 261130)
Fig. 5: CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA DELL'AREA DI INTERESSE
Fig. 6: ESTRATTO CARTA DELLA SISTEMAZIONE FORESTALE
Fig. 7: SEZIONE GEOLOGICA
Fig. 8 ELABORAZIONE PROVA LEFRANC

ALLEGATI

- Allegato 1 – Documentazione fotografica*
Allegato 2 – Prove sismiche
Allegato 3 – Sondaggio a carotaggio continuo - fotografie
Allegato 4 – Certificati analisi geotecniche di laboratorio

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

1 RELAZIONE GEOLOGICA

1.1 Premessa

Nei mesi scorsi, a seguito di un periodo di abbondanti piogge stagionali, abbattutesi con continuità sulla zona, la sede viaria della S.P. 130 dei “Colli Alti” in Località Le Torricelle, nel Comune di Sesto Fiorentino, è stata interessata per una lunghezza di circa 50 metri da un movimento franoso importante, tale da rendere necessaria l’interruzione del transito veicolare.

La presente relazione geologica è redatta a supporto delle indagini geognostiche predisposte dalla Provincia di Firenze e del piano di lavoro predisposto dalla Smart Engineering Srl, finalizzato alla progettazione delle opere di intervento necessarie per la messa in sicurezza dell’area in oggetto.

1.2 Pregresso e stato attuale dei luoghi

Non è noto un quadro completo della successione degli eventi, a partire dai primi movimenti gravitativi, della frana oggetto del presente studio, ma già alla metà degli anni novanta una relazione della Provincia di Firenze¹ evidenziava e studiava un movimento gravitativo interessante l’intera sede viaria, la cui entità non era però tale da impedire o parzialmente limitare il transito veicolare.

I movimenti documentati più recenti si hanno alla fine del 2010, di cui ampia documentazione fotografica è stata messa a disposizione dalla Provincia di Firenze, a seguito dei quali ed a causa della cui entità vengono predisposti, nel gennaio 2011, alcuni lavori di regimazione idraulica ed un rifacimento parziale del rilevato stradale.

Nel febbraio 2013, nuovi movimenti si verificano a seguito di precipitazioni abbondanti e prolungate, e le condizioni della sede viaria (Foto 1) impongono la chiusura al traffico veicolare.

¹ S.P.130 Località Colli Alti - Risoluzione del dissesto N°4 – Relazione geologica – geotecnica, fonte Servizio Geologico / Squadra sondaggi - Provincia di Firenze

	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--




Foto 1 – Lesioni sul manto stradale, marzo 2013

A seguito di tali movimenti sono effettuati un ripristino della regimazione idraulica superficiale e una nuova asfaltatura della sede viaria. Viene anche disposta una campagna di indagini geognostiche, costituita da quattro stese sismiche a rifrazione in onde P ed Sh e una indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), richiesti dalla stessa Smart Engineering Srl ai fini di inquadrare preliminarmente la geometria del corpo di frana, nonché da tre sondaggi a distruzione di nucleo, disposti dal servizio geologico della Provincia di Firenze, spinti alla profondità di 7, 8 e 9 mt. dal p.c..

Dopo un periodo estivo in cui il movimento franoso appare rallentare fino ad assestarsi, il ritorno delle precipitazioni autunnali e soprattutto invernali ha causato la ripresa del movimento franoso, di entità nuovamente considerevole (Foto 2) al punto da indurre l'interruzione del transito veicolare, tutt'oggi vigente.



Foto 2 – Lesioni sul manto stradale, marzo 2014

	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

1.3 Inquadramento geografico del sito

L'area oggetto di consolidamento si colloca in Località Le Torricelle, nel Comune di Sesto Fiorentino e a nord-est del centro di Sesto Fiorentino, sulle colline che dominano la pianura dell'Arno e che comprendono Monte Morello, ubicato poco più a NO del sito oggetto di studio. Il pendio interessato dai movimenti di frana è esposto a sud. La sommità del pendio è posta a quota 720 mt, mentre la base si trova ad una quota di circa 50 m s.l.m., a ridosso della Pianura di Sesto Fiorentino. La S.P. 130 si snoda a mezza costa con andamento parallelo alle curve di livello, nella parte alta del pendio, ad una quota indicativa di 610 mt. slm nel punto in cui la frana interessa la strada. Al di sotto della strada, scendendo di circa 40 mt., si presenta un pianoro che interrompe la pendenza piuttosto omogenea di questo pendio, compresa tra 15° e 20°.

L'ubicazione dell'area di indagine è indicata in Fig. 1 – COROGRAFIA.

1.4 Vincoli e pericolosità del sito

Gran parte di queste colline è coperta da aree boschive e da aree assimilate a bosco, così come definite dalla Legge Forestale della Regione Toscana, sulle quali vige il Vincolo Idrogeologico.

Si definiscono "Aree sottoposte a vincolo idrogeologico" quelle aree geograficamente perimetrate ai sensi del R.D.L. 3267 del 30 dicembre 1923 così come riportate nella cartografia del PS del Comune di Sesto Fiorentino, di cui un estratto è riportato in Figura 2, tra cui quella oggetto di studio.

La pericolosità del sito era già nota e segnalata anche dal Piano Strutturale del Comune di Sesto Fiorentino, approvato con deliberazione del Consiglio Comunale n. 6 del 28 gennaio 2014.

La "Carta di Pericolosità geologica", ai sensi del regolamento 53/R/2011, di cui un estratto è riportato in Figura 3 individua le specifiche aree a pericolosità geomorfologica e le conseguenti disposizioni da osservare nella formazione del R.U. e degli altri atti di governo del territorio. L'area di interesse ricade tra le Aree a pericolosità geologica molto elevata (G.3), corrispondente alle aree on presenza di frane attive. La stessa area ricade invece tra le zone con pericolosità di frana P.F.2 nella cartografia dell'Autorità di bacino dell'Arno. Si tratta di aree

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

apparentemente stabili, interessate da litologie con caratteri intrinsecamente sfavorevoli alla stabilità dei versanti.

Per quanto concerne la pericolosità idrogeologica, dalla “mappa” della Provincia di Firenze per l’area in esame è evidenziata una classe di pericolosità elevata nella parte orientale del pendio e moderata nella porzione più occidentale del versante in esame.


1.5 Inquadramento geologico e geomorfologico dell’area

Nella Carta Geologica del progetto CARG Regione Toscana (di cui un estratto è riportato alla figura 4, elemento 261130) sono descritte le formazioni geologiche ed i relativi membri litologici con gli assetti giacitureali delle formazioni. La carta tiene conto degli aggiornamenti proposti dalla recente letteratura scientifica.

Nell’area collinare ad est di Monte Acuto il substrato è costituito dalla Formazione di Monte Morello, rappresentato da una alternanza di calcari detritici grigio giallastri, calcari marnosi bianchi e nocciola a frattura concoide, marne, arenarie calcaree, calcareniti ed argilliti; talvolta la base degli strati è calcarenitica. Prevalgono i termini calcareo marnosi. Lo spessore degli strati è variabile da 30 cm ad un metro per quanto riguarda i calcari marnosi e le arenarie calcaree. (Eocene inferiore-medio).

Per quanto riguarda la geomorfologia dell’area, si è detto che la sommità del pendio interessato dai movimenti di frana è posta a quota 720 mt, mentre la base si trova ad una quota di circa 50 m s.l.m., a ridosso della Pianura di Sesto Fiorentino. La morfologia del territorio è qui tale da formare un piccolo anfiteatro di colline, per il quale dal rilevamento geomorfologico si evincono le stesse considerazioni che hanno portato ad inserire tutto il pendio, in particolare ad est del fosso Zambra, in classe di pericolosità G4, ovvero le evidenze di una franosità diffusa comprendente estese soliflussioni irreversibili, forme superficiali di instabilità di versante in evoluzione e aree con caratteri morfolitologici fortemente predisponenti.

Le foto riportate all’allegato 1 – documentazione fotografica, mostrano i chiari segni di un movimento franoso attivo, con lesioni evidenti sul manto stradale, rottura di muretti lungo il

	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

pendio, rottura di opere di regimazione idraulica, morfologia frastagliata dovuta al movimento traslativo (ed in parte rotazionale).

Al di sotto della strada interessata dal movimento attivo, scendendo di circa 40 mt., si presenta un pianoro che interrompe la pendenza piuttosto omogenea di questo pendio, compresa tra 15° e 20°. Il rilevamento geomorfologico rivela la probabile evidenza geomorfologica di una paleofrana, la cui locale riattivazione ha dato origine ai movimenti recenti.

Di quanto emerso dal rilevamento si è tenuto conto nella realizzazione della carta geologica e geomorfologica in Figura 5 e nella definizione del modello geologico – geotecnico dell’area.

1.6 Caratteristiche idrauliche e idrogeologiche dell’area

La zona di Monte Morello è ricca di acque sorgive e costituisce una importante riserva idrica per il territorio circostante: numerose sorgenti e fonti si trovano proprio lungo il percorso della Sp 130 Strada panoramica di Monte Morello (o dei Colli Alti) o nelle immediate vicinanze di esso.

I problemi di questo territorio legati alle sue caratteristiche idrauliche sono noti da tempi lontani. Tra il 1931 ed il 1971, seguendo le indicazioni del “Progetto della bonifica integrale della Piana di Sesto Fiorentino”, il Consorzio di bonifica dell’area fiorentina realizzò una serie di interventi di rimboschimento (vedi figura 6) della parte montana dei bacini dei torrenti del versante meridionale di Monte Morello tra i quali il T. Chiosina, il T. Rimaggio, il T. Zambra ed il T. Termine al fine di favorire la stabilizzazione dei versanti e arrestare la progressiva perdita di suolo. Assieme a questi interventi furono realizzate anche alcune strade forestali (di Fonte dei Seppi e di fonte del Ciliegio) sulla quale vengono ancora oggi eseguiti periodici interventi di manutenzione.

Come si osserva dalla cartografia, nel tratto sono presenti ben due sorgenti: dalla prima nasce il “Borro di Torre Baracca” Km 7+250 e dalla seconda il “Torrente Zambra” al Km 7+150.

Al momento del rilevamento, immediatamente successivo ad un periodo di intense piogge, si è potuto osservare (foto 3 e 4) un notevole ristagno di acque non canalizzate, che potrebbero verosimilmente essere in parte causa del movimento franoso, anche in considerazione del fatto che entrambi i fossi sottoattraversano il piano viabile.


	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--



Foto 3 e 4 – Ristagno di acque non canalizzate al di sopra della strada, marzo 2013

La permeabilità della formazione di Monte Morello è piuttosto variabile: medio-alta nei suoi litotipi calcarei, essa diminuisce fortemente laddove i litotipi diventano marnosi e progressivamente argillitici.

Il corpo di frana attivo che interessa la sede stradale, caratterizzato principalmente da limo sabbioso inglobante detrito ed elementi lapidei marnosi e calcarei, a causa del suo rimaneggiamento presenta una permeabilità medio alta, ma trova alla sua base livelli plasticizzati di argilliti, che ne determinano una frequente saturazione in presenza di eventi di pioggia intensa in tempi assai stretti.

Il livello piezometrico misurato nell'area in frana è quello che appare nella sezione 1 in figura 7: immediatamente a monte della sede stradale, esso risulta a ca. 3.40 da p.c. nel marzo 2014. Questa è l'unica misura disponibile, ma dalle evidenze di campagna è possibile verificare che essa si trova a livelli ancora più alti poche decine di metri sopra la strada, nei pressi delle sorgenti sopra citati. Alla base della frana non si rilevano emergenze diffuse, se non ristagni d'acqua in presenza di forti piogge.

1.7 Interpretazione delle indagini geognostiche

Nel marzo 2014 è stata programmata l'esecuzione di prove geologiche e geotecniche per integrare la caratterizzazione del pendio in frana. Unendo la campagna di indagini sismiche del 2013 a questa, il progetto ha previsto la realizzazione di:

- 3 stese sismiche a rifrazione in onde P (3) e Sh (1)
- 1 prova sismica HVSR
- 1 sondaggio a carotaggio continuo attrezzato ad inclinometro, spinto a 13.30 mt
- 3 Prove Standard Penetration Test (SPT)
- 1 prova Lefranc
- 1 sondaggio a distruzione a 10 mt, attrezzato a piezometro a tubo aperto
- Analisi geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati durante il sondaggio

Le indagini, ubicate come in figura 5, hanno consentito di confrontare ed approfondire le osservazioni derivanti dal rilevamento geomorfologico. Nella redazione della stratigrafia derivante dal sondaggio S1 si è tenuto conto anche di quella estrapolata dai sondaggi a distruzione di nucleo realizzati nel maggio 2013.

1.7.1 Prove sismiche (rifrazione e HVSR)

Sono state condotte 3 stese sismiche a rifrazione in onde P, una in onde Sh ed una prova sismica HVSR.

All'allegato 2 – prove sismiche, sono riportati i risultati di queste indagini, che possono essere riassunte sinteticamente di seguito.

Il profilo Ps1 (69 m – onde P) è stato eseguito a -.monte del dissesto, il profilo Ps2 (57.5 m – onde P) è stato eseguito perpendicolarmente alla sede stradale, il profilo Ps3 (69 m onde P) è stato eseguito lungo la sede stradale sul lato a valle e il profilo Ps4 (69 m onde SH) è stato eseguito lungo la sede stradale sul lato monte. L'indagine sismica a rifrazione a messo in evidenza la presenza di tre orizzonti sismici principali con le seguenti classi di velocità:

	Onde P	Onde SH
V1 =	197 - 559 m/s	74 - 210 m/s
V2 =	910 - 1264 m/s	400 m/s
V3 =	2562 - 3102 m/s	1168 - 1257 m/s

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

Il primo orizzonte con uno spessore compreso fra 0.4 e 6.7 m è riferibile al terreno naturale ed ai materiali di riporto. Il secondo orizzonte sismico, con spessori da 0.9 m a 9.5 m raggiunge profondità comprese fra 1.6 m e 11.9 m ed è riferibile a depositi di argille sabbiose e sabbie argillose. Il terzo orizzonte sismico può essere correlato con il passaggio al substrato litoide, formazione di Monte Morello.


Le due prove a stazione singola (HVSr) mostrano entrambe un picco principale con frequenza di 10.38 Hz, compatibile con lo spessore e le velocità dei depositi al di sopra del substrato.

1.7.2 Sondaggio a carotaggio continuo e prove SPT

Il sondaggio a carotaggio continuo, realizzato tra il 3 e il 4 marzo 2014, ha raggiunto una profondità di 13.30 metri. Durante la perforazione, sono stati prelevati 2 campioni rimaneggiati (alle profondità di 5.80-6.00, 6.80-7.00) e alle profondità di 2.5/4.5/6.5 metri da p.c. sono state condotte prove SPT in foro.

Il sondaggio, le cui foto relative alle cassette sono riportate nell'allegato 3 mostra una successione stratigrafica concordante con quanto emerso dalle indagini sismiche realizzate, che può essere di seguito sintetizzata:

00.00-00.50	manto stradale
00.50-01.30	sottofondo ghiaioso, a tratti argilloso-ghiaioso (riempimento stradale)
01.30-03.00	sabbia con pietrisco e trovanti (riempimento stradale)
03.00-03.10	argilla limosa nocciola
03.10-06.60	argilla scagliosa nocciola bruna, con aspetto rimaneggiato
06.60-07.00	argilla plastica grigia
07.00-07.20	calcare fratturato (cappellaccio)
07.20-09.80	calcare marnoso grigio poco fratturato, con livelli di ossidazione
09.80-10.30	livello grigio più marnoso argilloso
10.30-10.50	calcare grigio poco fratturato
10.50-11.20	marna grigia
11.20-13.30	livelli marnoso calcarei meno che decimetrici alternati a marna grigia

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

La stratigrafia, come accennato sopra, concorda con quanto emerso dalla sismica e quanto atteso a seguito del rilevamento geologico – geomorfologico. Al di sotto del p.c., infatti, si rileva la presenza di una struttura di fondo stradale piuttosto di notevole spessore, frutto di più interventi di ripristino succedutisi negli anni passati, con profondità di circa 3 metri.

Al di sotto di essa, fino a circa 7 metri in questo punto al margine della strada lato monte, si osserva una coltre di materiale rimaneggiato, frutto probabilmente di una ripresa di movimento di una frana più antica la cui nicchia di distacco si trova ad una quota superiore di circa dieci metri. La composizione di questo corpo di frana è piuttosto variabile, poiché il movimento gravitativo ha interessato la porzione più superficiale alterata della formazione di Monte Morello, probabilmente costituito, a quella profondità ed originariamente, da una alternanza di argilliti e marne calcaree predominanti. La presenza di quantità d'acqua importanti, a seguito di eventi meteorici intensi, ha di fatto portato ad una plasticizzazione delle porzioni argillitiche e ad un incremento delle condizioni di fratturazione delle porzioni più marnose. Ne consegue la formazione di un corpo di frana attivo costituito da limo sabbioso inglobante detrito ed elementi lapidei marnosi e calcarei.

Questa ipotesi è sostenuta anche dalla estrema variabilità dei risultati delle prove SPT ($N_{SPT}(2.5m) = 12$; $N_{SPT}(4.5m) = R$; $N_{SPT}(6.5m) = 37$), da cui non è possibile desumere valori utili ai fini della parametrizzazione geotecnica bensì utili indicazioni sulla presenza di elementi litoidi all'interno di una matrice a comportamento geotecnico d'insieme di tipo misto granulare coesivo. A partire dai 7 metri, si entra gradualmente nella formazione di Monte Morello, progressivamente meno fratturato, in cui ancora nei primi metri si osservano comunque livelli grigi più marnoso-argillosi, ulteriore evidenza di alterazione profonda dei livelli argillitici, che progressivamente tende a sparire.

1.7.3 Prova di permeabilità Lefranc

Nel foro di sondaggio è stata eseguita una prova di permeabilità denominata Lefranc. Questa prova è stata eseguita a carico variabile con immissione di acqua nel foro secondo la metodologia proposta nella normativa AGI (1977) misurando gli abbassamenti in un tratto di foro

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

non rivestito ad intervalli di tempo prefissati. Gli abbassamenti possono essere riferiti al livello indisturbato della falda o, indifferentemente se tale livello non è noto, al livello di base, cioè a fondo foro. Il coefficiente di permeabilità, calcolato in cm/sec è ricavato come valore medio nel tratto di curva dove si ritiene che si sia instaurato un regime di flusso permanente. In figura 8 è riportata l'elaborazione relativa alla prova eseguita, da cui si evince un coefficiente di permeabilità di 2.91×10^{-3} cm/sec, compatibile con un deposito prevalentemente caratterizzato da limi sabbiosi inglobanti elementi lapidei.

1.8 Caratteristiche geotecniche dei materiali

Le prove di laboratorio, derivanti dai campioni rimaneggiati raccolti all'interno del sondaggio S1, sono state realizzate per la determinazione della granulometria e dei limiti di Atterberg dei materiali costituenti il pendio, da utilizzare sia nella verifica di stabilità del pendio sia nella progettazione delle opere di sostegno. Esse concordano con quanto descritto finora. I certificati di analisi sono riportati all'allegato 4.

Nel caso del campione S1C1 da 5.80 a 6.00 m, l'analisi granulometrica ha evidenziato le proporzioni di seguito elencate:

% ghiaia	17,21
% sabbia	45,57
% limo	18,21
% argilla	19,01

determinando per il materiale la definizione di sabbia ghiaioso-limoso-argillosa. La classificazione granulometrica non è tuttavia del tutto sufficiente per poterne definire il comportamento geotecnico. L'abbondante matrice fine costituita da limo ed argilla, condiziona fortemente il comportamento geotecnico del deposito.

Analisi geotecniche eseguite sulla matrice fine, in particolare la determinazione dei Limiti di Atterberg, mostrato il seguente quadro:

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

<i>UMIDITA' NATURALE</i>	W_n	5,6	%
<i>LIMITE DI LIQUIDITA'</i>	W_l	45	%
<i>LIMITE DI PLASTICITA'</i>	W_p	25	%
<i>LIMITE DI RITIRO</i>	W_r		%
<i>INDICE DI PLASTICITA'</i>	IP	20	%
<i>INDICE DI LIQUIDITA'</i>	IL	-0,9	-
<i>INDICE DI CONSISTENZA</i>	IC	1,9	-

Tali caratteristiche, secondo la Carta di plasticità di Casagrande, portano a classificare la matrice fine come argille inorganiche di media plasticità e/o limi inorganici di media compressibilità.

Nel caso del campione S1C2 da 6.80 a 7.00 m, l'analisi granulometrica ha evidenziato le proporzioni di seguito elencate:

% ghiaia	21,38
% sabbia	28,85
% limo	20,74
% argilla	29,04

determinando per il materiale la definizione di argilla con sabbia, ghiaioso-limoso. Come per il precedente campione, la classificazione granulometrica non è tuttavia del tutto sufficiente per poterne definire il comportamento geotecnico. L'abbondante matrice fine costituita da limo ed argilla, condiziona fortemente il comportamento geotecnico del deposito.

Analisi geotecniche eseguite sulla matrice fine, in particolare la determinazione dei Limiti di Atterberg, mostrato il seguente quadro:

<i>UMIDITA' NATURALE</i>	W_n	3,3	%
<i>LIMITE DI LIQUIDITA'</i>	W_l	40	%
<i>LIMITE DI PLASTICITA'</i>	W_p	21	%
<i>LIMITE DI RITIRO</i>	W_r		%
<i>INDICE DI PLASTICITA'</i>	IP	19	%
<i>INDICE DI LIQUIDITA'</i>	IL	-0,9	-
<i>INDICE DI CONSISTENZA</i>	IC	1,9	-

Tali valori, secondo la Carta di plasticità di Casagrande, classificano la matrice fine come argille inorganiche di media plasticità.

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

1.9 Modello geologico dell'area in esame

Al fine di individuare il modello di sottosuolo dell'area e di dettagliare lo stato di attività della frana, nel mese di marzo 2014 è stato condotto un rilevamento geomorfologico di dettaglio nell'area interessata dai movimenti franosi. I rilievi hanno permesso di localizzare i segni più evidenti dei recenti movimenti e confrontarli con quanto proposto dalla Carta di Pericolosità geologica del Piano Strutturale del Comune di Sesto Fiorentino, integrando le informazioni ad una scala di maggior dettaglio. L'area interessata dai diversi movimenti di frana è riportata in figura 5.

La frana in questione appare come una riattivazione di una paleofrana, le cui forme (contropendenze e morfologia del pendio) risultano ben individuabili, e sono state documentate e descritte nel relativo paragrafo. Le sorgenti che insistono su quest'area sono almeno due, e la regimazione delle acque è ancora oggi insufficiente, tant'è che i ristagni d'acqua a quote superiori del livello stradale sono numerosi.

Si ritiene che i primi movimenti gravitativi siano avvenuti nella porzione più superficiale, completamente alterata, della formazione di Monte Morello, in cui la fratturazione dell'ammasso diventa estrema e gli interstrati argillitici o marnosi hanno ostacolato la circolazione dell'acqua infiltratasi con conseguente saturazione della coltre superficiale, generando sovrappressioni e aumento del peso proprio delle masse in gioco e diminuendo la resistenza al taglio dell'insieme. L'attuale riattivazione del corpo di frana deriva da un ulteriore decadimento delle proprietà meccaniche su materiale rimaneggiato, che si verifica a seguito del verificarsi di eventi meteorici intensi. La permeabilità medio-alta delle coperture sopra citate, unitamente alla presenza di livelli argillosi impermeabili alla base degli stessi, giocano un ruolo sfavorevole nell'equilibrio delle masse lungo il pendio, consentendo la un brusco innalzamento della falda in presenza di forti piogge.

Il quadro che è emerso dallo studio sin qui svolto offre dunque una panoramica dettagliata sulla situazione geomorfologica del versante. Per quanto concerne gli spessori dei diversi livelli geotecnici, si sono interpretati i dati derivanti dall'indagine sismica e dai sondaggi (a distruzione di nucleo e a carotaggio continuo); per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche delle

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

coperture in questione, vista la variabilità dei risultati derivanti dalle prove SPT, vista l'impossibilità di ottenere campioni indisturbati dal sondaggio S1, si è proceduto ad una verifica del pendio in back analysis sulla base di quanto emerso dai Limiti di Atterberg, andando a determinare i parametri geotecnici che in condizioni di falda attuale e secondo gli spessori reali hanno determinato la condizione di equilibrio limite. I parametri del substrato appartenente alla formazione di Monte Morello, nel litotipo calcari marnosi/marne, derivano invece da recente letteratura².

Le verifiche di stabilità vanno sempre, tranne che in casi particolari, condotte considerando le condizioni a lungo termine, che sono le più sfavorevoli alla sicurezza. Devono quindi essere utilizzati i parametri geotecnici di angolo di resistenza al taglio e coesione drenati. Per verifiche di stabilità su versanti già mobilizzati da eventi franosi passati può essere impiegato per il calcolo solo l'angolo di resistenza al taglio residuo, ponendo uguale a zero la coesione.

Dall'analisi del quadro riassuntivo delle indagini geognostiche e delle analisi emerge quanto segue:


Frana attiva:

Limo sabbioso inglobante detrito ed elementi lapidei marnosi e calcarei
 Peso di volume: 18-20 KN/m³
 Peso saturo: 21-23 KN/m³
 Coesione efficace: 0-10 kPa
 Angolo di attrito: 18-20°

Frana quiescente:

Limo sabbioso inglobante detrito ed elementi lapidei marnosi e calcarei
 Peso di volume: 19-20 KN/m³
 Peso saturo: 22-23 KN/m³
 Coesione efficace: 20 kPa
 Angolo di attrito: 23-24°

² P. Lunardi & A. Focaracci (2000) – *Impostazione progettuale e costruttiva delle opere in sotterraneo della Variante Sud della tratta A.V. Bologna – Firenze, Quarry & construction*

	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

Formazione di Monte Morello

Peso di volume: 25-27 kN/m³

Coesione : 250 kPa

Angolo di attrito: 35°

Modulo elastico: 4.0 GPa

Coefficiente di Poisson: 0.2

Nella sezione geologica allegata alla presente relazione, in figura 7, è presentato il modello geologico appena descritto. Sulla sezione sono state riportate le indagini geognostiche e l'andamento del livello piezometrico. L'ubicazione della sezioni è indicata in figura 5.

Sulla base delle considerazioni appena effettuate, si riporta di seguito la verifica di stabilità del pendio nelle condizioni attuali.

1.10 Verifiche di stabilità del pendio e interventi proposti

La sezione nel Disegno 1, di seguito mostrata, è stata scelta per l'analisi di stabilità all'equilibrio limite, opportunamente schematizzata. Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi; da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

Per il pendio in esame, è stato scelto il metodo di Fellenius. Di seguito si riporta la relazione di calcolo della verifica condotta in assenza di sisma, imponendo la superficie di scorrimento desunta da tutte le indagini e dal rilevamento. L'analisi è stata volta, come spiegato al paragrafo precedente, alla ricerca dei parametri geotecnici che hanno portato alla condizione di equilibrio limite ovvero all'innesco del movimento gravitativo. Per simulare il fenomeno di saturazione del terreno la falda è stata posta alla quota massima raggiungibile nelle condizioni attuali, considerando che sotto strada, lato monte, è presente una trincea drenante di profondità pari a circa 2 m.

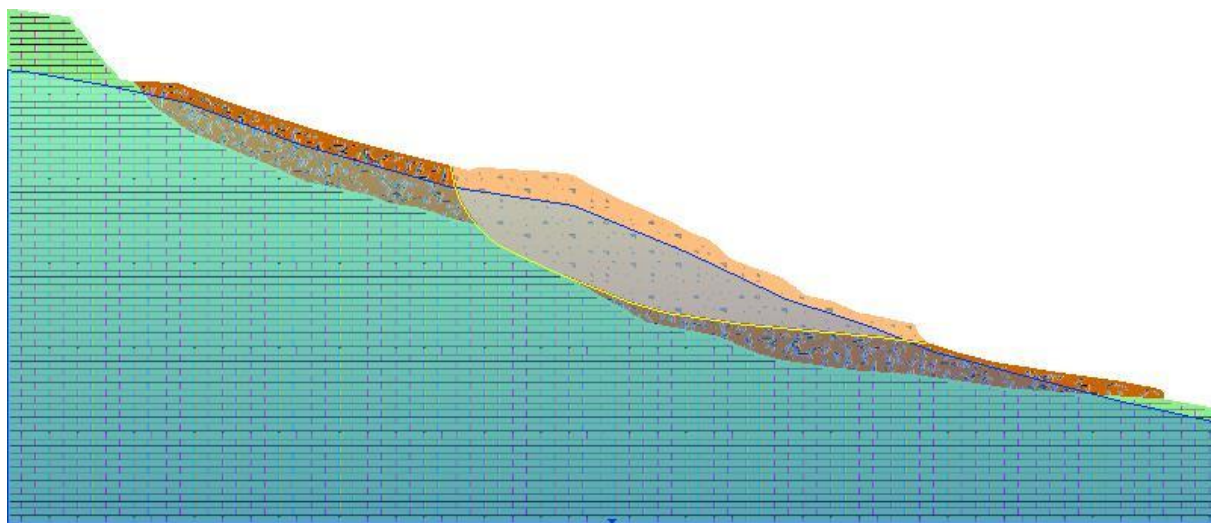
I parametri relativi alla frana attiva, che forniscono un fattore di sicurezza prossimo ad 1 per la superficie scelta, corrispondente a quella desunta dal complesso delle indagini, sono i seguenti:

Peso di volume: 18 KN/m³

Peso saturo: 23 KN/m³

Coesione efficace: 0.1 daN/cm²

Angolo di attrito: 20°



Disegno 1 – Sezione scelta per l'analisi di stabilità

Per il pendio si ritengono necessari dunque interventi di drenaggio superficiale e profondo, che impediscano l'innalzamento del livello piezometrico, ed un conseguente aumento delle pressioni interstiziali specialmente nelle porzioni già descritte.

Per la descrizione di tali opere e la verifica di stabilità post operam, si rimanda alla relazione geotecnica.

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS

Numero di strati	30
Numero dei conci	10,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma GENERICA	

	<i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE	<i>Relazione Geologica e Geotecnica</i>
---	--	---

Risultati analisi pendio

=====

Fs superficie movimento franoso avvenuto nel marzo 2014 0,964

=====

Sono stati definiti 4 strati di cui si riportano le coordinate.

Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	4716	3810
2	4785	3793
3	4924	3758
4	4926	3758
5	4942	3766
6	5021	3793
7	5476	3763
8	5751	3743
9	5777	3744
10	5927	3725
11	6006	3716
12	6144	3638
13	6179	3619
14	6209	3604
15	6372	3519
16	6473	3471
17	6583	3419
18	6669	3382
19	6737	3352
20	6813	3319
21	7020	3229
22	7046	3219
23	7192	3133
24	7219	3119
25	7283	3090

26	7375	3055
27	7460	3019
28	7481	3006
29	7577	2919
30	7605	2894
31	7669	2836
32	7687	2819
33	7688	2819
34	7769	2785
35	7876	2746
36	7943	2719
37	8147	2648
38	8178	2638
39	8200	2631
40	8227	2619
41	8347	2532
42	8374	2519
43	8393	2494
44	8404	2486
45	8458	2447
46	8506	2419
47	8516	2419
48	8777	2361
49	8877	2319
50	9095	2222
51	9106	2219

52	9183	2219
53	9232	2207
54	9647	2119
55	9677	2046
56	9688	2019
57	9778	1928
58	9310	1988
59	8818	2034
60	8178	2096
61	7788	2134
62	7355	2199
63	7003	2252
64	6590	2375
65	6267	2509
66	5901	2654
67	5446	2866
68	5228	2973
69	5105	3068
70	5001	3181
71	4907	3300
72	4816	3451
73	4753	3617

Tipo di terreno presente nello strato 1: Frana attiva.

Strato 2

	x [cm]	y [cm]
1	1334	4708
2	1342	4705
3	1583	4700
4	1620	4700
5	1698	4698
6	1801	4684
7	1824	4684
8	2345	4488
9	3521	4114
10	3939	4002

11	4039	3980
12	4110	3960
13	4509	3861
14	4546	3851
15	4645	3828
16	4646	3827
17	4716	3810
18	4753	3617
19	4816	3451
20	4907	3300
21	5001	3181

22	4800	3223
23	4353	3369
24	4065	3408
25	3822	3506
26	3164	3641
27	2795	3814
28	2532	3921
29	1903	4191
30	1552	4447

Tipo di terreno presente nello strato 2: Frana quiescente.

	<i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE	<i>Relazione Geologica e Geotecnica</i>
---	--	---

Strato 3

	x [cm]	y [cm]
1	5901	2654
2	6267	2509
3	6590	2375
4	7003	2252
5	7355	2199
6	7788	2134
7	8178	2096
8	8818	2034
9	9310	1988
10	9778	1928
11	9785	1919
12	9794	1917

13	10098	1819
14	10309	1765
15	10474	1719
16	10593	1696
17	10738	1677
18	10820	1666
19	11076	1619
20	11700	1529
21	11780	1519
22	11910	1494
23	12042	1468
24	12206	1440
25	12272	1419

26	12286	1403
27	12304	1319
28	10690	1430
29	9644	1583
30	9039	1624
31	8264	1730
32	8002	1798
33	7570	1987
34	7225	2057
35	6802	2138
36	6529	2296
37	6211	2471

Tipo di terreno presente nello strato 3: Frana quiescente.

Strato 4

	x [cm]	y [cm]
1	0	5488
2	652	5397
3	715	5290
4	761	5259
5	781	5235
6	959	4996
7	974	4980
8	1197	4729
9	1203	4724
10	1211	4727
11	1243	4722
12	1334	4708
13	1552	4447
14	1903	4191

15	2532	3921
16	2795	3814
17	3164	3641
18	3822	3506
19	4065	3408
20	4353	3369
21	4800	3223
22	5001	3181
23	5105	3068
24	5228	2973
25	5446	2866
26	5901	2654
27	6211	2471
28	6529	2296
29	6802	2138

30	7225	2057
31	7570	1987
32	8002	1798
33	8264	1730
34	9039	1624
35	9644	1583
36	10690	1430
37	12304	1319
38	12370	1308
39	12517	1281
40	12868	1219
41	12868	0
42	0	0

Tipo di terreno presente nello strato 4: Monte Morello MLL.

La falda inserita ha le coordinate riportate nella seguente tabella.

	x [cm]	y [cm]
1	12868	0
2	12866	1085
3	11849	1309
4	9885	1830
5	9203	2100
6	8288	2400
7	7229	2900

8	6019	3400
9	4700	3600
10	3108	4050
11	1887	4500
12	1023	4687
13	178	4830
14	0	4840
15	5	0

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

	x [cm]	y [cm]
1	4716	3810
2	4753	3617
3	4816	3451
4	4907	3300
5	5001	3181
6	5105	3068

7	5228	2973
8	5446	2866
9	5901	2654
10	6267	2509
11	6590	2375
12	7003	2252
13	7355	2199

	<p>S.P. 130 al km 7+200</p> <p>RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p>Relazione Geologica e Geotecnica</p>
---	---	---


14	7788	2134
15	8178	2096
16	8818	2034

17	9310	1988
18	9778	1928

Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm ²]	Phi [°]
1	38	79	623	119	611	0.1	20
2	10	69	354	124	331	0.1	20
3	22	69	939	164	880	0.1	20
4	31	69	1775	-173	1663	0.1	20
5	91	59	7443	377	6374	0.1	20
6	17	51	1687	301	1320	0.1	20
7	2	51	189	33	148	0.1	20
8	16	51	1694	290	1325	0.1	20
9	59	51	6978	1160	5460	0.1	20
10	19	47	2536	639	1867	0.1	20
11	85	47	12125	2915	8929	0.1	20
12	117	38	18942	7691	11552	0.1	20
13	6	38	1071	429	653	0.1	20
14	218	26	39866	21867	17568	0.1	20
15	29	25	5665	3162	2391	0.1	20
16	253	25	52133	28959	22001	0.1	20
17	23	25	4933	2729	2082	0.1	20
18	26	25	5689	3147	2401	0.1	20
19	125	25	28227	15567	11912	0.1	20
20	26	22	6059	3516	2243	0.1	20
21	79	22	18507	10723	6853	0.1	20
22	13	22	3010	1740	1115	0.1	20
23	125	22	29586	16999	10956	0.1	20
24	35	22	8187	4679	3032	0.1	20
25	30	22	6944	3962	2571	0.1	20
26	26	22	5980	3408	2214	0.1	20
27	32	22	7454	4242	2760	0.1	20
28	105	23	24210	13552	9275	0.1	20
29	101	23	23033	12835	8824	0.1	20
30	110	23	25028	13899	9588	0.1	20
31	7	23	1638	908	628	0.1	20
32	79	16	17867	10778	5070	0.1	20
33	68	16	15157	9148	4301	0.1	20
34	4	16	896	541	254	0.1	20
35	72	16	15884	9592	4507	0.1	20
36	191	16	41399	25028	11747	0.1	20
37	16	9	3499	2259	526	0.1	20
38	26	9	5596	3616	841	0.1	20
39	146	9	30021	19354	4511	0.1	20
40	26	9	5207	3339	781	0.1	20
41	11	9	2077	1334	312	0.1	20
42	18	9	3462	2226	520	0.1	20
43	35	9	6831	4398	1026	0.1	20
44	73	9	13833	8947	2078	0.1	20
45	19	9	3560	2315	529	0.1	20
46	85	9	15675	10237	2329	0.1	20

47	22	9	3879	2542	576	0.1	20
48	95	9	16341	10623	2428	0.1	20
49	28	9	4542	2919	675	0.1	20
50	65	9	10024	6380	1489	0.1	20
51	18	9	2656	1675	395	0.1	20
52	66	9	9612	6067	1428	0.1	20
53	16	9	2238	1419	333	0.1	20
54	19	9	2685	1705	399	0.1	20
55	88	6	12149	7879	1184	0.1	20
56	67	6	8864	5815	864	0.1	20
57	204	6	25245	16964	2460	0.1	20
58	31	6	3627	2497	353	0.1	20
59	1	6	81	56	8	0.1	20
60	22	5	2470	1713	235	0.1	20
61	27	5	3052	2127	291	0.1	20
62	33	5	3587	2504	342	0.1	20
63	28	5	2954	2060	281	0.1	20
64	60	5	5975	4139	569	0.1	20
65	27	5	2602	1790	248	0.1	20
66	18	5	1684	1150	160	0.1	20
67	12	5	1037	701	99	0.1	20
68	54	5	4610	3089	439	0.1	20
69	48	5	3809	2518	363	0.1	20
70	10	5	760	502	72	0.1	20
71	250	5	18196	12381	1733	0.1	20
72	11	5	731	514	70	0.1	20
73	41	5	2744	1934	261	0.1	20
74	59	5	3718	2630	349	0.1	20
75	218	5	11577	8241	1086	0.1	20
76	11	5	504	362	47	0.1	20
77	77	5	3435	2543	322	0.1	20
78	20	5	903	690	85	0.1	20
79	29	5	1259	975	118	0.1	20
80	40	5	1674	1324	157	0.1	20
81	38	5	1551	1260	146	0.1	20
82	260	7	9439	8465	1205	0.1	20
83	76	7	2424	2404	309	0.1	20
84	31	7	771	764	98	0.1	20
85	11	7	188	187	24	0.1	20
86	90	7	650	645	83	0.1	20

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> <i>RIPRISTINO SEDE STRADALE</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

2 RELAZIONE GEOTECNICA

2.1 Introduzione

La presente relazione riporta le valutazioni di natura geotecnica eseguite per individuare delle possibili soluzioni tecniche al problema di dissesto del piano viario della S.P. 130 per un tratto di circa 100 m intorno al km 7+200, nel comune di Sesto Fiorentino in provincia di Firenze.

Tale dissesto si verifica a seguito di fenomeni di instabilità del pendio causati dalla riattivazione della porzione più superficiale di una paleofrana.

In questa relazione, per la caratterizzazione geotecnica del terreno di sedime si fa riferimento ai risultati della campagna di indagini appositamente predisposta per l'area in esame e descritta precedentemente nella relazione geologica del dott. Massimo Pellegrini.

2.2 Caratterizzazione stratigrafica e geotecnica

In base alla ricostruzione della sezione geologica descritta nella relativa relazione e riportata in Figura 1 si individua la seguente stratigrafia:

Frana attiva:


Limo sabbioso inglobante detrito ed elementi lapidei marnosi e calcarei, presente sotto strada con uno spessore variabile da 6 a 11 metri che si riduce verso valle fino a raggiungere una profondità rispetto al piano campagna pari a 2 m.

Frana quiescente:

Limo sabbioso inglobante detrito ed elementi lapidei marnosi e calcarei, presente a monte della strada con uno spessore costante pari a circa 5-6 m e a valle della stessa con spessore medio pari a circa 3 m.

Bedrock:

Formazione di Monte Morello che rappresenta la base di appoggio degli strati precedenti.

	<p>S.P. 130 al km 7+200 RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p>Relazione Geologica e Geotecnica</p>
---	--	---

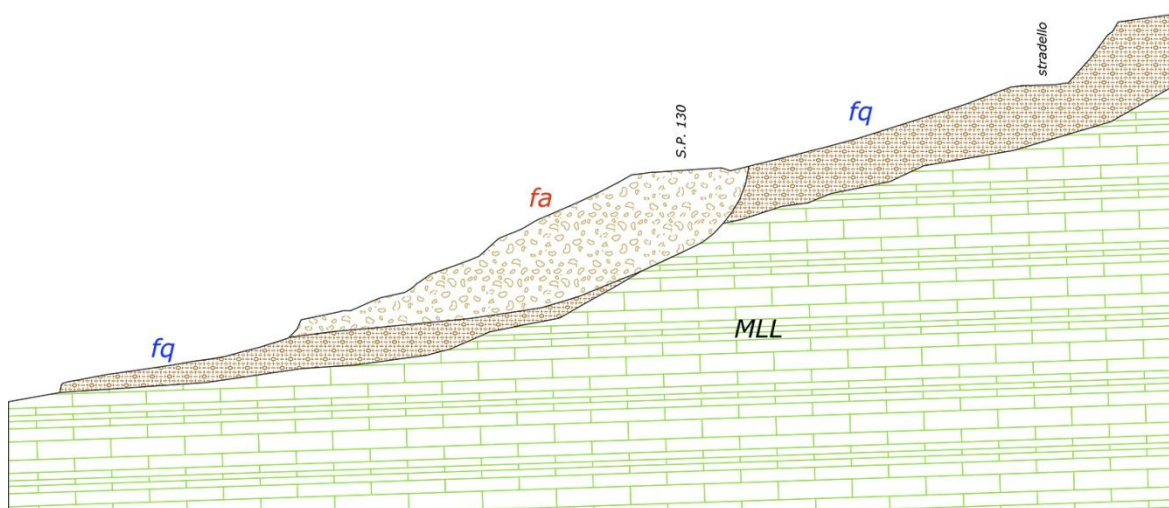


Figura 1: sezione geologica-geotecnica

Sulla base della back analysis condotta in precedenza e riportata nella relazione geologica al paragrafo 1.10 sono stati ricavati i seguenti parametri residui che verranno utilizzati per la verifica di stabilità post operam.

Frana attiva:

Peso di volume: 18 KN/m^3

Peso saturo: 23 KN/m^3

Coesione efficace: 0.1 daN/cm^2

Angolo di attrito residuo: 20°

Frana quiescente:

Peso di volume: 19 KN/m^3

Peso saturo: 22 KN/m^3

Coesione efficace: 0.2 daN/cm^2

Angolo di attrito: 23°


Bedrock:

Peso di volume: 25 KN/m^3

Peso saturo: 25 KN/m^3

Coesione efficace: 2.5 daN/cm^2

Angolo di attrito: 35°

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> <i>RIPRISTINO SEDE STRADALE</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

2.3 Classificazione sismica del sottosuolo

Inquadramento sismico

Sulla base di quanto prescritto dal DM 14 Gennaio 2008, “Norme tecniche per le costruzioni, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159”, la pericolosità sismica di base rappresenta l’elemento di conoscenza primario per la determinazione dell’azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi Stati Limite di verifica.

La pericolosità sismica è definita dalle Norme in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero, su suolo rigido e con superficie topografica orizzontale, nonché in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ per prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} della stessa azione sismica nel periodo di riferimento V_R assunto per l’azione sismica.

Le forme spettrali si determinano a partire dalla seguente terna di parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle Norme Tecniche si riportano i valori dei suddetti parametri, per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale.

I valori dei punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

In Figura 2 si riporta l’ubicazione del sito in esame (Lat. 43.850323° Long. 11.245129°) e la posizione dello stesso rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

In

Tabella 1 si riportano rispettivamente i valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i diversi periodi di riferimento che derivano dall’interpolazione lineare e gli spettri di risposta elastici in accelerazione risultanti.

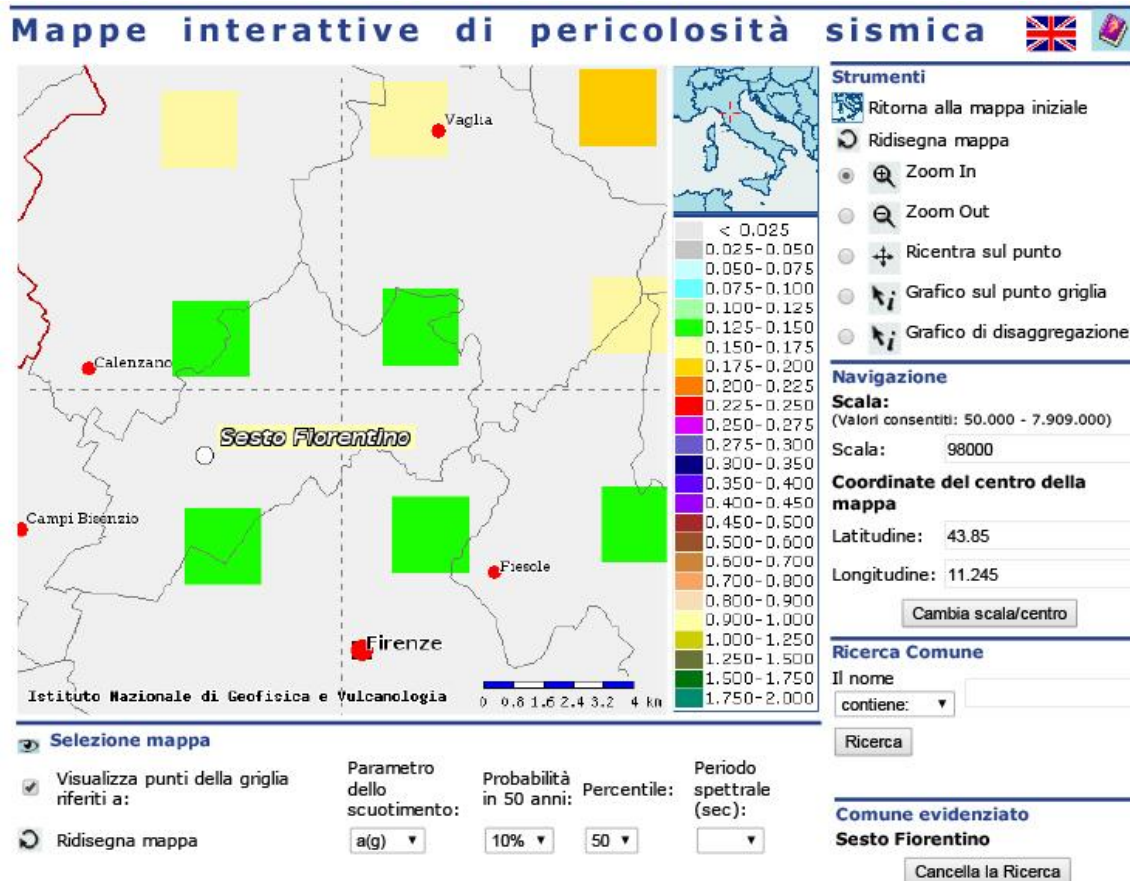


Figura 2. Ubicazione del sito: Individuazione delle coordinate geografiche di riferimento; Ubicazione del sito all'interno del reticolo nazionale di riferimento per la pericolosità sismica.


	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> <i>RIPRISTINO SEDE STRADALE</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--


Tabella 1: Parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del tempo di ritorno T_R di riferimento dell'azione sismica.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0.050	2.529	0.252
SLD	50	0.061	2.558	0.269
SLV	475	0.141	2.430	0.304
SLC	975	0.180	2.401	0.313

Accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

Sulla base di quanto prescritto dalle Norme Tecniche, per la definizione dell'azione sismica, si è assunto:

- una Vita Nominale dell'opera $V_N = 50$ anni (valore minimo valido per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale);
- una Classe d'Uso dell'opera = II (valida per costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in classe d'uso III o in classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti);
- un coefficiente d'Uso $C_U = 1$ corrispondente ad una Classe d'Uso dell'opera = II;
- una categoria topografica pari a T2
- uno Stato Limite Ultimo adottato per la struttura in esame = Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per il quale, a seguito del terremoto, è ammesso che la costruzione subisca rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici, e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione deve conservare invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

- lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, che prevede una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari a $PVR = 10\%$.

Un volta definiti i suddetti parametri, si ricavano il periodo di riferimento per l'azione sismica V_R ed il corrispondente periodo di ritorno T_R del sisma di verifica come:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1 = 50 \text{anni}$$

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = -\frac{50}{\ln(1-0.1)} = 475 \text{anni}$$

Amplificazione stratigrafica e topografica

Con riferimento alle categorie descritte al § 3.2.2 delle Norme Tecniche 2008, la classificazione della categoria di sottosuolo è stata effettuata sulla base dell'analisi sismica (allegato 3) che ha permesso di calcolare il parametro V_{s30} .


Il sottosuolo in oggetto risulta appartenere alla categoria E.

Nota la categoria di sottosuolo si determina il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s del sito mediante la seguente espressione (tabella 3.2.V delle Norme Tecniche 2008):

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Con riferimento, invece, alle categorie topografiche descritte al § 3.2.2 delle Norme Tecniche 2008 il coefficiente di amplificazione topografica è pari a $S_T = 1.2$.

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> <i>RIPRISTINO SEDE STRADALE</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

Accelerazione orizzontale massima al sito

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima al sito a_{MAX} per le verifiche allo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV) è pari a:


$$a_{MAX} = a_g \cdot S_s \cdot S_T = 0,141 \cdot 1,6 \cdot 1,2 = 0,27 \cdot g$$

2.4 Considerazioni sui fenomeni di instabilità

Come descritto chiaramente nella relazione geologica del dott. Massimo Pellegrini la frana in questione appare come riattivazione di una paleofrana.

Si ritiene che i primi movimenti gravitativi siano avvenuti nella porzione più superficiale, completamente alterata, della formazione di Monte Morello, in cui la fratturazione dell'ammasso diventa estrema e gli interstrati argillitici o marnosi ostacolano la circolazione dell'acqua infiltratasi con conseguente saturazione della coltre superficiale. Questa situazione crea sovrappressioni e aumento del peso proprio delle masse in gioco con la contemporanea diminuzione della resistenza a taglio dell'insieme. Un altro aspetto che contribuisce negativamente è la presenza di numerosi ristagni d'acqua riscontrati a monte della strada, indice di una regimazione superficiale insufficiente.

L'attuale riattivazione del corpo di frana deriva da un ulteriore decadimento delle proprietà meccaniche del materiale rimaneggiato, che si verifica in concomitanza di eventi meteorici intensi; la permeabilità medio-alta delle coperture sopra citate, unitamente alla presenza di livelli argillosi impermeabili alla base degli stessi, permette un brusco innalzamento della falda che gioca un ruolo sfavorevole nell'equilibrio delle masse lungo il pendio.

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

2.5 Interventi necessari per prevenire i fenomeni di instabilità

Sulla base delle considerazioni svolte al paragrafo precedente risulta necessario intervenire su due fronti; da un lato per prevenire i ristagni locali causati dalle piogge intense e dall'altro per controllare il livello della falda alimentata dalle sorgenti poste a monte.


Per quanto riguarda la regimazione superficiale il progetto prevede la realizzazione di due fossi di guardia posti a monte, tra il tracciato della SP.130 e il sovrastante stradello, e di un sistema di canalette a servizio della parte bassa del pendio; per una descrizione più dettagliata dell'intervento si rimanda alla relazione generale (elab. 1.1.1). Per quanto riguarda invece la regimazione delle acque profonde si prevede la realizzazione di una trincea drenante e di un sistema di microdreni (Figura 3).

La trincea è stata posta subito a monte della strada e raggiunge una profondità rispetto al piano campagna pari a circa 6 m in modo da intercettare e quindi drenare efficacemente la parte più profonda dello strato rimaneggiato.

Le canne drenanti verranno invece installate a partire dalla parte bassa del pendio ed estese per 30 metri verso monte con una inclinazione rispetto all'orizzontale pari al 10%.

In questo modo come si evince dalla Figura 3 si va a creare un piano drenante all'interfaccia frana attiva/quiescente andando a massimizzare l'efficienza del drenaggio all'interno dello strato più suscettibile.

Fissata la lunghezza L del drenaggio, per assicurare il funzionamento del sistema di canne per tutta la profondità del pendio è necessario adottare un diametro dei tubi fessurati pari a $d=0.002L$ ed utilizzare un interasse massimo tra le canne pari a $i=0.2L$. Il progetto prevede l'installazione di 10 canne drenanti di diametro pari a 60 mm poste ad interasse pari a 5m. Per una descrizione più dettagliata dell'intervento si rimanda alla relazione generale (elab. 1.1.1).

	<p style="text-align: center;">S.P. 130 al km 7+200 RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;">Relazione Geologica e Geotecnica</p>
---	--	---

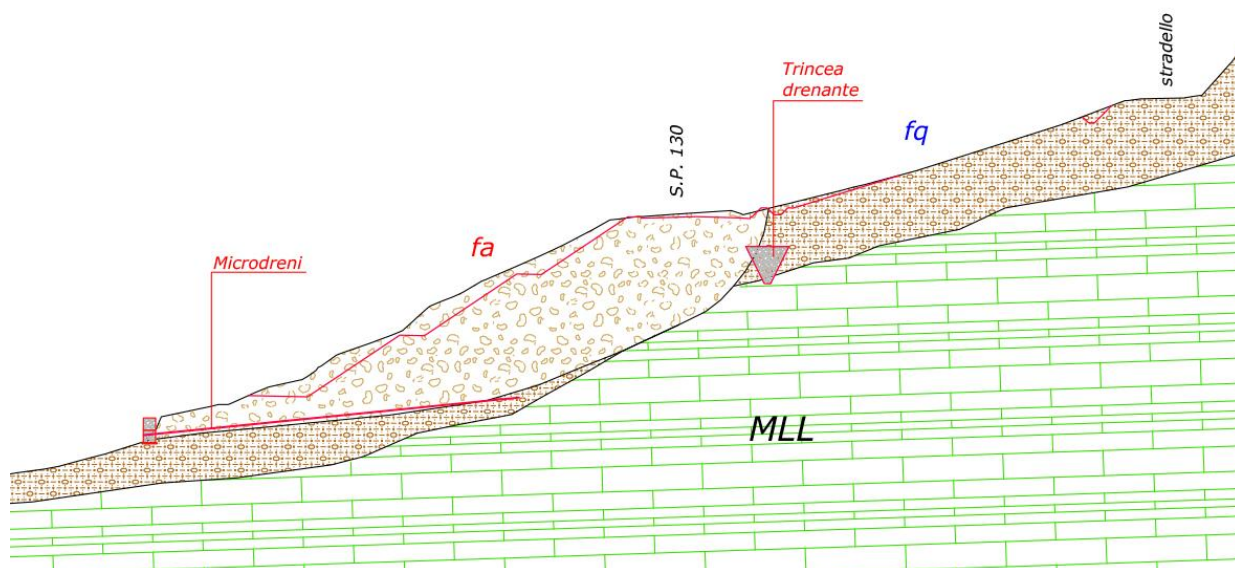



Figura 3: Sovrapposto sezione geologica/sezione di progetto

2.6 Verifica di stabilità post operam

Le verifiche di stabilità sono state eseguite per verificare che durante il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni; tale verifica è stata eseguita mediante un'analisi pseudo statica utilizzando i valori caratteristici delle proprietà meccaniche dei terreni.

L'analisi è stata condotta in termini di tensioni efficaci facendo riferimento ai valori di resistenza al taglio residui desunti dalla back analysis senza l'applicazione dei coefficienti di riduzione dei parametri geotecnici; la condizione di stato limite, per quanto riguarda le azioni, è stata valutata secondo l'approccio A2-M2 delle N.T. 2008, ed è stata riferita al cinemismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza, individuato dalla superficie di scorrimento del corpo di frana attivo.

L'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

orizzontale e verticale di tale forza sono state applicate nei baricentri di ciascuna striscia e sono state espresse mediante le seguenti relazioni:

$$F_h = k_h \cdot W \text{ e } F_v = k_v \cdot W$$

dove k_h e k_v sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} \text{ e } k_v = \pm 0.5 k_h$$

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella Tabella 2.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tabella 2: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

In funzione degli interventi di progetto previsti la verifica è stata condotta considerando un plausibile abbassamento della falda dovuto all'effetto combinato della trincea drenante posta a monte e della batteria di dreni posta a valle (Figura 4); è stato invece trascurato a favore di sicurezza il contributo dovuto all'intervento di alleggerimento della parte alta del versante sia a monte che a valle della strada e l'appesantimento previsto invece al piede della frana.

Si riporta di seguito la relazione di calcolo della verifica che mostra un coefficiente di sicurezza pari a $FS=1.29$.

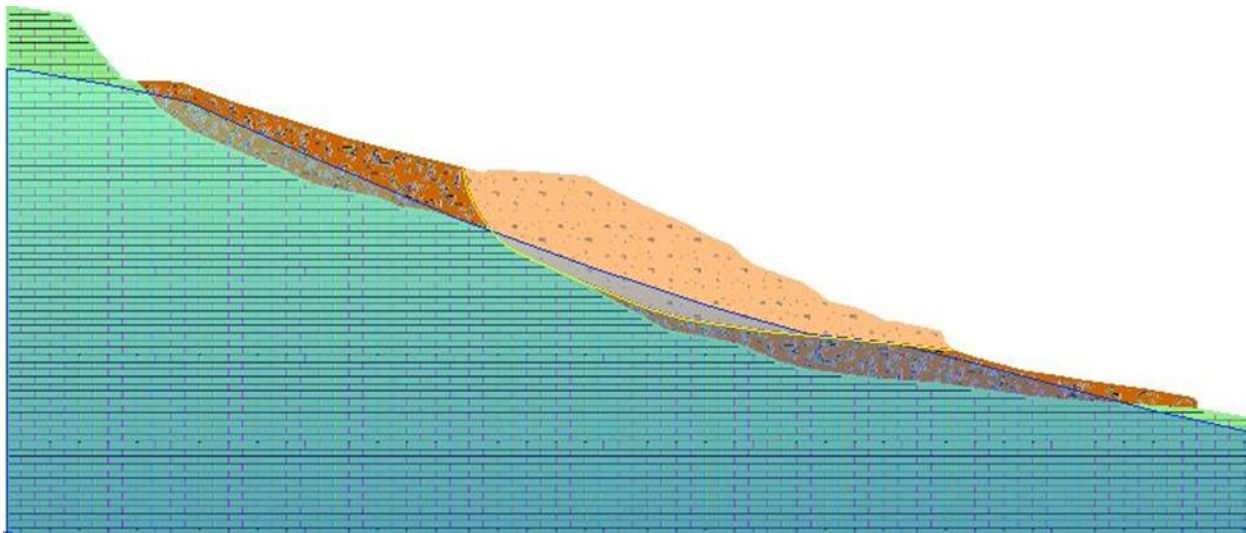


Figura 4: Sezione di verifica per la configurazione post operam

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS

Numero di strati	30
Numero dei conci	10,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma GENERICA	

Il fattore di amplificazione spettrale massima è pari a 2.429 e l'accelerazione massima orizzontale attesa dal sito è pari a 0.14 m/sec².

La categoria di sottosuolo è la categoria E, la categoria topografica è la categoria T2.

Il coefficiente sismico orizzontale ricavato è pari a: 0.005

Risultati analisi pendio

Fs superficie movimento franoso avvenuto nel marzo 2014	1,29
---	------


Sono stati definiti 4 strati di cui si riportano le coordinate.

Strato 1

	x [cm]	y [cm]
1	4716	3810
2	4785	3793
3	4924	3758
4	4926	3758
5	4942	3766
6	5021	3793
7	5476	3763
8	5751	3743

9	5777	3744
10	5927	3725
11	6006	3716
12	6144	3638
13	6179	3619
14	6209	3604
15	6372	3519
16	6473	3471
17	6583	3419

18	6669	3382
19	6737	3352
20	6813	3319
21	7020	3229
22	7046	3219
23	7192	3133
24	7219	3119
25	7283	3090
26	7375	3055

	<p><i>S.P. 130 al km 7+200</i></p> <p>RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	---	--

27	7460	3019
28	7481	3006
29	7577	2919
30	7605	2894
31	7669	2836
32	7687	2819
33	7688	2819
34	7769	2785
35	7876	2746
36	7943	2719
37	8147	2648
38	8178	2638
39	8200	2631
40	8227	2619
41	8347	2532
42	8374	2519

43	8393	2494
44	8404	2486
45	8458	2447
46	8506	2419
47	8516	2419
48	8777	2361
49	8877	2319
50	9095	2222
51	9106	2219
52	9183	2219
53	9232	2207
54	9647	2119
55	9677	2046
56	9688	2019
57	9778	1928
58	9310	1988

59	8818	2034
60	8178	2096
61	7788	2134
62	7355	2199
63	7003	2252
64	6590	2375
65	6267	2509
66	5901	2654
67	5446	2866
68	5228	2973
69	5105	3068
70	5001	3181
71	4907	3300
72	4816	3451
73	4753	3617

Tipo di terreno presente nello strato 1: Frana attiva.

Strato 2

	x [cm]	y [cm]
1	1334	4708
2	1342	4705
3	1583	4700
4	1620	4700
5	1698	4698
6	1801	4684
7	1824	4684
8	2345	4488
9	3521	4114
10	3939	4002

11	4039	3980
12	4110	3960
13	4509	3861
14	4546	3851
15	4645	3828
16	4646	3827
17	4716	3810
18	4753	3617
19	4816	3451
20	4907	3300
21	5001	3181

22	4800	3223
23	4353	3369
24	4065	3408
25	3822	3506
26	3164	3641
27	2795	3814
28	2532	3921
29	1903	4191
30	1552	4447

Tipo di terreno presente nello strato 2: Frana quiescente.


Strato 3

	x [cm]	y [cm]
1	5901	2654
2	6267	2509
3	6590	2375
4	7003	2252
5	7355	2199
6	7788	2134
7	8178	2096
8	8818	2034
9	9310	1988
10	9778	1928
11	9785	1919
12	9794	1917

13	10098	1819
14	10309	1765
15	10474	1719
16	10593	1696
17	10738	1677
18	10820	1666
19	11076	1619
20	11700	1529
21	11780	1519
22	11910	1494
23	12042	1468
24	12206	1440
25	12272	1419

26	12286	1403
27	12304	1319
28	10690	1430
29	9644	1583
30	9039	1624
31	8264	1730
32	8002	1798
33	7570	1987
34	7225	2057
35	6802	2138
36	6529	2296
37	6211	2471

Tipo di terreno presente nello strato 3: Frana quiescente.

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

Strato 4

	x [cm]	y [cm]
1	0	5488
2	652	5397
3	715	5290
4	761	5259
5	781	5235
6	959	4996
7	974	4980
8	1197	4729
9	1203	4724
10	1211	4727
11	1243	4722
12	1334	4708
13	1552	4447
14	1903	4191

15	2532	3921
16	2795	3814
17	3164	3641
18	3822	3506
19	4065	3408
20	4353	3369
21	4800	3223
22	5001	3181
23	5105	3068
24	5228	2973
25	5446	2866
26	5901	2654
27	6211	2471
28	6529	2296
29	6802	2138

30	7225	2057
31	7570	1987
32	8002	1798
33	8264	1730
34	9039	1624
35	9644	1583
36	10690	1430
37	12304	1319
38	12370	1308
39	12517	1281
40	12868	1219
41	12868	0
42	0	0

Tipo di terreno presente nello strato 4: Monte Morello MLL.

La falda inserita ha le coordinate riportate nella seguente tabella.


	x [cm]	y [cm]
1	12868	0
2	12866	1085
3	11849	1309
4	9885	1830
5	9203	2000
6	8288	2100
7	7229	2400

8	6019	2800
9	4700	3280
10	3108	3950
11	1887	4500
12	1023	4687
13	178	4830
14	0	4840
15	5	0

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

	x [cm]	y [cm]
1	4716	3810
2	4753	3617
3	4816	3451
4	4907	3300
5	5001	3181
6	5105	3068
7	5228	2973
8	5446	2866
9	5901	2654


10	6267	2509
11	6590	2375
12	7003	2252
13	7355	2199
14	7788	2134
15	8178	2096
16	8818	2034
17	9310	1988
18	9778	1928

	<p style="text-align: center;">S.P. 130 al km 7+200 RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;">Relazione Geologica e Geotecnica</p>
---	--	---

Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica

	Larg [cm]	Incl [°]	Peso [daN]	N [daN]	T [daN]	Coes [daN/cm ²]	Phi [°]
1	38	79	623	116	2007	0.1	20
2	32	69	1263	435	1062	0.1	20
3	31	69	1633	562	1076	0.1	20
4	1	59	83	42	42	0.1	20
5	90	59	6448	3289	2935	0.1	20
6	12	51	973	600	404	0.1	20
7	6	51	476	294	196	0.1	20
8	2	51	162	100	67	0.1	20
9	16	51	1451	895	586	0.1	20
10	59	51	5967	3680	2293	0.1	20
11	15	47	1635	1096	617	0.1	20
12	3	47	392	263	147	0.1	20
13	1	47	138	93	51	0.1	20
14	85	47	10445	7005	3648	0.1	20
15	15	38	2070	1629	741	0.1	20
16	101	38	14430	11357	4995	0.1	20
17	6	38	937	737	315	0.1	20
18	95	26	14711	13134	5385	0.1	20
19	101	26	16500	14731	5955	0.1	20
20	22	26	3687	3292	1320	0.1	20
21	29	25	4962	4475	1786	0.1	20
22	50	25	8680	7828	3111	0.1	20
23	101	25	18108	16329	6442	0.1	20
24	101	25	18883	17028	6656	0.1	20
25	23	25	4321	3897	1515	0.1	20
26	26	25	4985	4495	1744	0.1	20
27	53	25	10373	9354	3617	0.1	20
28	72	25	14356	12946	4983	0.1	20
29	26	22	5305	4904	1877	0.1	20
30	4	22	717	663	254	0.1	20
31	75	22	15476	14305	5466	0.1	20
32	13	22	2632	2433	928	0.1	20
33	14	22	2814	2601	992	0.1	20
34	101	22	20869	19290	7347	0.1	20
35	11	22	2173	2009	764	0.1	20
36	35	22	7156	6615	2513	0.1	20
37	30	22	6071	5612	2130	0.1	20
38	26	22	5229	4833	1833	0.1	20
39	32	22	6519	6026	2283	0.1	20

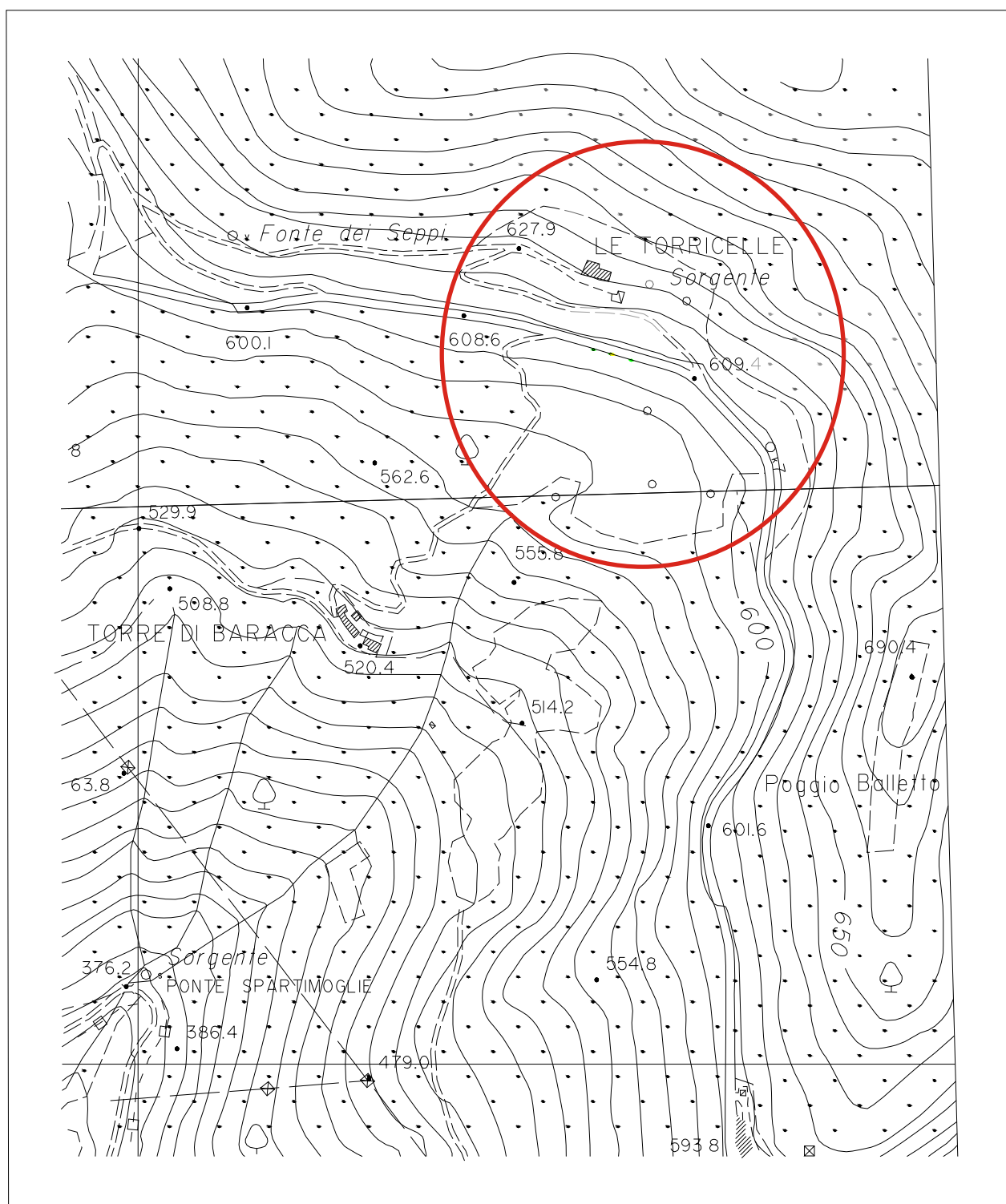
40	69	23	13932	12805	4843	0.1	20
41	36	23	7254	6667	2516	0.1	20
42	65	23	13063	12006	4520	0.1	20
43	36	23	7117	6541	2457	0.1	20
44	66	23	13123	12061	4520	0.1	20
45	44	23	8836	8121	3036	0.1	20
46	7	23	1439	1322	494	0.1	20
47	50	16	9881	9434	3517	0.1	20
48	29	16	5811	5548	2070	0.1	20
49	68	16	13314	12711	4748	0.1	20
50	4	16	787	752	281	0.1	20
51	72	16	13954	13322	4984	0.1	20
52	29	16	5684	5427	2032	0.1	20
53	101	16	19364	18487	6934	0.1	20
54	60	16	11332	10819	4066	0.1	20
55	16	9	3075	3029	1138	0.1	20
56	25	9	4658	4589	1727	0.1	20
57	1	9	258	254	96	0.1	20
58	100	9	18139	17869	6773	0.1	20
59	47	9	8155	8034	3072	0.1	20
60	26	9	4536	4468	1716	0.1	20
61	11	9	1812	1785	687	0.1	20
62	18	9	3019	2975	1147	0.1	20
63	35	9	5958	5870	2268	0.1	20
64	66	9	10910	10747	4173	0.1	20
65	7	9	1162	1144	446	0.1	20
66	19	9	3109	3063	1195	0.1	20
67	75	9	12073	11897	4663	0.1	20
68	10	9	1619	1596	628	0.1	20
69	22	9	3389	3339	1317	0.1	20
70	69	9	10498	10345	4107	0.1	20
71	26	9	3730	3676	1471	0.1	20
72	28	9	3937	3880	1560	0.1	20
73	47	9	6404	6311	2556	0.1	20
74	17	9	2252	2219	905	0.1	20
75	18	9	2286	2252	922	0.1	20
76	0	9	37	37	15	0.1	20
77	66	9	8229	8109	3340	0.1	20
78	16	9	1925	1897	786	0.1	20
79	19	9	2309	2275	945	0.1	20
80	67	6	7957	7893	3300	0.1	20
81	21	6	2494	2474	1043	0.1	20

	<p style="text-align: center;"><i>S.P. 130 al km 7+200</i> RIPRISTINO SEDE STRADALE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Relazione Geologica e Geotecnica</i></p>
---	--	--

82	67	6	7624	7563	3220	0.1	20
83	13	6	1468	1456	625	0.1	20
84	101	6	10999	10910	4745	0.1	20
85	89	6	9252	9178	4081	0.1	20
86	12	6	1187	1177	530	0.1	20
87	19	6	1936	1920	868	0.1	20
88	1	6	70	69	31	0.1	20
89	22	5	2128	2111	959	0.1	20
90	27	5	2628	2608	1193	0.1	20
91	33	5	3084	3060	1415	0.1	20
92	28	5	2532	2512	1177	0.1	20
93	60	5	5100	5061	2410	0.1	20
94	14	5	1123	1114	537	0.1	20
95	14	5	1092	1084	524	0.1	20
96	18	5	1429	1418	691	0.1	20
97	12	5	877	870	428	0.1	20
98	54	5	3884	3854	1921	0.1	20
99	4	5	258	256	129	0.1	20
100	44	5	2935	2912	1484	0.1	20
101	10	5	637	632	325	0.1	20
102	47	5	3031	3008	1550	0.1	20
103	101	5	6314	6265	3260	0.1	20
104	101	5	6068	6021	3176	0.1	20
105	11	5	627	622	331	0.1	20
106	41	5	2356	2337	1252	0.1	20
107	49	5	2700	2679	1459	0.1	20
108	9	5	495	492	271	0.1	20
109	92	5	4568	4533	2553	0.1	20
110	101	5	4408	4374	2592	0.1	20
111	25	5	990	983	606	0.1	20
112	11	5	435	431	269	0.1	20
113	65	5	2524	2505	1557	0.1	20
114	12	5	477	473	292	0.1	20
115	20	5	799	793	491	0.1	20
116	13	5	485	481	300	0.1	20
117	17	5	633	628	395	0.1	20
118	40	5	1500	1489	942	0.1	20
119	38	5	1407	1396	892	0.1	20
120	63	7	2268	2242	1452	0.1	20
121	101	7	3519	3478	2287	0.1	20
122	101	7	3367	3328	2232	0.1	20
123	71	7	2256	2230	1523	0.1	20
124	31	7	771	762	585	0.1	20

125	0	7	3	3	3	0.1	20
126	11	7	185	183	178	0.1	20
127	90	7	650	643	1143	0.1	20

Figura 1 - Corografia (Scala 1:5.000)



Area di interesse

Figura 2 - Carta delle "Aree sottoposte a vincolo idrogeologico"
PS Comune di Sesto Fiorentino

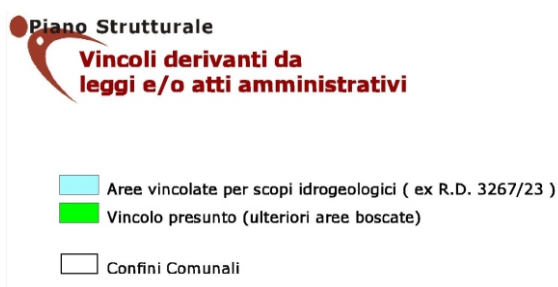
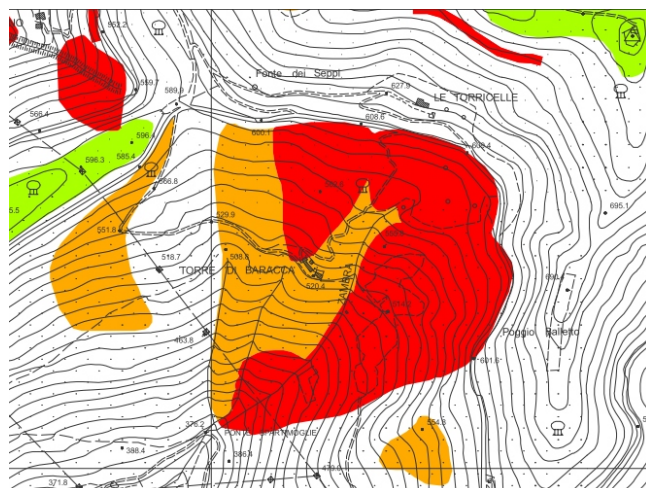


Figura 3 - Carta di Pericolosità geologica - PS Comune di Sesto Fiorentino



Classi di pericolosità (ai sensi del D.P.G.R 53/R/2011)

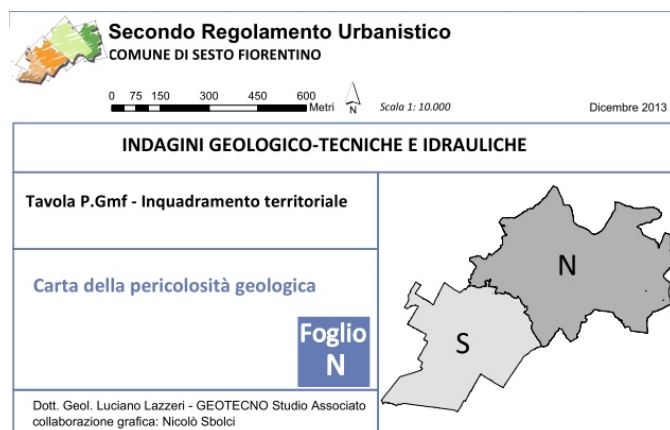
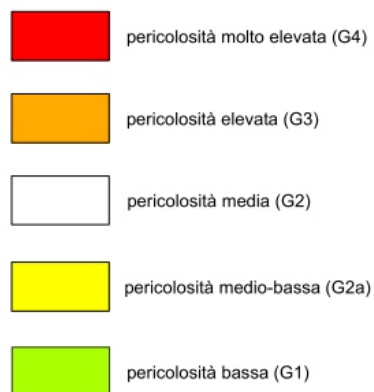


Figura 4 - Carta geologica del progetto CARG Regione Toscana (elemento 261130)

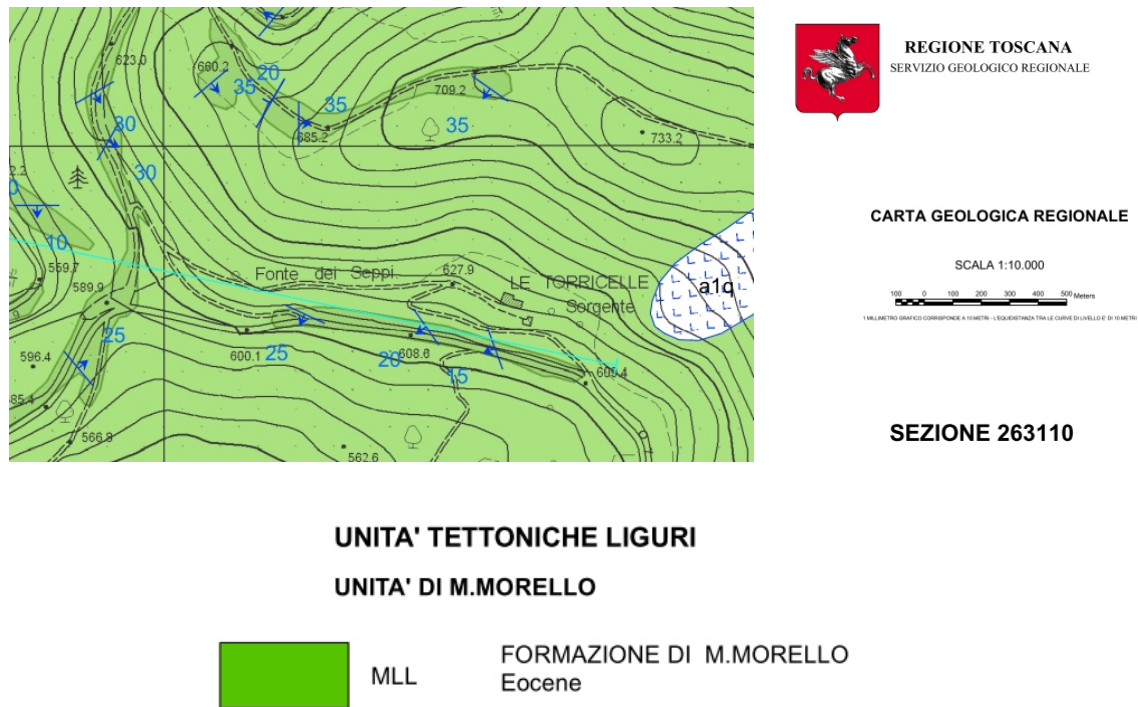


Figura 5 - Carta geologica e geomorfologica dell'area di interesse

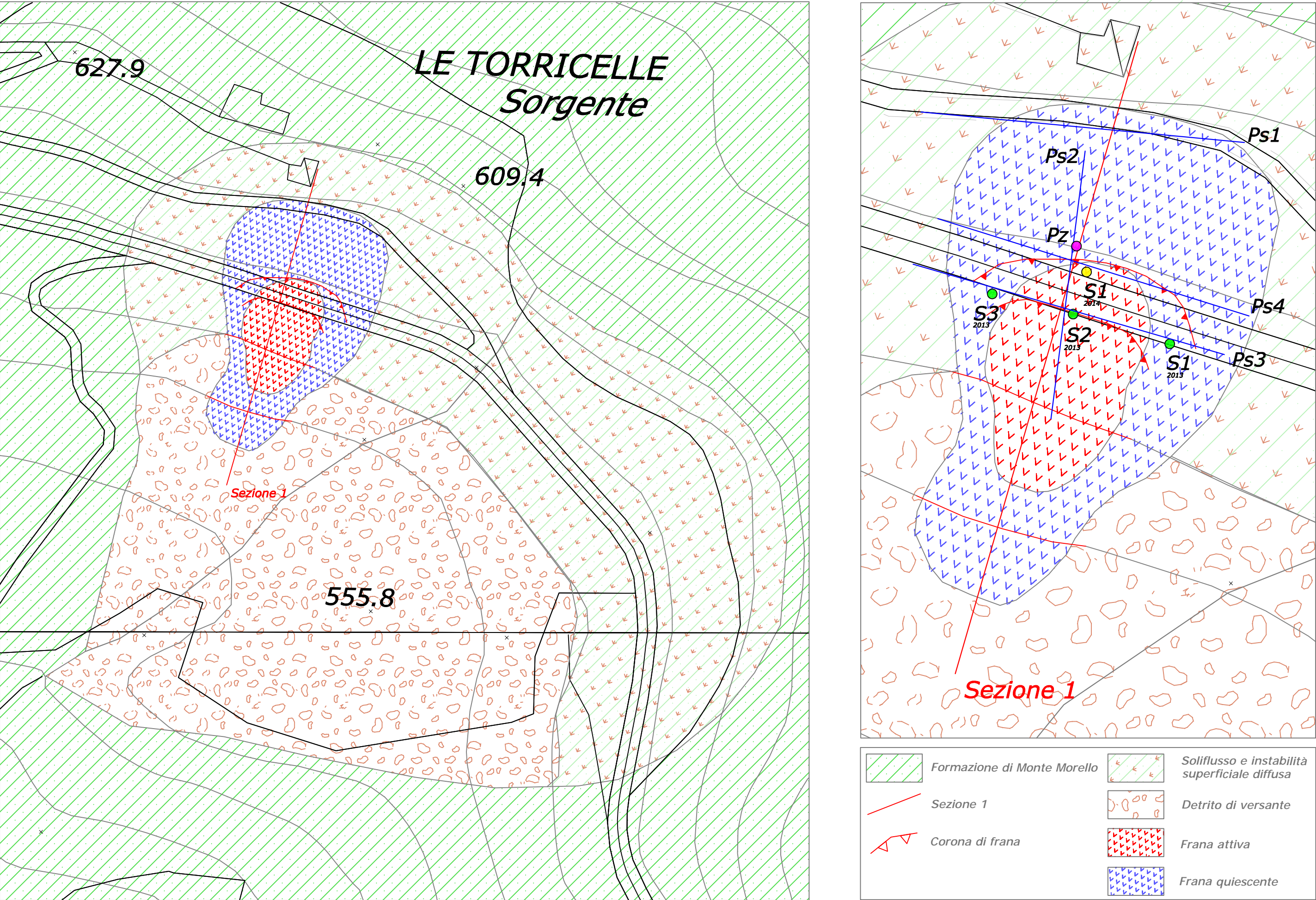


Figura 6 - Carta della sistemazione forestale - Consorzio di bonifica Area fiorentina



Sistemazione forestale

N°	APPEZZAMENTO	ANNO	TIPO DI PIANTE MESSE A DIMORA	HA
1	Casaccia	1931	pino nero, cedro, cipresso comune	43.30.40
2	Poggio del Giro	1933	pino nero, cipresso comune	11.53.30
3	Bucherelle	1933	cipresso comune, quercia	19.10.10
4	Rimaggio	1933	cipresso comune, pino nero	11.98.50
5	San Vico	1933	cipresso comune, pino nero, quercia, leccio	17.98.00
6	Polveriera	1933	cipresso comune, pino nero, quercia, leccio	7.00.00
7	Catese	1933	cipresso comune, pino nero, quercia, pino d'aleppo	24.80.00
8	Monte Balletto	1933	pino nero, quercia, leccio	25.46.90
9	Fonte dei Seppi 1°	1934	cipresso comune, pino nero, quercia	9.25.70
10	Palafitte	1934	cipresso comune, quercia	12.90.00
11	Carmignanello	1934	cipresso comune, pino nero, quercia	10.27.00
12	Casale	1934	cipresso comune, pino nero, quercia	7.39.30
13	Centole	1935	cipresso comune, pino nero, quercia	17.12.20
14	Bellavista	1935	cipresso comune, pino nero, quercia	23.62.80
15	Monte Acuto	1937	pino nero, quercia, leccio	15.02.00
16	San Silvestro	1940	cipresso comune, pino nero d'Austria	34.88.20
17	Tassinaia	1959	cipresso comune, pino nero d'Austria	14.47.70
18	Torricelle	1950	cipresso comune, pino nero	9.62.50
19	Pianacci 1° e 2°	1950	pino nero d'Austria	43.59.90
20	Fonte del Ciliegio	1964	pino nero, pino di brutia, cedro atlantico	23.03.00

Figura 7 - Sezione geologica

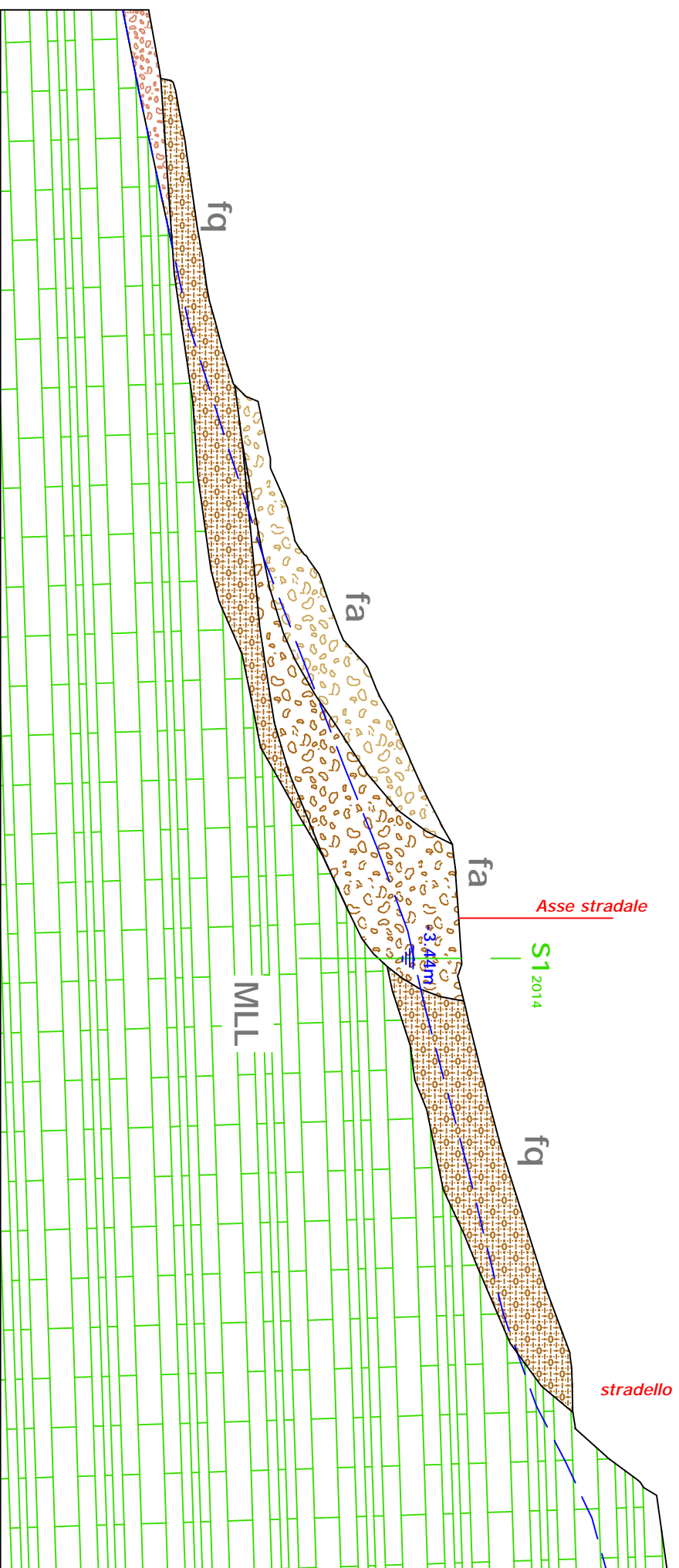
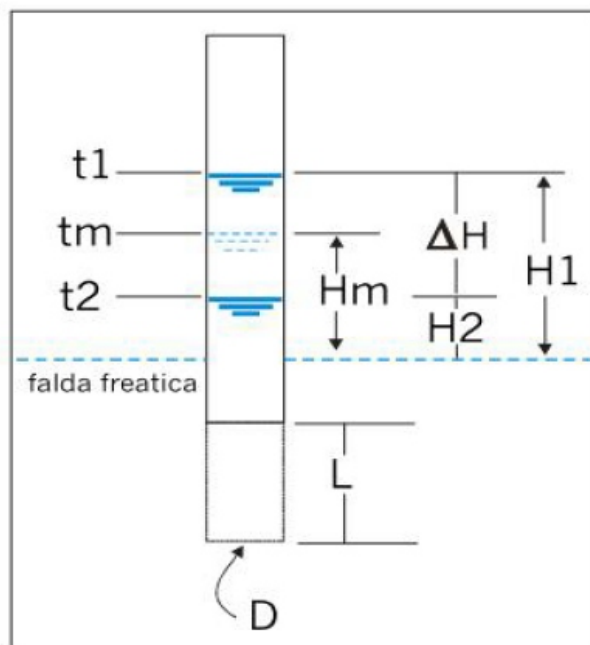


Figura 8 - Elaborazione prova Lefranc

Data:	04/03/2014
Località:	Sp130 Le Torricelle



Prova eseguita in abbassamento	
Livello di base dell'acqua [Hw] (m)	3.47
Livello dell'acqua dal p.c. [H] (m)	0.00
Diametro del tratto di prova [D] (m)	0.127
Profondità del rivestimento [Hc] (m)	6.00
Profondità del foro [Ht] (m)	6.50
Spessore del tratto di prova [L] (m)	0.50
Coefficiente di forma	1.15

T	h	dh	k
secondi	cm	cm	cm/sec
0	347	0	3.23E-03
15	332	15	2.46E-03
30	321	26	1.10E-02
60	237	110	1.19E-03
120	222	125	1.56E-03
240	187	160	1.92E-03
480	122	225	2.79E-03
900	37	310	1.66E-03
1800	7	340	6.76E-04
3600	2	345	

2.91E-03

Allegato 1
Documentazione fotografica

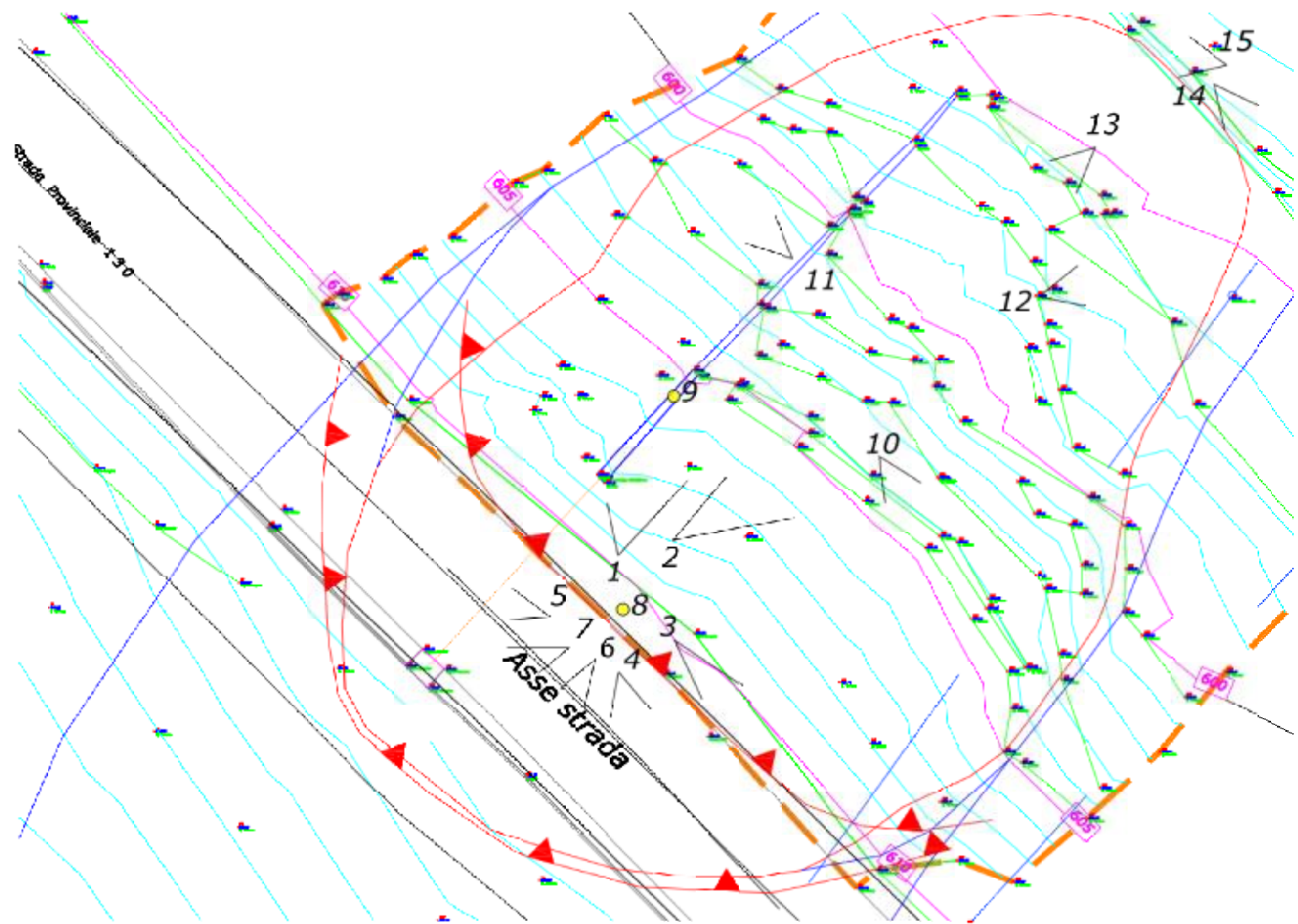


Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6

Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12

Foto 13



Foto 14



Foto 15



Allegato 2

Indagini sismiche



IGETECMA s.a.s. Istituto Sperimentale di Geotecnica e Tecnologia dei Materiali

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 54143 del 07/11/2005 ai sensi della Circolare 08/09/10 n. 7618/STC

Esecuzione e certificazione prove geotecniche – settore A

Laboratorio autorizzato con D.M. n. 162 del 19/04/2011 ai sensi dell'art. 20 della L. n. 1086/71

Prove e controlli su strutture e materiali da costruzione – settore A

Rapporto di Prova n°124/13/S

Montelupo Fiorentino 3/6/2013

SETTORE: Geofisica - sismica down-hole, HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

COMMITTENTE: COMUNE DI BAGNO A RIPOLI

CANTIERE: Strada Provinciale 130 - km 7+200

RIFERIMENTO: 172-173/13

Indice:

Premessa

1. Correlazione tra velocità delle onde sismiche e parametri elastici e geomeccanici
2. Indagine mediante sismica a rifrazione con onde P e SH
 - 2.1. Procedure di campagna
 - 2.2. Metodo di elaborazione dei dati
3. HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)
 - 3.1. Principi teorici
 - 3.2. Acquisizione ed elaborazione
4. Presentazione dei dati
5. Risultati dell'indagine
6. Caratteristiche delle strumentazioni

Il Direttore del Laboratorio

Ing. F. Politi

Il Tecnico

Geol. A. Farolfi

Premessa

Su incarico della A.V.R. S.p.a. è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche in un tratto in frana della Strada Provinciale 130, km 7+ 200. Sono stati eseguiti numero 3 profili di sismica a rifrazione in onde P ed uno in onde SH, utilizzando 24 canali con spaziatura di 3 m e 2.5 m per un totale di 264.5 m di rilievo, e una misura a stazione singola (HVSr).

1. Correlazione fra velocità delle onde sismiche e parametri elastico-dinamici

Secondo i principi dell'elasticità dei materiali e le leggi che associano le deformazioni subite da un corpo agli sforzi ad esso applicati, è possibile stabilire relazione che forniscono i parametri elastici di un materiale conoscendo i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P e di taglio S. Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano sotto l'azione del campo d'onda sismico sono di modesta entità, anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elastici, ed è quindi applicabile la legge di Hook (proporzionalità tra lo sforzo applicato σ_{ij} e la deformazione prodotta ϵ_{kl}) espressa come:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$$

nella quale le costanti di proporzionalità C_{ijkl} sono dette Moduli Elastici. Tali costanti definiscono le proprietà dei materiali, ed assumendo materiali isotropi ed elastici, diminuiscono da 81 a 5, di cui quattro hanno un preciso significato fisico (G , E , K , ν), mentre λ rappresenta una semplificazione nelle formule.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè λ e μ come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono applicate le tensioni o lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$\lambda = (\nu E) / ((1 + \nu)(1 - 2\nu)) \quad \mu = E / 2(1 + \nu)$$

Analogamente i due moduli E e ν possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè:

$$E = \mu(3\lambda + 2\mu) / (\lambda + \mu) \quad \nu = \lambda / 2(\lambda + \mu)$$

Dimensionalmente i moduli elastici G , E , K e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie e sono quindi delle pressioni, mentre il rapporto di Poisson è adimensionale.

La costante E viene definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale rappresenta il modulo elastico del materiale (Modulo di Young). E' importante sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico, non statico, proprio perché tale modulo è ricavato dalle velocità delle onde sismiche.

La misura della resistenza del materiale al taglio viene definita come il rapporto tra deformazione e sforzo applicato, ed è chiamata Modulo di Taglio, **G**.

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica definisce il Modulo di compressione volumetrica o Bulk, **k**. Il Modulo di Poisson **v** è definito come rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale. Un'ultima costante entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità, la densità **ρ** del materiale.

Le velocità sismiche possono essere espresse tramite le costanti elastiche con le seguenti relazioni:

$$V_p = ((\lambda + 2 \nu) / \rho)^{1/2}$$

$$V_s = (\nu / \rho)^{1/2}$$

Pertanto avendo determinato i valori di **V_p** e **V_s** ed il valore **ρ** della densità del materiale attraversato, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche dinamiche che caratterizzano i terreni esaminati con le seguenti relazioni.

$$\nu = ((V_p^2 - 2 V_s^2) / (2 (V_p^2 - V_s^2)))$$

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = 2 \rho V_s^2 (1 + \nu)$$

$$K = (2 \rho V_s^2 (1 + \nu)) / (3 (1 - 2 \nu))$$

Merita di essere ricordato infine che i parametri ricavati da misure dinamiche, cioè mediante l'utilizzo delle velocità delle onde sismiche, hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche di laboratorio proprio per il diverso campo di sforzo applicato e deformazione raggiunta: le intense ma brevi sollecitazioni provocate dalla propagazione delle onde sismiche si mantengono, infatti, nel campo elastico delle deformazioni del materiale, per cui sebbene in teoria il modulo di Poisson sia considerato stress-indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress-dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare, secondo GREGORY (1976), a valori negativi.

I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

Il rapporto fra **V_p** e **V_s** non è costante e dipende dallo stato di saturazione e dalla pressione interstiziale dei pori, in Tabella I sono riportati valori medi delle **V_p** per i principali litotipi e il range di **V_s** relative comprese fra i rapporti di **V_p/V_s** di 1.9 e 3.5; questi valori sono da ritenere indicativi in quanto in particolari condizioni il rapporto **V_p/V_s** può aumentare.

Materiale	V P m/sec	V SH m/sec	
		VP/VSH 1.9 - 3.5	VP/VSH 1.9 - 3.5
Detrito superficiale alterato	300 - 600	86 - 158	171 – 316
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900	143 - 263	257 – 474
Sabbia bagnata	600 - 1800	171 - 316	514 – 947
Argilla	900 - 2700	257 - 474	771 – 1421
Acqua	1430 - 1680	-	-
Arenaria	1800 - 4000	514 - 947	1143 – 2105
Scisti argillosi	2500 - 4200	714 - 1316	1200 – 2211
Calcare	2000 - 6000	571 - 1053	1714 – 3158
Sale	4200 - 5200	1200 - 2211	1486 – 2737
Granito	4000 - 6000	1143 - 2105	1714 - 3158
Rocce metamorfiche	3000 - 7000	857 - 1579	2000 - 3684

Tabella I – Velocità dei principali materiali.

3. Indagine mediante sismica a rifrazione con onde Pe SH

3.1 Procedure di campagna

Vengono stesi i cavi sismici lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite. L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche di compressione può essere effettuata sia mediante massa battente da 5-60 Kg che tramite l'utilizzo del cannone sismico (minibang): l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (*trigger*), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

La produzione di onde di taglio viene effettuata ponendo una trave di legno a diretto contatto con il terreno in senso trasversale al profilo ed energizzando su entrambi i lati dopo averla adeguatamente caricata. Le energizzazioni vengono effettuate, mediante massa battente, alternativamente su entrambi i lati e sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata orizzontalmente che viene generata.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (*end*), esternamente (*offset*) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali).

La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati.

I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

3.2 Metodo di elaborazione dei dati

La procedura d'elaborazione dati consiste di due fasi: la lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata e la loro successiva elaborazione mediante metodi di calcolo.

I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (dromocrone) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica (t_0), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni dello stendimento. Tali diagrammi consentono di determinare, nei punti di flesso, le variazioni di velocità fra i vari strati attraversati dai raggi sismici e, tramite elaborazioni, le profondità a cui si verificano tali variazioni. In Tabella I sono riportate le relazioni tra le velocità medie delle onde sismiche di compressione P e di taglio SH (espresse in m/sec) e le principali litologie, desunte da letteratura.

Il procedimento di elaborazione dei tempi d'arrivo per ottenere le profondità dei rifrattori, utilizza più metodi: il Metodo del tempo di ritardo (*delay time*), il Metodo del tempo di intercetta ed il Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) proposto da Palmer (1980).

Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni (analisi della velocità e tempo-profondità) si determinano le velocità e quindi le profondità dei rifrattori individuati sulle dromocrone.

La funzione di analisi della velocità corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifrattore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche nel rifrattore stesso. Tramite un procedimento di migrazione dei dati, sia la funzione tempo-profondità che quella di analisi della velocità vengono calcolate per distanze intergeofoniche crescenti (da 0 a multipli interi dell'equidistanza dei geofoni): viene scelta poi quella distanza per la quale le curve presentano il miglior andamento rettilineo.

I limiti del metodo a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta; tale situazione è nota come "orizzonte nascosto". Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile. Ambedue le situazioni stratigrafiche portano a sovrastimare o sottostimare lo spessore delle coperture.

Quando da altri rilievi si è a conoscenza della possibile presenza di orizzonti sismici nascosti è possibile, in fase di elaborazione dei dati con il metodo G.R.M., la verifica dello spessore di tali

zone, poiché negli strati nascosti si ha sempre un aumento di velocità con la profondità, ma il loro spessore è sottile e/o il contrasto di velocità con lo strato sottostante è così piccolo, per cui i raggi sismici che partono da questi strati vengono oscurati dai raggi che partono dallo strato sottostante. Gli strati a bassa velocità presentano invece una velocità sismica minore rispetto allo strato sovrastante (inversione di velocità), per cui alla loro interfaccia non si verifica una rifrazione critica e così non vengono evidenziati sul grafico tempo-distanza. L'individuazione di eventuali strati nascosti e/o inversioni di velocità viene effettuata attraverso il confronto fra i valori delle funzioni tempo-velocità misurate e quelle ricalcolate in base al valore di XY utilizzata per l'elaborazione (Palmer 1980).

3 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

3.1 Principi teorici

La tecnica dei rapporti spettrali deriva dal lavoro di Nakamura (1989). La frequenza fondamentale dei terreni è importante al fine di evitare, in caso di sisma, fenomeni di risonanza fra la frequenza degli edifici e la frequenza dei terreni su cui sono poggiati.

Il rapporto fra lo spettro delle componenti orizzontale e verticale dei tremori è una tecnica che permette di valutare alcune caratteristiche dei terreni, principalmente il periodo fondamentale. Nei terreni soffici la componente orizzontale del moto tende ad essere superiore alla componente verticale, mentre in roccia le due componenti tendono ad avere la stessa ampiezza. Il picco di frequenza individuato sulle curve H/V è legato alla velocità delle onde di taglio dalla relazione:

$$f_0 = V_s / (4 * H)$$

dove f_0 è la frequenza, V_s la velocità delle onde di taglio e H lo spessore di sedimenti la cui frequenza di risonanza è f_0 .

La natura della sorgente di energia utilizzata, ovvero il rumore ambientale, non è direttamente riferibile ad un determinato tipo di onde, di compressione, di taglio, rayleigh, per cui va ricordato che non può essere utilizzato direttamente per il calcolo delle onde di taglio e del parametro Vs30 ai fini della categoria di appartenenza. Nel presente lavoro sono state seguite le specifiche definite dal progetto Europeo SESAME (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations) che ha studiato in dettaglio l'uso delle vibrazioni dovute a rumori ambientali per capire gli effetti di sito collegati ad eventi sismici. Come ricordato nel lavoro del progetto SESAME, la caratteristica principale dei rapporti H/V è di essere sperimentali, quindi la scelta in fase di acquisizione dati ed elaborazione, può influenzare il risultato finale. Al fine di limitare questi effetti indesiderati il progetto SESAME ha definito una serie di linee guida per l'acquisizione e l'individuazione delle frequenze fondamentali sulle curve H/V. Di seguito si riporta la tabella di prescrizioni finalizzate alla corretta acquisizione di dati secondo le specifiche del SESAME.

Tipo di parametro	Raccomandazioni principali	
Durata delle registrazioni	Frequenza minima di interesse: 0.2 0.5 1.0 2.0 5.0 10.0	Tempo minimo di registrazione: 30' 20' 10' 10' 5' 2'
Densità spaziale delle misure	<u>Microzonazione</u> : iniziare con una maglia larga (circa 500 m) e in caso di variazioni laterali intensificare le misure fino a 250 m di spaziatura <u>Risposta di sito singola</u> : non usare mai una misura singola, ma almeno tre misure	
Parametri di registrazione	Livellare il sensore come raccomandato dal costruttore. Fissare il gain massimo possibile evitando la saturazione del segnale.	
Accoppiamento sensore terreno	Poggiare il sensore direttamente sul terreno tutte le volte che è possibile Evitare di poggiare il sensore su terreno soffice (fango, erba, etc..) o saturato dalla pioggia.	
Accoppiamento artificiale con il terreno	Evitare di poggiare il sensore su gommapiuma, cartone o simili. Su pendii che non consentono il livellamento del sensore utilizzare un ripiano fatto con sabbia per ottenere una superficie piana. Su neve o ghiaccio utilizzare poggiare il sensore su una piastra metallica per evitare che si inclini a causa dello scioglimento della neve o del ghiaccio.	
Prossimità di strutture	Evitare di effettuare le registrazioni in prossimità di strutture come edifici e alberi alti, soprattutto in caso di vento (con velocità superiore a 5 m/s), possono inserire picchi a bassa frequenza nelle registrazioni. Evitare di effettuare le registrazioni al di sopra di tubature o vani interrati.	
Condizioni meteorologiche	<u>Vento</u> : proteggere il sensore dal vento. <u>Pioggia</u> : evitare le registrazioni in caso di pioggia forte. <u>Temperatura</u> : controllare le indicazioni del costruttore riguardo gli shock termici. <u>Perturbazioni meteorologiche</u> : indicare se le registrazioni sono state effettuate in un periodo di bassa pressione.	
Disturbi	<u>Sorgenti monocromatiche</u> : evitare di registrare in prossimità di macchine da cantiere, pompe idrauliche, generatori, etc... etc... <u>Transienti</u> : in caso di presenza di eventi transienti (traffico, pedoni, etc ...) si raccomanda di aumentare la durata delle registrazioni al fine di ottenere un numero sufficiente di finestre prive di transienti.	

Tabella - II

3.2 Acquisizione ed elaborazione

L'acquisizione del rumore ambientale è stata effettuata con una stazione singola composta da tre velocimetri, geofoni, con frequenza naturale di 2 Hz, di cui uno verticale e due orizzontali, disposti in direzioni perpendicolari fra loro. La registrazione effettuata ha avuto una durata di 40 m per

ovviare a qualsiasi perturbazione transiente. La registrazione è stata poi suddivisa in finestre della lunghezza di 50 s. Le finestre sono state filtrate per eliminare quelle che presentavano un alto rapporto segnale/rumore. Delle singole finestre è stato calcolato lo spettro di Fourier per le tre componenti. I singoli spettri sono stati lisciati con il metodo di Konno & Homaci e successivamente è stato effettuato il rapporto fra le componenti orizzontali e quella verticale per ogni singola finestra. In relazione vengono riportate le registrazioni effettuate e le finestre scelte per l'elaborazione, i rapporti H/V per ogni singola finestra e la curva media risultante. Per ogni stazione è stato calcolato anche l'angolo di arrivo delle componenti del rumore, per valutare se il picco individuato è fonte di un rumore direzionale o se è generato da vibrazioni che provengono da tutte le direzioni.

Per valutare in maniera obiettiva il picco di frequenza e la sua qualità il progetto SESAME stabilisce una serie di criteri che devono essere rispettati:

Criteria for a reliable H/V curve

i) $f_0 > 10 / l_w$
and

ii) $n_c(f_0) > 200$
and

iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)

i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$

ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$

iii) $A_0 > 2$

iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f^- = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
- f^+ = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{\min} = lower-bound estimate of h

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

Tabella – III

5 Presentazione dei dati

Nella presente relazione vengono forniti i seguenti elaborati:

- Ubicazione delle indagini su cartografia CTR con base 2000 e 10000
- Sismica a rifrazione onde P e SH

- Sezioni sismiche e sismostratigrafiche
- Grafici delle dromocrone dei tempi di primo arrivo
- Tabulati dei tempi di arrivo, delle velocità, delle profondità e dei parametri elastico-dinamici
- ▶ Down Hole
 - tabulati numerici dei tempi d'arrivo, delle velocità sismiche e dei parametri elastici dinamici
 - grafici delle dromocrone dei tempi di arrivo e delle velocità V_p e V_{sh}
 - registrazioni di campagna effettuate e rimontate separatamente per le onde P ed SH
- ▶ HVSR
 - Registrazioni delle misure a stazione singola con suddivisione delle finestre di elaborazione
 - Curve dei rapporti H/V per tutte le finestre utilizzate
 - Curva media risultante con individuazione del picco di frequenza
 - Grafico ampiezza del rapporto H/V azimuth di provenienza

6 Risultati dell'indagine

Il profilo Ps1 (69 m – onde P) è stato eseguito a monte del dissesto, il profilo Ps2 (57.5 m – onde P) è stato eseguito perpendicolarmente alla sede stradale, il profilo Ps3 (69 m onde P) è stato eseguito lungo la sede stradale sul lato a valle e il profilo Ps4 (69 m onde SH) è stato eseguito lungo la sede stradale sul lato monte. L'indagine sismica a rifrazione a messo in evidenza la presenza di tre orizzonti sismici principali con le seguenti classi di velocità:

Onde P	Onde SH
V1 = 197 - 559 m/s	74 - 210 m/s
V2 = 910 - 1264 m/s	400 m/s
V3 = 2562 - 3102 m/s	1168 - 1257 m/s

Il primo orizzonte con uno spessore compreso fra 0.4 e 6.7 m è riferibile al terreno naturale ed ai materiali di riporto. Il secondo orizzonte sismico, con spessori da 0.9 m a 9.5 m raggiunge profondità comprese fra 1.6 m e 11.9 m ed è riferibile a depositi di argille sabbiose sabbie argillose. Il terzo orizzonte sismico può essere correlato con il passaggio al substrato litoide, formazione di Monte Morello.

Le due prove a stazione singola (HVSR) mostrano entrambe un picco principale con frequenza di 10.38 Hz, compatibile con lo spessore e le velocità dei depositi al di sopra del substrato.

7 Normativa sismica e calcolo del parametro V_{s30}

L'Ordinanza P.C.M. n°3274/03 istituisce diverse categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto. Tali categorie vengono definite in base al calcolo del parametro V_{s30} che è dato da:

$$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i/V_i)$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio SH (in m/sec.) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Categorie di Suolo di Fondazione	V_s 30 m/s	N_{spt} - C_u
A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	$V_{s30} > 800$	
B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero $N_{spt30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine)	$360 < V_{s30} < 800$	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} < 360$	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/sec (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s30} < 180$	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
E Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con $V_s > 800$ m/sec.	$V_{s30} < 360$	
S1 Depositati costituiti da V_{s30} inferiori a 100m/s (ovvero $10 < c_u < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s30} < 100$	$10 < C_u < 20$ kPa
S2 Depositati di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

Tabella IV – Categorie di suolo di fondazione

L'attribuzione della categoria di suolo non si limita al calcolo del parametro V_{s30} ma deve essere correlata alla situazione geologica con particolare attenzione ai litotipi e ai loro spessori, deve inoltre essere effettuato a partire dal piano di fondazione della struttura a cui la categoria verrà

applicata. Di seguito vengono elencati in via preliminare i calcoli del parametro Vs30 effettuati da piano campagna e alcune considerazioni introduttive a quella che, in prima approssimazione può essere la categoria di suolo che da tali parametri deriva. Il valore di Vs30 calcolato nel profilo Ps4 è di 732 m/s. Essendo in presenza di un forte contrasto di velocità, fra i materiali superficiali con VS minore di 360 m/s e il substrato litoide con VS maggiore di 800 m/s, la zona in esame rientra nella categoria E dei suoli di fondazione.

8 Caratteristiche della strumentazione

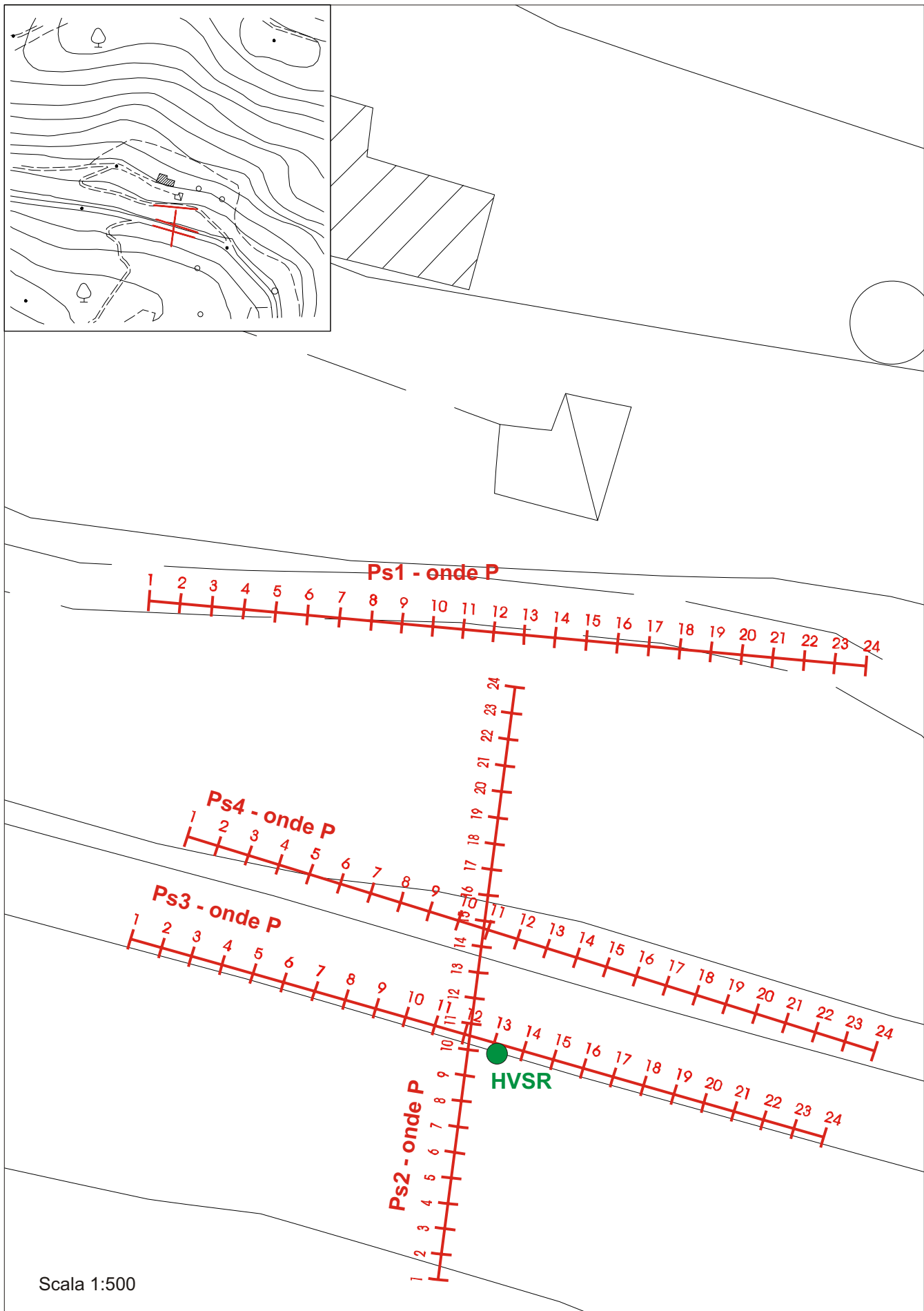
→ Sismografo GEODE 48 canali (2 moduli a 24 canali) con Controller Stratavisor NZC:

- risoluzione segnale A/D 24 bit;
- escursione dinamica 144 dB, 110 dB istantanea a 2 ms;
- passo di campionamento da 0.02 a 16 ms indipendente dal tempo d'acquisizione;
- fino a 64.000 campioni per traccia;
- distorsione 0.0005% a 2ms, 1.75 – 208 Hz;
- amplificazione del segnale da 0 a 36 dB;
- filtri anti-aliasing a 90 dB della frequenza di Nyquist;
- filtri digitali low-cut, high-cut, notch;
- precisione trigger in sommatoria 1/32 del passo di campionamento;
- pre-trigger fino a 4096 campioni, delay sino a 1.000 ms;
- salvataggio dati in formato SEG-2 su hard-disk incorporato;
- sistema di starter (trigger) mediante accelerometro;
- energizzazione mediante mazza da 5 Kg, minibang, grave da 60 kg, pendolo da 30 kg

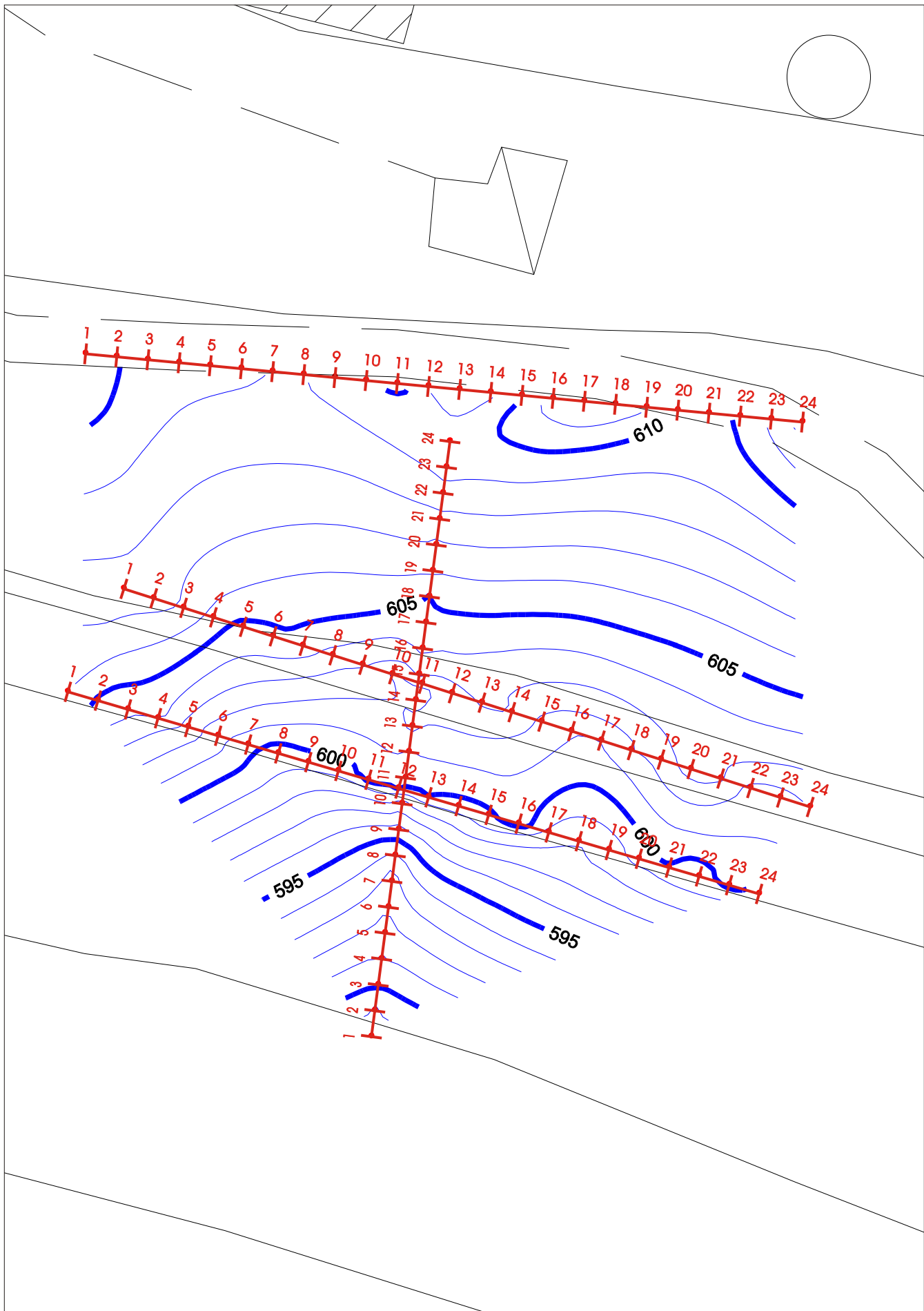
→ HVSR

- Sistema di acquisizione modulare della SARA ELECTRONICS così configurato:
- Digitalizzatore 24 bit, 3 canali
- Range di ingresso 2 V peak-to-peak
- Filtro antialias 1 pole 8.8 Hz standard
- Soglia di rumore ≤ -124 dB @ 100 SPS
- Sensore composto da tripletta di geofoni con frequenza propria di **2 Hz**

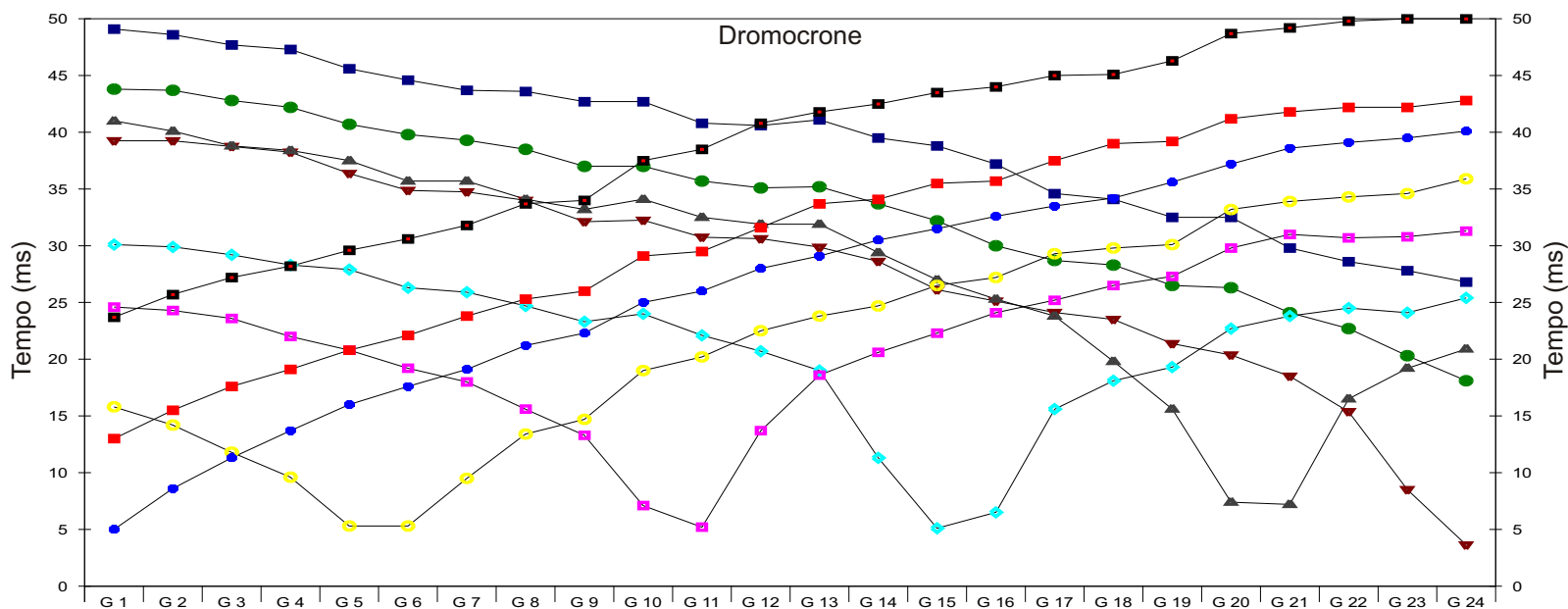
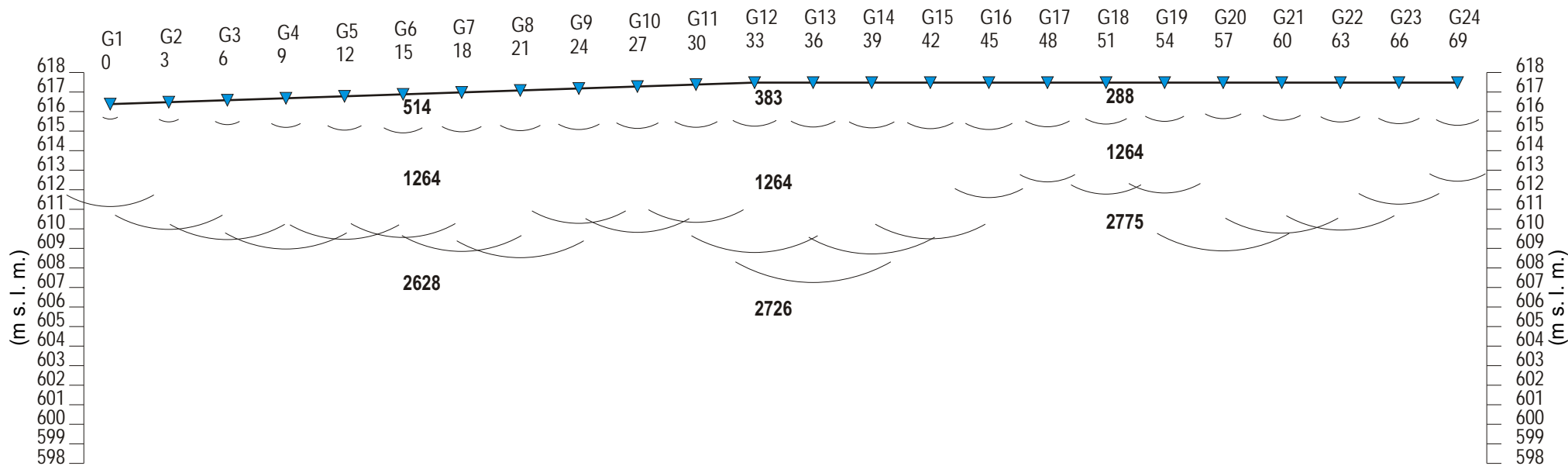
Ubicazione delle indagini






Isoipse della quota del substrato



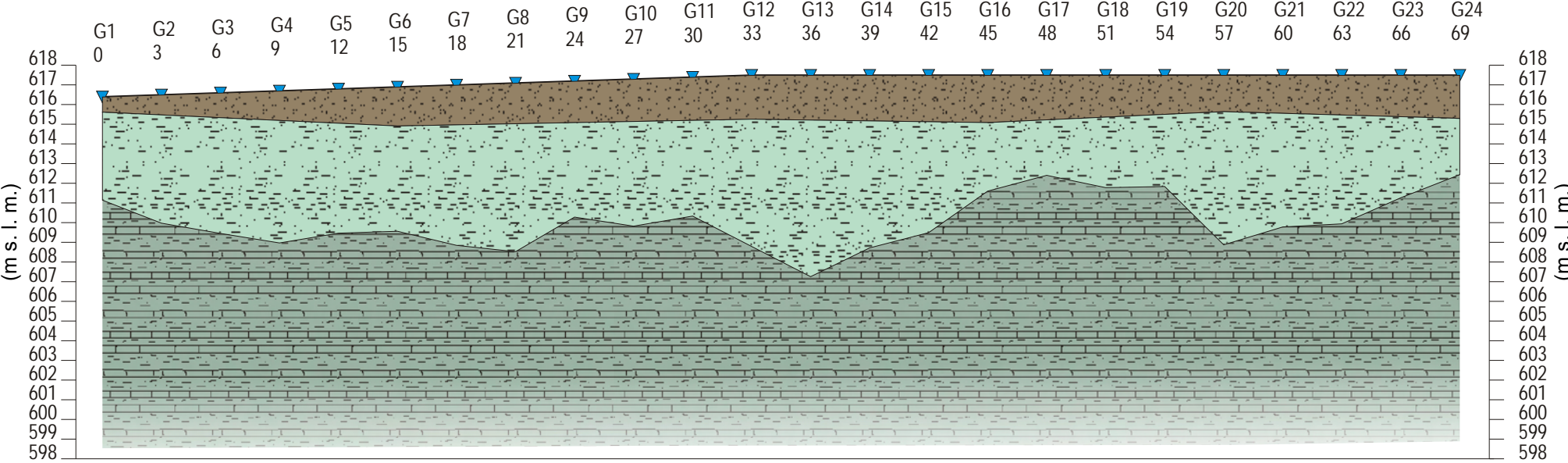
Profilo di sismica a Rifrazione Ps1 - onde P



Legenda


-  Geofono
-  Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1326** Velocità in m/sec.
-  Contatti tettonici
Faglie presunte
- Scala 1:300


Ps1 - onde P- Interpretazione sismostratigrafica




Z1 (m)	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.3	2.1	2.0	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
Z2 (m)	4.5	5.5	5.9	6.2	5.6	5.3	6.1	6.5	4.8	5.3	4.9	6.5	8.0	6.5	5.6	3.5	2.8	3.6	3.7	6.8	5.8	5.5	4.1	2.9
H2 (m)	5.2	6.5	7.1	7.7	7.3	7.3	8.1	8.6	6.9	7.5	7.0	8.7	10.2	8.8	8.0	5.9	5.1	5.7	5.6	8.6	7.7	7.5	6.2	5.0
V1 (m/s)	300	356	412	468	491	514	536	559	338	353	368	383	398	370	343	316	288	288	288	319	349	380	380	380
V2 (m/s)	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264	1264
V3 (m/s)	2651	2651	2651	2651	2628	2628	2628	2628	2628	2628	2628	2726	2726	2726	2726	2726	2775	2775	2651	2651	2651	2651	2651	2651

Legenda:

 Terreno naturale, riporto

 Sabbia argillosa / Argilla sabbiosa

 Marne calcaree

Scala 1:300

Z = Spessore dell'orizzonte
H = Profondità dell'orizzonte
V = Velocità dell'orizzonte
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Dati Ps1 - onde P

Geo. N °	ShotA ms	ShotB ms	ShotC ms	ShotD ms	ShotE ms	ShotF ms	ShotG ms	ShotH ms	ShotI ms	ShotJ ms
1	23.7	13	5	15.8	24.6	30.1	41	39.25	43.8	49.1
2	25.7	15.5	8.6	14.2	24.3	29.9	40.1	39.25	43.7	48.6
3	27.2	17.6	11.3	11.8	23.6	29.2	38.8	38.75	42.8	47.7
4	28.2	19.1	13.7	9.6	22	28.3	38.4	38.25	42.2	47.3
5	29.6	20.8	16	5.3	20.8	27.9	37.5	36.37	40.7	45.6
6	30.6	22.1	17.6	5.3	19.2	26.3	35.7	34.87	39.8	44.6
7	31.8	23.8	19.1	9.5	18	25.9	35.7	34.75	39.3	43.7
8	33.7	25.3	21.2	13.4	15.6	24.7	34.1	34	38.5	43.6
9	34	26	22.3	14.7	13.3	23.3	33.2	32.12	37	42.7
10	37.5	29.1	25	19	7.1	24	34.1	32.25	37	42.7
11	38.5	29.5	26	20.2	5.2	22.1	32.5	30.75	35.7	40.8
12	40.8	31.6	28	22.5	13.7	20.7	31.9	30.62	35.1	40.6
13	41.8	33.7	29.1	23.8	18.6	19	31.9	29.87	35.2	41.1
14	42.5	34.1	30.5	24.7	20.6	11.3	29.4	28.62	33.7	39.5
15	43.5	35.5	31.5	26.5	22.3	5.1	27	26.12	32.2	38.8
16	44	35.7	32.6	27.2	24.1	6.5	25.3	25.12	30	37.2
17	45	37.5	33.5	29.3	25.2	15.6	23.8	24.12	28.7	34.6
18	45.1	39	34.2	29.8	26.5	18.1	19.8	23.5	28.3	34.1
19	46.3	39.2	35.6	30.1	27.3	19.3	15.6	21.37	26.5	32.5
20	48.7	41.2	37.2	33.2	29.8	22.7	7.4	20.37	26.3	32.5
21	49.2	41.8	38.6	33.9	31	23.8	7.2	18.5	24.1	29.8
22	49.8	42.2	39.1	34.3	30.7	24.5	16.5	15.37	22.7	28.6
23	50	42.2	39.5	34.6	30.8	24.1	19.2	8.5	20.3	27.8
24	50	42.8	40.1	35.9	31.3	25.4	20.9	3.62	18.1	26.8
Geo. N °	Dist. m	Q m slm	V1 m/sec.	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/sec.	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/sec.
1	0	616.4	300	0.8	615.6	1264	4.5	5.2	611.2	2651
2	3	616.5	356	1.0	615.5	1264	5.5	6.5	610.0	2651
3	6	616.6	412	1.2	615.4	1264	5.9	7.1	609.5	2651
4	9	616.7	468	1.5	615.2	1264	6.2	7.7	609.0	2651
5	12	616.8	491	1.7	615.1	1264	5.6	7.3	609.5	2628
6	15	616.9	514	2.0	614.9	1264	5.3	7.3	609.6	2628
7	18	617.0	536	2.0	615.0	1264	6.1	8.1	608.9	2628
8	21	617.1	559	2.1	615.0	1264	6.5	8.6	608.5	2628
9	24	617.2	338	2.1	615.1	1264	4.8	6.9	610.3	2628
10	27	617.3	353	2.1	615.2	1264	5.3	7.5	609.8	2628
11	30	617.4	368	2.2	615.2	1264	4.9	7.0	610.4	2628
12	33	617.5	383	2.2	615.3	1264	6.5	8.7	608.8	2726
13	36	617.5	398	2.3	615.2	1264	8.0	10.2	607.3	2726
14	39	617.5	370	2.3	615.2	1264	6.5	8.8	608.7	2726
15	42	617.5	343	2.4	615.1	1264	5.6	8.0	609.5	2726
16	45	617.5	316	2.4	615.1	1264	3.5	5.9	611.6	2726
17	48	617.5	288	2.3	615.2	1264	2.8	5.1	612.4	2775
18	51	617.5	288	2.1	615.4	1264	3.6	5.7	611.8	2775
19	54	617.5	288	2.0	615.5	1264	3.7	5.6	611.9	2651
20	57	617.5	319	1.8	615.7	1264	6.8	8.6	608.9	2651
21	60	617.5	349	1.9	615.6	1264	5.8	7.7	609.8	2651
22	63	617.5	380	2.0	615.5	1264	5.5	7.5	610.0	2651
23	66	617.5	380	2.1	615.4	1264	4.1	6.2	611.3	2651
24	69	617.5	380	2.2	615.3	1264	2.9	5.0	612.5	2651

Legenda:

Z = Spessore dell'orizzonte

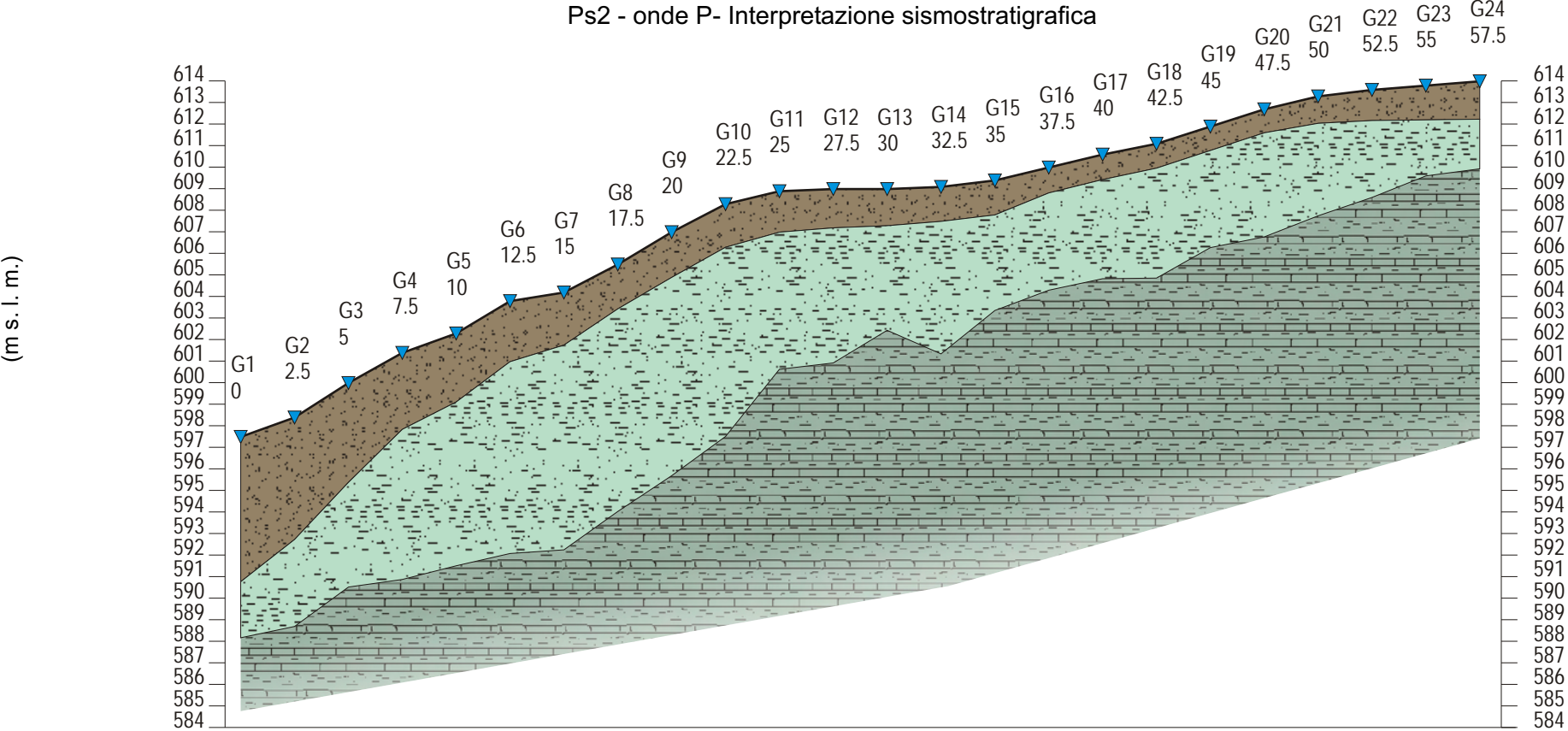
H = profondità dell'orizzonte

V = Velocità dell'orizzonte

Q = Quota del geofono in m s. l. m.

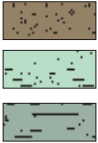


Ps2 - onde P- Interpretazione sismostratigrafica



Z1 (m)	6.7	5.7	4.6	3.5	3.2	2.8	2.4	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8
Z2 (m)	2.6	4.0	4.9	7.0	7.6	8.9	9.5	9.4	9.2	8.8	6.4	6.3	4.9	6.1	4.4	4.5	4.6	5.1	4.5	4.8	4.3	3.6	2.6	2.3
H2 (m)	9.3	9.7	9.5	10.5	10.8	11.7	11.9	11.5	11.3	10.8	8.3	8.1	6.6	7.7	6.0	5.7	5.8	6.2	5.6	5.9	5.5	5.0	4.2	4.1
V1 (m/s)	511	482	453	424	395	366	336	306	276	246	216	228	241	253	202	200	310	469	433	398	362	326	286	286
V2 (m/s)	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910	910
V3 (m/s)	2562	2562	2562	2764	2828	3077	3077	3077	3077	3077	3077	3077	3077	3075	2731	2603	2603	2603	2603	2754	2919	2919	2919	2919

Legenda:



Terreno naturale, riporto
Sabbia argillosa / Argilla sabbiosa
Marne calcaree

Scala 1:300
Z = Spessore dell'orizzonte
H = Profondità dell'orizzonte
V = Velocità dell'orizzonte
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Dati Ps2 - onde P

Geo. N °	ShotA ms	ShotB ms	ShotC ms	ShotD ms	ShotE ms	ShotF ms	ShotG ms	ShotH ms	ShotI ms	
1	28.8	6.7	17.1	36.7	37	37	41	43.1	55.2	
2	32.3	14.1	14.8	38	38.1	38.7	42.5	44	57.2	
3	32.8	17	9.8	34.3	36.4	36.7	40.7	42.7	54.2	
4	35.3	21.2	4.5	31.3	33.7	34.5	38.3	41.3	52.7	
5	35.3	25.8	6	28.3	31.9	32.5	35.8	38.8	51	
6	39.5	31.6	17.5	29.5	33.8	36.3	39	42.1	54.2	
7	40.2	34.5	22.8	24.1	32.8	34.7	38.2	40.9	53.1	
8	41	36.5	25.7	15.2	32.5	33.5	38.1	41	53.3	
9	42.5	38.3	28.7	7.8	31.8	32.2	37.3	39.5	52.8	
10	43	40.1	31.3	6.8	29.8	30.6	36.3	38.7	51	
11	40.7	38.5	30	17.3	25.8	27.5	31.8	35.4	48.1	
12	40.6	38.7	31.1	20.8	23.5	26	30.2	33.4	46.3	
13	39.5	37.6	31.2	26.3	18.6	22.5	27	30.1	42.5	
14	40.5	37.7	32.7	30.8	14.8	23.3	27.2	30.7	42.5	
15	40	38.5	33	30.8	8.3	22	27.1	30.9	42.3	
16	39.3	37.2	32	29.6	8.2	18.1	24.6	27.4	39.2	
17	38.3	36.1	31.2	28.7	12.4	14.8	21	24.3	36	
18	38.2	36.5	30.7	28.8	15.2	13.3	19.1	22.5	34.6	
19	39.1	36.5	31.2	29.7	17.3	9.8	17	20.1	33.2	
20	41.1	38	32.5	30.1	19.7	5.3	17	19.9	31.7	
21	41.8	39	34.3	31.3	21.5	5.6	15.7	19.6	31.5	
22	42.7	39.6	36	32.6	23	11.5	15.1	19.1	30.8	
23	43.7	40.1	35.8	34.7	24	13.7	13.1	18	29.8	
24	43.7	41.5	37.8	36.5	25.9	16.1	7.2	16.6	28.8	
Geo. N °	Dist. m	Q m slm	V1 m/sec.	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/sec.	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/sec.
1	0.0	597.5	511	6.7	590.8	910	2.6	9.3	588.2	2562
2	2.5	598.4	482	5.7	592.7	910	4.0	9.7	588.7	2562
3	5.0	600.0	453	4.6	595.4	910	4.9	9.5	590.5	2562
4	7.5	601.4	424	3.5	597.9	910	7.0	10.5	590.9	2764
5	10.0	602.3	395	3.2	599.1	910	7.6	10.8	591.5	2828
6	12.5	603.8	366	2.8	601.0	910	8.9	11.7	592.1	3077
7	15.0	604.2	336	2.4	601.8	910	9.5	11.9	592.3	3077
8	17.5	605.5	306	2.1	603.4	910	9.4	11.5	594.0	3077
9	20.0	607.0	276	2.1	604.9	910	9.2	11.3	595.7	3077
10	22.5	608.3	246	2.0	606.3	910	8.8	10.8	597.5	3077
11	25.0	608.9	216	1.9	607.0	910	6.4	8.3	600.6	3077
12	27.5	609.0	228	1.8	607.2	910	6.3	8.1	600.9	3077
13	30.0	609.0	241	1.7	607.3	910	4.9	6.6	602.4	3077
14	32.5	609.1	253	1.6	607.5	910	6.1	7.7	601.4	3075
15	35.0	609.4	202	1.6	607.8	910	4.4	6.0	603.4	2731
16	37.5	610.0	200	1.2	608.8	910	4.5	5.7	604.3	2603
17	40.0	610.6	310	1.2	609.4	910	4.6	5.8	604.8	2603
18	42.5	611.1	469	1.1	610.0	910	5.1	6.2	604.9	2603
19	45.0	611.9	433	1.1	610.8	910	4.5	5.6	606.3	2603
20	47.5	612.7	398	1.1	611.6	910	4.8	5.9	606.8	2754
21	50.0	613.3	362	1.2	612.0	910	4.3	5.5	607.8	2919
22	52.5	613.6	326	1.4	612.2	910	3.6	5.0	608.6	2919
23	55.0	613.8	286	1.6	612.2	910	2.6	4.2	609.6	2919
24	57.5	614.0	286	1.8	612.2	910	2.3	4.1	609.9	2919

Legenda:

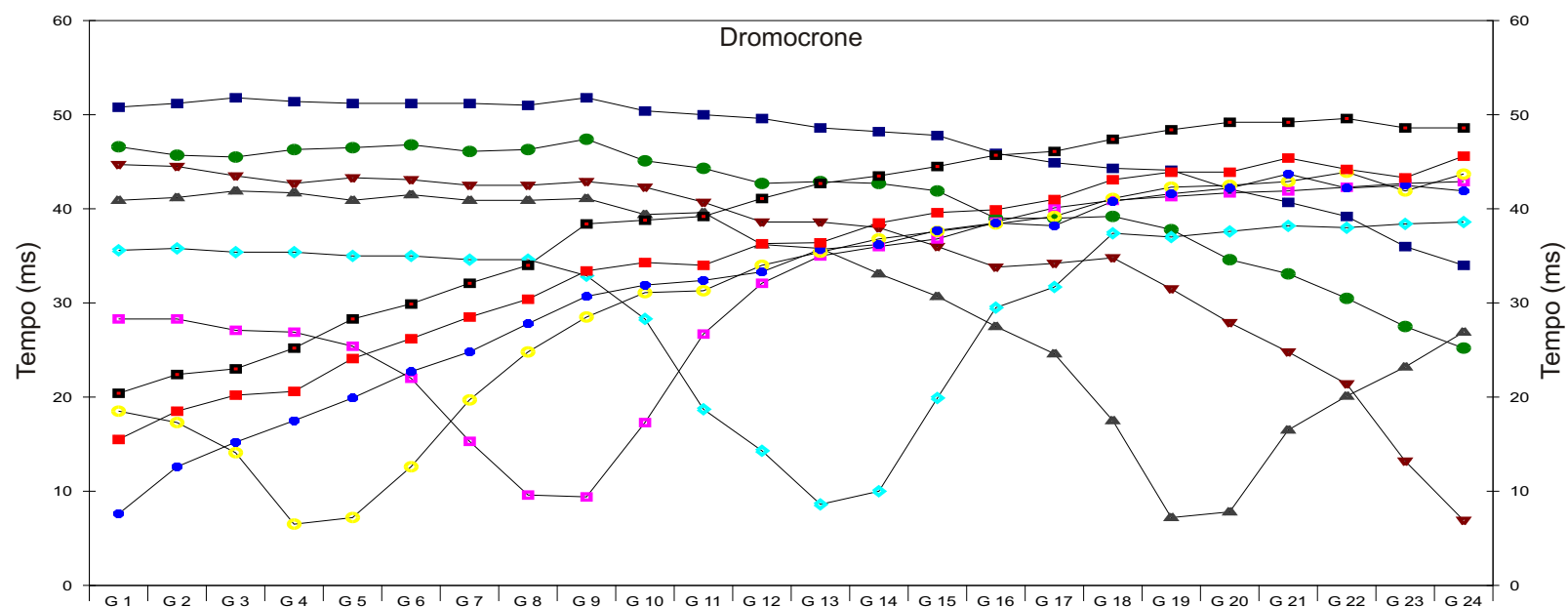
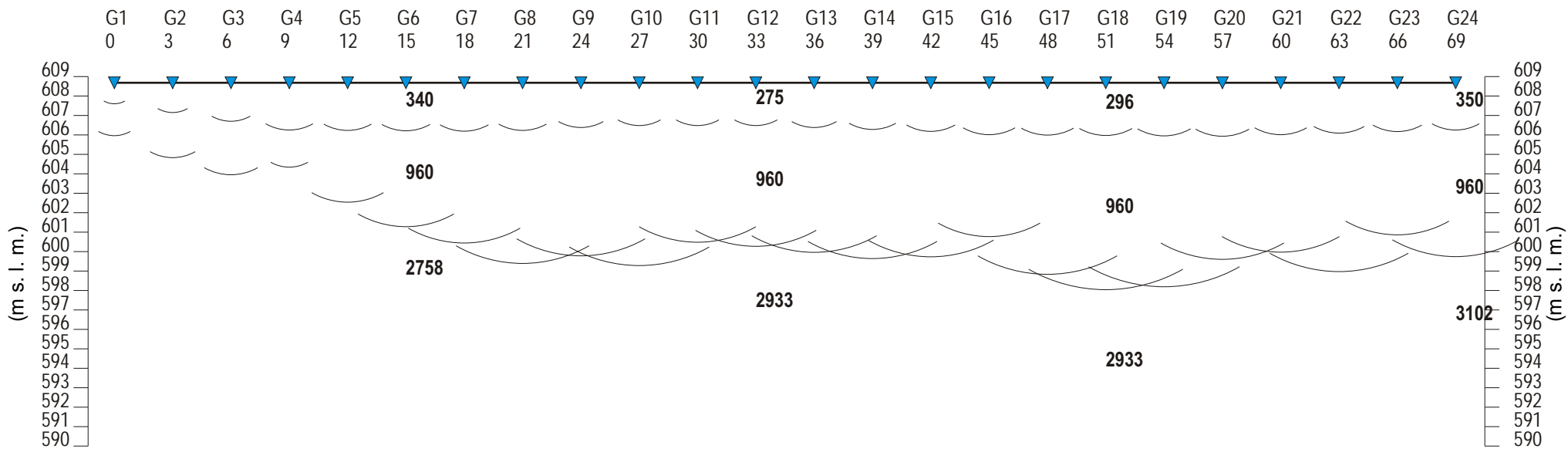
Z = Spessore dell'orizzonte

H = profondità dell'orizzonte

V = Velocità dell'orizzonte

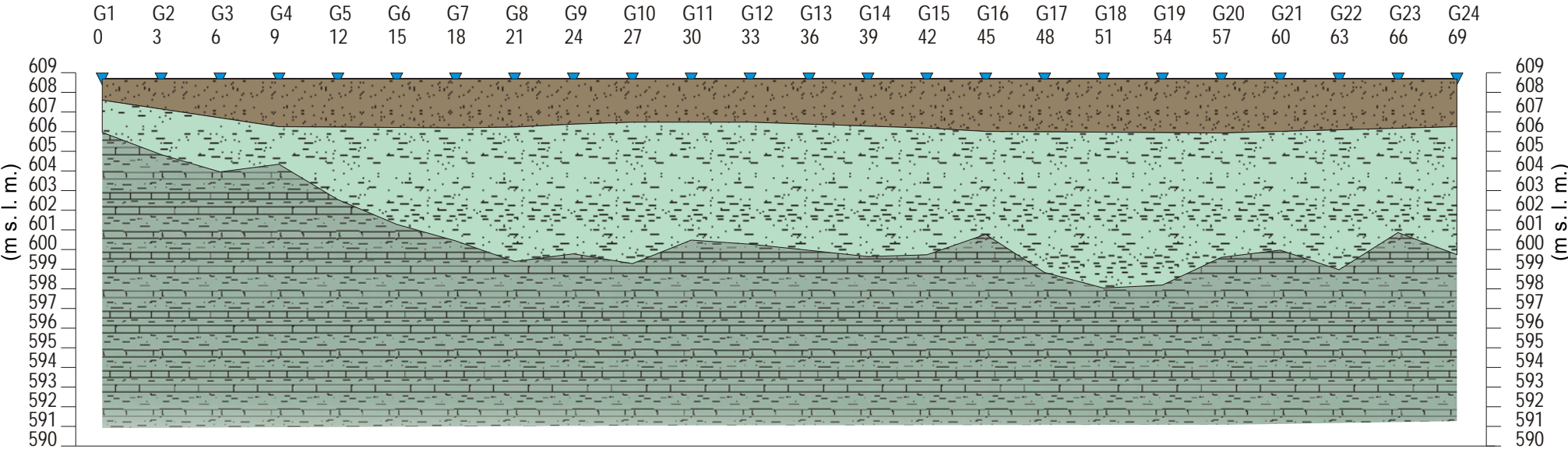
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Profilo di sismica a Rifrazione Ps3 - onde P




- Legenda
- Geofono
 - Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
 - 1326 Velocità in m/sec.
 - Contatti tettonici
 - Faglie presunte
 - Scala 1:300


Ps3 - onde P- Interpretazione sismostratigrafica




Z1 (m)	1.1	1.5	2.0	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
Z2 (m)	1.6	2.3	2.8	1.9	3.7	4.9	5.8	6.8	6.6	7.2	6.0	6.2	6.4	6.6	6.4	5.2	7.2	7.9	7.8	6.3	6.0	7.1	5.3	6.5
H2 (m)	2.7	3.8	4.7	4.3	6.1	7.4	8.2	9.3	8.9	9.4	8.2	8.4	8.7	9.0	8.9	7.9	9.9	10.6	10.5	9.1	8.7	9.7	7.8	8.9
V1 (m/s)	197	258	319	326	333	340	340	340	330	305	280	275	270	264	259	254	304	296	288	280	272	350	350	350
V2 (m/s)	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
V3 (m/s)	2895	2895	2895	2758	2758	2758	2814	2814	2852	2933	2933	2933	2933	2933	2933	2933	2933	2933	3010	2970	2970	2970	2970	3102

Legenda:

 Terreno naturale, riporto

 Sabbia argillosa / Argilla sabbiosa

 Marne calcaree

Scala 1:300

Z = Spessore dell'orizzonte
H = Profondità dell'orizzonte
V = Velocità dell'orizzonte
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Dati Ps3 - onde P

Geo. N °	ShotA ms	ShotB ms	ShotC ms	ShotD ms	ShotE ms	ShotF ms	ShotG ms	ShotH ms	ShotI ms	ShotJ ms
1	20.4	15.5	7.6	18.5	28.3	35.6	40.9	44.7	46.6	50.8
2	22.4	18.5	12.6	17.3	28.3	35.8	41.2	44.5	45.7	51.2
3	23	20.2	15.2	14.1	27.1	35.4	41.9	43.5	45.5	51.8
4	25.2	20.6	17.5	6.5	26.9	35.4	41.7	42.7	46.3	51.4
5	28.3	24.1	19.9	7.2	25.4	35	40.9	43.3	46.5	51.2
6	29.9	26.2	22.7	12.6	22	35	41.5	43.1	46.8	51.2
7	32.1	28.5	24.8	19.7	15.3	34.6	40.9	42.5	46.1	51.2
8	34	30.4	27.8	24.8	9.6	34.6	40.9	42.5	46.3	51
9	38.4	33.4	30.7	28.5	9.4	32.9	41.1	42.9	47.4	51.8
10	38.8	34.3	31.9	31.1	17.3	28.3	39.4	42.3	45.1	50.4
11	39.2	34	32.4	31.3	26.7	18.7	39.6	40.7	44.3	50
12	41.1	36.3	33.3	34	32.1	14.3	36.2	38.6	42.7	49.6
13	42.7	36.4	35.7	35.4	35	8.6	35.8	38.6	42.9	48.6
14	43.5	38.5	36.2	36.8	36	10	33.1	38	42.7	48.2
15	44.5	39.6	37.7	37.6	36.8	19.9	30.7	36	41.9	47.8
16	45.7	39.9	38.5	38.4	38.6	29.5	27.5	33.8	39	45.9
17	46.1	41	38.2	39.2	40.1	31.7	24.6	34.2	39	44.9
18	47.4	43.1	40.8	41.1	40.9	37.4	17.5	34.8	39.2	44.3
19	48.4	43.9	41.6	42.3	41.3	37	7.2	31.5	37.8	44.1
20	49.2	43.9	42.2	42.5	41.7	37.6	7.8	27.9	34.6	42.1
21	49.2	45.4	43.7	42.9	41.9	38.2	16.5	24.8	33.1	40.7
22	49.6	44.2	42.2	43.9	42.3	38	20.1	21.4	30.5	39.2
23	48.6	43.3	42.5	41.9	42.7	38.4	23.2	13.2	27.5	36
24	48.6	45.6	41.9	43.7	42.9	38.6	26.9	6.9	25.2	34
Geo. N °	Dist. m	Q m slm	V1 m/sec.	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/sec.	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/sec.
1	0	608.7	197	1.1	607.6	960	1.6	2.7	606.0	2895
2	3	608.7	258	1.5	607.2	960	2.3	3.8	604.9	2895
3	6	608.7	319	2.0	606.7	960	2.8	4.7	604.0	2895
4	9	608.7	326	2.4	606.3	960	1.9	4.3	604.4	2758
5	12	608.7	333	2.5	606.2	960	3.7	6.1	602.6	2758
6	15	608.7	340	2.5	606.2	960	4.9	7.4	601.3	2758
7	18	608.7	340	2.5	606.2	960	5.8	8.2	600.5	2814
8	21	608.7	340	2.5	606.2	960	6.8	9.3	599.4	2814
9	24	608.7	330	2.3	606.4	960	6.6	8.9	599.8	2852
10	27	608.7	305	2.2	606.5	960	7.2	9.4	599.3	2933
11	30	608.7	280	2.2	606.5	960	6.0	8.2	600.5	2933
12	33	608.7	275	2.2	606.5	960	6.2	8.4	600.3	2933
13	36	608.7	270	2.3	606.4	960	6.4	8.7	600.0	2933
14	39	608.7	264	2.4	606.3	960	6.6	9.0	599.7	2933
15	42	608.7	259	2.5	606.2	960	6.4	8.9	599.8	2933
16	45	608.7	254	2.7	606.0	960	5.2	7.9	600.8	2933
17	48	608.7	304	2.7	606.0	960	7.2	9.9	598.8	2933
18	51	608.7	296	2.7	606.0	960	7.9	10.6	598.1	2933
19	54	608.7	288	2.7	606.0	960	7.8	10.5	598.2	3010
20	57	608.7	280	2.8	606.0	960	6.3	9.1	599.6	2970
21	60	608.7	272	2.7	606.0	960	6.0	8.7	600.0	2970
22	63	608.7	350	2.6	606.1	960	7.1	9.7	599.0	2970
23	66	608.7	350	2.5	606.2	960	5.3	7.8	600.9	2970
24	69	608.7	350	2.4	606.3	960	6.5	8.9	599.8	3102

Legenda:

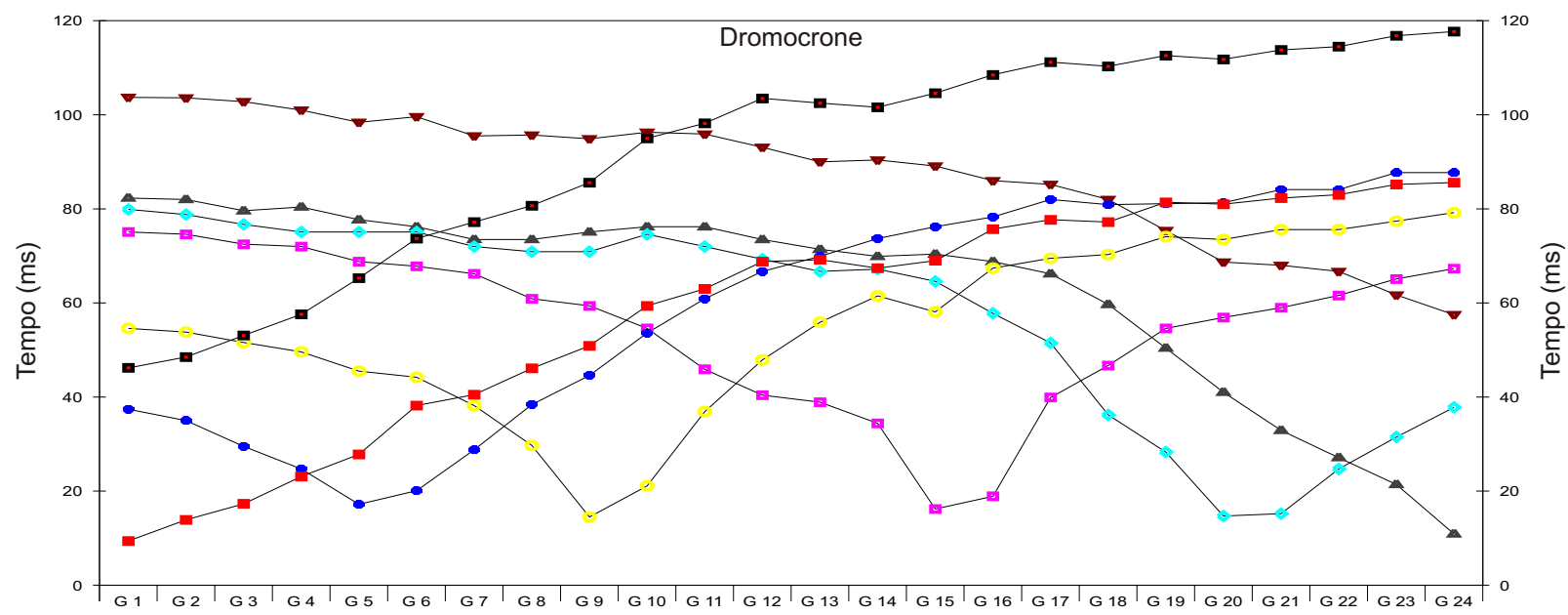
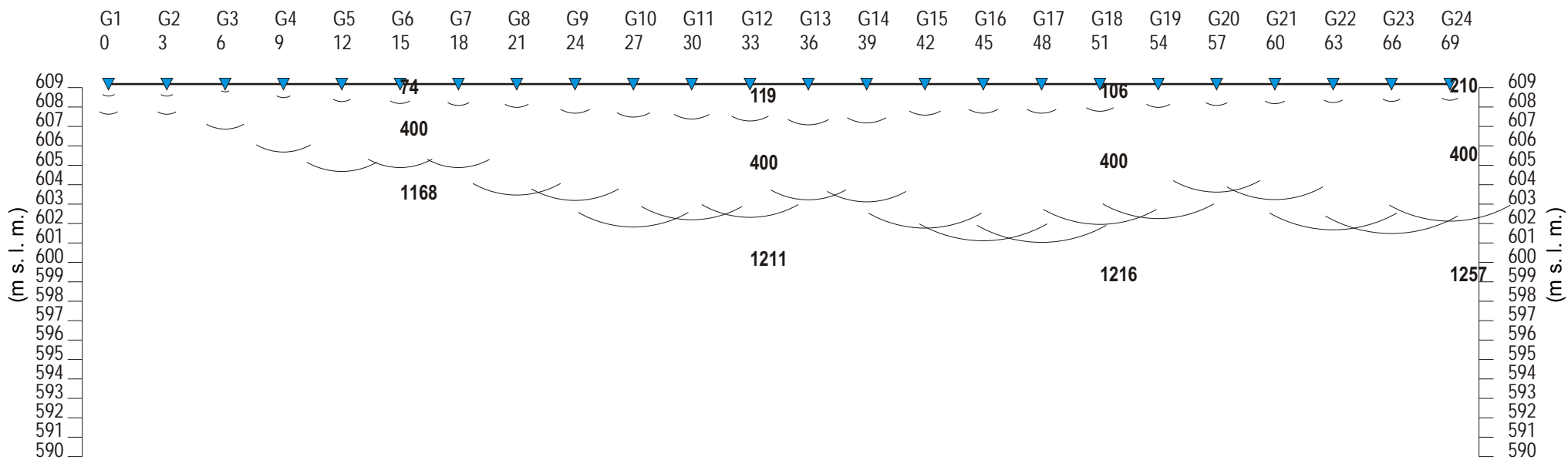
Z = Spessore dell'orizzonte

H = profondità dell'orizzonte

V = Velocità dell'orizzonte

Q = Quota del geofono in m s. l. m.

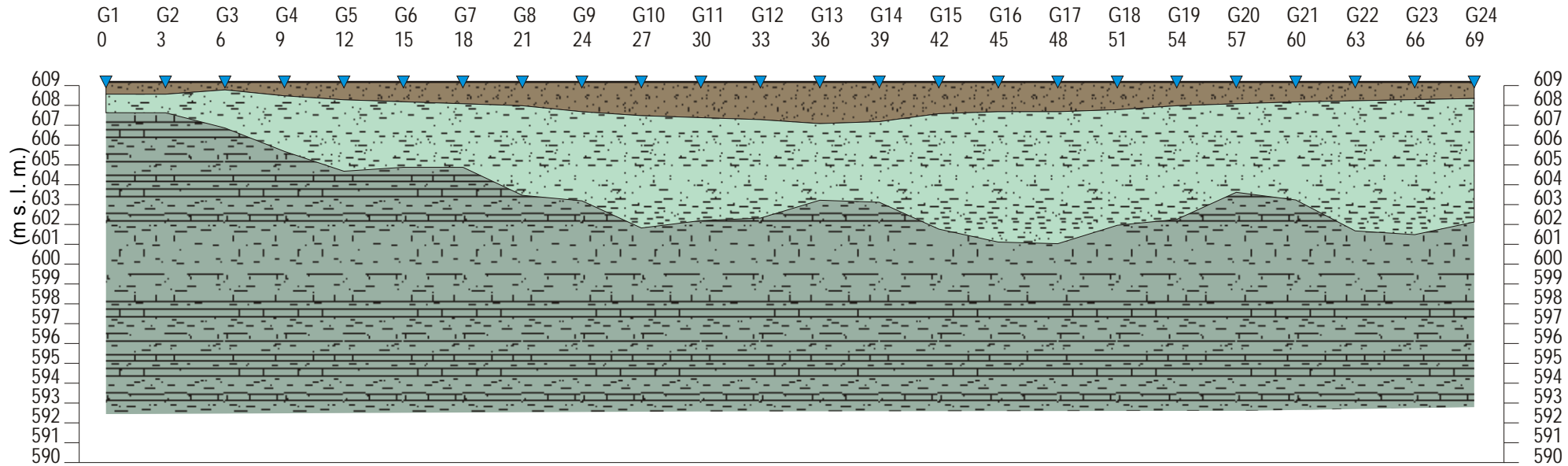
Profilo di sismica a Rifrazione Ps4 - onde SH



Legenda




- Geofono
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1326 Velocità in m/sec.
- Contatti tettonici
- Faglie presunte
- Scala 1:300

Ps4 - onde SH - Interpretazione sismostratigrafica



Z1 (m)	0.6	0.6	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5	1.7	1.8	1.9	2.1	2.0	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8
Z2 (m)	0.9	0.9	1.9	2.8	3.6	3.3	3.2	4.5	4.5	5.7	5.2	5.0	3.9	4.1	5.8	6.6	6.7	5.8	5.7	4.5	4.9	6.6	6.8	6.2
H2 (m)	1.6	1.6	2.3	3.5	4.5	4.3	4.3	5.7	6.0	7.4	7.0	6.9	6.0	6.1	7.4	8.1	8.2	7.2	6.9	5.6	5.9	7.5	7.7	7.1
V1 (m/s)	159	141	123	105	87	74	112	151	141	131	121	119	117	115	113	110	108	106	104	102	98	154	210	210
V2 (m/s)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
V3 (m/s)	1193	1174	1174	1174	1174	1168	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1211	1216	1216	1216	1216	1216	1257	1257	1257	1257	1257

Legenda:

-  Terreno naturale, riporto
-  Sabbia argillosa / Argilla sabbiosa
-  Marne calcaree

Scala 1:300

Z = Spessore dell'orizzonte
H = Profondità dell'orizzonte
V = Velocità dell'orizzonte
Q = Quota del geofono in m s. l. m.

Dati Ps4 - onde SH

Geo. N °	ShotA ms	ShotB ms	ShotC ms	ShotD ms	ShotE ms	ShotF ms	ShotG ms	ShotH ms
1	46.2	9.4	37.4	54.6	75.1	79.9	82.3	103.7
2	48.5	13.9	35	53.8	74.6	78.8	82	103.6
3	53.1	17.3	29.5	51.6	72.5	76.7	79.6	102.8
4	57.6	23.1	24.7	49.6	72	75.1	80.4	101
5	65.3	27.8	17.2	45.5	68.8	75.1	77.7	98.4
6	73.7	38.2	20.1	44.2	67.8	75.1	76.2	99.6
7	77.2	40.5	28.8	38.2	66.2	72	73.5	95.5
8	80.7	46.1	38.4	29.7	60.9	70.9	73.5	95.7
9	85.6	50.9	44.6	14.5	59.4	70.9	75.1	94.9
10	95	59.4	53.6	21.1	54.6	74.6	76.2	96.3
11	98.2	63	60.9	36.9	45.9	72	76.2	95.9
12	103.5	68.8	66.7	47.9	40.4	69.3	73.5	93.1
13	102.5	69.2	69.9	55.9	38.9	66.7	71.4	90
14	101.6	67.4	73.7	61.5	34.4	67.2	69.9	90.4
15	104.6	69	76.2	58.1	16.2	64.6	70.4	89.1
16	108.5	75.7	78.3	67.4	18.9	57.8	68.8	86
17	111.2	77.7	82	69.5	39.9	51.5	66.2	85.2
18	110.3	77.2	80.9	70.3	46.7	36.2	59.7	82
19	112.6	81.4	81.1	74.1	54.6	28.3	50.4	75.4
20	111.8	81	81.3	73.5	56.9	14.7	41	68.7
21	113.8	82.3	84.1	75.6	59	15.2	32.9	68
22	114.5	83	84.1	75.6	61.6	24.7	27.1	66.7
23	116.8	85.2	87.7	77.4	65.1	31.5	21.4	61.7
24	117.7	85.6	87.7	79.2	67.3	37.8	10.9	57.5

Geo. N °	Dist. m	Q m slm	V1 m/sec.	Z1 m	Q1 m slm	V2 m/sec.	Z2 m	H2 m	Q2 m slm	V3 m/sec.
1	0	609.2	159	0.6	608.6	400	0.9	1.6	607.6	1193
2	3	609.2	141	0.6	608.6	400	0.9	1.6	607.6	1174
3	6	609.2	123	0.4	608.8	400	1.9	2.3	606.9	1174
4	9	609.2	105	0.7	608.5	400	2.8	3.5	605.7	1174
5	12	609.2	87	0.9	608.3	400	3.6	4.5	604.7	1174
6	15	609.2	74	1.0	608.2	400	3.3	4.3	604.9	1168
7	18	609.2	112	1.1	608.1	400	3.2	4.3	604.9	1211
8	21	609.2	151	1.2	608.0	400	4.5	5.7	603.5	1211
9	24	609.2	141	1.5	607.7	400	4.5	6.0	603.2	1211
10	27	609.2	131	1.7	607.5	400	5.7	7.4	601.8	1211
11	30	609.2	121	1.8	607.4	400	5.2	7.0	602.2	1211
12	33	609.2	119	1.9	607.3	400	5.0	6.9	602.3	1211
13	36	609.2	117	2.1	607.1	400	3.9	6.0	603.2	1211
14	39	609.2	115	2.0	607.2	400	4.1	6.1	603.1	1216
15	42	609.2	113	1.6	607.6	400	5.8	7.4	601.8	1216
16	45	609.2	110	1.5	607.7	400	6.6	8.1	601.1	1216
17	48	609.2	108	1.5	607.7	400	6.7	8.2	601.0	1216
18	51	609.2	106	1.4	607.8	400	5.8	7.2	602.0	1216
19	54	609.2	104	1.2	608.0	400	5.7	6.9	602.3	1257
20	57	609.2	102	1.1	608.1	400	4.5	5.6	603.6	1257
21	60	609.2	98	1.0	608.2	400	4.9	5.9	603.3	1257
22	63	609.2	154	1.0	608.2	400	6.6	7.5	601.7	1257
23	66	609.2	210	0.9	608.3	400	6.8	7.7	601.5	1257
24	69	609.2	210	0.8	608.4	400	6.2	7.1	602.1	1257

Legenda:

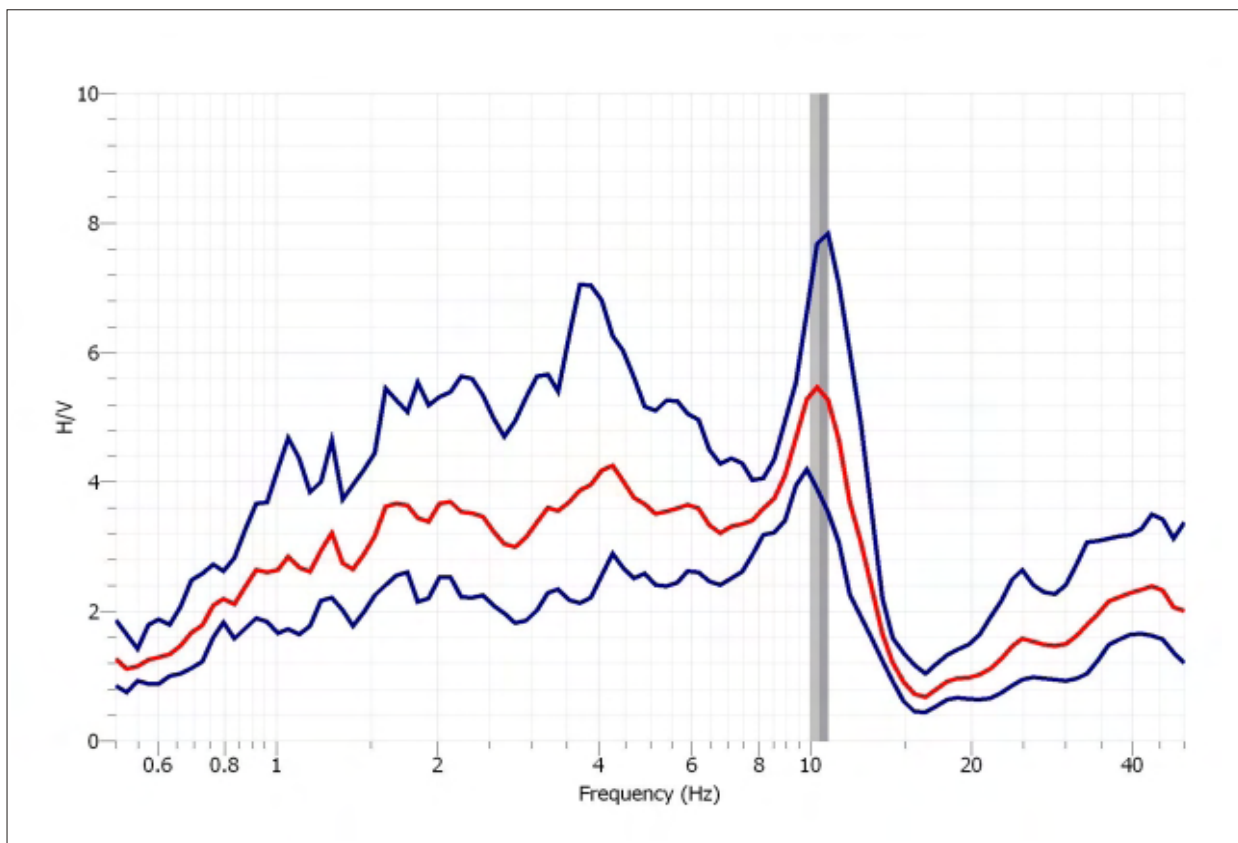
Z = Spessore dell'orizzonte

H = profondità dell'orizzonte

V = Velocità dell'orizzonte

Q = Quota del geofono in m s. l. m.

HVSR



f₀ Massimo del rapporto H/V (+-) : 10.38 ± 0.42 Hz
(tra 0.2 e 200 Hz)

Criteri di Ammissibilità

Affidabilità' (3 condizioni verificate)

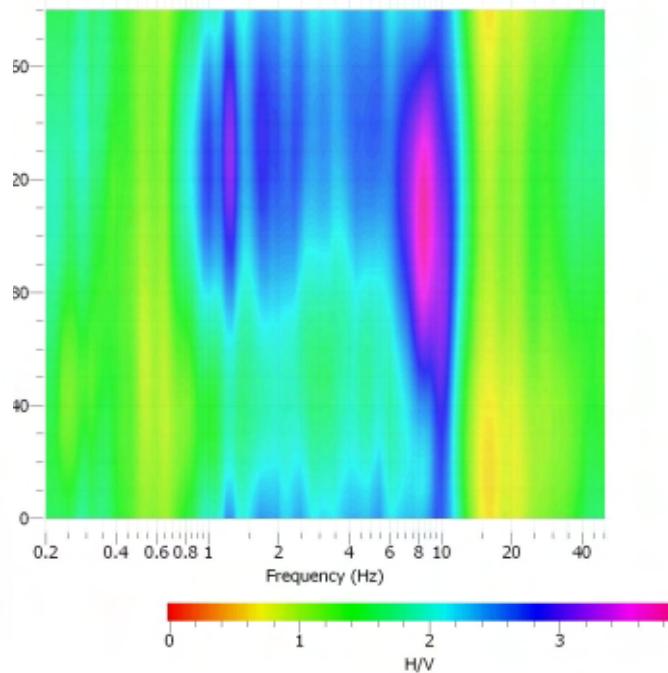
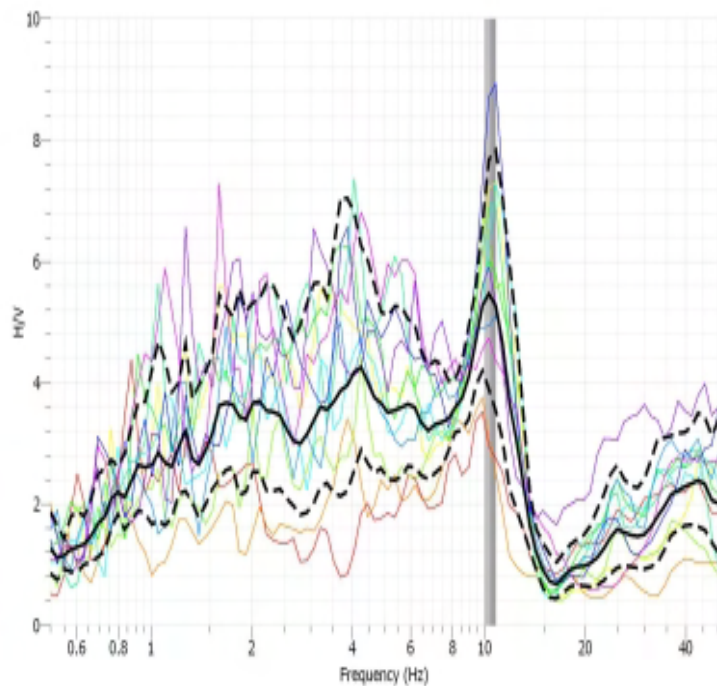
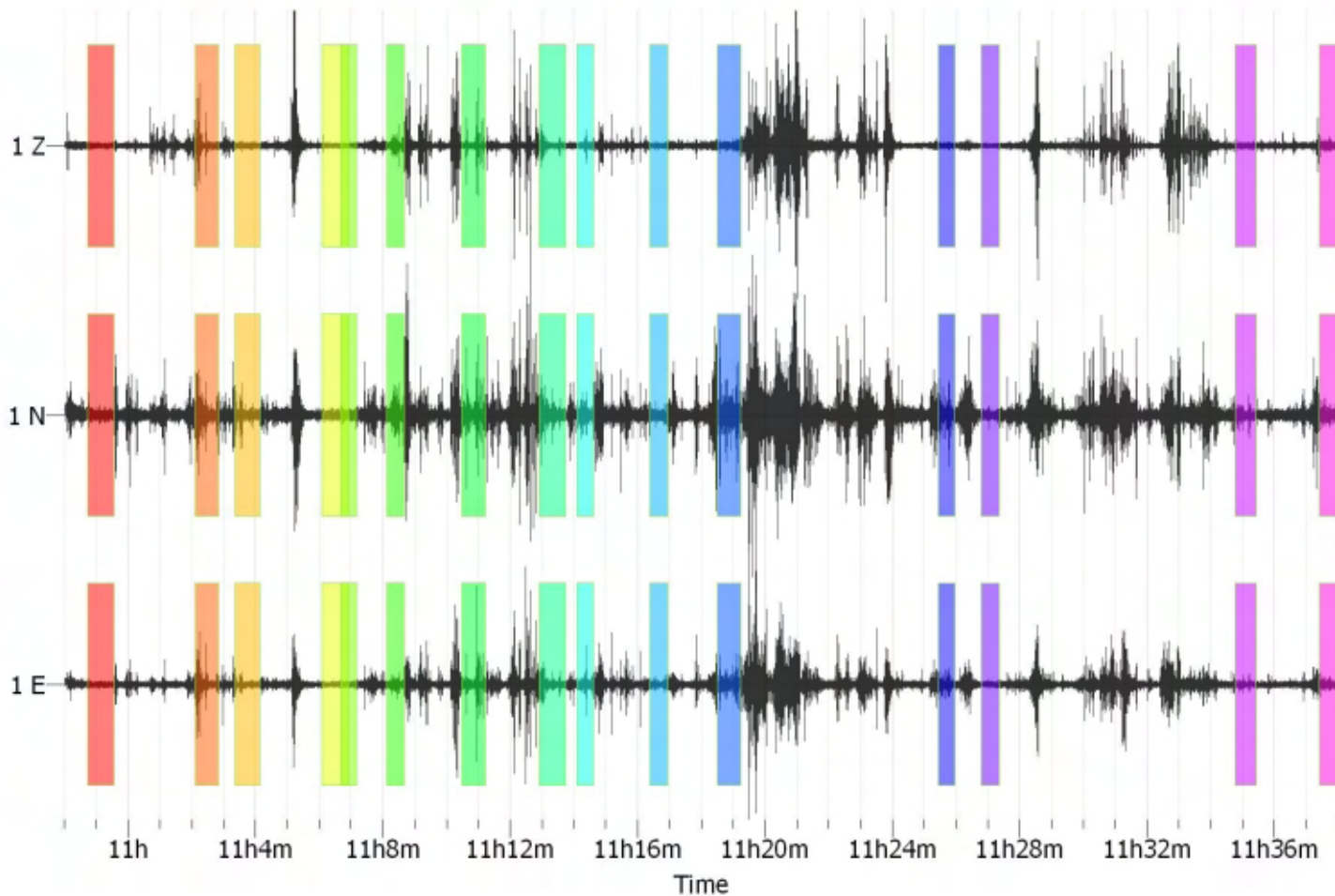
1	$f_0 > 20/lw$	10.38	>	0.40	OK
2	$lw * nw * f_0 > 200$	5708	>	200	OK
3	Massimo[(f)] < 3 (per $f_0 < 0.5$) Massimo[(f)] < 2 (per $f_0 > 0.5$) intervallo: $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$	1.63	<	2	OK
		5.19	-	20.76	

Chiarezza (almeno 5 condizioni verificate)

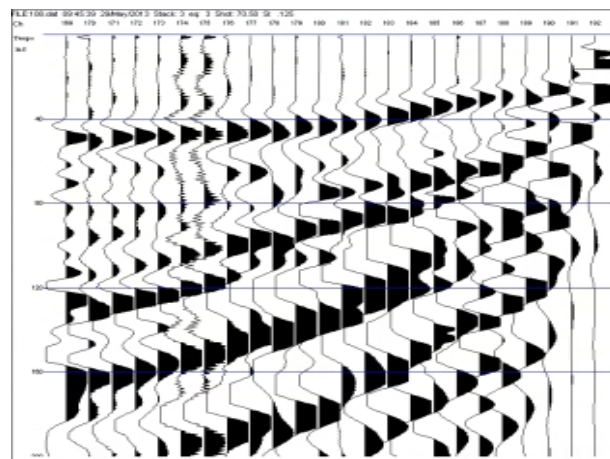
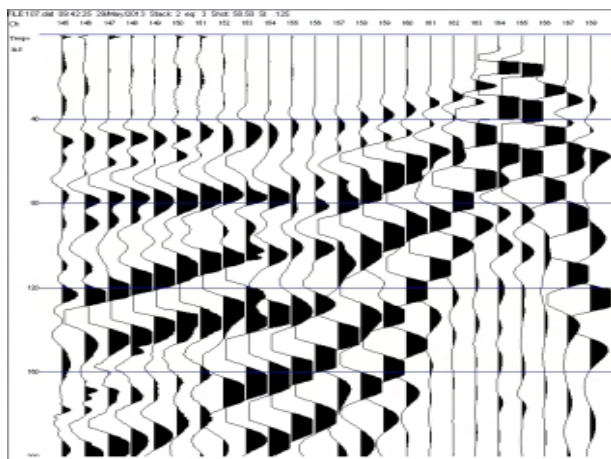
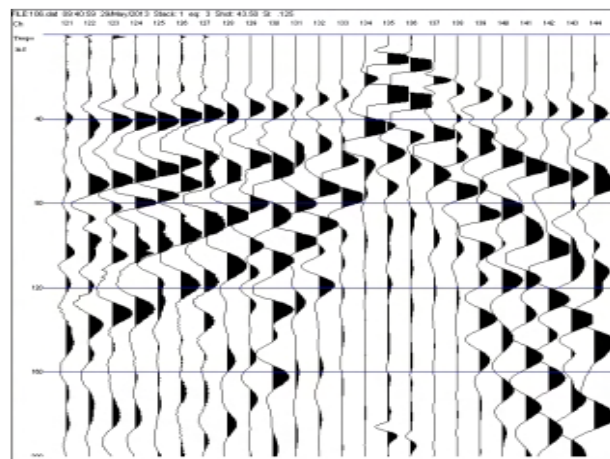
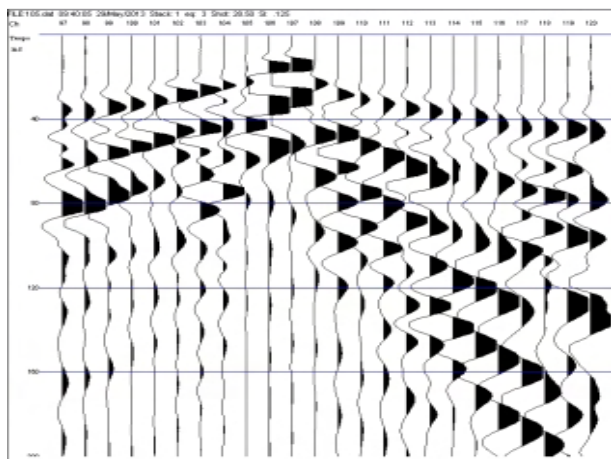
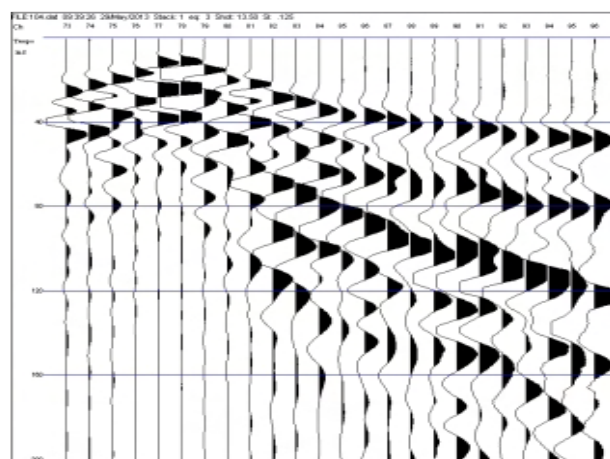
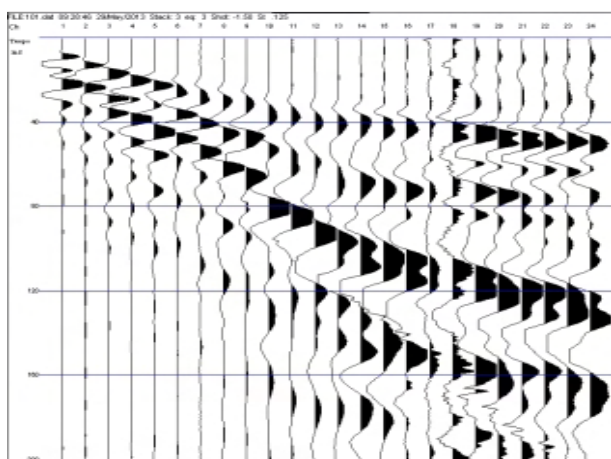
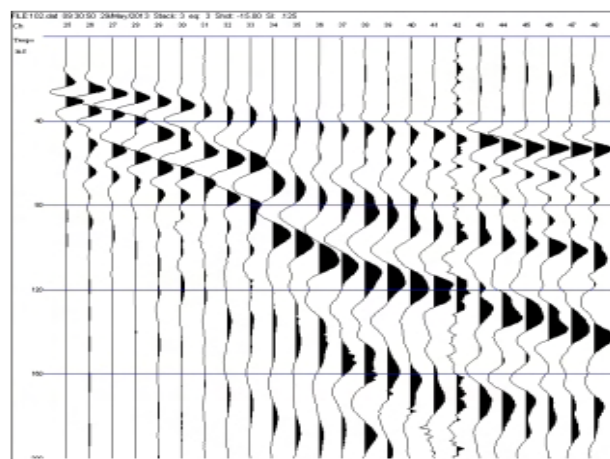
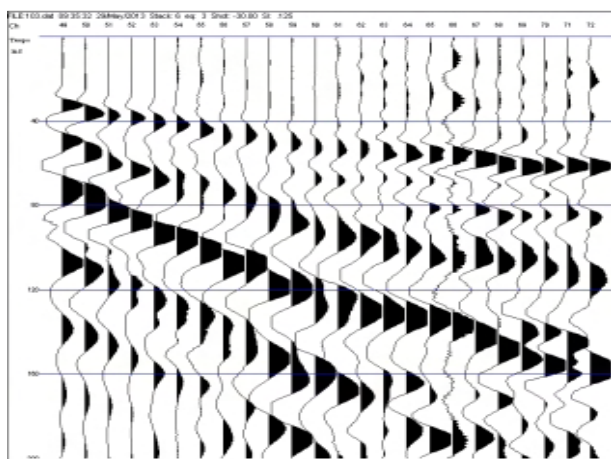
1	Esiste f- tale che $A(f_-) < A(f_0)/2$ intervallo: $f_0/4 < f < f_0$	2.59	<	0.00	<	10.38	NO
2	Esiste f+ tale che $A(f_+) < A(f_0)/2$ intervallo: $f_0 < f < f_0 * 4$	10.38	<	12.98	<	41.51	OK
3	$A(f_0) > 2$	5.43	>	2	OK		
4	$F_{picco}[A(f) \pm (f_0)] = f_0 \pm 5\%$	9.859	<	9.815	<	10.897	NO
		9.859	<	10.772	<	10.897	
5	$(f) < (f_0)$	0.419	<	0.519	OK		
6	$(f) < (f_0)$	1.63	<	1.58	NO		

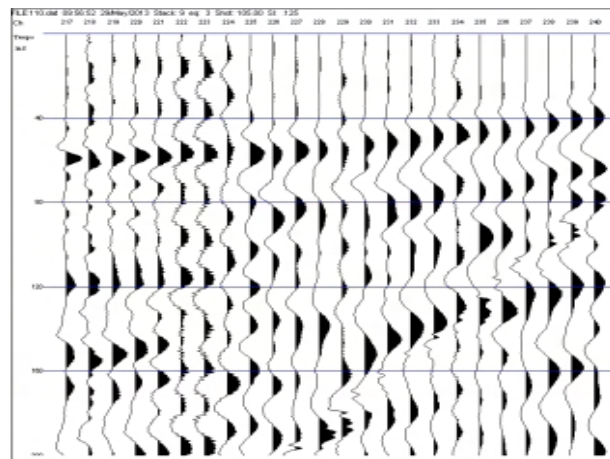
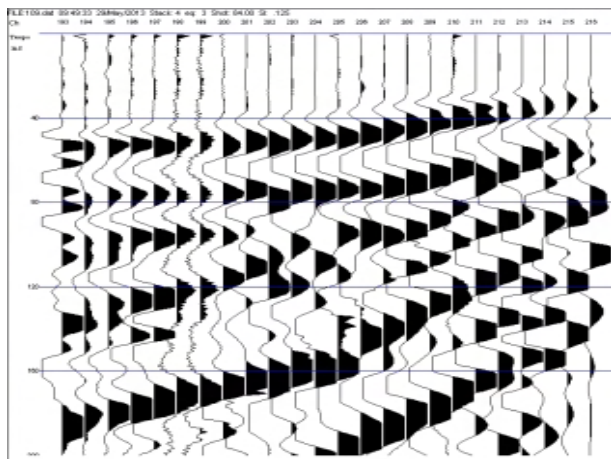
Tempo di registrazione:	40	m
Lunghezza finestra - lw:	50	s
Numero finestre:	11	
Campionamento:	400	Hz

HVSR

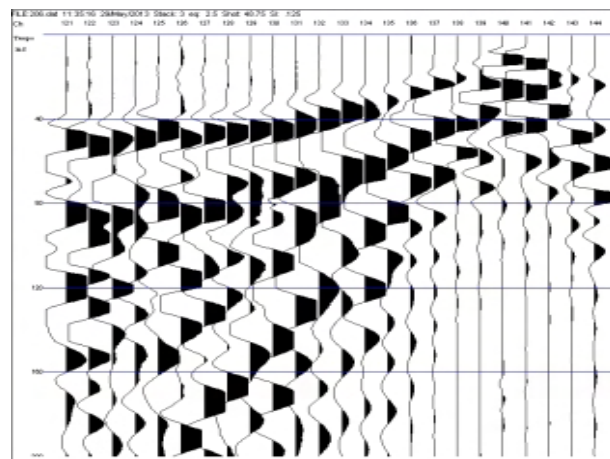
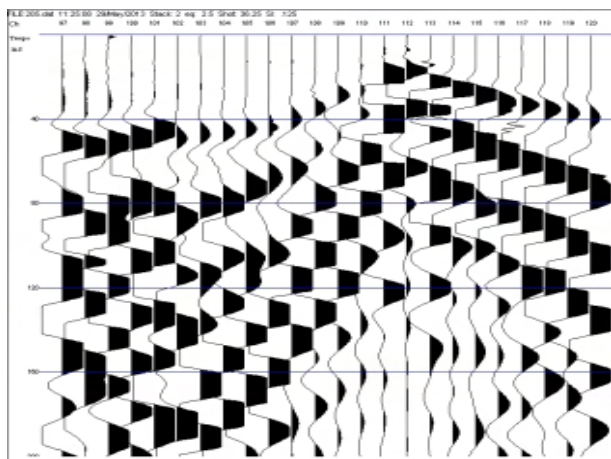
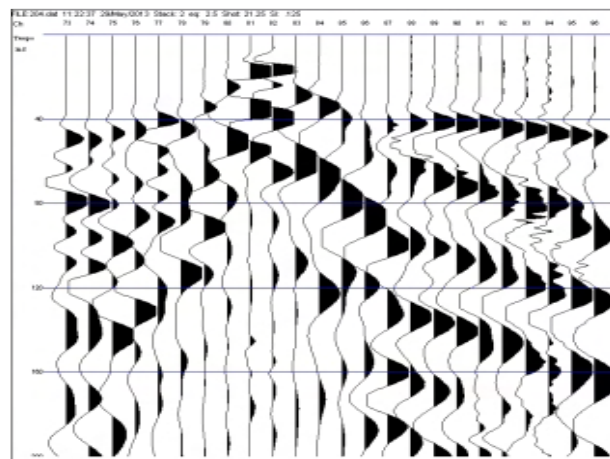
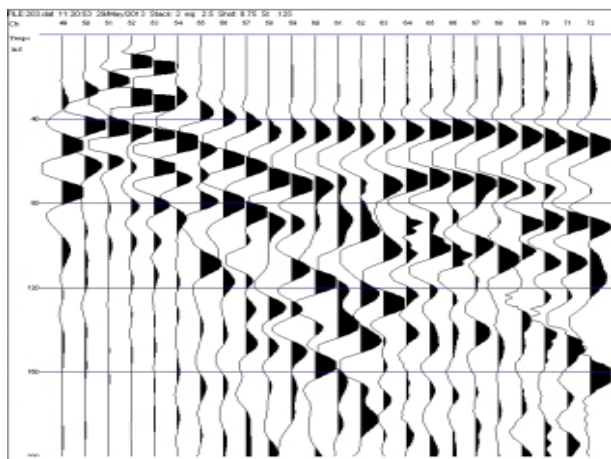
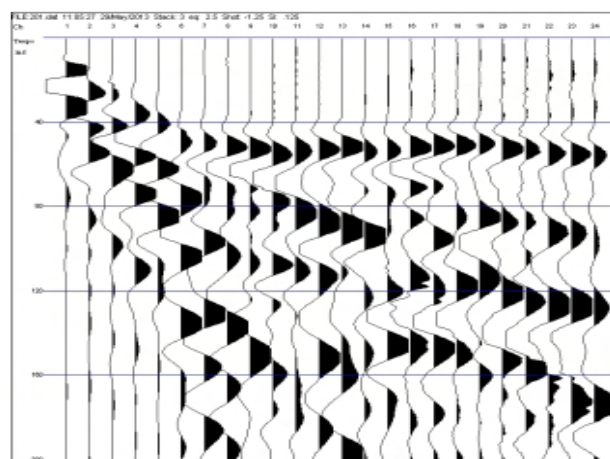
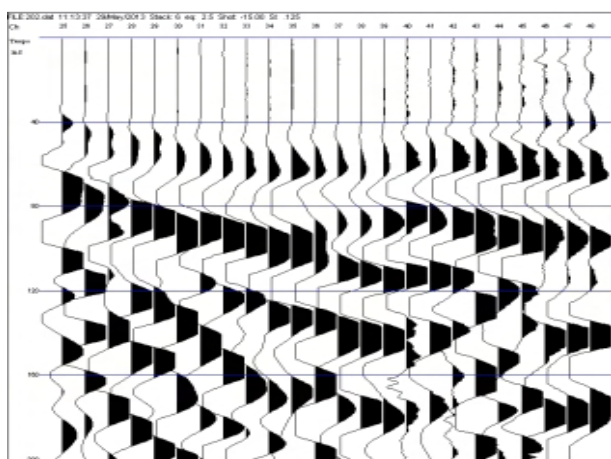


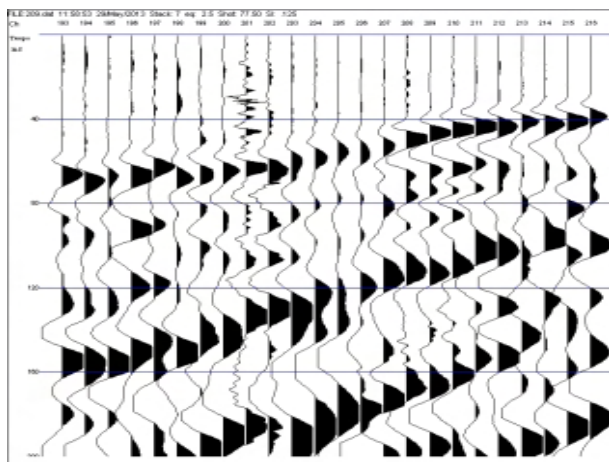
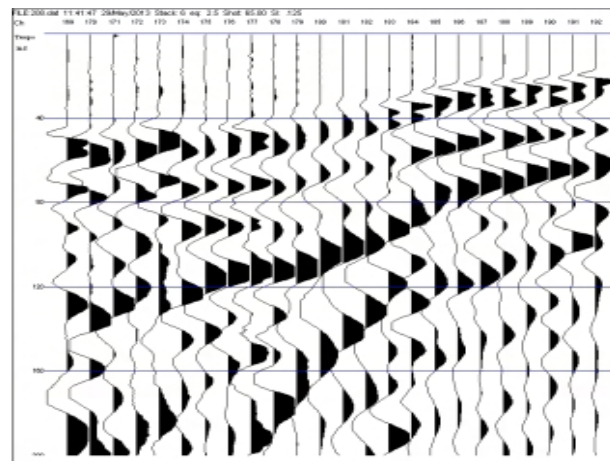
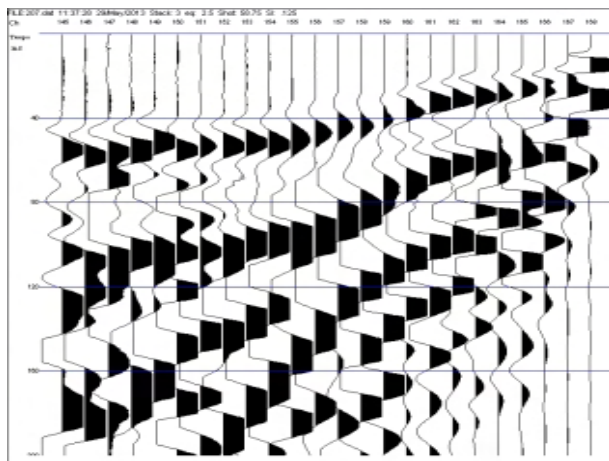
Registrazioni Ps1 - onde P



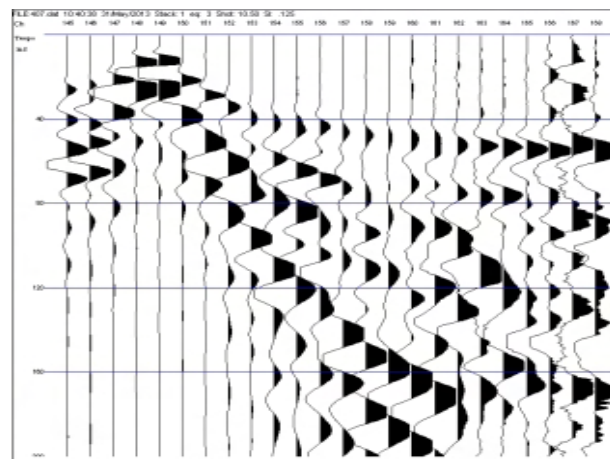
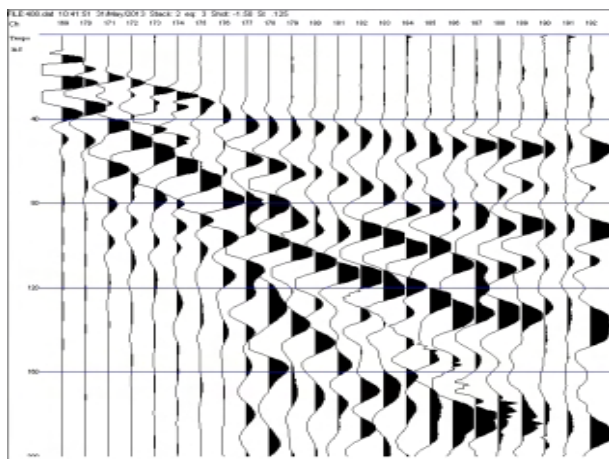
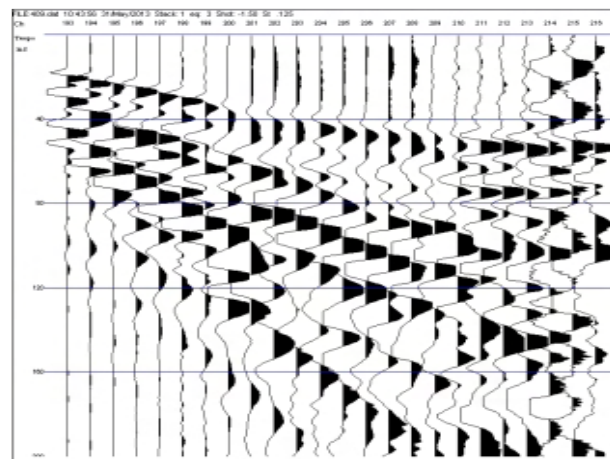
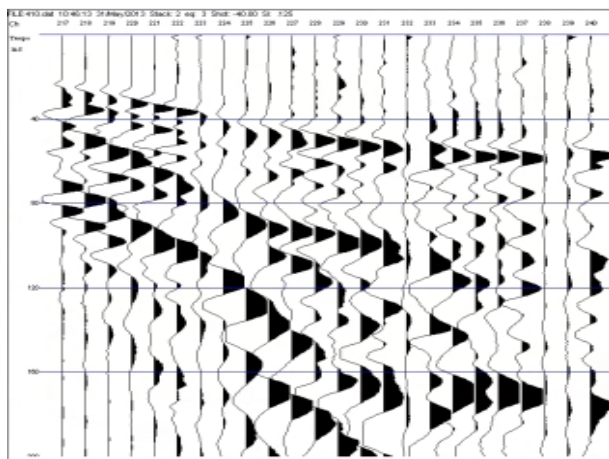


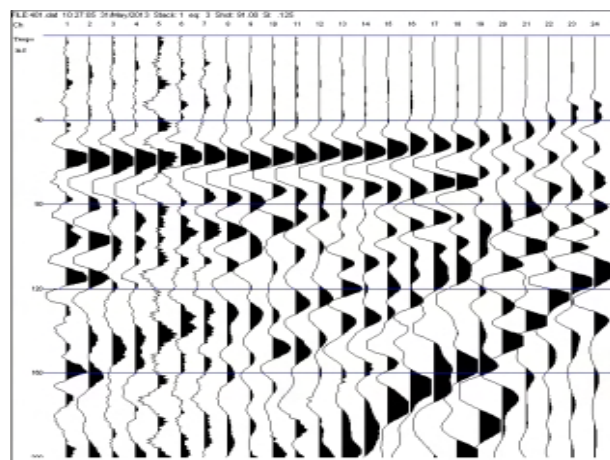
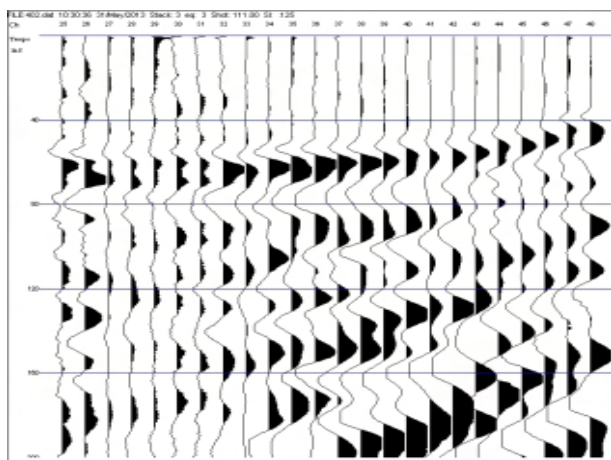
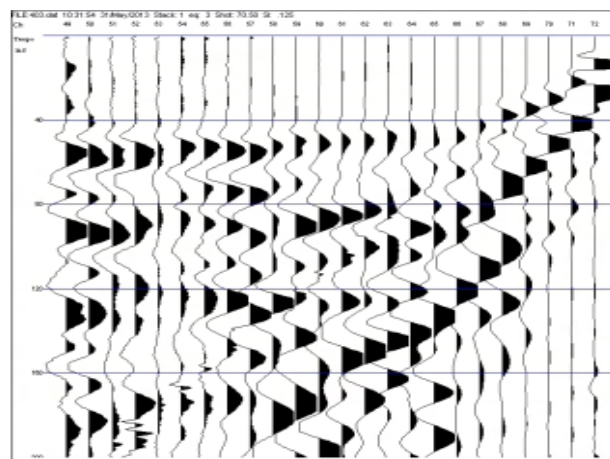
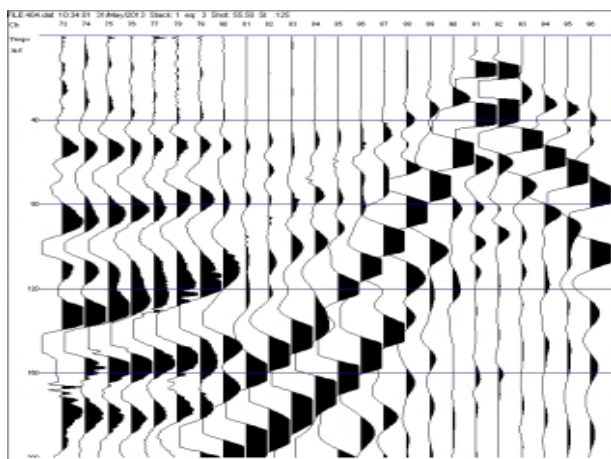
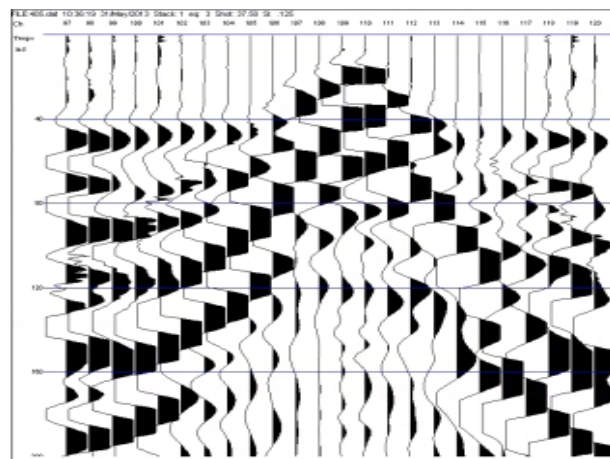
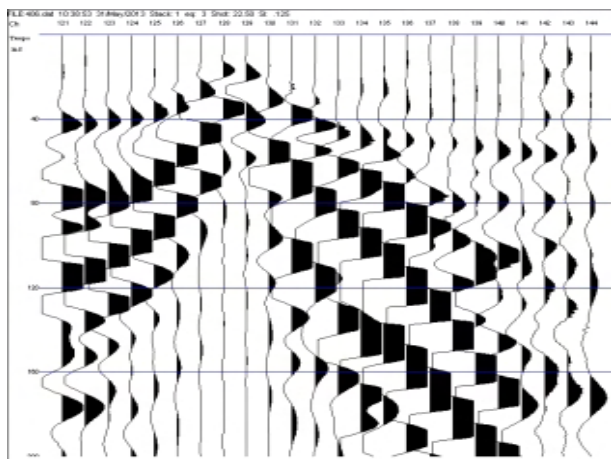
Registrazioni Ps2 - onde P



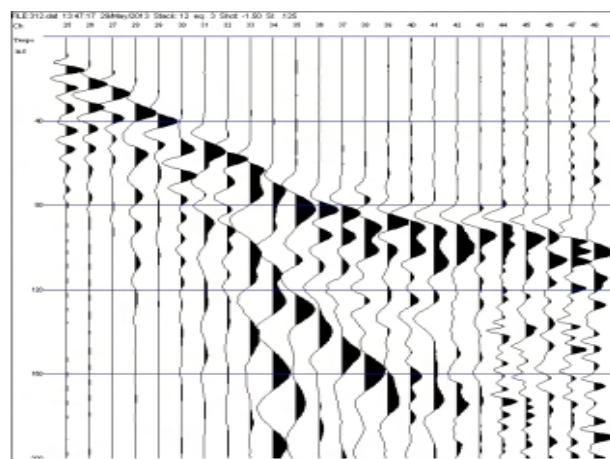
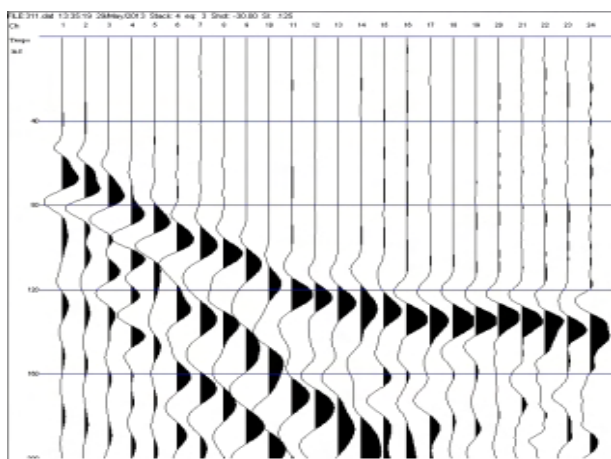


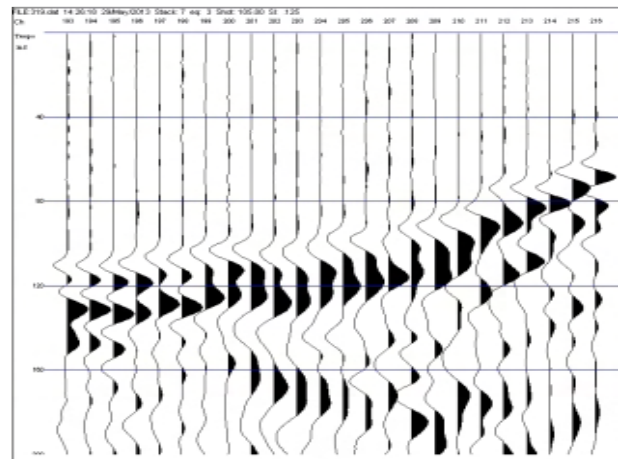
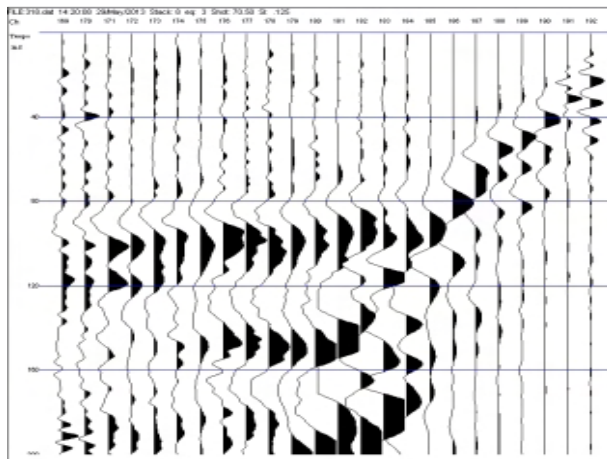
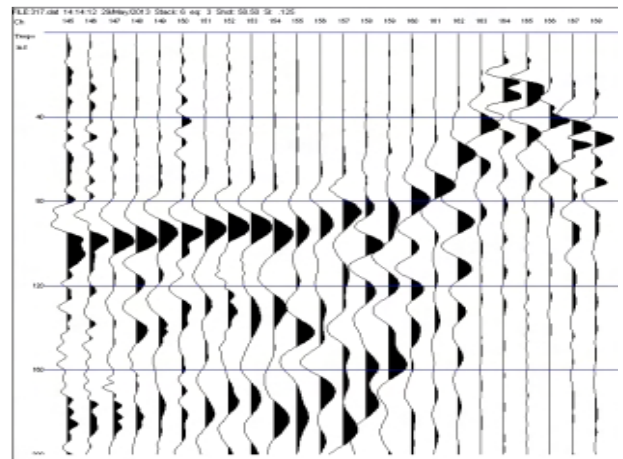
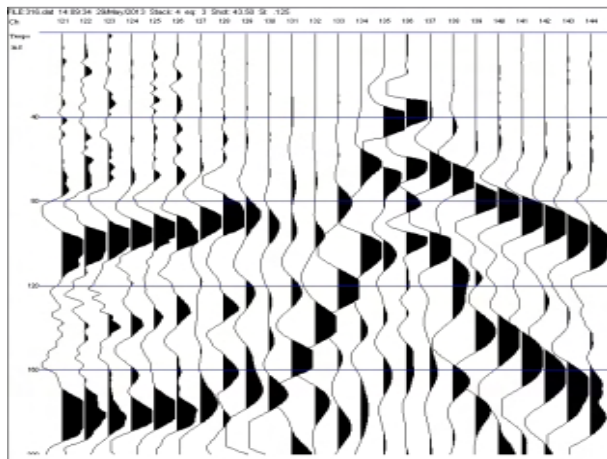
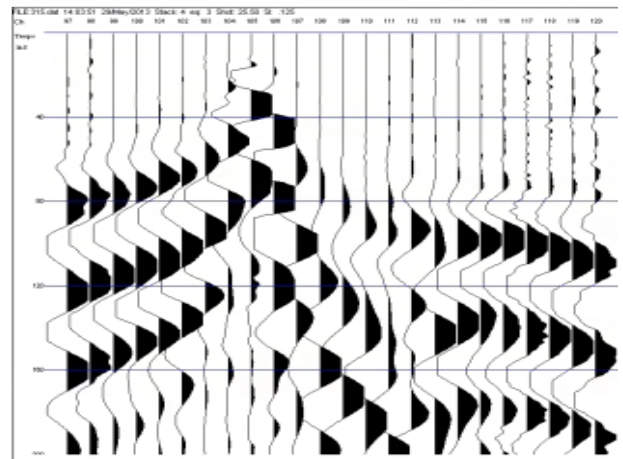
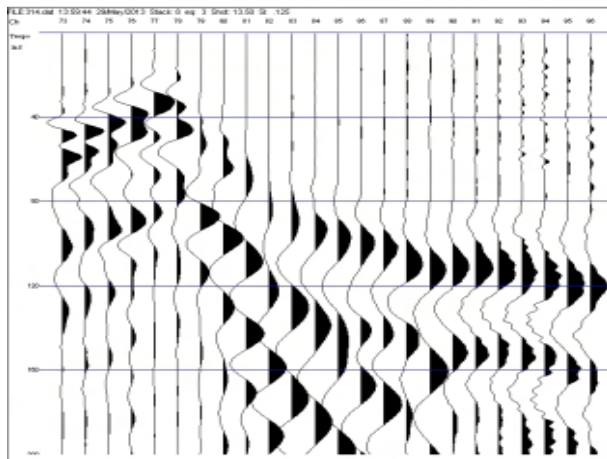
Registrazioni Ps3 - onde P



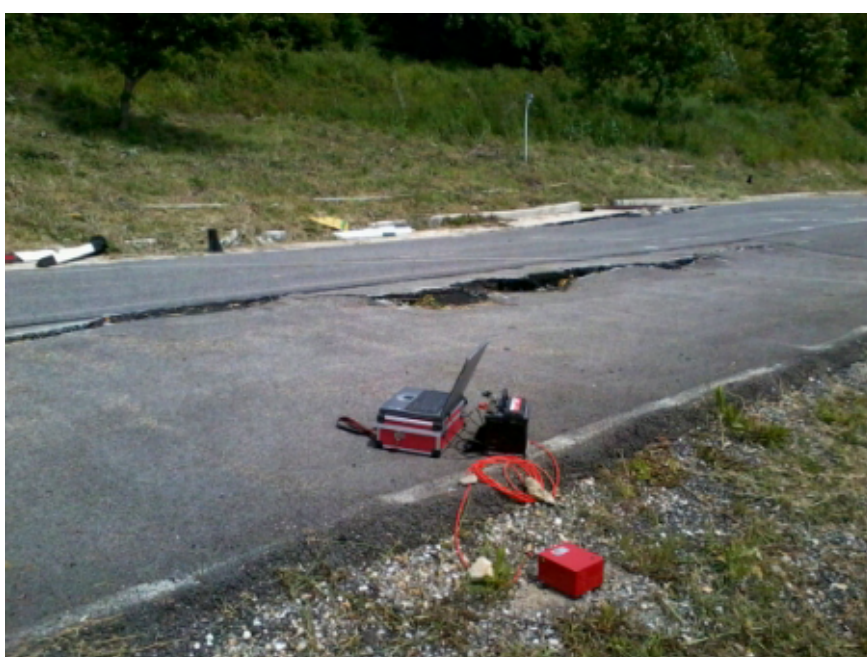


Registrazioni Ps4 - onde SH





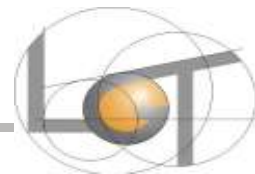
Documentazione fotografica



Allegato 3
Foto cassette sondaggi



Allegato 4
Certificati analisi geotecniche di laboratorio



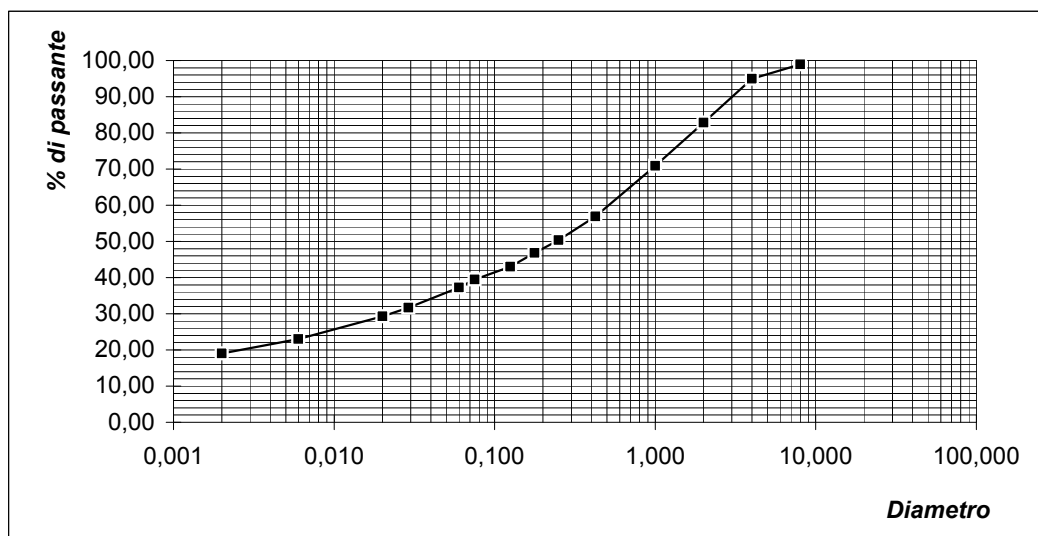
RAPPORTO DI PROVA N° L / 006 / 01 / gran

Comm.te: **Comune di Firenze**
 Località: **Via Provinciale (FI)**
 Data di arrivo: **20 Marzo 2014**
 Data esecuzione: **20-24 Marzo 2014**
 Data emissione: **24 Marzo 2014**
 Campione: **S1 C1** Prof: **5,80-6,00 m**

ANALISI GRANULOMETRICA CNR n. 93 - Racc. AGI - ASTM D422

ϕ (mm)	passante (%)	passante (gr)	trattenuto (gr)
8,000	98,95	296,84	3,16
4,000	94,96	284,89	11,95
2,000	82,79	248,37	36,52
1,000	70,92	212,76	35,61
0,425	56,95	170,84	41,92
0,250	50,37	151,10	19,74
0,177	46,80	140,41	10,69
0,125	43,02	129,05	11,36
0,075	39,44	118,31	10,74
0,060	37,22		
0,029	31,67		
0,020	29,30		
0,006	22,97		
0,002	19,01		

% ghiaia	17,21
% sabbia	45,57
% limo	18,21
% argilla	19,01
Totale	100



Note:



Il Tecnico analista:
A. Aliboni

Il Direttore di Laboratorio:
Dott. ssa Geol. B. Polverosi



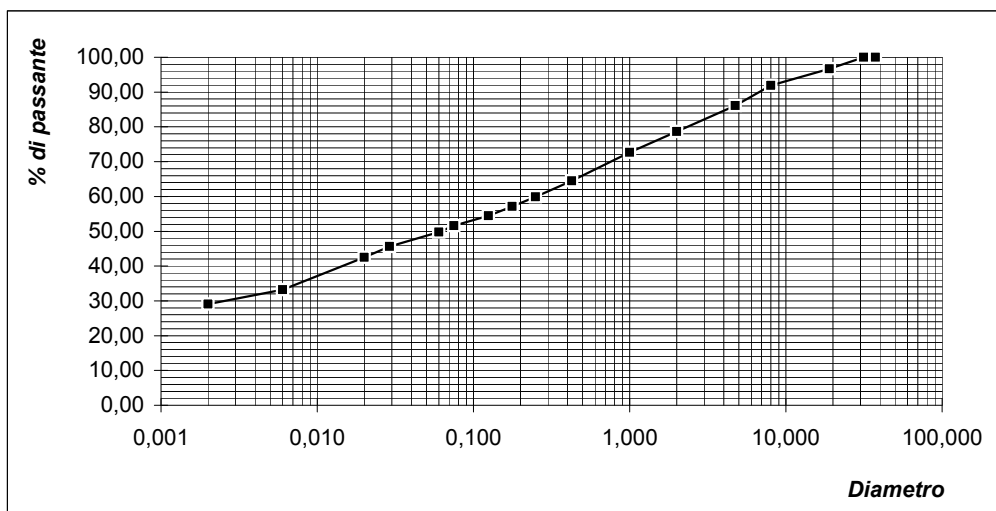
RAPPORTO DI PROVA N° L / 006 / 02 / gran

Comm.te: **Comune di Firenze**
 Località: **Via Provinciale (FI)**
 Data di arrivo: **20 Marzo 2014**
 Data esecuzione: **20-24 Marzo 2014**
 Data emissione: **24 Marzo 2014**
 Campione: **S1 C2** Prof: **6,80-7,00 m**

ANALISI GRANULOMETRICA CNR n. 93 - Racc. AGI - ASTM D422

ϕ (mm)	passante (%)	passante (gr)	trattenuto (gr)
37,500	100,00	450,00	0,00
31,500	100,00	450,00	0,00
19,000	96,65	434,93	15,07
8,000	91,88	413,44	21,49
4,750	86,07	387,33	26,11
2,000	78,62	353,80	33,53
1,000	72,71	327,18	26,62
0,425	64,49	290,21	36,97
0,250	59,89	269,50	20,71
0,177	57,14	257,12	12,38
0,125	54,50	245,27	11,85
0,075	51,64	232,39	12,88
0,060	49,77		
0,029	45,63		
0,020	42,51		
0,006	33,18		
0,002	29,04		

% ghiaia	21,38
% sabbia	28,85
% limo	20,74
% argilla	29,04
Totale	100



Note:

Laboratorio Geotecnico Toscano



Il Tecnico analista:
A. Aliboni

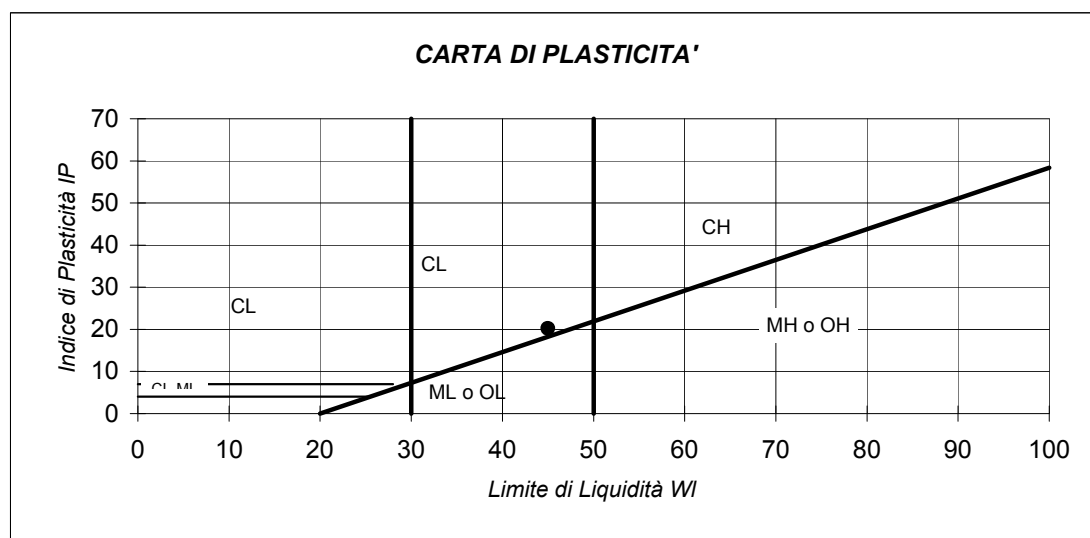
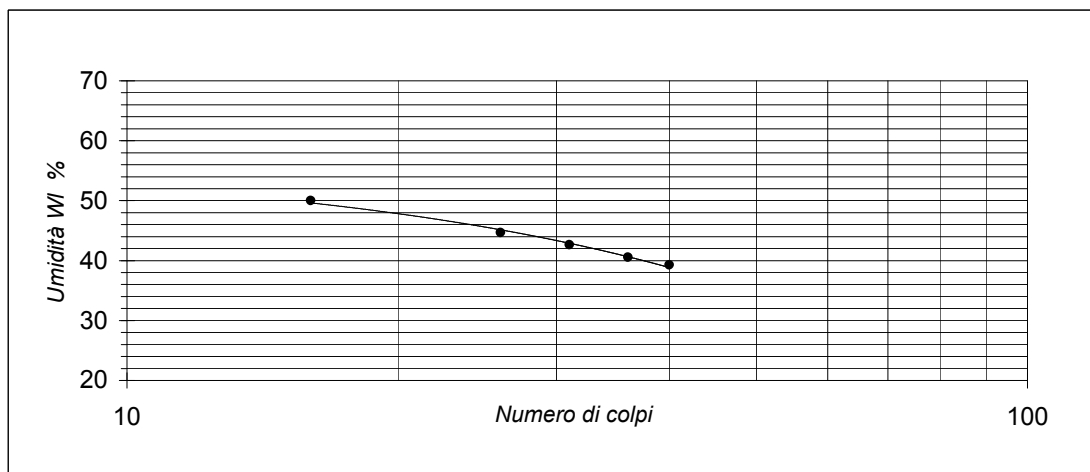
Il Direttore di Laboratorio:
Dott. ssa Geol. B. Polverosi

**LIMITI DI ATTERBERG ASTM D2487**

RAPPORTO DI PROVA N° L / 006 / 01 / lim

Committente: **Comune di Firenze**
 Località: **Via Provinciale (FI)**
 Data di arrivo: **20 Marzo 2014**
 Data di esecuzione: **20-24 Marzo 2014**
 Data di emissione: **24 Marzo 2014**
 Campione: **S1 C1** Prof: **5,80-6,00 m**

UMIDITA' NATURALE	W _n	5,6	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	W _L	45	%
LIMITE DI PLASTICITA'	W _p	25	%
LIMITE DI RITIRO	W _r		%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	20	%
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	-0,9	-
INDICE DI CONSISTENZA	IC	1,9	-

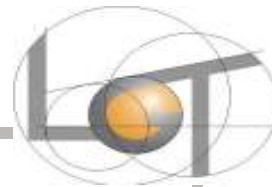


Laboratorio Geotecnico Toscano



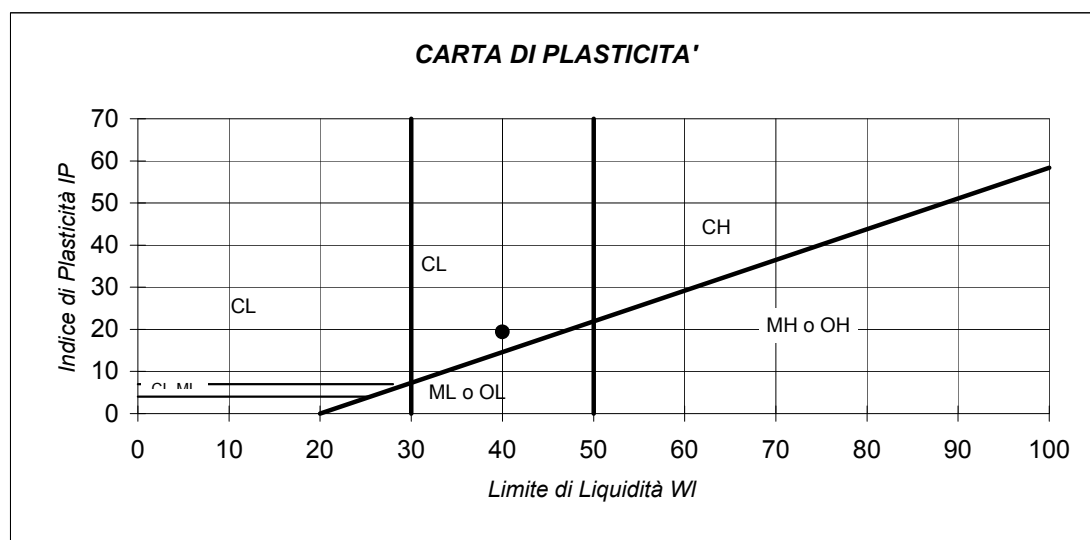
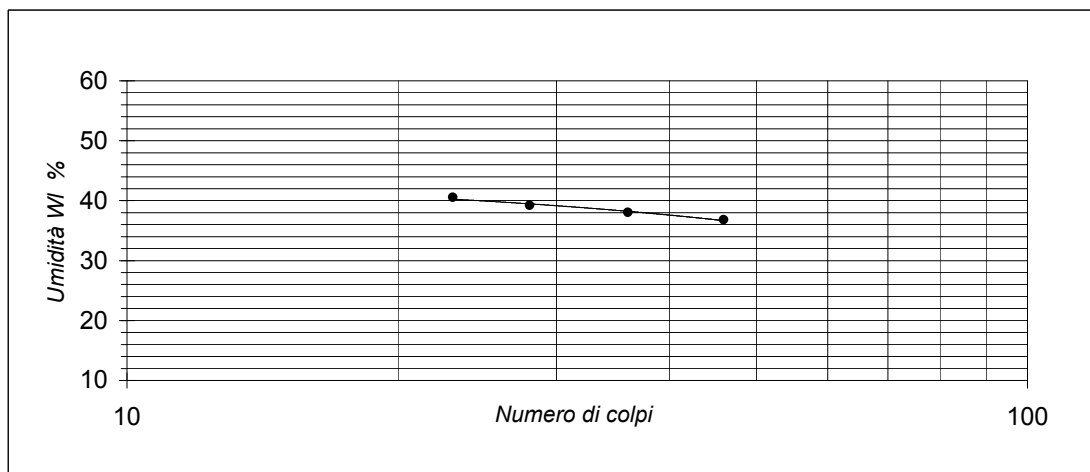
Il Tecnico analista:
A. Aliboni

Il Direttore di Laboratorio:
Dott. ssa Geol. B. Polverosi

**LIMITI DI ATTERBERG ASTM D2487****RAPPORTO DI PROVA N° L / 006 / 02 / lim**

Committente: **Comune di Firenze**
 Località: **Via Provinciale (FI)**
 Data di arrivo: **20 Marzo 2014**
 Data di esecuzione: **20-24 Marzo 2014**
 Data di emissione: **24 Marzo 2014**
 Campione: **S1 C2** Prof: **6,80-7,00 m**

UMIDITA' NATURALE	W _n	3,3	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	W _L	40	%
LIMITE DI PLASTICITA'	W _p	21	%
LIMITE DI RITIRO	W _r		%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	19	%
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	-0,9	-
INDICE DI CONSISTENZA	IC	1,9	-



Laboratorio Geotecnico Toscano



Il Tecnico analista:
A. Aliboni

Il Direttore di Laboratorio:
Dott. ssa Geol. B. Polverosi