

Comune di Cantagallo

Provincia di Prato



AREA TECNICA
Servizio Patrimonio e Infrastrutture

***MESSA IN SICUREZZA DI VIA L'ESTAQUE IN LOCALITÀ FOSSATO,
MEDIANTE CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE A VALLE DI UN TRATTO DI
VIABILITÀ SOGGETTO A MOVIMENTO FRANOSO***
PROGETTO DEFINITIVO

CIG: Z37312AD61

CUP: F87H20001800001

Elaborato 19

Data: Settembre 2021

RTS GEO
Relazione Specialistica
Geologica

DIRIGENTE :	Arch. Nicola Serini
R.U.P. :	Arch. Nicola Serini
PROGETTISTA :	Dott. Ing. Gabriele Bravi
DIRETTORE DEI LAVORI :	Dott. Ing. Gabriele Bravi
CSP e CSE ex D.Lgs 81/08	Dott. Ing. Gabriele Bravi

COMUNE DI CANTAGALLO

TITOLO PROGETTO:

**MESSA IN SICUREZZA DI VIA L'ESTAQUE IN LOC.
FOSSATO NEL COMUNE DI CANTAGALLO MEDIANTE
CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE A VALLE DI UN
TRATTODI VIABILITÀ, SOGGETTO A MOVIMENTO
FRANOSO**

PROGETTISTA:

ING GABRIELE BRAVI

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

IL GEOLOGO:

Dr. Geol. Gianni Focardi

N. 659 O.d.G. della Toscana



CODIFICA INTERNA:

04gt21

DATA DOCUMENTO:

10 Settembre 2021

Viale della Cristallina n. 48, 50019 - Sesto Fiorentino (FI)

Tel.: 0554937392, fax 0550988172, cell. 3486703422; e mail: info@studiogeologicofocardi.it

www.studiogeologicofocardi.it / pec : giannifocardi@epap.sicurezzapostale.it

Cod. Fisc. : FCRGNN67E03D612U - P. IVA : 05395830481

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. LE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEL SITO DA S.U.....	6
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	7
4. DESCRIZIONE DEL FENOMENO FRANOSO	9
4.1 DINAMICA DI FORMAZIONE DEL DISSESTO	9
4.2 DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO	10
4.3 POSSIBILI CAUSE ED EVOLUZIONI.....	11
5. LE INDAGINI IN SITU E DI LABORATORIO.....	12
5.1 SONDAGGIO	12
5.2 LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	13
5.3 LA PROVE SISMICHE DI SUPERFICIE	14
6. IL MODELLO GEOLOGICO	18
7. CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI	20
8. LE CONDIZIONI DI STABILITÀ ED IL PROGETTO DELLE OPERE.....	21
9. VERIFICHE DI STABILITÀ	22
9.1 MODELLO GEOTECNICO	22
9.2 IL SOFTWARE E CRITERI UTILIZZATI.....	22
9.3 ESITI DELLE VERIFICHE	24

FIGURE

- Fig.1: Carta della Pericolosità Geologica;
- Fig.2: Carta della Pericolosità Idrogeologica;
- Fig.3: Corografia;
- Fig.4: Carta Geomorfologica;
- Fig.5: Carta Geolitologica;
- Fig.6: Carta Idrogeologica;
- Fig.7-a: Inquadramento area franosa;
- Fig.7-b: Inquadramento area franosa;
- Fig.8: Ubicazione indagini;
- Fig.9: Sezione litostratigrafica.

APPENDICE

- Appendice 1: Carta Geologica da Data Base Regione Toscana;
- Appendice 2: Carta Geomorfologica da Microzonazione Sismica Regione Toscana;
- Appendice 3: Carta Geologico-tecnica da Microzonazione Sismica Regione Toscana;
- Appendice 4: tabulato verifica stabilità

ALLEGATI

- ALL. 1 : Certificato IBT Prospezioni Srl per sondaggio con colonna stratigrafica e documentazione fotografica;
- ALL. 2 : Certificato ELLE TI Laboratorio Terre srl per prove geotecniche di laboratorio;
- ALL. 3 : Certificato IBT prospezioni Srl per prove sismiche.

1. PREMESSA

Il presente lavoro espone i risultati dello studio geologico di supporto al progetto di messa in sicurezza di un tratto della sede stradale di via l'Estaque, nei pressi dell'abitato di Fossato. L'intervento si rende necessario al fine di mantenere le condizioni di sicurezza della viabilità contro il dissesto che ha interessato il versante immediatamente a valle.

Nel corso dello studio sono state determinate le caratteristiche geomorfologiche generali dell'area di progetto tramite sopralluogo della zona in esame e di un intorno ritenuto significativo. A verifica ed integrazione degli elementi raccolti è stata consultata la cartografia di supporto allo Strumento Urbanistico vigente oltre allo studio di Microzonazione Sismica della Regione Toscana e relativo al Comune di Cantagallo.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e sismica del luogo sono state effettuate le seguenti indagini:

- n.1 sondaggio geognostico;
- prove geotecniche di laboratorio;
- prospezioni sismiche di superficie.

Il presente lavoro è redatto in ottemperanza alle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni";
- Consiglio Superiori dei Lavori Pubblici -Istruzione per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare del 27 luglio 2018;
- d.p.g.r. 36/R/2009;
- Vincolo Idrogeologico R.D. 3267/1923.
- L.R. N. 39/2000 "Legge Forestale della Toscana" e successive modifiche ed integrazioni;
- L.R. N. 1/2003 "Modifiche alla L.R. del 21 marzo 2000 N. 39. Legge Forestale della Toscana" e successive modifiche ed integrazioni;
- D.P.G.R. 5 Maggio 2015 N. 53/R ("Modifiche al Regolamento Forestale della Toscana").
- Strumento Urbanistico vigente.

Con riferimento alle NTC 2018 i contenuti della presente relazione rispettano quanto previsto all'art. 6.2.1 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito"

e pertanto comprende, “sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, la struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche”.

2. LE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEL SITO DA S.U.

Dalla carta della pericolosità geologica del Piano Strutturale l'area ricade in classe 3 con "substrato lapideo su pendenze maggiori del 35%.

Nella carta della pericolosità idrogeologica del Piano Strutturale l'area è esterna alle zone classificate in pericolosità idraulica.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La zona più propriamente in studio riguarda un tratto di versante che si sviluppa in un settore prospiciente l'abitato di Fossato, fuori dall'area edificata (vedi anche la corografia di fig. 3).

Il pendio, nel tratto interessato dal fenomeno gravitativo, è delimitato sia a monte che a valle dalla viabilità pubblica comunale ed è compreso tra le quote di circa 725 e 695 m s.l.m..

Morfologicamente l'area dissestata corrisponde alla pendice, in sinistra idrografica, che delimita un vallecchia incisa dal corso d'acqua del torrente Noceto, riconosciuto ufficialmente nel reticolo idrografico dalla LR 79/2012 aggiornata con DCR 81/2021 (vedi anche l'illustrazione seguente con evidenziata l'area franata in studio).



Il versante presenta pendenze notevoli anche del 50-60% e risulta coperto da vegetazione arborea, ad eccezione della parte dissestata dove è ricrescita una vegetazione arbustiva.

La carta geomorfologica del Piano Strutturale non riporta elementi di dissesto (fig. 4), così come la carta estratta dal Data Base della Regione Toscana (appendice 1). Analogamente anche la Carta geologica e geomorfologica della Regione Toscana e di supporto allo studio di Microzonazione Sismica riporta la presenza di depositi di versante in aree esterne a quella interessata dal fenomeno gravitativo (vedi appendice 2); più a valle è cartografato un settore classificato come deposito di frana quiescente.

Dal punto di vista geologico (vedi anche appendice 1 e 3) i rilievi che caratterizzano l'area sono costituiti da termini rocciosi appartenenti al Dominio Toscano - Formazione del Torrente Carigiola – Membro a megastrati arenacei (TGC1): torbiditi arenaceo pelitiche e siltitico pelitiche. Sono presenti megatorbiditi.

Nell'area in studio e per un congruo intorno non vi sono affioramenti evidenti del substrato roccioso. E' presente una coltre detritica diffusa.

Con riferimento alla circolazione idrogeologica superficiale che caratterizza i depositi detritici precedentemente descritti, la permeabilità è di tipo primario per porosità (determinata dalla presenza di vuoti intercomunicanti). La vulnerabilità dell'acquifero rientra pertanto in classe compresa tra media e ridotta a causa della granulometria eterogenea dei depositi. Nel periodo estivo non sono risultate evidenze di emergenze acquifere.

4. DESCRIZIONE DEL FENOMENO FRANOSO

Nell'area è stato eseguito un rilevamento di campagna al fine di inquadrare il dissesto nella più generale dinamica di versante sul quale insiste. Informazioni indirette sono state desunte anche dal rilievo plano-altimetrico di dettaglio, mentre dati fondamentali per la comprensione dell'innescò del fenomeno gravitativo derivano da testimonianza diretta dei tecnici comunali.

4.1 DINAMICA DI FORMAZIONE DEL DISSESTO

Il movimento franoso ha avuto origine a Maggio del 2019 a seguito di condizioni meteoriche anomale. I tecnici del comune riportano infatti un'abbondante precipitazione nevosa fuori stagione seguita da intense precipitazioni piovose. L'insieme di questi due fenomeni ha molto probabilmente saturato gli strati più superficiali che in seguito si sono movimentati dando origine al movimento franoso. Il movimento è stato piuttosto repentino ed ha interessato un settore specifico del pendio causando l'asportazione della coltre vegetale (vedi foto seguente e figure 7-a, 7-b).



Foto 1 – Corpo di frana

4.2 DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL MOVIMENTO FRANOSO

Il versante oggetto della frana è costituito da una coltre detritica.

La corona della frana ha andamento frastagliato e si sviluppa sulla pendice immediatamente a valle della banchina stradale (vedi anche la foto 2) . Sia la banchina che la viabilità non mostrano segni di dissesto (foto 3). La scarpata di frana ha altezza indicativa di circa 2 metri e presenta alcuni scoscendimenti.

Il movimento si è sviluppato lungo la direzione di massima pendenza con tendenza alla richiusura verso valle raggiungendo comunque, con il corpo franato, il T. Noceto.

Dal rilievo di superficie la tipologia di dissesto sembrerebbe ricondursi ad una frana rotazionale (al coronamento) con evoluzione traslativa verso valle. Si presume che l'innescò sia da monte con trascinamento verso valle del detrito; la superficie di scorrimento dell'ordine di qualche metro di profondità .



Foto 2 - Corona di frana.



Foto 3 - Sede stradale in corrispondenza del fenomeno franoso. Al limite della pavimentazione, il tombino carrabile del sondaggio geognostico.

4.3 POSSIBILI CAUSE ED EVOLUZIONI

Sulla base degli elementi rilevati si possono ipotizzare le possibili cause del dissesto. Per praticità si dividono le cause tra predisponenti e scatenanti come segue:

Cause predisponenti

- Litologiche: Il versante è costituito da una spessa coltre detritica
- Geomorfologiche: Versante molto acclive con pendenze anche del 60%

Cause scatenanti

- Idrologiche: Sequenza anomala fuori stagione di precipitazioni nevose e a seguire piovose.

Nelle ultime stagioni non sembrerebbero esservi state riattivazioni del movimento. Non vi sono segni di retrogressione.

5. LE INDAGINI IN SITU E DI LABORATORIO

Come precedentemente accennato in premessa, per la caratterizzazione litostratigrafica e sismica del sito è stata effettuata una campagna di indagini consistita in:

- N.1 sondaggio a carotaggio continuo;
- Prove geotecniche di laboratorio;
- Prospezioni sismiche.

Il sondaggio e le prove sismiche sono state eseguite dalla società IBT Prospezioni Srl, le prove di laboratorio da ELLE TI.

L'ubicazione delle indagini è riportata in Figura 7.

5.1 SONDAGGIO

Il sondaggio, del tipo a carotaggio continuo, è stato realizzato in data 12/05/2021 ed ha raggiunto la profondità di 17,80 m dal locale p.d.c..

Dagli esiti della prospezione risulta la seguente successione litostratigrafica principale (vedi all.1):

- fino alla profondità di 11 m → detrito di versante costituito principalmente da limi e sabbie con ghiaie.
- per profondità maggiori e fino alla massima indagata → alternanza di livelli arenacei con detrito di ghiaie media e grossolana in matrice limoso sabbiosa, presenza di marne e siltiti destrutturati e alterati.

Nel corso della perforazione sono state eseguite alcune prove S.P.T., gli esiti delle quali sono di seguito riportati:

n. S.P.T.	Profondità m da p.c.	Numero colpi	N _{SPT}
SPT 1	da 2,0	9-2-3	5
SPT 2	da 7,5	7-9-8	17

Da tali valori deriva una consistenza del terreno che aumenta con la profondità e di tipo (vedi anche l'abaco di seguito riportato):

- "plastico"
- "duro-molto duro"

Definizione della consistenza	Numero dei colpi N (S.P.T.)	Indice di consistenza I_c	Coesione non drenata c_u (bar)
<i>Terreno coerente</i>			
Molto soffice	< 2	~ 0	$< 0,1$
Soffice	$2 \div 4$	$0 \div 0,25$	$0,1 \div 0,25$
Plastico	$4 \div 8$	$0,25 \div 0,5$	$0,25 \div 0,5$
Duro	$8 \div 15$	$0,5 \div 0,75$	$0,5 \div 1,0$
Molto duro	$15 \div 30$	$0,75 \div 1,0$	$1,0 \div 2,0$
Durissimo	> 30	$> 1,0$	$> 2,0$
<i>Terreno incoerente (sabbie e ghiaie)</i>			
		Densità relativa D_r	Angolo di attrito ϕ'
Molto sciolto	< 4	$< 0,2$	$< 30^\circ$
Sciolto	$4 \div 10$	$0,2 \div 0,4$	$30^\circ \div 35^\circ$
Medio	$10 \div 30$	$0,4 \div 0,6$	$35^\circ \div 40^\circ$
Denso	$30 \div 50$	$0,6 \div 0,8$	$40^\circ \div 45^\circ$
Molto denso	> 50	$> 0,8$	$> 45^\circ$

Valutazione dei parametri di resistenza dai dati S.P.T. (da *CESTELLI GUIDI, Geotecnica e tecnica delle fondazioni*, Vol.I, Ed Hoepli, 1987).

5.2 LE PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio su due campioni prelevati tra le profondità di 6,4/6,8 m e 9,5/9,9 m. Nello specifico sono state effettuate le seguenti prove:

- Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande consolidata drenata (CD)
- Analisi granulometrica sul primo campione

Di seguito si riporta una tabella con la sintesi dei dati maggiormente significativi estratti dal certificato di prova (vedi all. 2); alcuni di questi parametri derivano dall'elaborazione dei dati sperimentali.

Campione	1	2
Profondità prelievo (m)	6,4-6,8	9,5-9,9
Descrizione	Ghiaia con limo, argillosa sabbiosa	Limo argilloso con inclusi ghiaiosi
Peso volume (kN/mc)	20,7	20,3
Angolo di attrito interno ϕ' (°)	27	25
Coesione c' (kPa)	49	20
Ghiaia (%)	34	--
Sabbia (%)	18	--
Limo (%)	26	--
Argilla (%)	22	--

5.3 LA PROVE SISMICHE DI SUPERFICIE

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame, ed in particolare i valori di velocità delle onde di taglio, è stata eseguita una campagna geofisica consistita in:

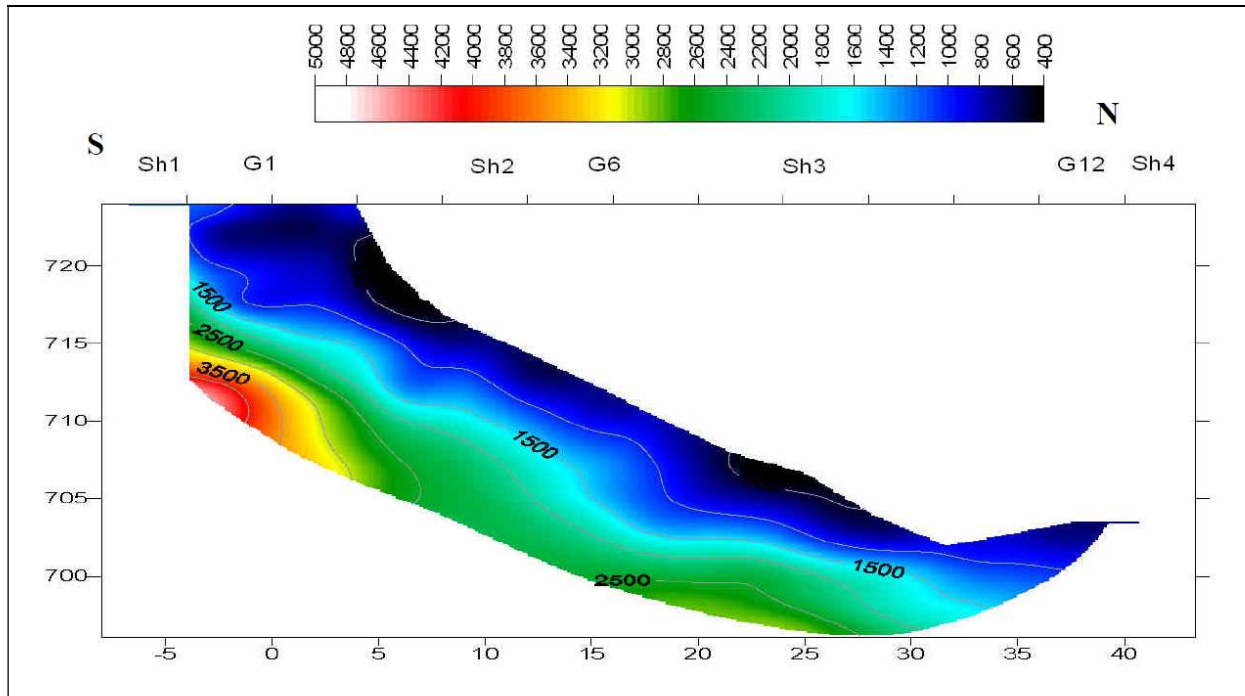
- Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves);
- Rilievo di microtremiti con stazione singola HVSr per valutare la presenza di fenomeni di risonanza;
- Due stendimenti di sismica a rifrazione in onde P per la valutazione dei principali orizzonti presenti.

Per il dettaglio delle metodologie d'indagine, dello schema operativo, delle operazioni di campagna, delle strumentazioni e delle modalità di analisi dei dati, ed infine dell'interpretazione dei dati elaborati si rimanda al report di prova in allegato 3.

5.3.1 La sismica a rifrazione

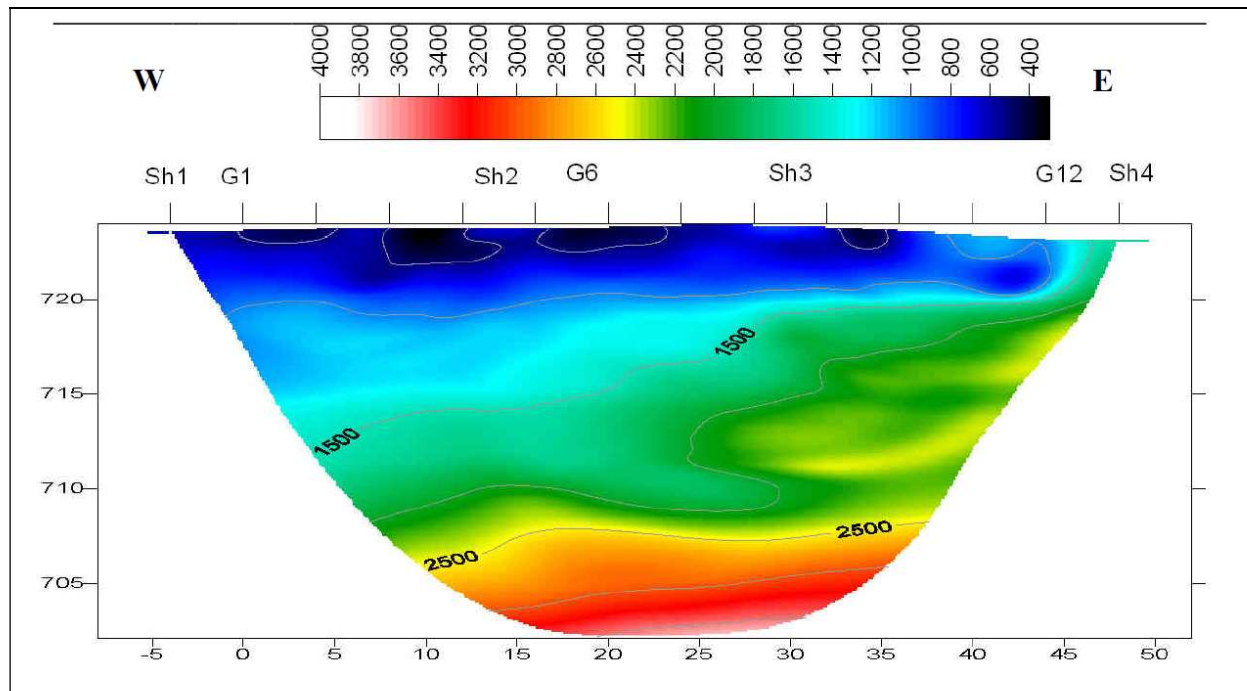
Gli stendimenti di sismica a rifrazione sono stati realizzati perpendicolarmente uno all'altro. In particolare lo stendimento 1 segue la frana nella direzione di scorrimento, orientato circa N-S; lo stendimento 2 si sviluppa sulla sede stradale quindi immediatamente a monte della zona dissestata, con direzione circa W-E. Dalla relazione geofisica, il primo stendimento ha riscontrato la presenza di tre strati principali:

“Un primo orizzonte con velocità di propagazione delle onde p fino a 700-900 m/s con spessore massimo variabile da 4 a 8-10m interpretabile come depositi copertura alterazione; lo spessore di questo livello si mostra molto diverso tra la parte alta dello stendimento dove si trova la strada e gli spessori sono massimi. È riconoscibile un secondo orizzonte con velocità delle onde p fino a 1500-1700 m/s con spessore massimo investigato di circa 5 m; questo orizzonte è interpretabile come substrato alterato / detrito addensato. Il terzo orizzonte con velocità maggiori è interpretabile come substrato poco alterato; è significativo notare come il substrato sia riconosciuto solo nel tratto iniziale dello stendimento e sembri approfondirsi nel tratto finale.”



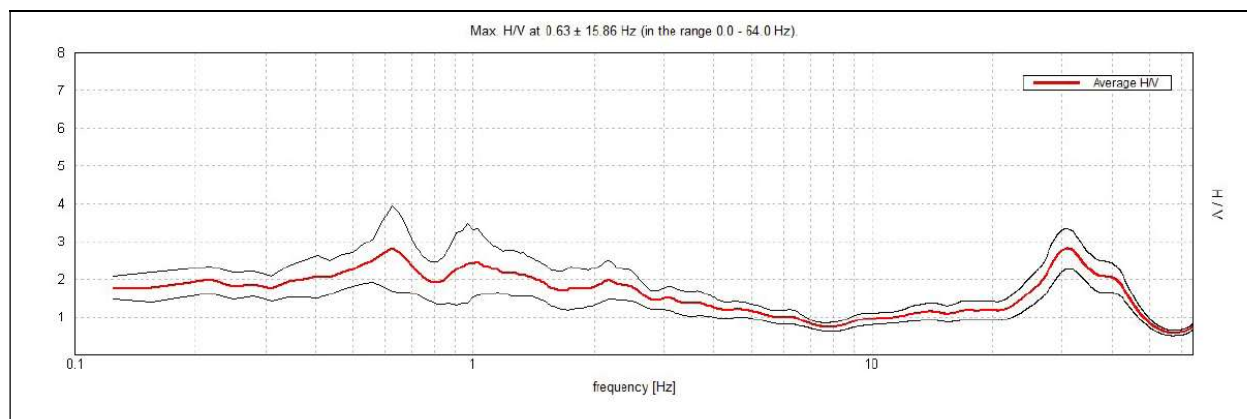
Anche il secondo stendimento ha rilevato 3 strati principali:

"Un primo orizzonte con velocità di propagazione delle onde p fino a 700-900 m/s con spessore massimo variabile da 4 a 10-12m interpretabile come depositi copertura alterazione; lo spessore di questo livello si mostra massimo nel tratto iniziale dello stendimento. È riconoscibile un secondo orizzonte con velocità delle onde p fino a 1500-1700 m/s con spessore massimo investigato di circa 5 m nel primo tratto dello stendimento e con spessore maggiore 8-12 m nel tratto finale; questo orizzonte è interpretabile come substrato alterato / detrito addensato. Il terzo orizzonte con velocità maggiori è interpretabile come substrato poco alterato."



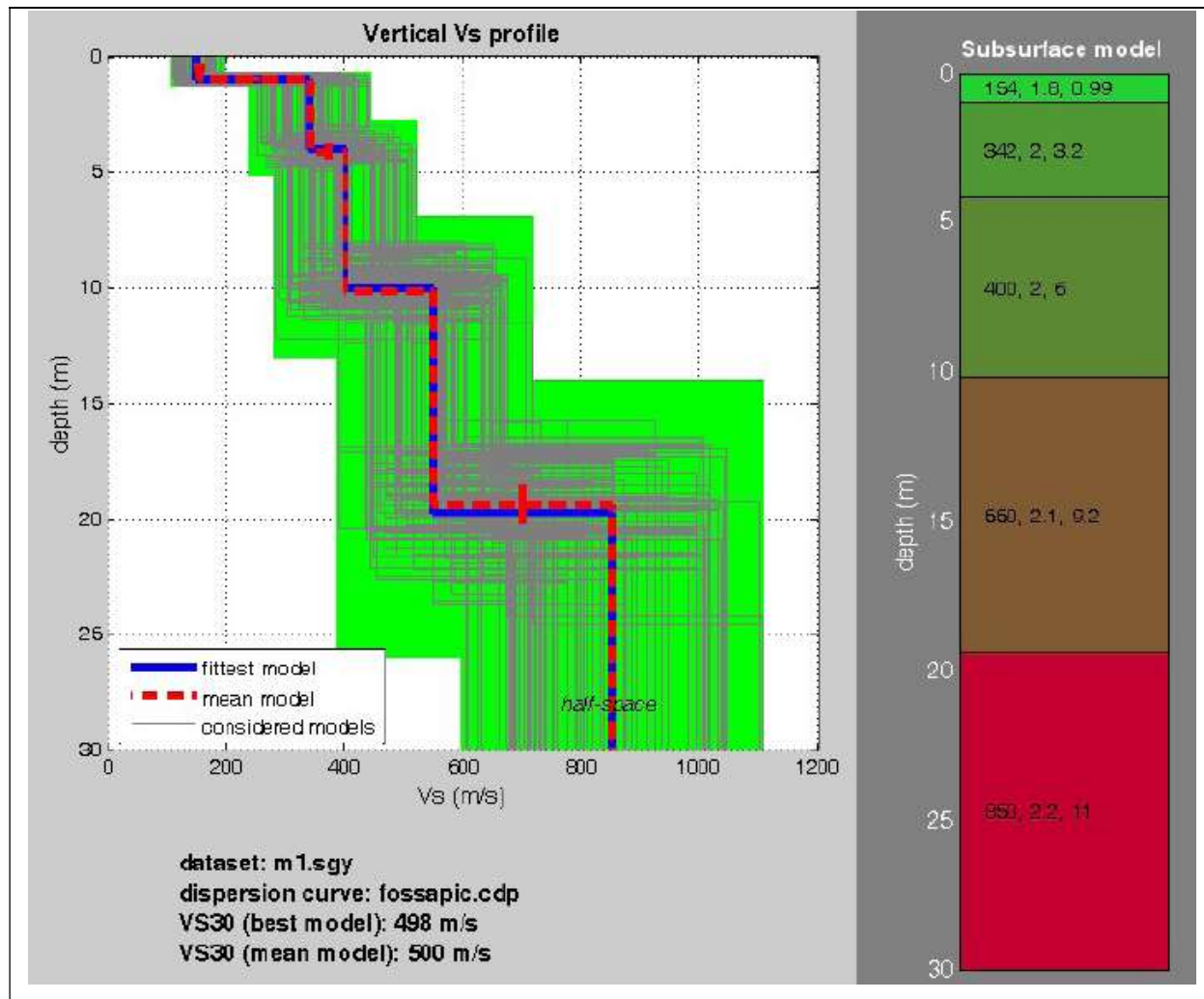
5.3.2 La misura HVSR

Dai risultati dell'indagine HVSR risulta (vedi anche la relazione) nella misura n.1 picco con frequenza 32 Hz e ampiezza 2.8.



5.3.3. La MASW

Dall'analisi congiunta dell'analisi HVSR e dell'analisi MASW deriva un modello sismo stratigrafico delle onde Vs con progressivo aumento delle velocità con la profondità (vedi anche l'illustrazione alla pagina seguente). Gli incrementi più significativi risultano a circa 10 metri (passaggio al substrato alterato?) e a 20 metri, quest'ultimo con raggiungimento delle velocità maggiori di 800 m/s (substrato a consistenza lapidea?).



6. IL MODELLO GEOLOGICO

Le indagini effettuate hanno consentito di verificare le caratteristiche geologiche della zona e la locale successione litostratigrafica. In particolare si distinguono:

- Il terreno franato che è costituito da una coltre eterogenea e scarsamente addensata di spessore medio stimato in circa 3-5 metri, al tetto di una coltre detritica di più ampio spessore (circa 10 metri).
- Al di sotto della coltre detritica si passa presumibilmente ai terreni di alterazione del substrato che risultano di composizione analoga ai soprastanti ma con maggiore grado di addensamento ed una percentuale più rilevante dei termini lapidei con strati e/o trovanti decimetrici di arenarie; il passaggio tra questa unità e la soprastante è piuttosto graduale.
- Infine dalla profondità di circa 20 metri (dalla sede stradale) è forse presente il substrato roccioso.

Pertanto si distinguono le seguenti unità litostratigrafiche:

UNITA' A : Terreno franato. Costituisce la coltre movimentata dal dissesto. Si stima di spessore medio circa 3-5 metri. E' costituito da limi sabbiosi con detrito arenaceo e trovanti. La consistenza è scarsa.

UNITA' B : Coltre detritica. E' una coltre diffusa lungo tutto il pendio e comprende anche la sede stradale di progetto. Ha un spessore medio di circa 10 metri dal locale piano di campagna. E' costituita da limi sabbiosi con detrito di ghiaie medie e grossolane, di consistenza da plastica a molto dura.

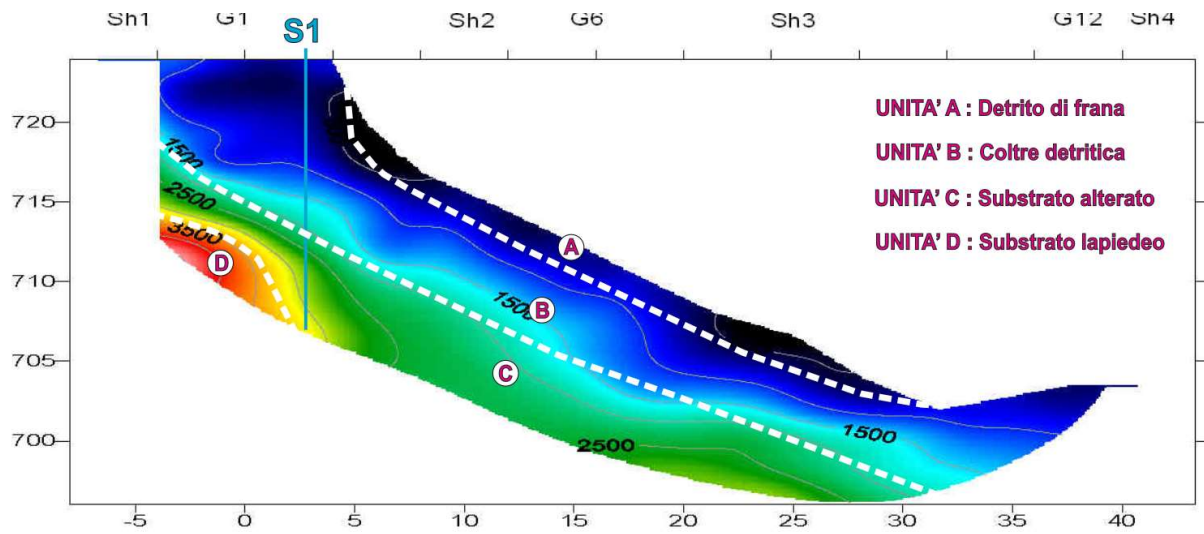
UNITA' C : Substrato alterato e/o molto alterato.

E' costituito da livelli arenacei con detrito di ghiaie medie e grossolana in matrice limoso sabbiosa e presenza di marne e siltiti destrutturati e alterati. Di consistenza medio-elevata.

UNITA' D : Substrato roccioso. E' stato rilevato solamente dalle prospezioni sismiche a profondità di circa 20 metri. Si tratta presumibilmente di arenarie stratificate.

Relativamente al livello di falda si potrà assumere che questo possa corrispondere pressoché al livello del piano di campagna nel periodo invernale con abbassamento di svariati metri in quello estivo.

La sezione stratigrafica con evidenziato il modello sopra ricostruito è riportata nell'illustrazione seguente ed in fig. 10.



7. CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI

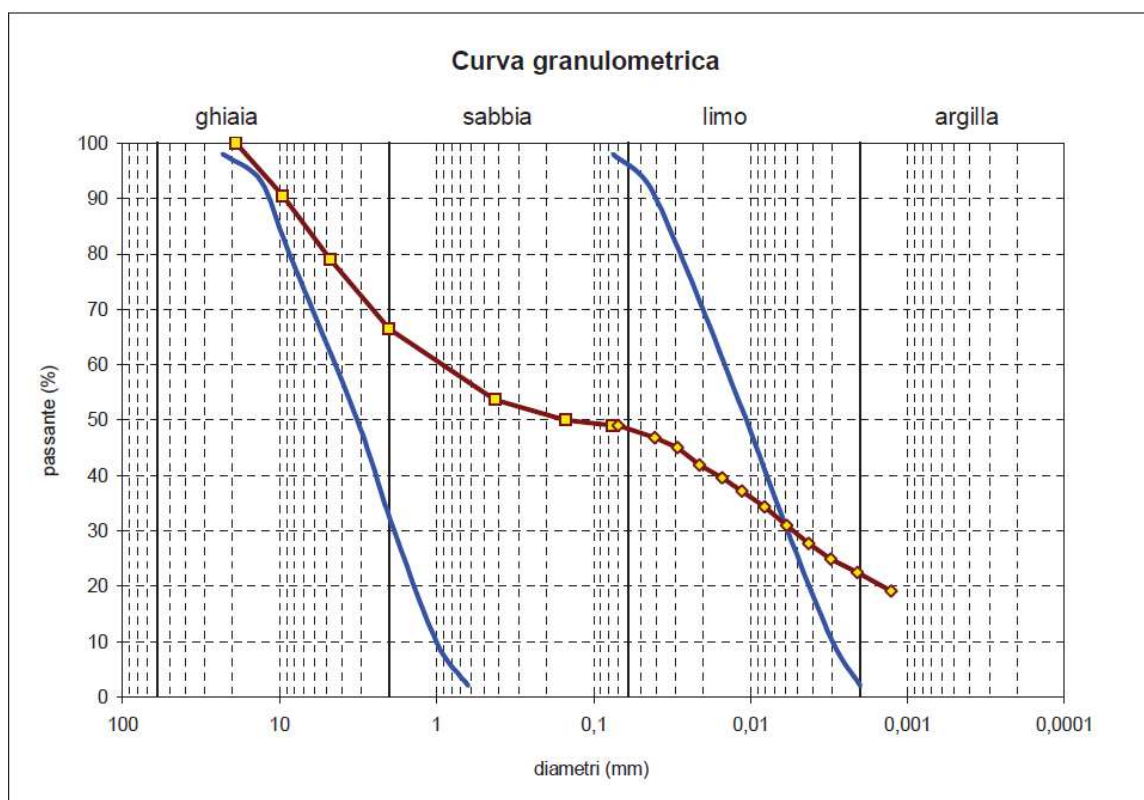
L'analisi tramite sistema HVSR ha evidenziato un picco alla frequenza 32 Hz e ampiezza 2.8.

Relativamente alla determinazione della categoria di sottosuolo si riporta quanto riportato nella relazione sismica:

*"La velocità V_e per il terreno in esame è pari a 408 m/s. **La categoria di suolo da attribuire al sito in esame è B**".*

Riguardo alla stabilità nei confronti della liquefazione l'analisi granulometrica è stata elaborata per confrontare la distribuzione dei valori ottenuti in relazione al fuso suscettibile di liquefazione previsto dalle NTC 2018.

Dal certificato di laboratorio risulta il seguente grafico:



Vi è una percentuale rilevante (circa 30%) che ricade esternamente al fuso di possibile liquefazione e pertanto si esclude tale verifica.

8. LE CONDIZIONI DI STABILITÀ ED IL PROGETTO DELLE OPERE

Dagli elementi emersi dal presente studio risulta in sintesi come il fenomeno gravitativo che ha interessato la pendice (molto acclive) immediatamente a valle della banchina stradale si è innescato in condizione meteo-climatiche particolari (neve e poi pioggia). Il dissesto ha avuto innesco e esaurimento in breve tempo. Non si segnalano particolari fenomeni di riattivazione e/o o retrogressione.

Il terreno franato riguarda lo strato più superficiale (qualche metro circa) di una coltre detritica di notevole spessore (circa 10 metri).

L'intervento strutturale proposto è relativo ad una paratia di micropali da sviluppare in prossimità del ciglio stradale, in una zona stabile seppure al limite del coronamento di frana. Tale opera si prefigge pertanto di garantire la sicurezza della viabilità pubblica nel caso di un'eventuale riattivazione di quel fenomeno franoso e nell'ipotesi di una retrogressione del ciglio di coronamento.

In sintesi la paratia dovrebbe garantire la stabilità della sede stradale anche nel caso, in cui per retrogressione del dissesto, l'opera strutturale di dovesse "scoprire" verso valle.

9. VERIFICHE DI STABILITÀ

Fermo restando lo sviluppo del corpo franoso a valle, sono state eseguite le verifiche di stabilità del versante considerando l'inserimento della paratia di progetto e nell'ipotesi di analizzare l'interazione dell'opera con un'eventuale evoluzione di quel dissesto franoso verso monte.

9.1 MODELLO GEOTECNICO

Per il modello geotecnico si è assunto conservativamente che il substrato alterato (unità C) abbia i medesimi parametri caratteristici della coltre detritica (unità B) e che la coltre franata (unità A) abbia coesione nulla.

Quindi i parametri caratteristici considerati sono i seguenti:

Unità A

Peso di volume	$\gamma = 20,0 \text{ kN/mc}$
Coesione drenata	$c' = 0 \text{ kPa}$
Angolo d'attrito interno drenato	$\Phi' = 25^\circ$

Unità B+C

Peso di volume	$\gamma = 20,0 \text{ kN/mc}$
Coesione drenata	$c' = 15 \text{ kPa}$
Angolo d'attrito interno drenato	$\Phi' = 25^\circ$

Si trascura la presenza di roccia non alterata in profondità.

Inoltre, il modello assume, in via cautelativa, il livello della falda pari al piano campagna in modo da simulare le condizioni di saturazione che hanno portato originariamente all'innescio della frana.

9.2 IL SOFTWARE E CRITERI UTILIZZATI

Per la verifica è stato utilizzato il software "slope" prodotto dalla "Geostru software" con la seguente licenza d'uso:



Slope è un programma per l'analisi di stabilità dei pendii in terra con i metodi dell'Equilibrio Limite (Fellenius, Bishop, Janbu, Bell, Sarma, Spencer, Morgenstern e Price) e il metodo DEM (Elementi Distinti).

Consente di analizzare sia superfici di rottura circolari che di forma generica, in presenza di falda, sisma e terreno pluristratificato. Il software prevede anche l'inserimento di opere d'intervento come muri, tiranti, pali, terre rinforzate e sistemazioni a gradoni.

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e il regime delle pressioni interstiziali.

La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile e la tensione di taglio agente lungo la superficie di scorrimento, è stata eseguita impiegando i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematismo atteso o accertato presi con il loro valore caratteristico.

Tra le varie opzioni di calcolo offerte dal software, si è adottato il metodo di analisi proposto da Bishop del quale si riporta un estratto del modello.

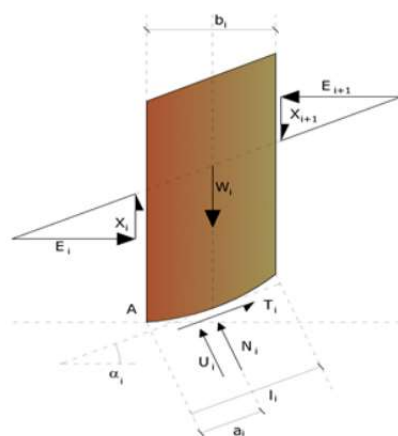
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

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

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.



I risultati del calcolo completi restituiti secondo l'editing del software sono riassunti in tabulati riportati in appendice e di quali contengono anche tutte le informazioni necessarie alla comprensione della situazione morfologica, stratigrafica e geotecnica considerata.

9.3 ESITI DELLE VERIFICHE

Le verifiche di stabilità sono state condotte facendo riferimento all'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2) **valutando però le condizioni maggiormente conservative in assoluto** e quindi :

- condizioni dinamiche;
- coefficienti parziali per i parametri geotecnici di resistenza al taglio γ_{M2} , riportati nella Tabella 6.2.II :

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno				
Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

- coefficiente parziale per la resistenza globale $\gamma_R = 1,1$.

I dati generali di input per la verifica sono pertanto riassunti nella schermata seguente:

Descrizione Descrizione lavori Il Progettista Data ☒ mercoledì 8 settembre 2021	Azione sismica Descrizione A2+M2+R2 Normativa NTC 2018 Accelerazione massima (amax/g) 0,288 Coefficienti azioni sismiche Kh: 0,069 Kv: 0,035 ☐ Incremento delle pressioni neutre Intensità di Arias Ia: 0 m/s Intensità degli incroci con l'asse dei tempi accelerogramma 0 s^-1 Durata accelerogramma Trifunac (1975) Td: 0
Zona Lat./Long. [WGS84] 44,078173 11,061248	Coefficienti parziali azioni Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1 1 Favorevoli: Permanenti, variabili 1 1
Dati generali Litotipo / Pendii in roccia Pendii in terra Forma superficie Circolare Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1 Passo ricerca fattore di sicurezza (10) 10 Numero di conchi 10 Profondità BedRock (m) 4	Coefficienti parziali parametri geotecnici Tangente angolo di resistenza al taglio ρ_j 1,25 Coesione efficace ρ_c' 1,25 Coesione non drenata ρ_{cu} 1,4 ☒ Utilizzare questi coefficienti per ridurre la resistenza del materiale Coefficiente parziale resistenza Coefficiente parziale resistenza ρ_R 1,1

A chiarimento, il dato riportato nel "Grado di sicurezza ritenuto accettabile" che appare nella precedente immagine non ha alcun influenza numerica sul calcolo. In base al valore inserito il software evidenzierà nei diversi report (grafici e di testo) le superfici con fattore di sicurezza inferiori al valore imposto. Ossia, trattasi di un indicatore del livello di sicurezza che l'utente vuole mantenere in riferimento allo stato limite che sta verificando.

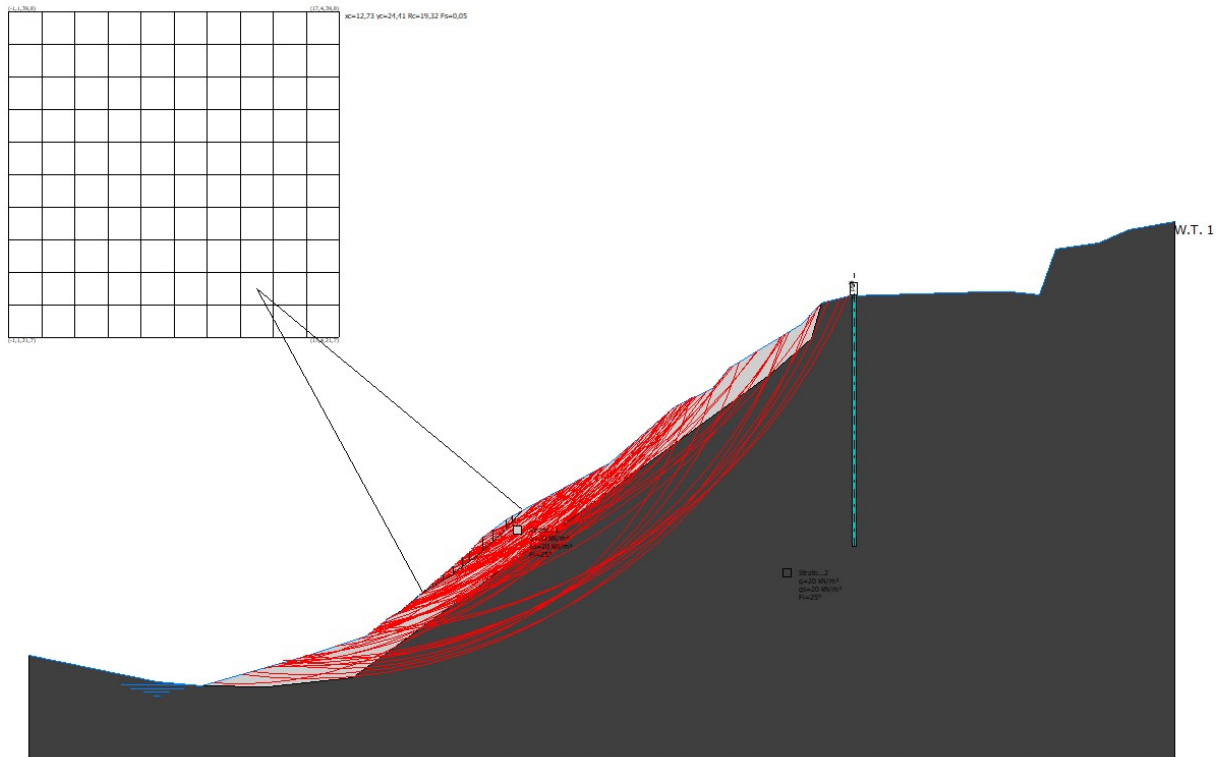
Infine, nel modello è stata inserita l'opera di progetto (paratia di micropali) che si considera di resistenza pressoché infinita al fine di valutare la sua utilità nella distribuzione delle superfici di scorrimento, non si entra nel merito del suo dimensionamento geotecnico.

I cerchi di verifica sono stati suddivisi in scala cromatica con i seguenti criteri in funzione del valore del coefficiente di sicurezza F_s :

- **$F_s < 1$ colore rosso**
- $1 \leq F_s < 1,3$ giallo
- $F_s \geq 1,3$ verde

Tutti calcoli sono stati eseguiti in condizioni drenate.

Il risultato grafico è riassunto nella schermata seguente:



Lo strato in grigio chiaro rappresenta in maniera schematica la coltre franata (unità A), mentre lo strato sottostante grigio scuro la coltre detritica/substrato alterato (unità B+C).

Le pessime condizioni al contorno (condizioni dinamiche, parametri ridotti, terreno saturo) determinano le condizioni di instabilità del versante ma la palificata posta a salvaguardia della strada evita effettivamente conseguenze sulla viabilità.

Sesto Fiorentino, 10 Settembre 2021

Fig. 1 - Carta della Pericolosità Geologica

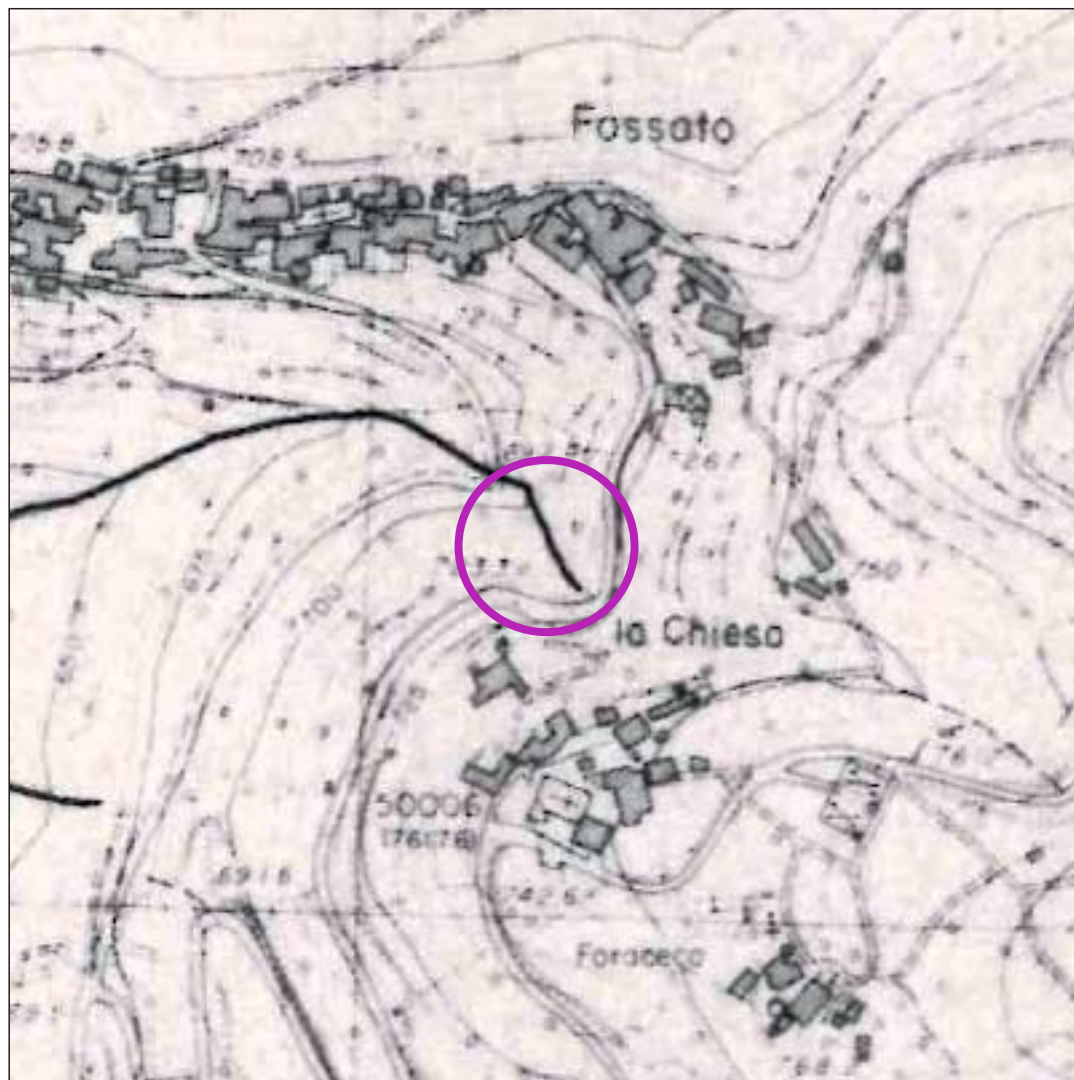
Estratto non in scala da P.S.



Classe 4 (morfologica)	
4f	instabilità dei versanti: frane attive, orlo di scarpata attivo
4i	forte erosione dei conici d'acqua (con scalzamento del piede dei versanti ed instabilità delle coperture superficiali)
Classe 3 (litotecnica)	
3	substrato lapideo su pendenze > del 35%
3a	rocce a composizione argillifica
3d	depositi di versante su pendenze > del 25%
(morfologica)	
3a	area soggetta a soliflusso
3e	area soggetta ad intensi fenomeni erosivi
(sismica per effetti morfologici)	
3m	area di cresta o di scarpata o di rottura di pendio
(sismica per effetti litologici)	
3l	area di intensa fratturazione del substrato litologico, giustapposizione di litologie a diverso comportamento meccanico, avvallamenti con letto roccioso e copertura di terreni sciolti
(litotecnica e sismica per instabilità dinamica)	
3di	ghiacciere a franapoggio meno inclinate del pendio
Classe 2	
2	substrato lapideo su pendenze < del 35% e depositi sciolti su pendenze < del 25%
2si	area di fondovalle con una copertura di depositi alluvionali sopra il substrato roccioso

Fig. 2 - Carta della Pericolosità Idrogeologica

Estratto non in scala da P.S.



Classe 2



terreni di fondovalle non interessati da esondazioni storiche con morfologia favorevole rispetto a possibili eventi alluvionali

Classe 3



terreni di fondovalle soggetti a possibili fenomeni di esondazione

Classe 4



terreni di fondovalle con morfologia tale da essere interessati da fenomeni di esondazione



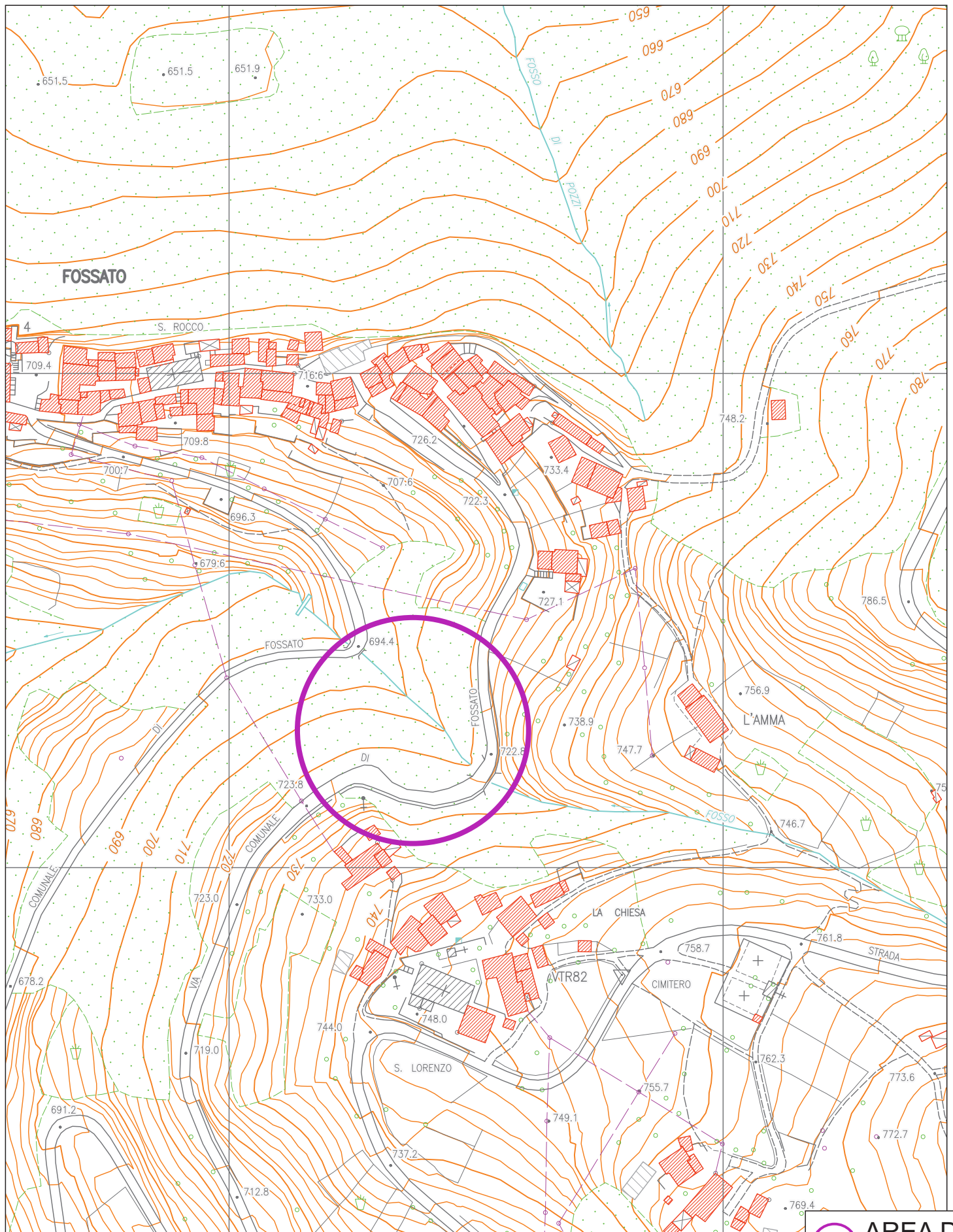
ambito "B" istituito dalla Del.CRT n.230/94



corso d'acqua a rischio idraulico inserito nell'elenco della Del.CRT n.230/94

Fig. 3 - Corografia

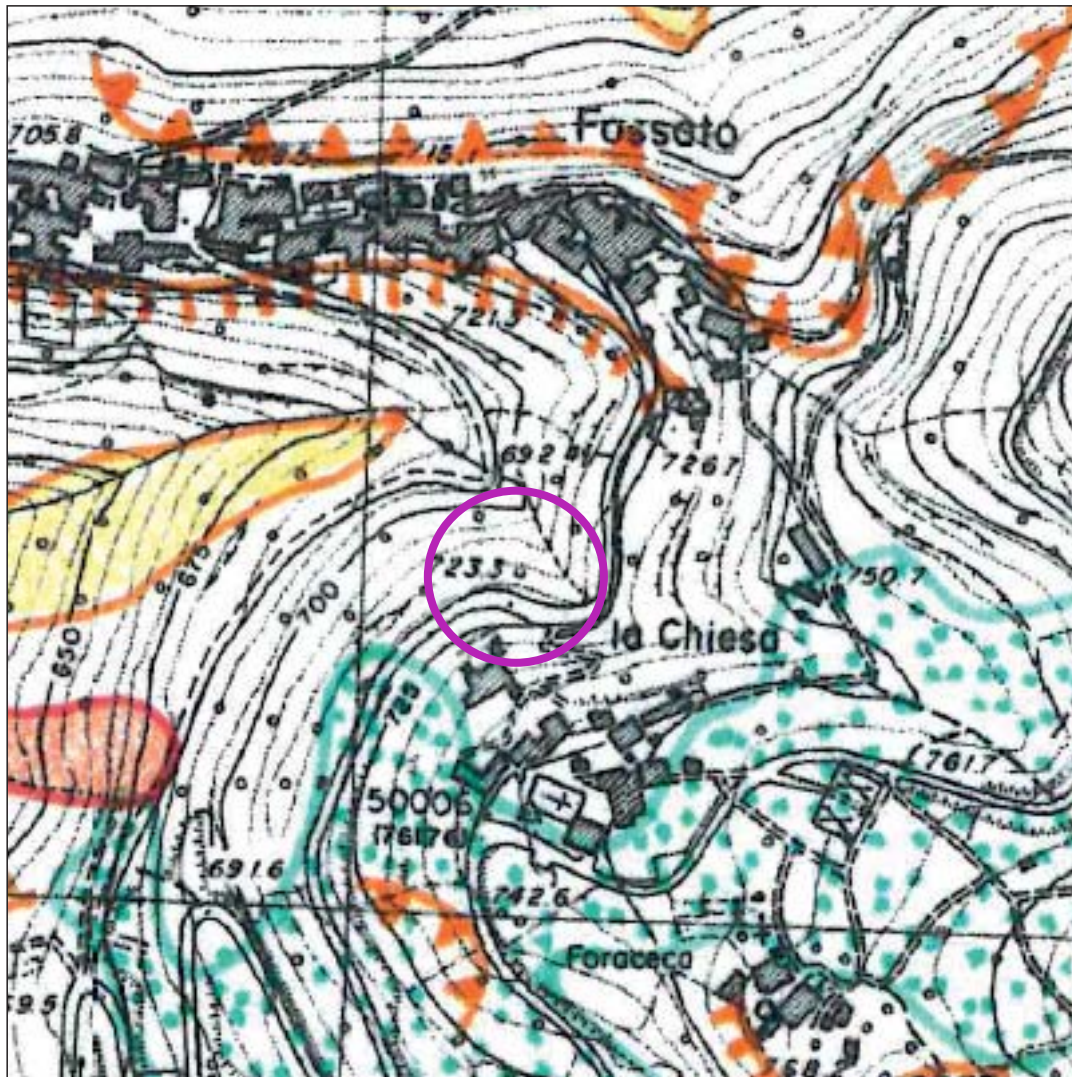
Estratto in scala 1:2000 da CTR



AREA DI STUDIO

Fig. 4 - Carta Geomorfologica

Estratto non in scala da P.S.



PROCESSI SU VERSANTI gravità Forme di versante dovute alla gravità:

FORME DI DENUDAZIONE	ATTIVE		INATTIVE
Nicchia frana			
Contropendenza			
Superficie interessata da soliflusso			
Scarpata di degradazione			
Scarpata di degradazione con orlo arrotondato			
Canalone in roccia con esportazione di detrito			

FORME DI ACCUMULO	ATTIVE		INATTIVE
Corpo di frana			
Franosità diffusa			
Frana di piccole dimensioni			
Detrito di versante			
Cono di detrito			
Falda di detrito			

PROCESSI CARSIICI

Forme carsiche:

FORME DI EROSIONE	
Dolina	
Campi solcati	
Ingresso di grotta	
Fora fluvio carsica	

PROCESSI POLIGENICI

Forme dovute al concorso di due o più processi morfogenetici:

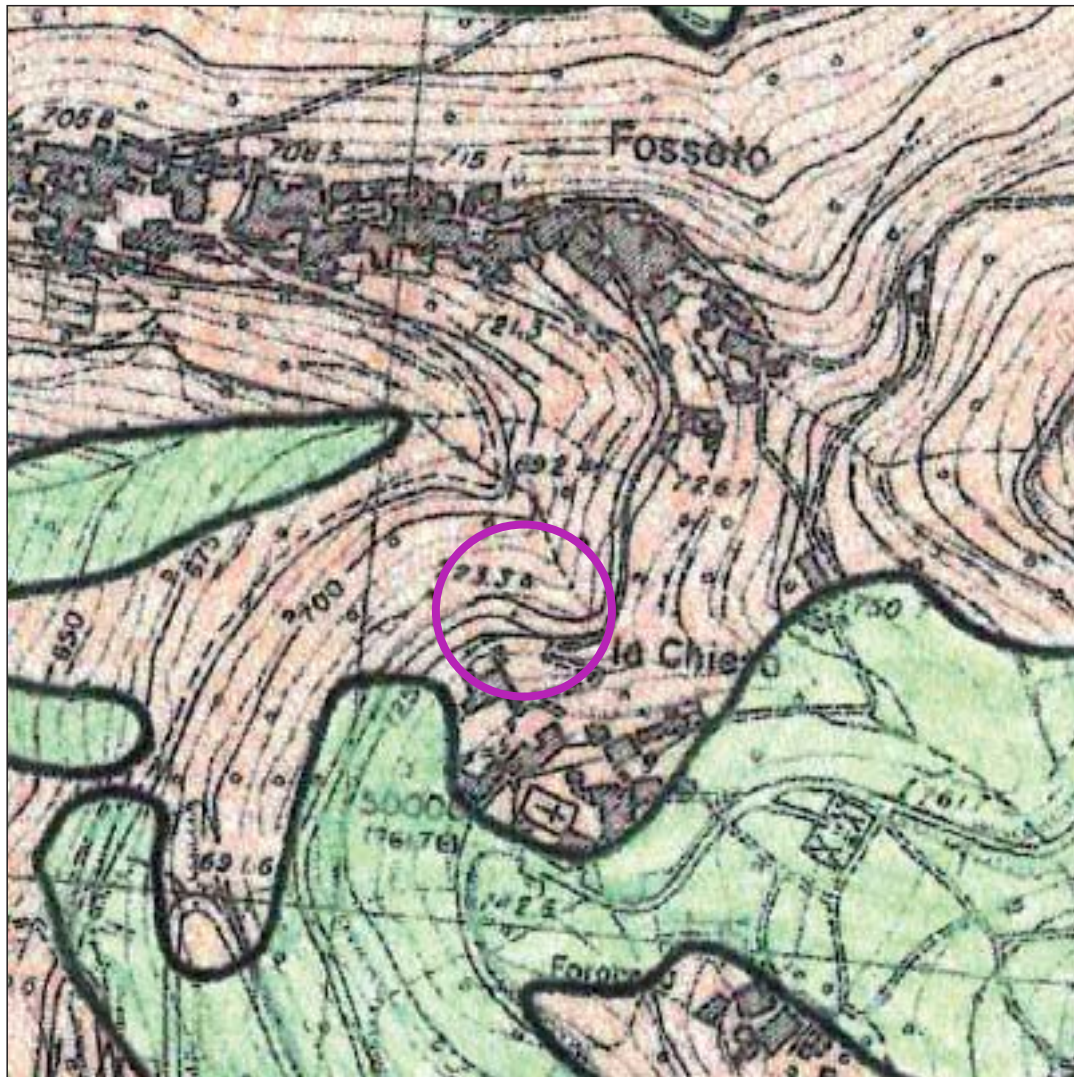
Forma spianata sui fianchi o alla sommità	
Orlo di scarpata di forma semispianata	

FORME ANTROPICHE

Superficie degradata per pascolo	
Superficie degradata per disboscamento	
Cava	
Cava recuperata	
Orlo di scarpata di cava	
Discarica	
Superficie di sbancamento e rel. scarpate	
Terrapieno	
Rilevato stradale e ferroviario	
Corso d'acqua (pennale) in argine artificiale	
Opera di sbarramento per laghetti artificiali	
Briglia traversa etc.	

Fig. 5 - Carta Geolitologica

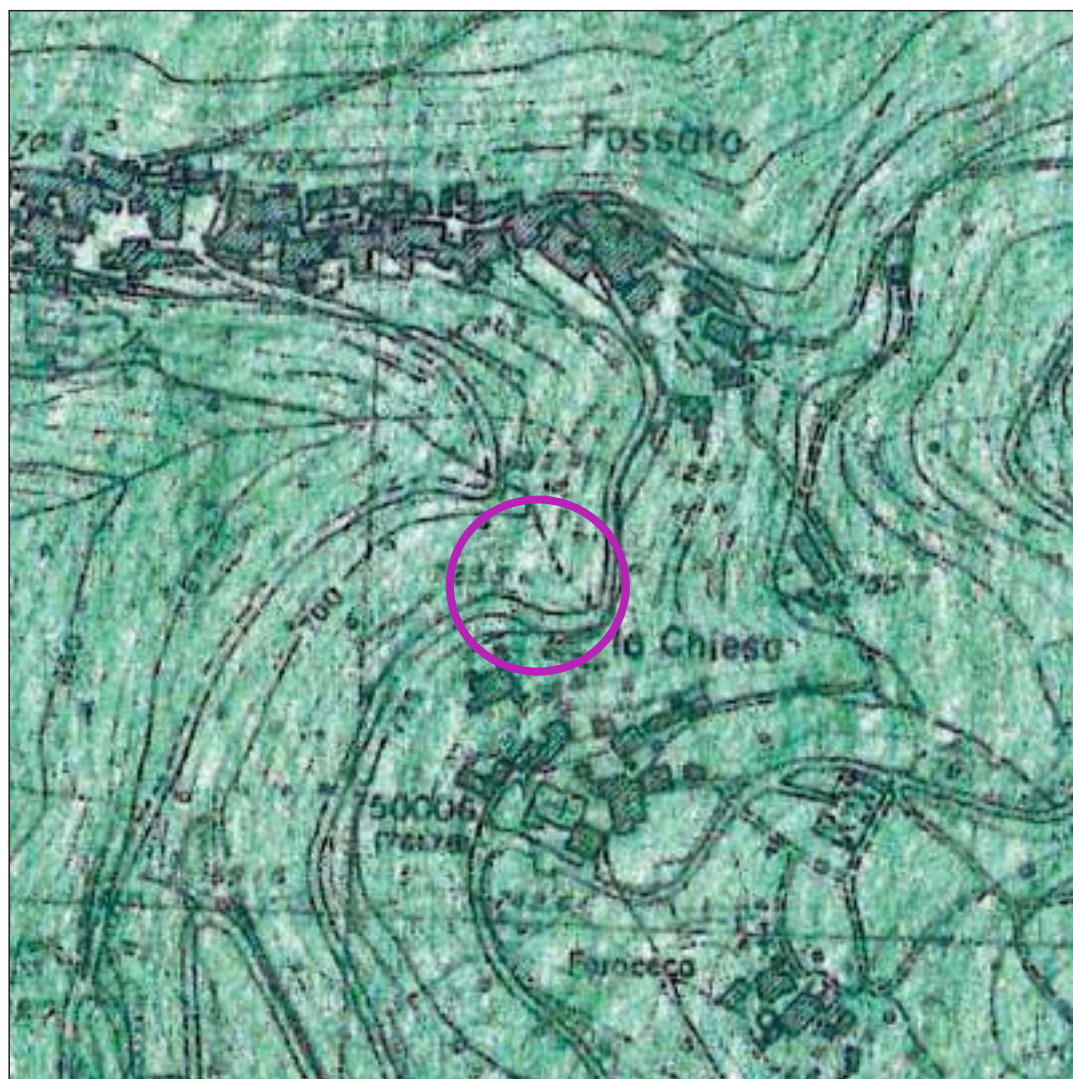
Estratto non in scala da P.S.



ASSOCIAZIONI LITOLOGICHE A PREVALENTE COMPONENTE LAPIDEA		
7	Arenarie con argilliti e siltiti	mg, mc1, Cev
8	Arenarie e siltiti	mg, mc1, mc3, Cev
9	Siltiti con arenarie	mgL, mc1, mc3, Cev
10	Arenarie calcaree ed argillitiche (calc. e marne)	pF, fm
11	Marne e marne con argilliti	mPL, mc2
12	Calcarei marnosi (alberese)	al
13	Calcarei della serie ofiolitifera (Calc. a calpon.)	cP, cf, cc
14	Complesso siliceo e siliceo calcareo	il

Fig. 6 - Carta Idrogeologica

Estratto non in scala da P.S.



a	da elevata a media	Caratteristica dei depositi a granulometria grossolana in cui la frazione fine risulta praticamente assente o in bassa percentuale (depositi alluvionali ed in alcuni casi falde e coni di detrito generate da rocce poco disaggregabili o alterabili in frazione fine)
b	da media a ridotta	Caratteristica di depositi a granulometria eterogenea in cui la matrice fine si presenta abbondante (depositi alluvionali sabbioso limosi, depositi di versante)
c	da ridotta a molto ridotta	Caratteristica di depositi nei quali risulta predominante la frazione fine limoso argillosa (sedimenti fluvio palustri, lacustri, argille eluvio colluviali, depositi di versante generati da materiali prevalentemente argillici)

Fig. 7-a Inquadramento area franosa



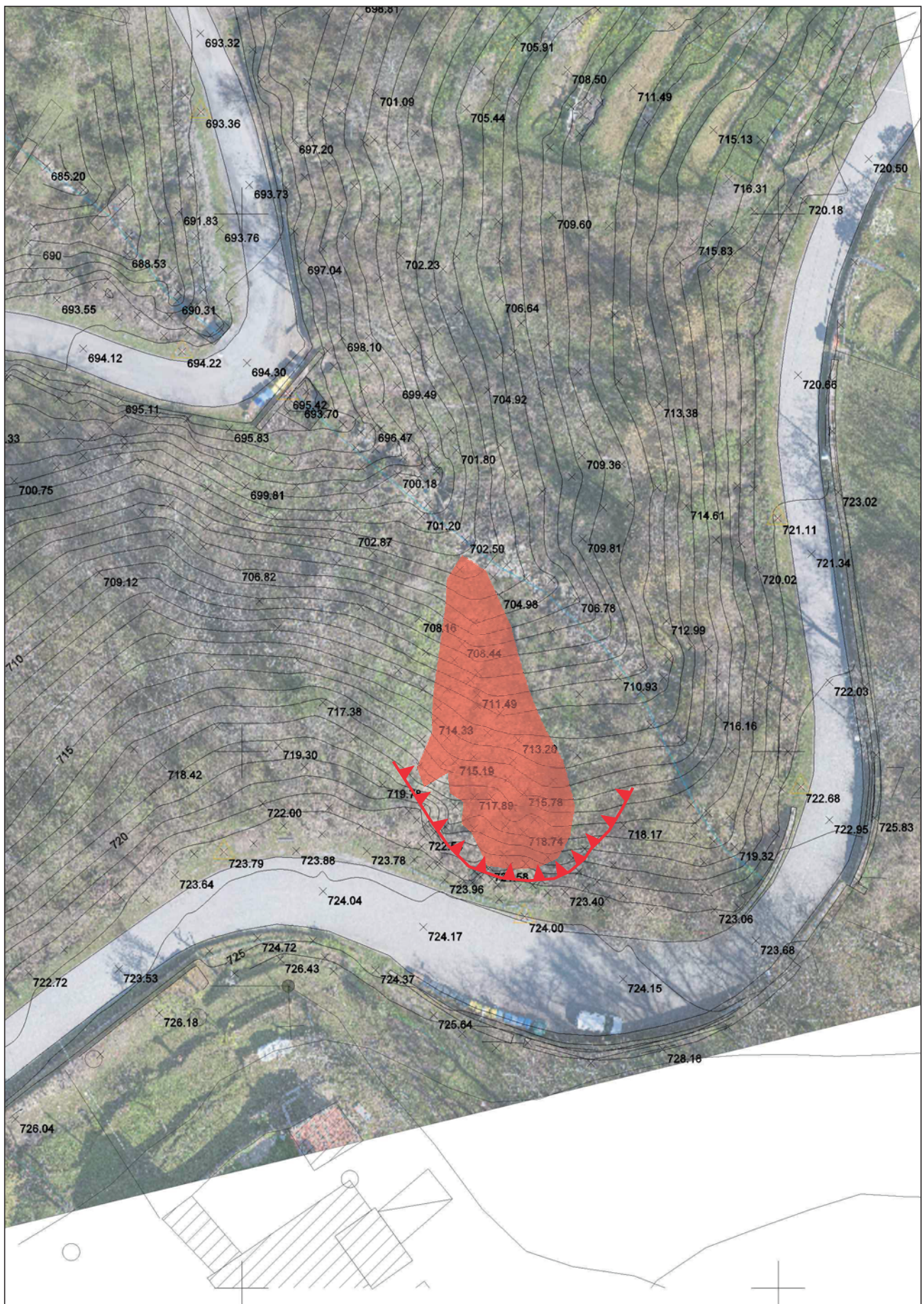
ANTE



POST

da google maps

Fig. 7-b Inquadramento area franosa



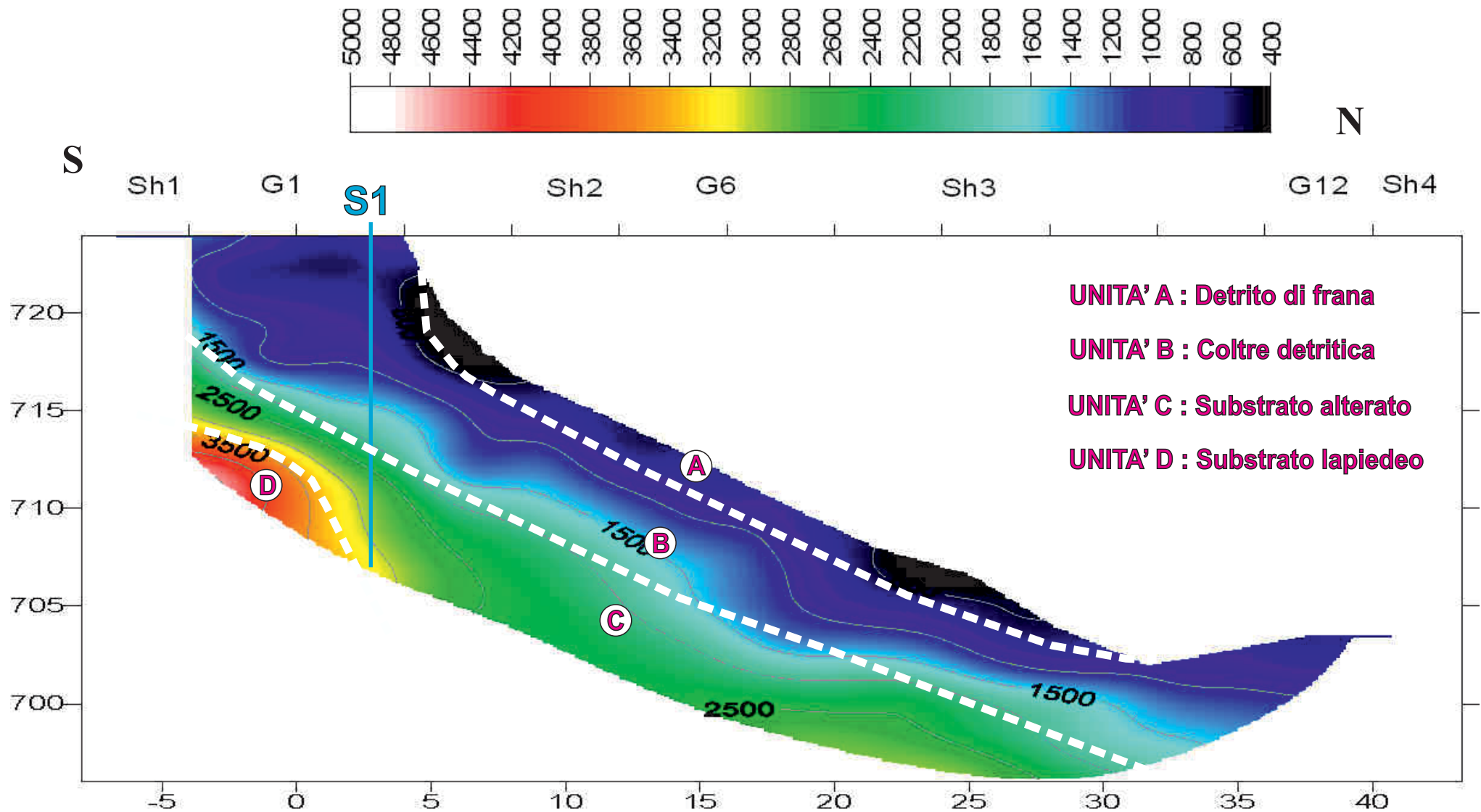
da rilievo plano-altimetrico



Fig. 8 - Ubicazione Indagini



Fig. 9 - Sezione litostratigrafica



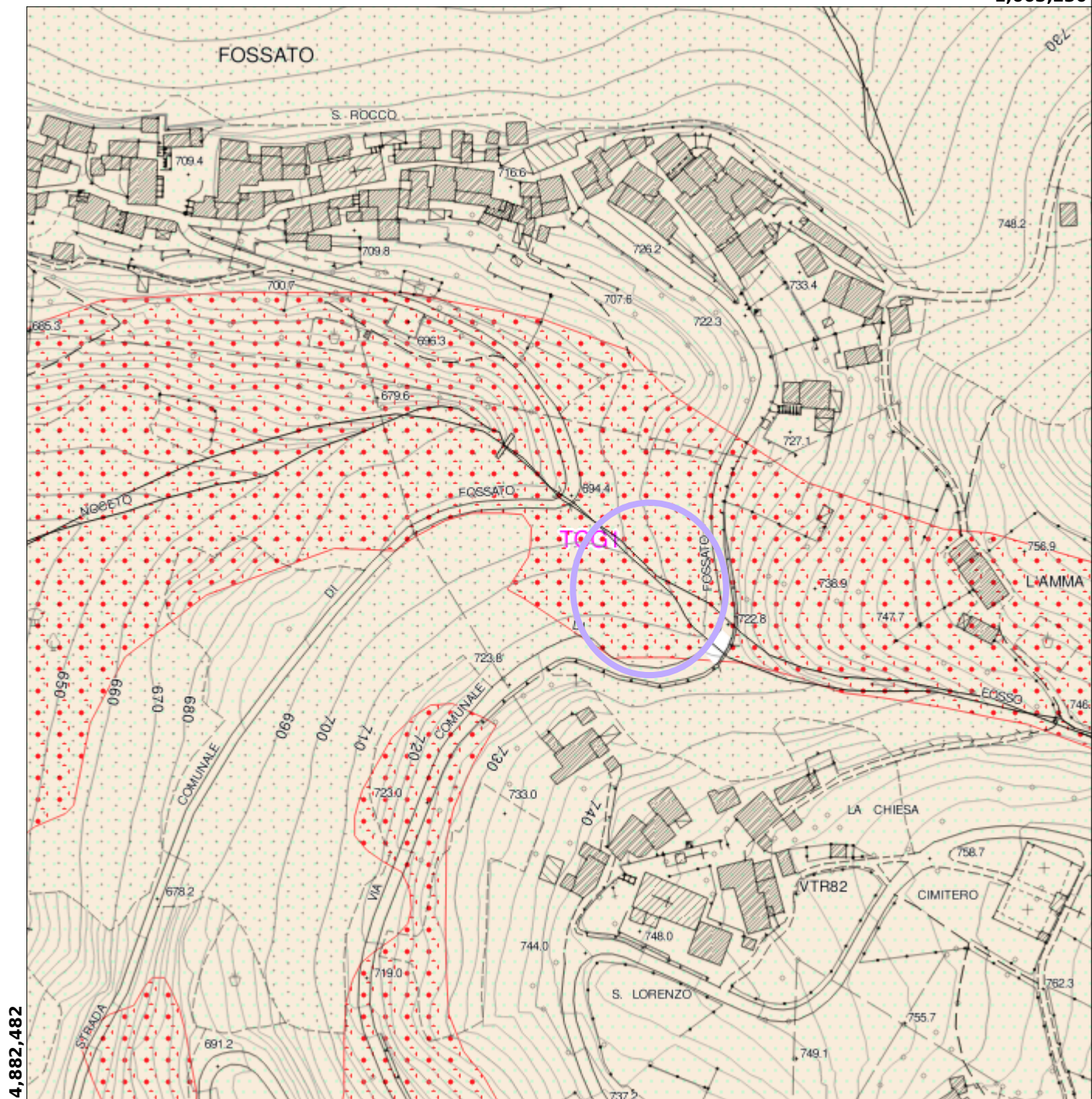


Regione Toscana - DB Geologico

Scala 1 : 2,000

1,665,230

4,882,856



4,882,482

1,664,867

EPSG:3003

Legenda

DBT multiscala da CTRN 1988-2007



Depositi Superficiali da Geomorfologia

 Deposito di versante

Limite geologico

Unita geologica lineare

Affioramento areale

Etichette di Unita geologica areale



Unita geologica areale

 TCG1 - Formazione del Torrente Carigiola: Membro a megastrati arenacei AQUITANIANO p.p.

MICROZONAZIONE SISMICA

Carta geologica e geomorfologica

Scala 1:5.000

Regione Toscana
Comune di Cantagallo



Regione	REGIONE TOSCANA 	Soggetto realizzatore	 Fondazione Prato Ricerche Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi Tecnici Responsabili: Dott. Geol. Andrea Fiaschi Dott. Geol. Luca Matassoni	data	Febbraio 2015
---------	---	-----------------------	---	------	---------------

COMUNE DI CANTAGALLO



MICROZONAZIONE SISMICA

Carta geologica e geomorfologica

Legenda

Depositi Olocenici

-  Deposito di frana attiva (a1a)
-  Deposito di frana quiescente (a1q)
-  Depositi di riporto antropico (h1)
-  Depositi di versante (aa)
-  Depositi eluvio-colluviali (b2a)
-  Depositi alluvionali attuali (b)
-  Depositi alluvionali terrazzati (bn)

Dominio Toscano

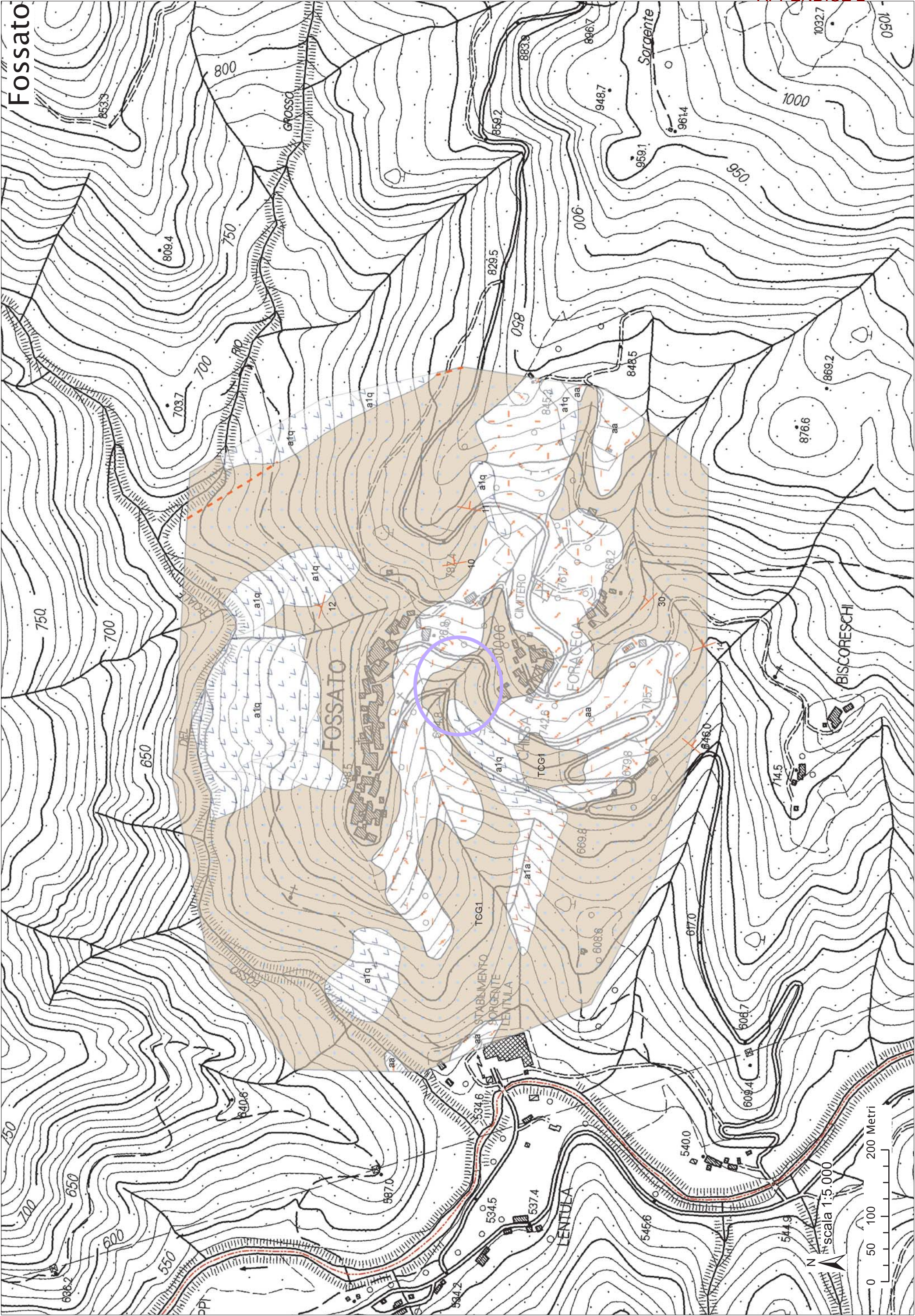
-  Formazione del Torrente Carigiola - Membro a megastrati arenacei (TGC1) - *Acquitani* *a p.*
-  Formazione dell'Acquerino - Membro arenaceo-pelitico (AQR1) - *Chatthiano-Burdigaliano*
-  Formazione dell'Acquerino - Membro pelitico-arenaceo (AQR2) - *Chatthiano-Burdigaliano*
-  Marne varicolori di Villore (MVV) - *Rupeliano-Acquitani*

Elementi tettonico strutturali

-  Faglia diretta accertata
-  Faglia diretta inferita
-  Faglia inversa accertata
-  Faglia inversa inferita
-  Giacitura strati

-  Traccia della sezione geologica
-  Limite del territorio comunale





Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Scala 1:5.000

Regione Toscana
Comune di Cantagallo



Regione	Soggetto realizzatore	data
	 Fondazione Prato Ricerche Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi Tecnici Responsabili: Dott. Geol. Andrea Fiaschi Dott. Geol. Luca Matassoni	Febbraio 2015

COMUNE DI CANTAGALLO



MICROZONAZIONE SISMICA

Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Legenda

Elementi tettonico strutturali

- Faglia non attiva diretta accertata
- + + Faglia non attiva diretta inferita
- △ Faglia non attiva inversa accertata
- △ — △ Faglia non attiva inversa inferita

Elementi geologici

- 30 Giacitura strati
- 10 Profondità (m) substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo
- 10 Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido

Forme di superficie

- Falda detritica

Instabilità di versante

- di scorrimento, attiva
- di scorrimento, quiescente
- di colamento, attiva
- di colamento, quiescente
- non definita, attiva
- non definita, quiescente

Unità geologico tecniche

- SF - Substrato molto fratturato o alterato
- RI - Terreni contenenti resti di attività antropica
- GM -Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- AL -Alternanza di litotipi
- ALS -Alternanza di litotipi stratificato

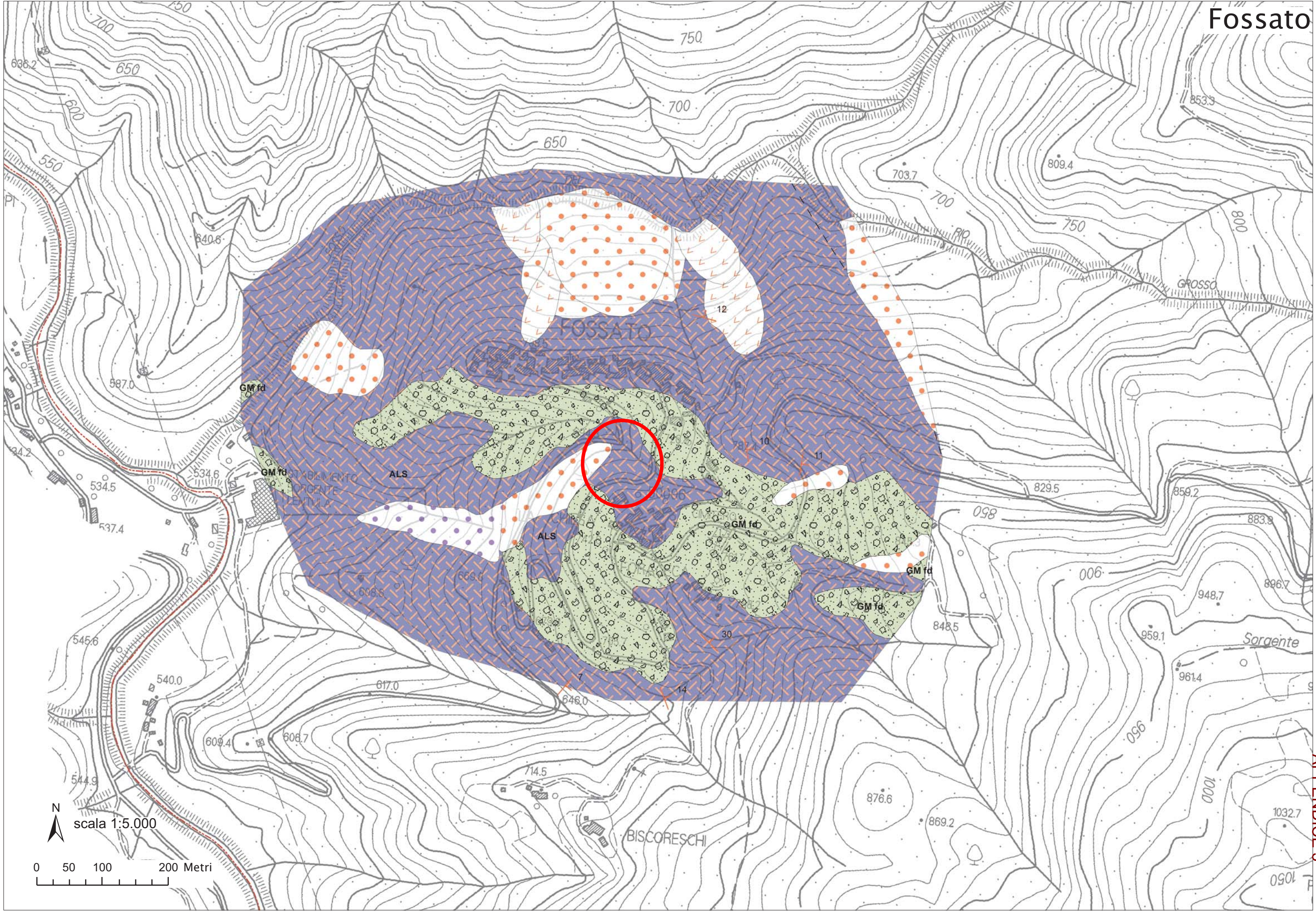
Traccia della sezione geologica

0 50 100 200 Metri

Fondazione Prato Ricerche
Istituto per la ricerca ambientale e la mitigazione dei rischi
Tecnici Responsabili: Dott. Geol. Andrea Fiaschi
Dott. Geol. Luca Matassoni



Febbraio 2015



Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,078173/11,061248
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-1,14 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	21,68 m
Ascissa vertice destro superiore xs	17,35 m
Ordinata vertice destro superiore ys	39,84 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,61	2,46	0,26
S.L.D.	50,0	0,78	2,44	0,26
S.L.V.	475,0	1,96	2,39	0,28
S.L.C.	975,0	2,51	2,4	0,29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,8784	0,2	0,0179	0,009
S.L.D.	1,1232	0,2	0,0229	0,0115
S.L.V.	2,8224	0,24	0,0691	0,0345
S.L.C.	3,4767	0,28	0,0993	0,0496

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,069
Coefficiente azione sismica verticale	0,035

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	3,93
2	7,17	2,49
3	9,65	2,22
4	15,6	3,93
5	18,89	5,01
6	19,98	5,95
7	20,8	6,42
8	24,6	9,7
9	25,36	10,55
10	26,66	11,49
11	27,72	12,13
12	29,86	13,25
13	32,44	14,67
14	36,15	17,89
15	38,21	18,83
16	39,12	19,99
17	43,12	22,4
18	44,25	23,6
19	45,82	24,03
20	53,36	24,25
21	54,83	24,25
22	56,44	24,08
23	57,34	26,61
24	59,72	26,95
25	61,42	27,72
26	63,99	28,16

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	3,92
2	7,17	2,48
3	9,65	2,21
4	15,6	3,92
5	18,89	5,0
6	19,98	5,94
7	20,8	6,41
8	24,6	9,69
9	25,36	10,54
10	26,66	11,48
11	27,72	12,12
12	29,86	13,24
13	32,44	14,66
14	36,15	17,88
15	38,21	18,82
16	39,12	19,98
17	43,12	22,39
18	44,25	23,59
19	45,82	24,02
20	53,36	24,24
21	54,83	24,24
22	56,44	24,07
23	57,34	26,6
24	59,72	26,94
25	61,42	27,71

26	63,99	28,15
Vertici strato1		
N	X (m)	y (m)
1	0,0	3,93
2	7,17	2,49
3	9,65	2,22
4	13,34	2,16
5	18,07	2,69
6	41,47	19,71
7	43,71	21,62
8	44,25	23,6
9	45,82	24,03
10	53,36	24,25
11	54,83	24,25
12	56,44	24,08
13	57,34	26,61
14	59,72	26,95
15	61,42	27,72
16	61,42	27,72
17	63,99	28,16

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia				
1	0	0	25	20	20					
2	15	0	25	20	20					
Pali...										
	N°	x (m)	y (m)	Diametro (m)	Lunghezz a (m)	Inclinazio ne (°)	Interasse (m)	Resistenza al taglio (kN/m²)	Momento plasticizza zione (kN*m)	Metodo stabilizzaz ione
	1	45,96387	24,05002	0,22	14	90	0,35	100000	--	Tensione tangenzial e

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	0,05
Ascissa centro superficie	12,73 m
Ordinata centro superficie	24,41 m
Raggio superficie	19,32 m

Numero di superfici esaminate....(86)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	10,9	22,6	19,5	0,11
2	11,8	21,7	19,3	0,36
3	12,7	22,6	18,2	0,05
4	13,7	21,7	18,2	0,32
5	14,6	22,6	16,7	0,05
6	15,5	21,7	16,7	0,10
7	16,4	22,6	17,2	0,34
8	17,4	21,7	14,4	0,08
9	12,7	24,4	19,3	0,05
10	13,7	23,5	19,2	0,09
11	14,6	24,4	20,1	0,37
12	15,5	23,5	17,6	0,09
13	16,4	24,4	18,4	0,11
14	17,4	23,5	20,3	0,38
15	12,7	26,2	20,9	0,07
16	13,7	25,3	20,5	0,09
17	14,6	26,2	21,7	0,38
18	15,5	25,3	18,8	0,09
19	16,4	26,2	20,0	0,12
20	17,4	25,3	21,9	0,36
21	10,9	28,0	23,9	0,07
22	11,8	27,1	23,6	0,30
23	12,7	28,0	24,6	0,44
24	13,7	27,1	21,8	0,10
25	14,6	28,0	22,6	0,27
26	15,5	27,1	19,9	0,11
27	16,4	28,0	20,5	0,13
28	17,4	27,1	23,3	0,33
29	10,9	29,9	25,4	0,08
30	11,8	28,9	24,9	0,10
31	12,7	29,9	26,1	0,50
32	13,7	28,9	22,9	0,10
33	14,6	29,9	24,1	0,22
34	15,5	28,9	23,7	0,41
35	16,4	29,9	21,9	0,14
36	17,4	28,9	21,5	0,13
37	10,0	30,8	25,9	0,07
38	11,8	30,8	26,6	0,33
39	12,7	31,7	25,0	0,11
40	13,7	30,8	24,5	0,11
41	14,6	31,7	25,7	0,36
42	15,5	30,8	28,1	0,37
43	16,4	31,7	23,6	0,14
44	17,4	30,8	23,1	0,20
45	10,9	33,5	28,8	0,11
46	11,8	32,6	28,3	0,39
47	12,7	33,5	26,7	0,12
48	13,7	32,6	26,2	0,12
49	14,6	33,5	30,2	0,30
50	15,5	32,6	29,7	0,32
51	16,4	33,5	25,2	0,13
52	17,4	32,6	24,7	0,29
53	9,0	35,3	30,0	0,09

54	10,0	34,4	29,4	0,10
55	10,9	35,3	30,5	0,11
56	11,8	34,4	30,0	0,43
57	12,7	35,3	28,4	0,13
58	13,7	34,4	27,9	0,12
59	14,6	35,3	31,8	0,29
60	15,5	34,4	25,7	0,17
61	16,4	35,3	26,9	0,13
62	17,4	34,4	29,3	0,36
63	10,0	36,2	31,1	0,11
64	10,9	37,1	32,3	0,33
65	11,8	36,2	31,7	0,41
66	12,7	37,1	30,1	0,13
67	13,7	36,2	29,6	0,12
68	14,6	37,1	33,5	0,29
69	15,5	36,2	30,2	0,44
70	16,4	37,1	28,6	0,13
71	17,4	36,2	30,9	0,35
72	9,0	38,9	33,5	0,12
73	10,0	38,0	32,9	0,11
74	11,8	38,0	30,7	0,16
75	12,7	38,9	31,8	0,12
76	13,7	38,0	31,3	0,32
77	14,6	38,9	32,4	0,43
78	15,5	38,0	29,1	0,13
79	16,4	38,9	30,2	0,12
80	17,4	38,0	29,7	0,39
81	8,1	39,8	34,2	0,12
82	10,0	39,8	34,6	0,11
83	11,8	39,8	32,4	0,16
84	13,7	39,8	33,0	0,33
85	15,5	39,8	30,8	0,12
86	17,4	39,8	31,4	0,35

Indice

1.Dati generali	1
2.Vertici profilo	2
3.Falda	2
4.Vertici strato1	3
5.Coefficienti parziali azioni	3
6.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	3
7.Stratigrafia	3
8.Pali...	3
9.Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]	3
Indice	6

Committente Comune di Cantagallo	Profondità raggiunta 17.8	Quota Ass. P.C.	Certificato n° 120521-1	Pagina
Operatore Alberto Iotti	Indagine Fossato	Note1		Inizio/Fine Esecuzione 12/05/21
Responsabile Dott. Alberto Iotti	Sondaggio S1	Tipo Carotaggio Continuo	Tipo Sonda Beretta T41	Coordinate X Y 44.078155, 11.061239

Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Pocket Test kg/cm ²	Vane Test kg/cm ²	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Cass. Catalog.	Falda	Altre prove	Altre prove
		Riporto	-0.40											
-1		Detrito di versante costituito da limi e sabbie con ciottoli di varia natura		%C=100	9-2-3									
-2					-2.00 PC									
-3														
-4														
-5														
-6														
-7					7-9-8									
-8					-7.50 PC									
-9														
-10														
-11			-11.00	%C=100										
-12		Alternanza di liuvelli arenacei e marnosi con spessore variabile da 10 a 60 cm. Substrato fratturato?												
-13														
-14														
-15														
-16														
-17			-17.80	%C=100										
-18														
-19														
-20														

Responsabile





Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A
Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007
Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

CERTIFICATO N° **029-21** DATA **03/06/21** PAGINA **1 / 22**

VERBALE DI ACCETTAZIONE: **21027** DATA **12/05/21**

COMMITTENTE **Comune di Cantagallo
Area 5 - Ufficio Tecnico
Cantagallo (PO)**

RICHIEDENTE **Geol. Gianni Focardi**

PROVENIENZA (dichiarata) **Via L'Estaque - Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
CIG ZF331B773E - CUP: F87H20001800001

NUMERO CAMPIONI **2**

ELENCO PROVE ESEGUITE

Contrassegno			Codice campione		Codici delle prove eseguite, oggetto del certificato														
Sond.	Camp.	Prof.																	
1	1	6,4-6,8	21027	01	-	G	Gs	Gr	-	-	-	-	TG	-	-	-	-	-	-
1	2	9,5-9,9	21027	02	-	G	-	-	-	-	-	-	TG	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Simbologia: w=contenuto di acqua; G=peso di volume; Gs=peso specifico; GR=granulometria; LC= limite liquido e limite plastico; LR = limite di ritiro; BM= Blu di metilene; ELL= compressione semplice; TG= taglio diretto; ED= prova edometrica; RIG= prova di rigonfiamento; TX=prova triassiale; TT= taglio torsionale; K=permeabilità; CH= analisi chimiche; PC=prova di costipamento; cbr= CBR.

OSSERVAZIONI

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi
Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo
Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	2 / 22
Committente	Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)				
Richiedente	Geol. Gianni Focardi				
Provenienza	Via L'Estaque - Loc. Fossato - Cantagallo (PO)				
Contenitore	Fustella PVC	Diametro (mm)	85	Lunghezza (cm)	35
Contrassegno	Sond. 1	Camp. 1	Profondità (m)	6,4 - 6,8	

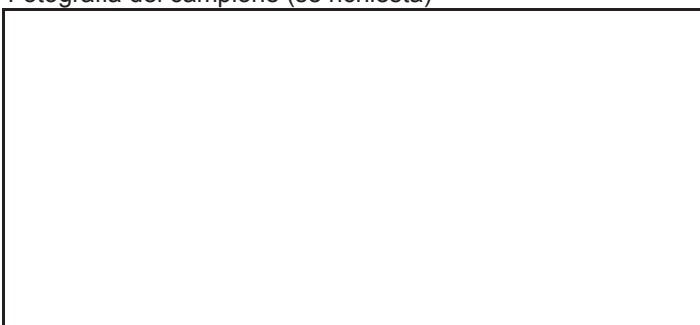
DESCRIZIONE DEL CAMPIONE E PROGRAMMA PROVE

Data di apertura del campione **17/5/21**

Descrizione del campione:

Limo argilloso sabbioso bruno con abbondanti inclusi ghiaiosi.Classe di qualità **Q5**

Fotografia del campione (se richiesta)



Ubicazione dei provini sottoposti ad analisi (disegno non in scala)

		P.P.	V.T.	P.P. = Pocket penetrometer (kPa) V.T. = Vane test (kPa)
Alto	TG	150	70	OSSERVAZIONI:
		150	80	
Basso				

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A
 Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007
 Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **3/6/21** Pagina **3 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** del **12/5/21** Prova numero **2102701 -G**
 Committente **Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)**
 Richiedente **Geol. Gianni Focardi** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Contenitore **Fustella PVC** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**
 Contrassegno Sond. **1** Camp. **1** Profondità (m) **6,4 - 6,8**

PESO DI VOLUME

(UNI CEN ISO/TS 17892/2)

Data di prova: **17/05/2021**

Peso del terreno	g	4093,0
Volume del terreno	cm ³	1940,7
Massa specifica	g/cm ³	2,11
Peso di volume	kN/m³	20,7

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **03/06/21** Pagina **4 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** del **12/5/21** Prova numero **2102701 - Gs**
 Committente **Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)**
 Richiedente **Geol. Gianni Focardi** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Contenitore **Fustella PVC** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**
 Contrassegno Sond. **1** Camp. **1** Profondità (m) **6,4 - 6,8**

PESO SPECIFICO DEI GRANI

(UNI CEN ISO/TS 17892/3)

Data di prova inizio **22/5/21** termine **24/5/21**

Picnometro	g	40,88
Campione + picnometro	g	66,80
Camp. + picnometro + acqua	g	158,63
Picnometro + acqua	g	142,15
Temperatura °C	°C	20,0
Peso specifico dell'acqua (alla temperatura di prova)	-	1,0000
Peso specifico dei grani	-	2,75
Peso di volume dei grani	kN/m³	26,9

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A
Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007
Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **3/6/21** Pagina **5 / 22**
Verbale di accettazione n° **21027** del **12/5/21** Prova numero **2102701 - GR 1**
Committente **Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)**
Richiedente **Geol. Gianni Focardi** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
Contenitore **Fustella PVC** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**
Contrassegno Sond. **1** Camp. **1** Profondità (m) **6,4 - 6,8**

ANALISI GRANULOMETRICA

Date di prova: inizio **17/5/21** termine **29/5/21**

Analisi granulometrica per setacciatura
(via umida) (CNR-UNI A. V. N.23)

Massa del materiale g = 472,32

Set. ASTM	Diam. mm	Peso %	Tratt. %	Pass. %
3"	76,2	0,00	0,00	100,0
2"	50,8	0,00	0,00	100,0
1,5"	38,1	0,00	0,00	100,0
3/4"	19	0,00	0,00	100,0
3/8"	9,5	9,51	9,51	90,5
4	4,75	11,55	21,06	78,9
10	2,00	12,48	33,55	66,5
40	0,425	12,78	46,33	53,7
100	0,150	3,69	50,02	50,0
200	0,075	0,97	51,00	49,0

Analisi granulometrica per sedimentazione
(AASHTO T 88-72)

Agente disperdente: esametafosfato di sodio 45,70 g/l

Idrometro: tipo 151 H

Massa del materiale g = 50,00

Materiale passante al setaccio ASTM 40

Peso specifico dei grani: 2,75

Temp. °C	Tempo min	Lettura densim.	Dimen. mm	Pass. %
18	0,33	1,0310	0,069	49,0
18	1	1,0296	0,041	46,8
18	2	1,0285	0,029	45,1
18	4	1,0265	0,021	41,9
18	8	1,0250	0,015	39,5
18	15	1,0235	0,011	37,1
18	30	1,0217	0,008	34,3
18	60	1,0196	0,006	31,0
18	120	1,0175	0,004	27,7
18	240	1,0157	0,003	24,8
18	544	1,0142	0,002	22,4
18	1521	1,0121	0,001	19,1

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo

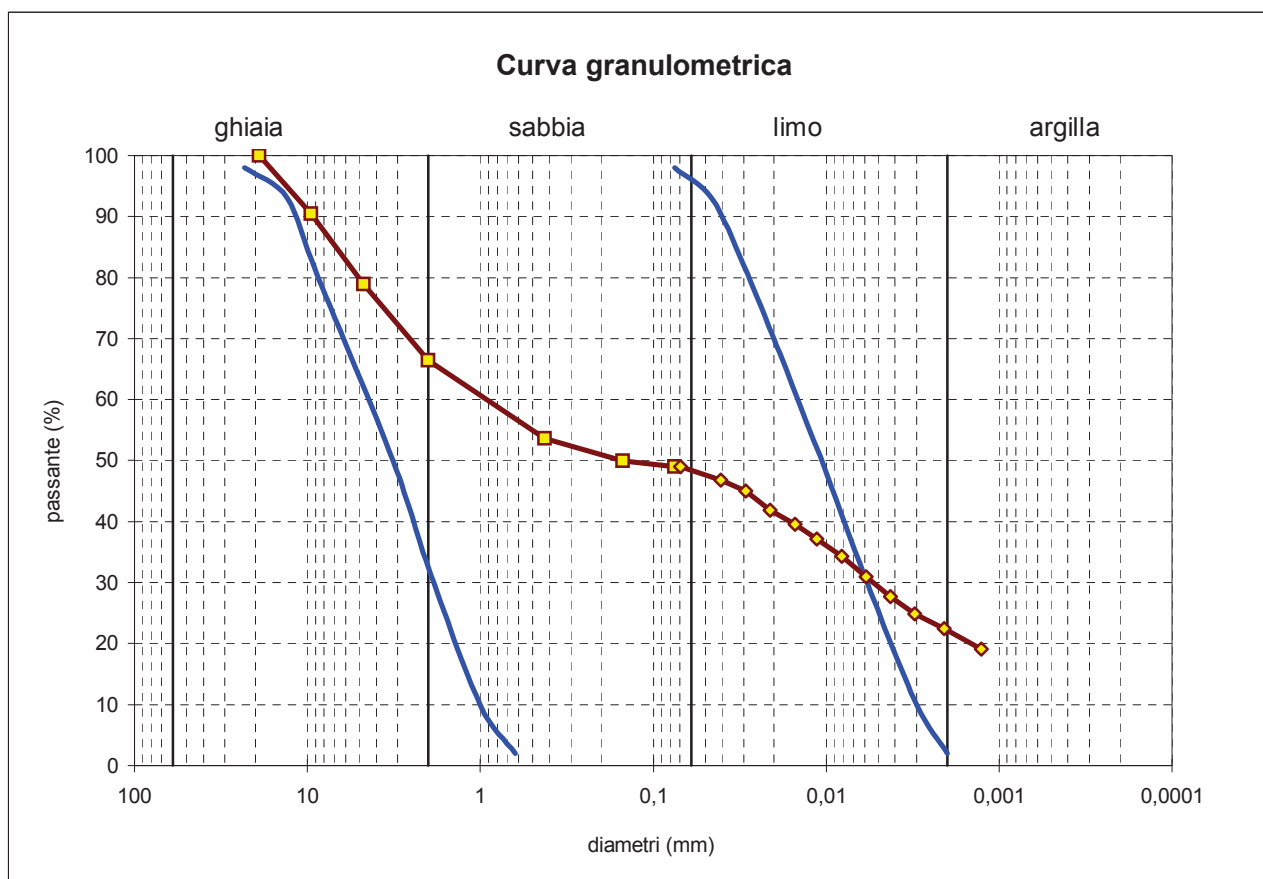


Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A
Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007
Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	6 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	del	12/5/21	Prova numero	2102701 - GR 2
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Prof. (metri)	6,4 - 6,8

CURVA GRANULOMETRICA



Riepilogo dei risultati

Ciottoli	(> 60mm)	%	0
Ghiaia	(60 - 2 mm)	%	34
Sabbia	(2 - 0,060 mm)	%	18
Limo	(0,060-0,002 mm)	%	26
Argilla	(< 0,002 mm)	%	22

Coefficiente di uniformità : $U (D_{60}/D_{10}) =$ non determinabile

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi
Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo
Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **3/6/21** Pagina **7 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** del **12/05/21** Prova numero **2102701 -TG/1**
 Committente **Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)**
 Richiedente **Geol. Gianni Focardi** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Contenitore **Fustella PVC** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **35**
 Contrassegno Sond. **1** Camp. **1** Profondità (m) **6,4 - 6,8**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(UNI CEN 17892-10)

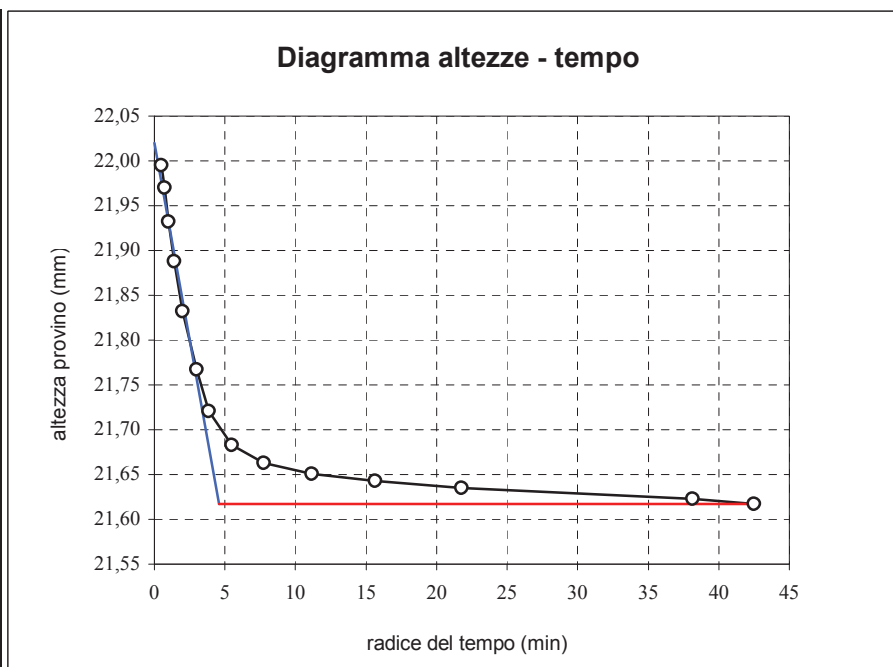
Data di prova inizio **17/5/21** termine **21/5/21**TEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **1**

Dimensioni iniziali altezza mm 22,60
 sezione cm² 36,00

Pressione normale: kPa 100

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

t (min)	Lett. mm	H mm
0	22,73	22,60
0,25	22,13	22,00
0,5	22,10	21,97
1	22,06	21,93
2	22,02	21,89
4	21,96	21,83
9	21,90	21,77
15	21,85	21,72
30	21,81	21,68
60	21,79	21,66
125	21,78	21,65
245	21,77	21,64
475	21,77	21,64
1455	21,75	21,62
1805	21,75	21,62

Tempo di consolidazione t_{100}

21 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0223 mm/min

il Direttore

Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore

Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

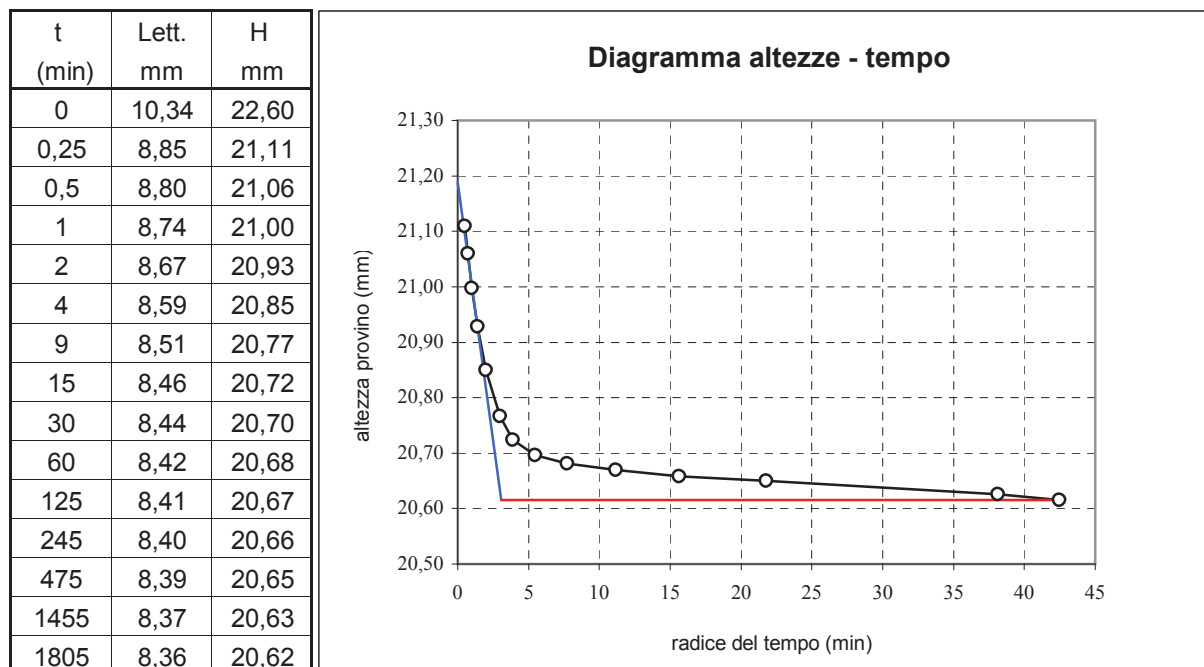
Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	8 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102701 -TG/2		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Prof. (metri)	6,4 - 6,8

PROVA DI TAGLIO DIRETTOTEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **2**

Dimensioni iniziali	altezza	mm	22,60
	sez.	cm2	36,00

Pressione normale: kPa 200

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

Tempo di consolidazione t_{100}

10 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0496 mm/min

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

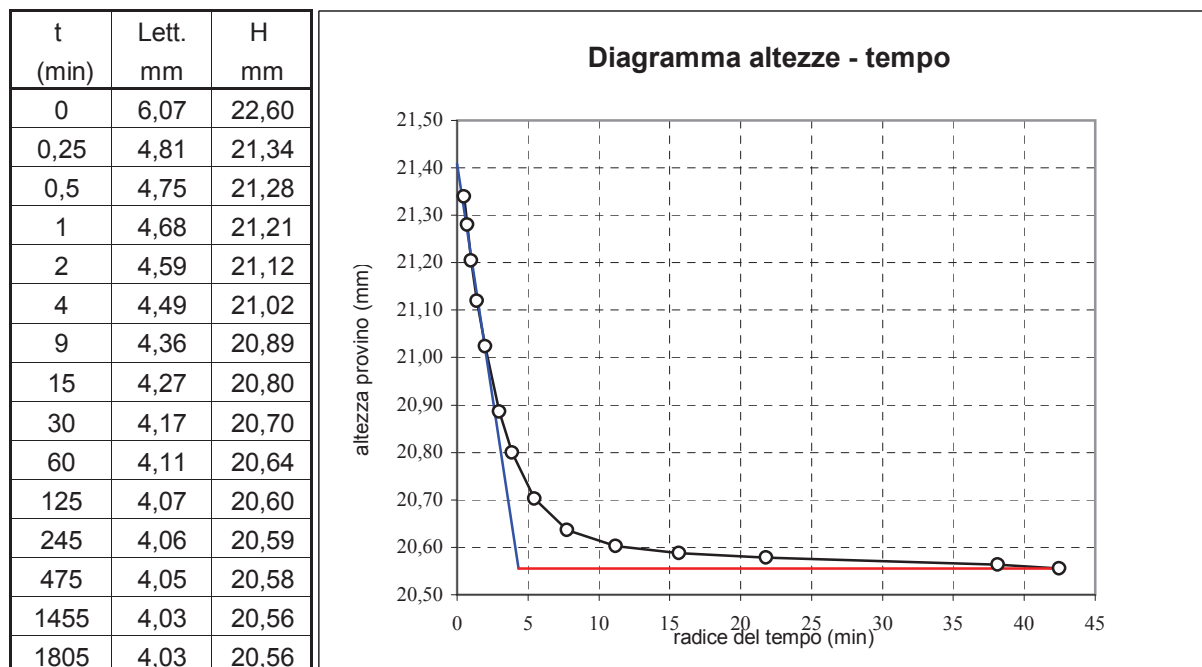
Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	9 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102701 -TG/3		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Prof. (metri)	6,4 - 6,8

PROVA DI TAGLIO DIRETTOTEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **3**

Dimensioni iniziali	altezza	mm	22,60
	sez.	cm2	36,00

Pressione normale: kPa 300

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

Tempo di consolidazione t_{100}

19 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0251 mm/min

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **03/06/21** Pagina **10 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** Prova numero / pagina prova **2102701 -TG/4**
 Committente **Comune di Cantagallo** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. (metri) **6,4 - 6,8**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **1**

Pressione di consolidazione	kPa	100
Tempo di consolidazione	ore	30
Pressione normale	kPa	100
Resistenza al taglio	kPa	96
Spostamento orizz. a rottura	mm	6,62

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

e = deformazione provino (%)

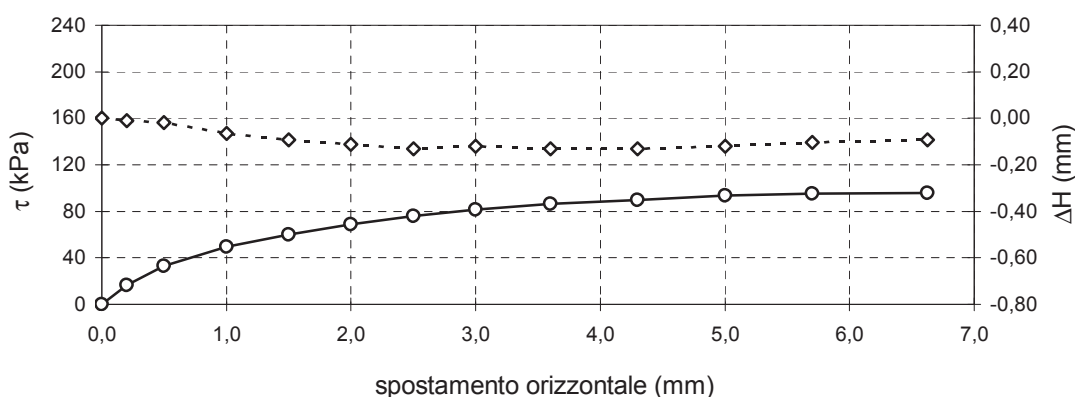
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

s mm	Din. mm	DH mm	t kPa
0,00	0,000	0,00	0
0,20	0,109	-0,01	17
0,50	0,215	-0,02	33
1,00	0,323	-0,07	50
1,50	0,390	-0,09	60
2,00	0,450	-0,11	69
2,50	0,496	-0,13	76
3,00	0,532	-0,12	82
3,60	0,562	-0,13	86
4,30	0,586	-0,13	90
5,00	0,611	-0,12	94
5,70	0,620	-0,10	95
6,62	0,624	-0,09	96

Diagramma delle tensioni tangenziali e delle variazioni di altezza in funzione delle deformazioni



il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi
Piero Focardi

lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo
Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n°	029-21	Data	03/06/2021	Pagina	11 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102701 -TG/5		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Prof. (metri)	6,4 - 6,8

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **2**

Pressione di consolidazione	kPa	200
Tempo di consolidazione	ore	30
Pressione normale	kPa	200
Resistenza al taglio	kPa	158
Spostamento orizz. a rottura	mm	5,70

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

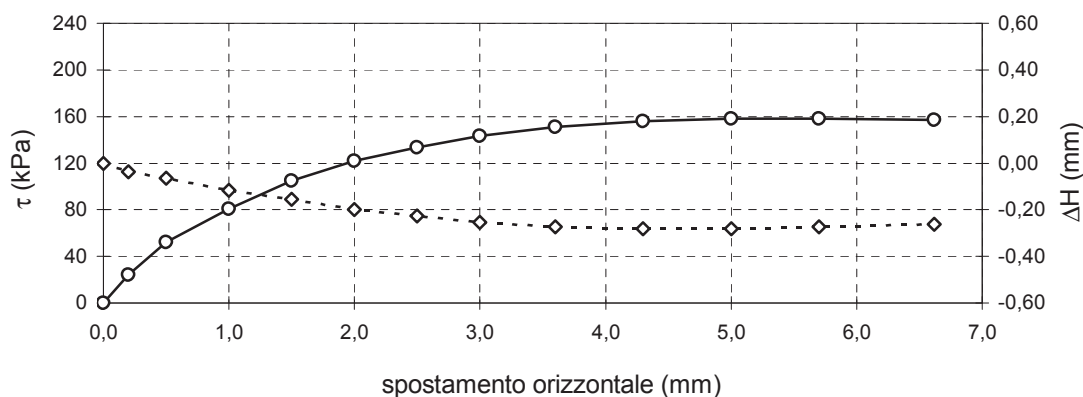
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

s mm	Din. mm	DH mm	t kPa
0,00	0,000	0,00	0
0,20	0,095	-0,04	24
0,50	0,205	-0,06	52
1,00	0,318	-0,12	81
1,50	0,412	-0,15	105
2,00	0,479	-0,20	122
2,50	0,525	-0,23	133
3,00	0,563	-0,25	143
3,60	0,593	-0,27	151
4,30	0,613	-0,28	156
5,00	0,621	-0,28	158
5,70	0,622	-0,27	158
6,62	0,618	-0,26	157

Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni



il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	12 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102701 -TG/6		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Prof. (metri)	6,4 - 6,8

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **3**

Pressione di consolidazione	kPa	300
Tempo di consolidazione	ore	30
Pressione normale	kPa	300
Resistenza al taglio	kPa	196
Spostamento orizz. a rottura	mm	6,42

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

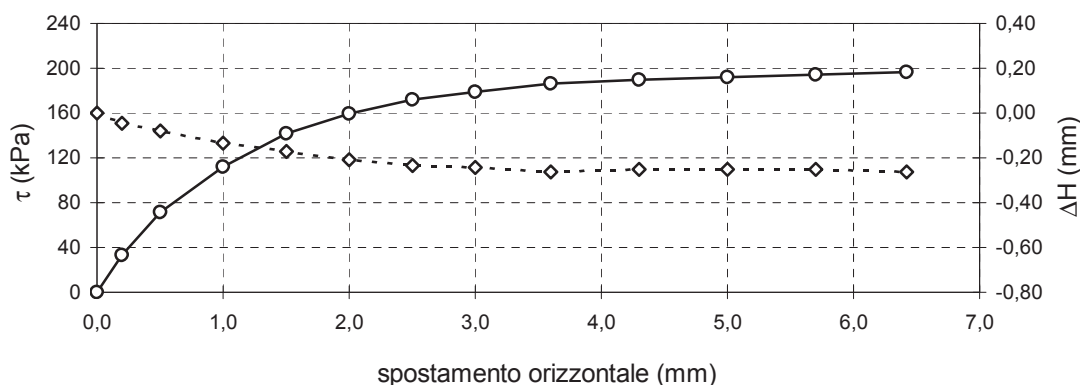
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

s mm	Din. mm	DH mm	t kPa
0,00	0,000	0,00	0
0,20	0,072	-0,05	33
0,50	0,154	-0,08	71
1,00	0,241	-0,14	112
1,50	0,305	-0,17	142
2,00	0,343	-0,21	159
2,50	0,371	-0,23	172
3,00	0,385	-0,24	179
3,60	0,401	-0,26	186
4,30	0,409	-0,25	190
5,00	0,414	-0,25	192
5,70	0,419	-0,25	194
6,42	0,423	-0,26	196

Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni



il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **03/06/21** Pagina **13 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** Prova numero / pagina prova **2102701 -TG/7**
 Committente **Comune di Cantagallo** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. (metri) **6,4 - 6,8**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080)

Dimensioni iniziali : altezza 2,26 cm sezione : 36,00 cm²

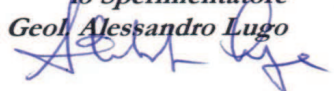
PESO DI VOLUME

		Prima della prova			Dopo la rottura		
Provino numero		1	2	3	1	2	3
Massa del terreno	g	172,23	172,51	172,30	169,29	165,13	164,42
Volume del terreno	cm ³	81,36	81,36	81,36	77,46	73,17	72,96
Massa specifica	g/cm ³	2,12	2,12	2,12	2,19	2,26	2,25
Peso di volume	kN/m ³	20,76	20,79	20,77	21,43	22,13	22,10

CONTENUTO DI ACQUA

		Prima della prova			Dopo la rottura		
Provino numero		1	2	3	1	2	3
Massa terreno umido	g	172,23	172,51	172,30	169,29	165,13	164,42
Massa terreno secco	g	144,38	144,68	144,00	144,38	144,68	144,00
Contenuto di acqua	%	19,29	19,24	19,65	17,25	14,13	14,18

il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi


lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo




Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	14 / 22
Committente	Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)				
Richiedente	Geol. Gianni Focardi				
Provenienza	Via L'Estaque - Loc. Fossato - Cantagallo (PO)				
Contenitore	Fustella PVC	Diametro (mm)	85	Lunghezza (cm)	38
Contrassegno	Sond. 1	Camp. 2	Profondità (m)	9,5 - 9,9	

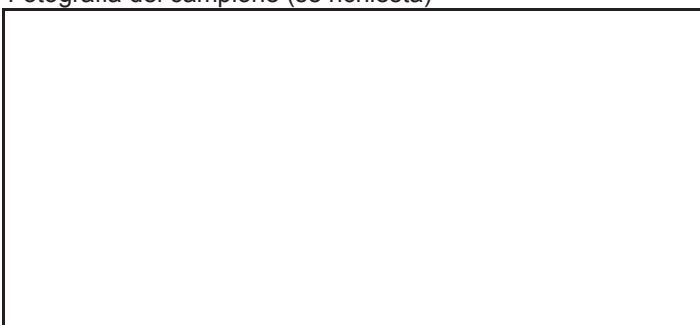
DESCRIZIONE DEL CAMPIONE E PROGRAMMA PROVE

Data di apertura del campione **20/5/21**

Descrizione del campione:

Limo argillos bruno molto compatto. Presenza di inclusi ghiaiosi.Classe di qualità **Q5**

Fotografia del campione (se richiesta)



Ubicazione dei provini sottoposti ad analisi (disegno non in scala)

		P.P.	V.T.	P.P. = Pocket penetrometer (kPa) V.T. = Vane test (kPa)
Alto	TG	550	> 200	OSSERVAZIONI:
		300		
Basso				

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A
 Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007
 Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **3/6/21** Pagina **15 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** del **12/5/21** Prova numero **2102702 -G**
 Committente **Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)**
 Richiedente **Geol. Gianni Focardi** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Contenitore **Fustella PVC** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **38**
 Contrassegno Sond. **1** Camp. **2** Profondità (m) **9,5 - 9,9**

PESO DI VOLUME

(UNI CEN ISO/TS 17892/2)

Data di prova: **20/05/2021**

Peso del terreno	g	4110,0
Volume del terreno	cm ³	1986,1
Massa specifica	g/cm ³	2,07
Peso di volume	kN/m³	20,3

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **3/6/21** Pagina **16 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** del **12/05/21** Prova numero **2102702 -TG/1**
 Committente **Comune di Cantagallo - Area 5 - Ufficio Tecnico - Cantagallo (PO)**
 Richiedente **Geol. Gianni Focardi** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Contenitore **Fustella PVC** Diametro (mm) **85** Lunghezza (cm) **38**
 Contrassegno Sond. **1** Camp. **2** Profondità (m) **9,5 - 9,9**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

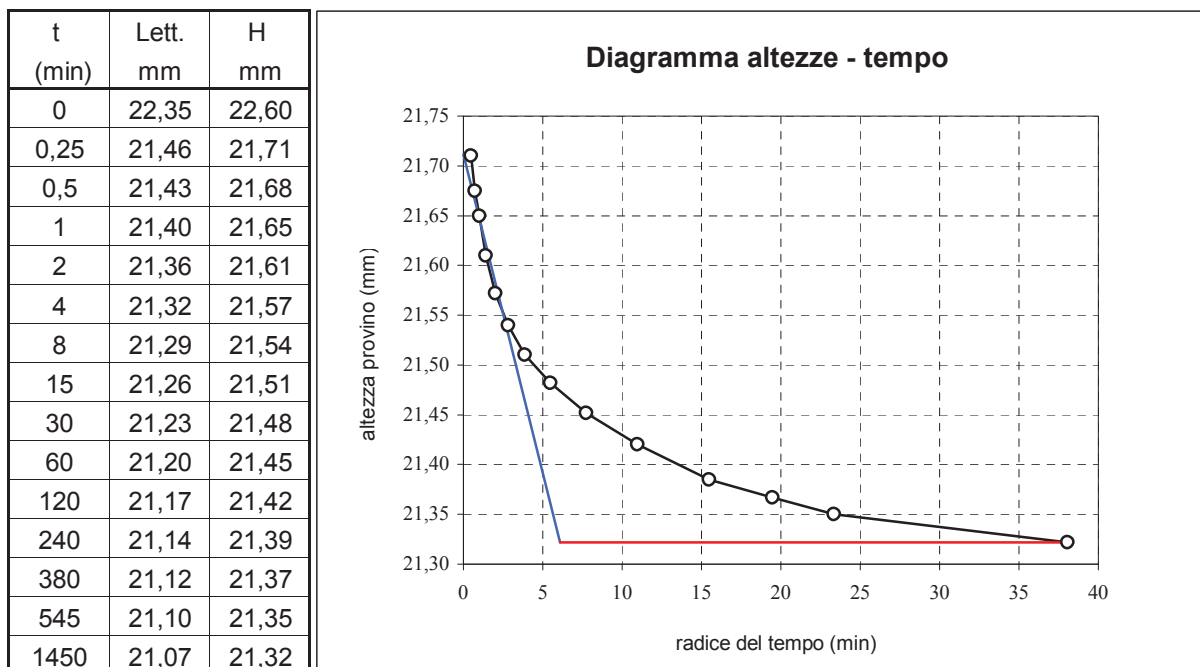
(UNI CEN 17892-10)

Data di prova inizio **20/5/21** termine **24/5/21**TEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **1**

Dimensioni iniziali altezza mm 22,60
 sezione cm² 36,00

Pressione normale: kPa 100

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

Tempo di consolidazione t_{100}

37 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0128 mm/min

il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

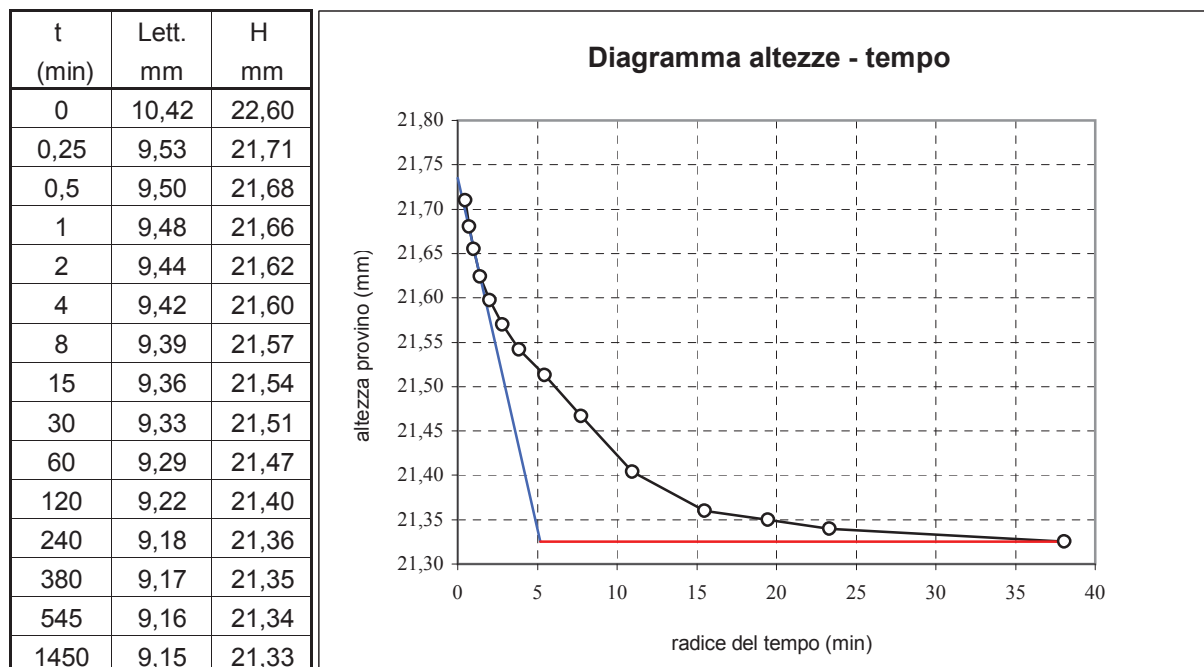
Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	17 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102702 -TG/2		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	2	Prof. (metri)	9,5 - 9,9

PROVA DI TAGLIO DIRETTOTEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **2**

Dimensioni iniziali	altezza	mm	22,60
	sez.	cm2	36,00

Pressione normale: kPa 200

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

Tempo di consolidazione t_{100}

27 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0175 mm/min

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

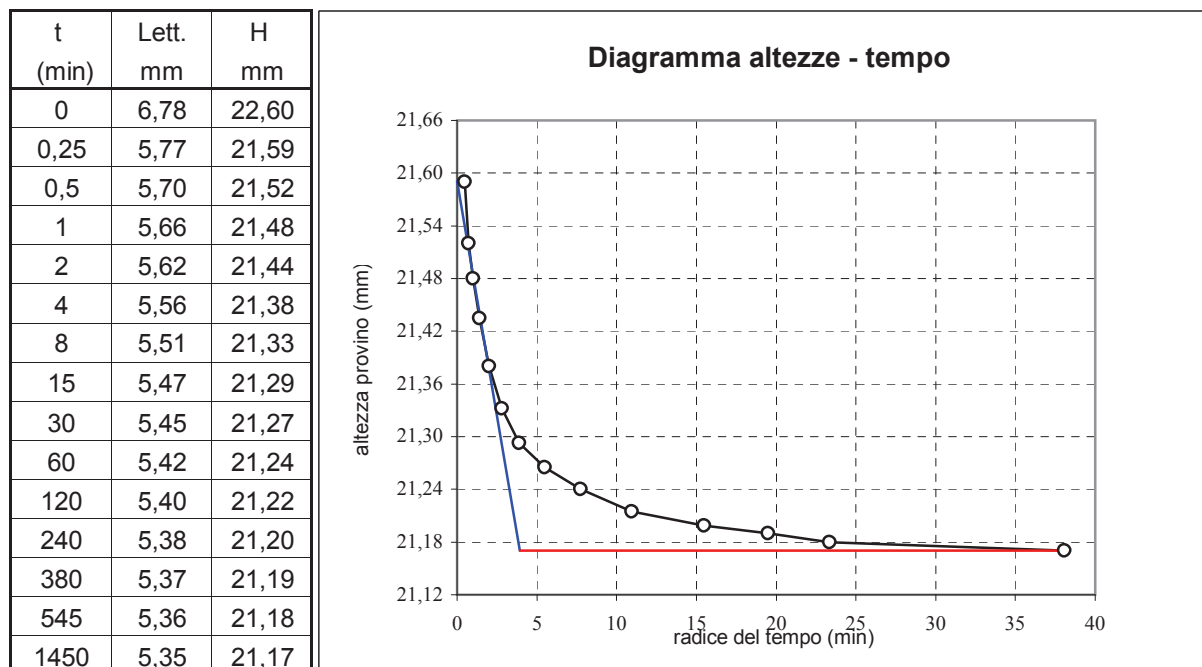
Certificato n°	029-21	Data	03/06/21	Pagina	18 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102702 -TG/3		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	2	Prof. (metri)	9,5 - 9,9

PROVA DI TAGLIO DIRETTOTEST DI CONSOLIDAZIONE SUL PROVINO NUMERO **3**

Dimensioni iniziali	altezza	mm	22,60
	sez.	cm ²	36,00

Pressione normale: kPa 300

Drenaggio attraverso pietre porose situate sopra e sotto il provino.

Tempo di consolidazione t_{100}

15 min

Velocità di taglio da imporre (per deformazioni a rottura di 6,0 mm) <

0,0306 mm/min

il Direttore
Prof. Geol. Piero Focardi

lo Sperimentatore
Dr. Geol. Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **03/06/21** Pagina **19 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** Prova numero / pagina prova **2102702 -TG/4**
 Committente **Comune di Cantagallo** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Sondaggio n° **1** Campione n° **2** Prof. (metri) **9,5 - 9,9**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **1**

Pressione di consolidazione	kPa	100
Tempo di consolidazione	ore	24
Pressione normale	kPa	100
Resistenza al taglio	kPa	70
Spostamento orizz. a rottura	mm	6,46

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

e = deformazione provino (%)

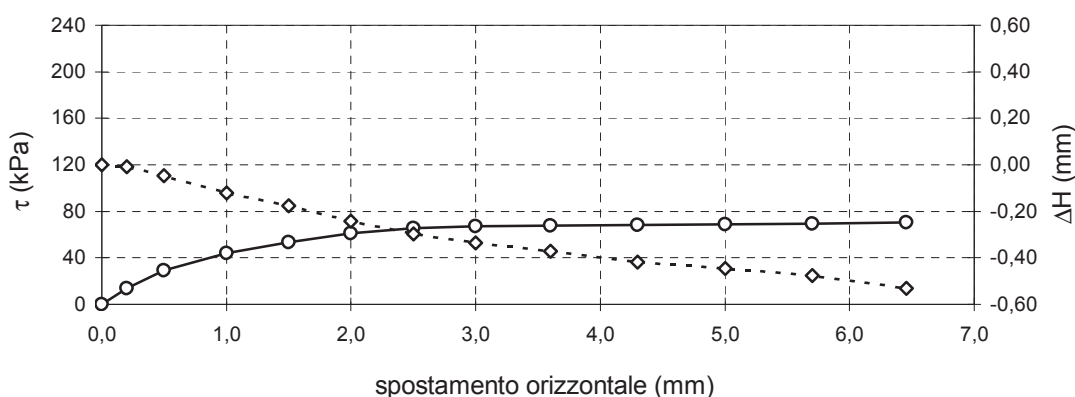
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

s mm	Din. mm	DH mm	t kPa
0,00	0,000	0,00	0
0,20	0,090	-0,01	14
0,50	0,192	-0,05	29
1,00	0,288	-0,12	44
1,50	0,349	-0,18	54
2,00	0,397	-0,24	61
2,50	0,428	-0,30	66
3,00	0,437	-0,34	67
3,60	0,441	-0,37	68
4,30	0,446	-0,42	68
5,00	0,449	-0,45	69
5,70	0,454	-0,47	70
6,46	0,458	-0,53	70

Diagramma delle tensioni tangenziali e delle variazioni di altezza in funzione delle deformazioni



il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi
Piero Focardi

lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo
Alessandro Lugo

Certificato n°	029-21	Data	03/06/2021	Pagina	20 / 22
Verbale di accettazione n°	21027	Prova numero / pagina prova	2102702 -TG/5		
Committente	Comune di Cantagallo	Provenienza	Loc. Fossato - Cantagallo (PO)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	2	Prof. (metri)	9,5 - 9,9

PROVA DI TAGLIO DIRETTOPROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **2**

Pressione di consolidazione	kPa	200
Tempo di consolidazione	ore	24
Pressione normale	kPa	200
Resistenza al taglio	kPa	103
Spostamento orizz. a rottura	mm	4,30

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

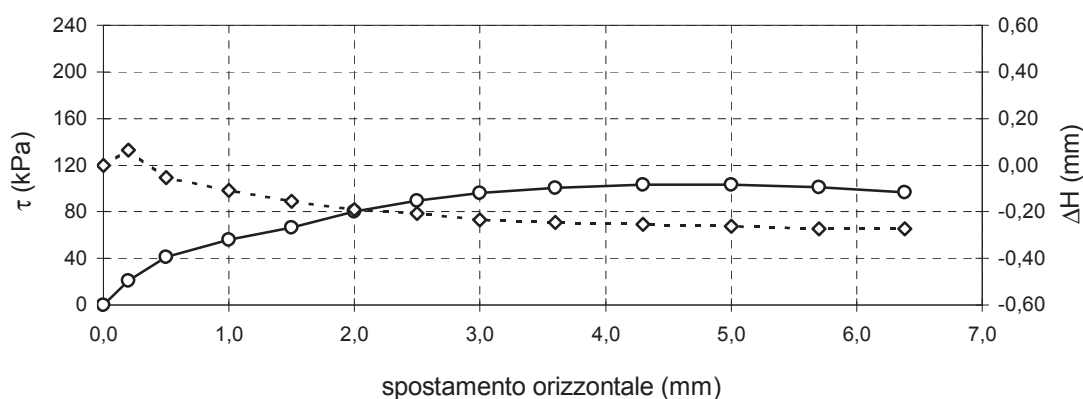
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

s mm	Din. mm	DH mm	t kPa
0,00	0,000	0,00	0
0,20	0,082	0,06	21
0,50	0,162	-0,05	41
1,00	0,221	-0,11	56
1,50	0,262	-0,15	67
2,00	0,315	-0,19	80
2,50	0,352	-0,21	90
3,00	0,377	-0,24	96
3,60	0,395	-0,24	100
4,30	0,407	-0,25	103
5,00	0,405	-0,26	103
5,70	0,397	-0,27	101
6,38	0,381	-0,27	97

**Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in
funzione delle deformazioni**



il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi
Piero Focardi

lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo
Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **03/06/21** Pagina **21 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** Prova numero / pagina prova **2102702 -TG/6**
 Committente **Comune di Cantagallo** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Sondaggio n° **1** Campione n° **2** Prof. (metri) **9,5 - 9,9**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

PROVA DI TAGLIO SUL PROVINO NUMERO **3**

Pressione di consolidazione	kPa	300
Tempo di consolidazione	ore	24
Pressione normale	kPa	300
Resistenza al taglio	kPa	162
Spostamento orizz. a rottura	mm	4,30

VELOCITA' DI PROVA 0,005 mm/min

s = spostamento (mm)

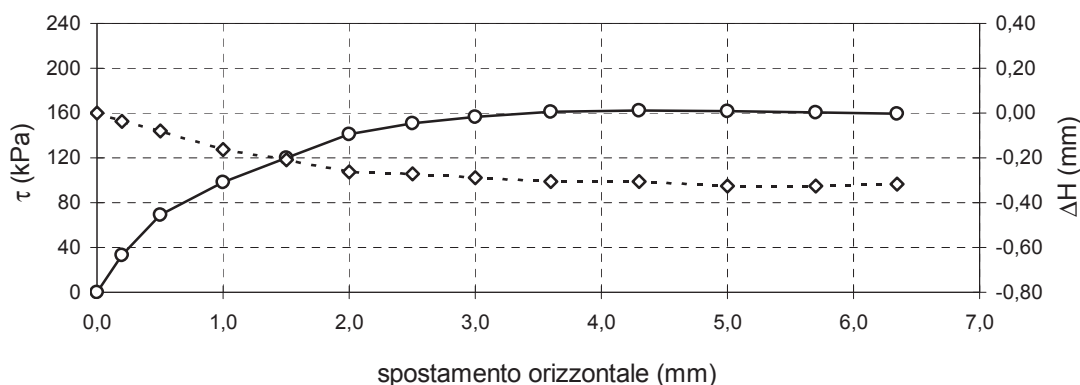
Din = lettura dinamometro (mm)

DH = variazione di altezza del provino (mm)

t = resistenza al taglio (kPa)

s mm	Din. mm	DH mm	t kPa
0,00	0,000	0,00	0
0,20	0,071	-0,04	33
0,50	0,149	-0,08	69
1,00	0,212	-0,16	98
1,50	0,258	-0,21	120
2,00	0,304	-0,26	141
2,50	0,325	-0,27	151
3,00	0,337	-0,29	156
3,60	0,347	-0,31	161
4,30	0,350	-0,31	162
5,00	0,349	-0,32	162
5,70	0,346	-0,32	161
6,34	0,343	-0,32	159

Diagramma delle tensioni tangenziali e della variazione di altezza in funzione delle deformazioni



il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi
Piero Focardi

lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo
Alessandro Lugo



Concessione Ministeriale Circ. 7618/STC - Settore A

Sistema di Qualità certificato UNI EN ISO 9001:2007

Certificato Nr 50 100 10624 TUV SUD - Italia

Via Galeotti 3 - 50136 Firenze - Tel/fax 055 6505508 - www.laboratorioelleti.it - laboratorio.elleti@tiscali.it

Certificato n° **029-21** Data **03/06/21** Pagina **22 / 22**
 Verbale di accettazione n° **21027** Prova numero / pagina prova **2102702 -TG/7**
 Committente **Comune di Cantagallo** Provenienza **Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**
 Sondaggio n° **1** Campione n° **2** Prof. (metri) **9,5 - 9,9**

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080)

Dimensioni iniziali : altezza 2,26 cm sezione : 36,00 cm²

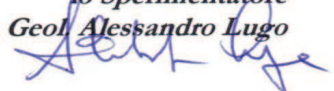
PESO DI VOLUME

	Prima della prova			Dopo la rottura		
Provino numero	1	2	3	1	2	3
Massa del terreno g	161,20	164,41	169,92	157,33	161,27	164,40
Volume del terreno cm ³	81,36	81,36	81,36	74,71	75,69	74,95
Massa specifica g/cm ³	1,98	2,02	2,09	2,11	2,13	2,19
Peso di volume kN/m ³	19,43	19,82	20,48	20,65	20,90	21,51

CONTENUTO DI ACQUA

	Prima della prova			Dopo la rottura		
Provino numero	1	2	3	1	2	3
Massa terreno umido g	161,20	164,41	169,92	157,33	161,27	164,40
Massa terreno secco g	131,39	136,00	142,07	131,39	136,00	142,07
Contenuto di acqua %	22,69	20,89	19,60	19,74	18,58	15,72

il Direttore
 Prof. Geol. Piero Focardi


lo Sperimentatore
 Dr. Geol. Alessandro Lugo


RIEPILOGO DEI RISULTATI DI ANALISI DI LABORATORIO

IL PRESENTE DOCUMENTO (AD USO INTERNO) NON SOSTITUISCE IL CERTIFICATO DI PROVA

Committente: **Comune di Cantagallo**

Dati del campione:

Provenienza: **Via L'Estaque - Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**Sondaggio n° **1** Campione n° **1** Prof. m **6,4 - 6,8**CODICE CAMPIONE **21027 01**

Descrizione del campione:

Limo argilloso sabbioso bruno con abbondanti inclusi ghiaiosi.

GRANDEZZE FISICHE DETERMINATE	Contenuto di acqua %	-	
	Peso di volume kN/m^3	20,7	
	Peso specifico dei granuli	2,75	
GRANDEZZE FISICHE CALCOLATE	Indice dei vuoti		
	Porosità		
	Grado di saturazione %		
	Densità secca kN/m^3	-	
LIMITI DI CONSISTENZA	Limite di liquidità	-	
	Limite di plasticità	-	
	Limite di ritiro	-	
GRANULOMETRIA PER SETACCIATURA	Passante setaccio 200 %	49	
COMPLETA (SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE)	ciottoli+ghiaia %	34	
	sabbia %	18	
	limo %	26	
	argilla %	22	
CLASSIFICAZIONE AASHO (GRUPPO e SOTTOGRUPPO)	-	-	-
RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE SEMPLICE	(kPa)	-	
PROVA DI TAGLIO DIRETTA	angolo di attrito interno (gradi)	27	
	coesione (kPa)	49	
PROVA TRIASSIALE CD	angolo di attrito interno eff. (gradi)	-	
	coesione eff. (kPa)	-	
PROVA TRIASSIALE CUD	angolo di attrito interno eff. (gradi)	-	
	coesione eff. (kPa)	-	
PROVA TRIASSIALE UU	coesione non drenata (kPa)	-	
PROVA DI TAGLIO TORSIONALE	angolo di attrito di picco (gradi)	-	
	coesione di picco (kPa)	-	
	angolo di attrito residuo (gradi)	-	
	coesione residua (kPa)	-	
PROVA EDOMETRICA	Indice di compressione c_c	-	
	Indice di rigonfiamento c_s	-	
	Pressione di preconsolidazione	-	
PERMEABILITA'	Coeff.di permeabilità k (cm/s)	-	

ELABORAZIONE RISULTATI DATI SPERIMENTALI

PROVA DI TAGLIO

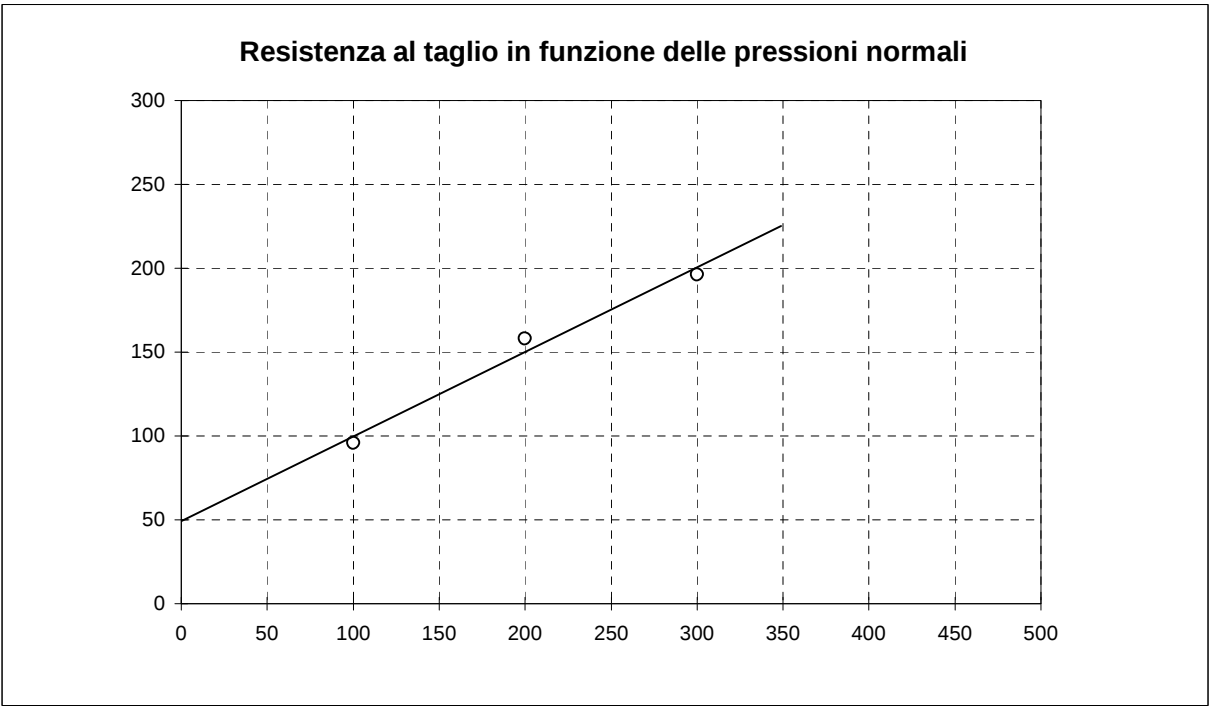
Committente: Comune di Cantagallo

Dati del campione:

Provenienza: Loc. Fossato - Cantagallo (PO)
Sondaggio n° 1 Campione n° 1 Prof. m 6,4 - 6,8

STATO TENSIONALE
A ROTTURA

Prova numero		1	2	3	
Pressione normale	kPa	100	200	300	
Resistenza al taglio	kPa	96	158	196	
Deformazione a rottura	mm	6,62	5,70	6,42	



Coesione = 49 kPa

Angolo di attrito interno 27 °

Coefficiente di correlazione della retta: 0,9810

RIEPILOGO DEI RISULTATI DI ANALISI DI LABORATORIO

IL PRESENTE DOCUMENTO (AD USO INTERNO) NON SOSTITUISCE IL CERTIFICATO DI PROVA

Committente: **Comune di Cantagallo**

Dati del campione:

Provenienza: **Via L'Estaque - Loc. Fossato - Cantagallo (PO)**Sondaggio n° **1** Campione n° **2** Prof. m **9,5 - 9,9**CODICE CAMPIONE **21027 02**

Descrizione del campione:

Limo argillos bruno molto compatto. Presenza di inclusi ghiaiosi.

GRANDEZZE FISICHE DETERMINATE	Contenuto di acqua %	-	
	Peso di volume kN/m^3	20,3	
	Peso specifico dei granuli	-	
GRANDEZZE FISICHE CALCOLATE	Indice dei vuoti		
	Porosità		
	Grado di saturazione %		
	Densità secca kN/m^3	-	
LIMITI DI CONSISTENZA	Limite di liquidità	-	
	Limite di plasticità	-	
	Limite di ritiro	-	
GRANULOMETRIA PER SETACCIATURA	Passante setaccio 200 %	-	
COMPLETA (SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE)	ciottoli+ghiaia %	-	
	sabbia %	-	
	limo %	-	
	argilla %	-	
CLASSIFICAZIONE AASHO (GRUPPO e SOTTOGRUPPO)	-	-	-
RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE SEMPLICE	(kPa)	-	
PROVA DI TAGLIO DIRETTA	angolo di attrito interno (gradi)	25	
	coesione (kPa)	20	
PROVA TRIASSIALE CD	angolo di attrito interno eff. (gradi)	-	
	coesione eff. (kPa)	-	
PROVA TRIASSIALE CUD	angolo di attrito interno eff. (gradi)	-	
	coesione eff. (kPa)	-	
PROVA TRIASSIALE UU	coesione non drenata (kPa)	-	
PROVA DI TAGLIO TORSIONALE	angolo di attrito di picco (gradi)	-	
	coesione di picco (kPa)	-	
	angolo di attrito residuo (gradi)	-	
	coesione residua (kPa)	-	
PROVA EDOMETRICA	Indice di compressione c_c	-	
	Indice di rigonfiamento c_s	-	
	Pressione di preconsolidazione	-	
PERMEABILITA'	Coeff.di permeabilità k (cm/s)	-	

ELABORAZIONE RISULTATI DATI SPERIMENTALI

PROVA DI TAGLIO

Committente: Comune di Cantagallo

Dati del campione:

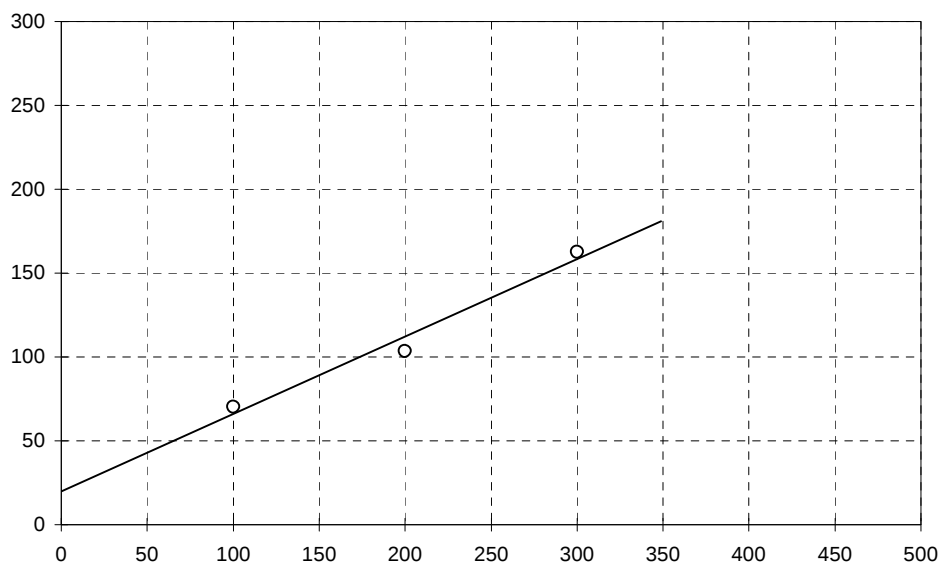
Provenienza: Loc. Fossato - Cantagallo (PO)

Sondaggio n° 1 Campione n° 2 Prof. m 9,5 - 9,9

STATO TENSIONALE
A ROTTURA

Prova numero		1	2	3	
Pressione normale	kPa	100	200	300	
Resistenza al taglio	kPa	70	103	162	
Deformazione a rottura	mm	6,46	4,30	4,30	

Resistenza al taglio in funzione delle pressioni normali



Coesione = 20 kPa

Angolo di attrito interno 25 °

Coefficiente di correlazione della retta: 0,9917

IBT Prospezioni S.r.l.

C.F. P.IVA 06802820487

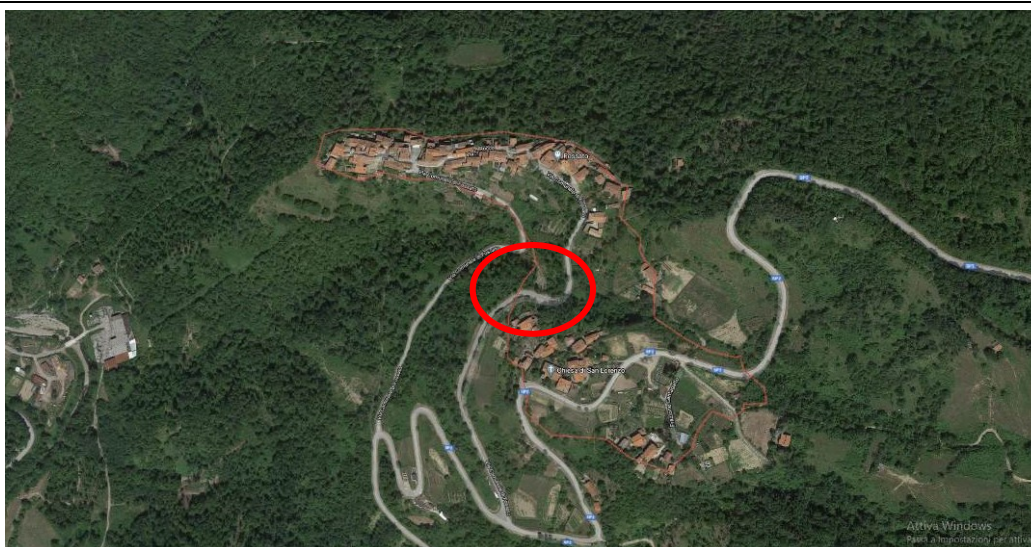
Località Castiglioni 56 Rufina Firenze

Cel 3485844183 e-mail albertoiotti.ai@gmail.com

Comune di Cantagallo (PO)

Località Fossato

Indagine MASW - Sismica a rifrazione – Misure HVSr



Committente:

COMUNE CANTAGALLO

FIRENZE, MAGGIO 2021

PREMESSA

Su incarico del Comune di Cantagallo è stata condotta una campagna di indagini geofisiche costituita da:

- un'indagine sismica mediante metodo MASW per la valutazione della velocità di propagazione delle onde Vs di taglio finalizzata alla definizione del tipo di suolo presente nell'area ai sensi di quanto previsto dalla vigente normativa
- una misura di microtremori per la valutazione del rapporto H/V per valutare la presenza di fenomeni di risonanza (HVSR)
- due stendimenti di sismica a rifrazione per la valutazione dei principali orizzonti presenti.

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi svolta.

L'area in esame si trova nel Comune di Cantagallo (PO) località Fossato. La Figura 2 riporta un'immagine recante l'ubicazione dello stendimento realizzato.



Fig - 2 –Ubicazione delle indagini realizzate

1 Sismica a rifrazione

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) e o trasversali (onde S). Le prime sono più veloci fra le diverse onde elastiche entrambe possono essere utilizzate per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o trasversale nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza, maglio o esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*). La rifrazione si verifica in corrispondenza delle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) diversi per tipologia a seconda che si vogliano misurare le onde P o S che vengono spazati lungo un determinato allineamento (stendimento) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p e/o V_s) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo presenta ampie variazioni; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di disseminazione di strati; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali (onde P), diversamente da quelle trasversali (onde S) che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità V_p dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente

l'interpretazione sismo stratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello può essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulta superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli “arrivi” dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e “zona oscura”);
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare “attraverso” un terzo intermedio non evidenziabile;
- analogamente, incrementi gradualmente di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e “cercando” sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il *Generalized Reciprocal Method* (GRM: PALMER, 2001), consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente “accidentati” e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica. In particolare nel caso in esame viene proposta una interpretazione di tipo tomografico ottenuta mediante l'impiego del software RAY-FRACT.

1.1 Sistema di acquisizione

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo: Daq Link III, 24 canali, 24 bit
- sorgente energizzante: cannone e/o mazza 20kg
- trigger: innesco a molla
- apparecchiatura di ricezione: 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4.5 e 10 Hz.

1.2 I risultati nell'area in esame

Le caratteristiche della geometria degli stendimenti sono riassunte in Tabella 1.

Stendimento	Lunghezza	N° Shot	Onde	N° geofoni
St1 S-N	52	4	P	12
St2 W-E	52	4	P-MASW	12

Tabella 1 - Geometria dello stendimento.

L'indagine sismica ha permesso di valutare la presenza di diversi orizzonti rifrattori e l'elaborazione tomografica ha permesso di valutare la presenza di variazione di velocità di propagazione delle onde S all'interno di uno stesso orizzonte.

1.2.1 Stendimento St1 onde P

Questo stendimento si allunga lungo l'area con orientazione circa S-N. La Figura 2 riporta le dromocrone relative ai primi arrivi per questo stendimento.

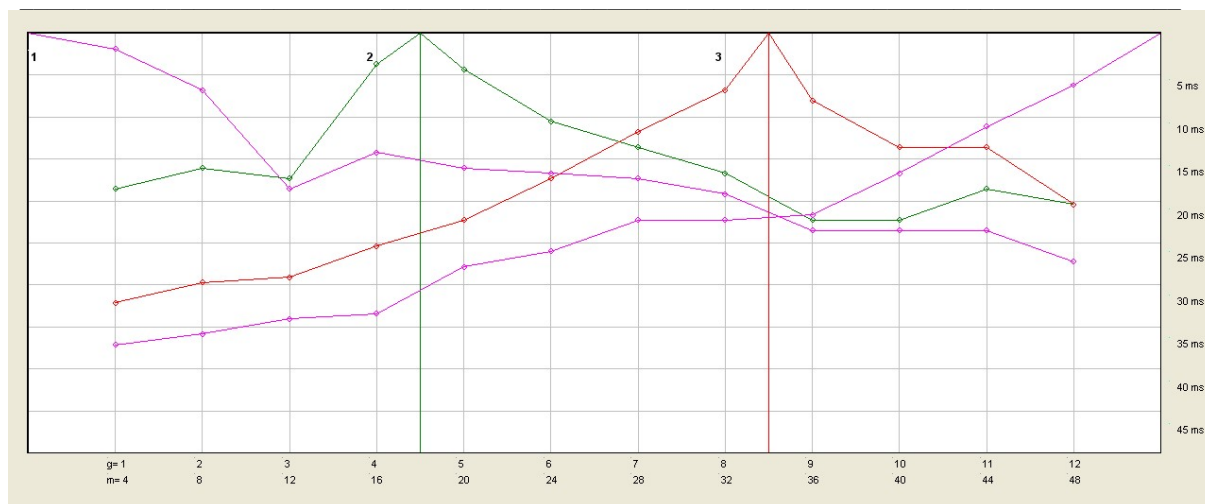


Figura 2 - Dromocrone stendimento St1 onde p.

È possibile riconoscere tre orizzonti: un primo orizzonte con velocità di propagazione delle onde p fino a 700-900 m/s con spessore massimo variabile da 4 a 8-10m interpretabile come depositi copertura alterazione; lo spessore di questo livello si mostra molto diverso tra la parte alta dello stendimento dove si trova la strada e gli spessori sono massimi. È riconoscibile un secondo orizzonte con velocità delle onde p fino a 1500-1700 m/s con spessore massimo investigato di circa 5 m; questo orizzonte è interpretabile come substrato alterato / detrito addensato. Il terzo orizzonte con velocità maggiori è interpretabile come substrato poco alterato; è significativo notare come il substrato sia riconosciuto solo nel tratto iniziale dello stendimento e sembri approfondirsi nel tratto finale.

La Figura 3 riporta l'interpretazione e tomografica per lo stendimento 1

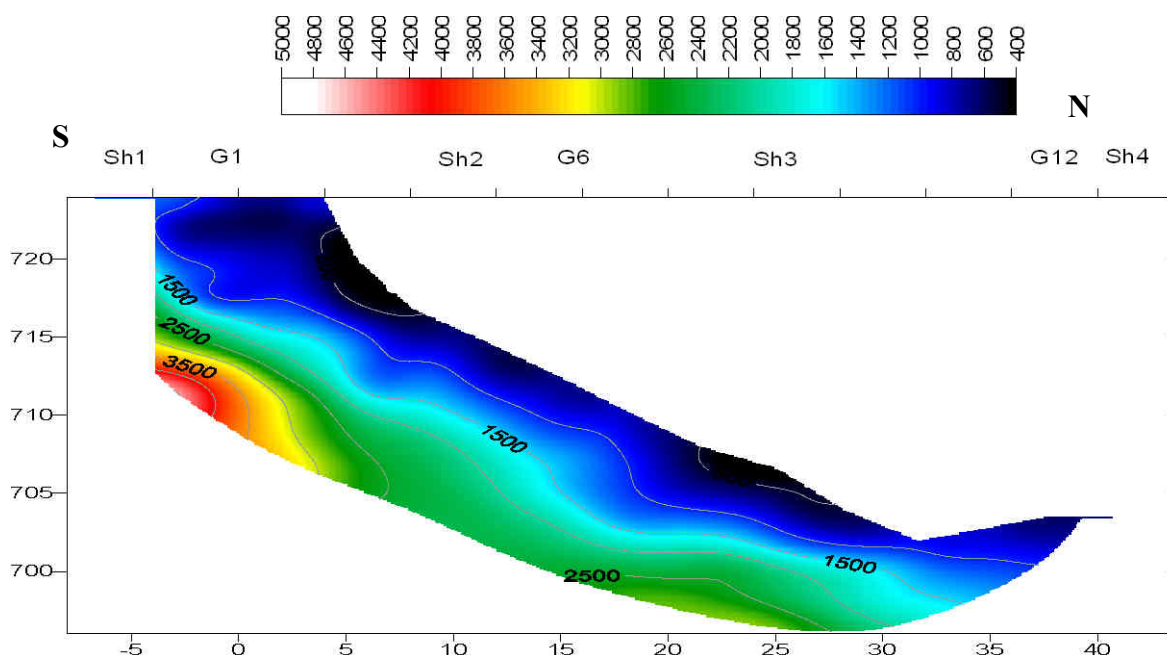


Figura 3 - Tomografia stendimento 1 onde p (distanze e profondità in m).

1.2.2 Stendimento St12 onde P

Questo stendimento si allunga lungo l'area con orientazione circa W-E. La Figura 2 riporta le dromocrone relative ai primi arrivi per questo stendimento.

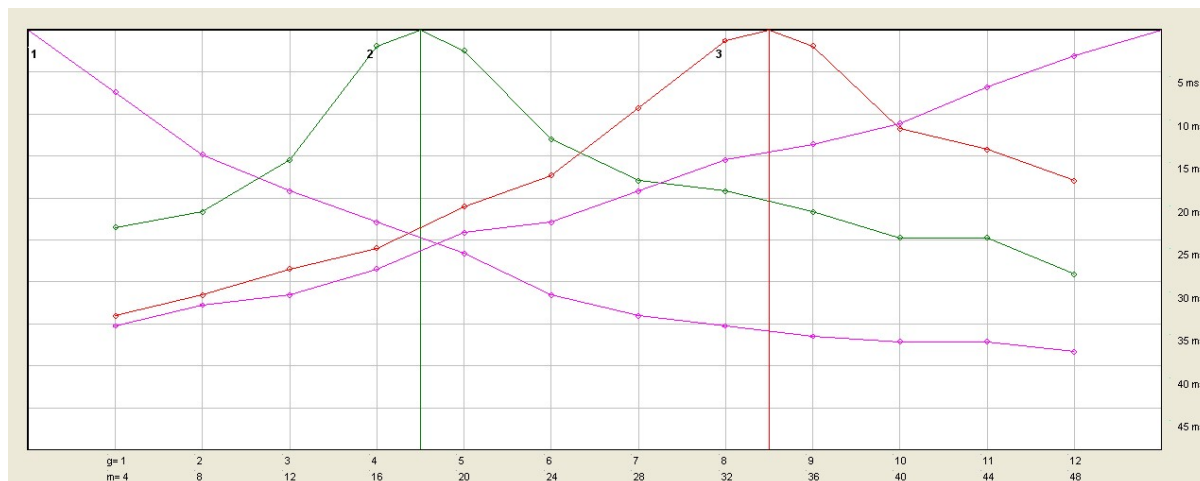


Figura 2 - Dromocrone stendimento St1 onde p.

È possibile riconoscere tre orizzonti: un primo orizzonte con velocità di propagazione delle onde p fino a 700-900 m/s con spessore massimo variabile da 4 a 10-12m interpretabile come depositi copertura alterazione; lo spessore di questo livello si mostra massimo nel tratto iniziale dello stendimento. È riconoscibile un secondo orizzonte con velocità delle onde p fino a 1500-1700 m/s con spessore massimo investigato di circa 5 m nel primo tratto dello stendimento e con spessore maggiore 8-12 m nel tratto finale; questo orizzonte è interpretabile come substrato alterato / detrito addensato. Il terzo orizzonte con velocità maggiori è interpretabile come substrato poco alterato.

La Figura 3 riporta l'interpretazione e tomografica per lo stendimento 1

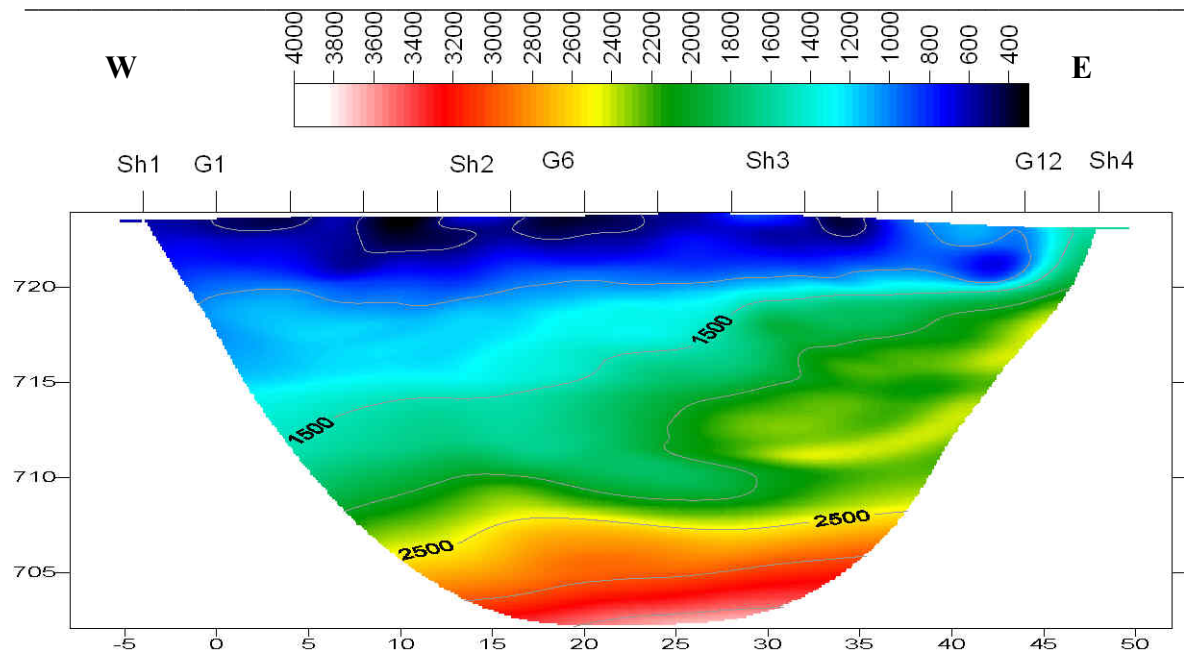


Figura 3 - Tomografia stendimento 1 onde p (distanze e profondità in m).

2 Indagine MASW

Sono stati eseguiti due stendimenti per l'acquisizione dei dati da sottoporre ad una elaborazione MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la valutazione dell'andamento della velocità delle onde di taglio nei primi 30 m Ve. È stato impiegato il metodo *attivo* che consente in genere di ottenere una velocità di fase (quindi una curva di dispersione) sperimentale apparente nell'intervallo di frequenza compreso tra 5 e 70 Hz che da quindi informazioni sulla fascia più superficiale di terreno. I due stendimenti sono stati realizzati prima e dopo la struttura di attraversamento.

Le fasi prevedono del procedimento applicato prevedono:

1. calcolo della velocità di fase e ricostruzione della curva di dispersione
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali vs per interazione e confronto con i dati sperimentali fino ad una sovrapposizione ottimale
4. calcolo della velocità equivalente nei primi 30 m di profondità
5. Riconoscimento della categoria sismica del suolo secondo la normativa sismica OPCM 3274 e le NTC 2008.

2.1 Acquisizione dei dati

I dati sono stati acquisiti con un sismografo Daq Link III 24 bit 24 canali lungo una linea sismica con interasse geofonico pari a 2 m, intervallo di campionamento di 2 ms e finestra di campionamento pari a 3 s. La Figura 2 riporta le tracce registrate dei dati acquisiti.

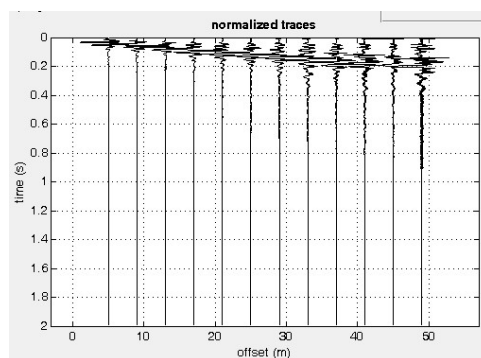


Figura 3 - Tracce dei dati acquisiti

2.2 Ricostruzione della curva di dispersione

A partire dalla rappresentazione delle velocità verticali dell'intero campo di moto nel dominio frequenza numero d'onda (Figura 4) viene estratta la curva di dispersione apparente sperimentale nell'intervallo di frequenza compreso tra 2 e 70 Hz che come detto caratterizza gli strati più superficiali (30 m).

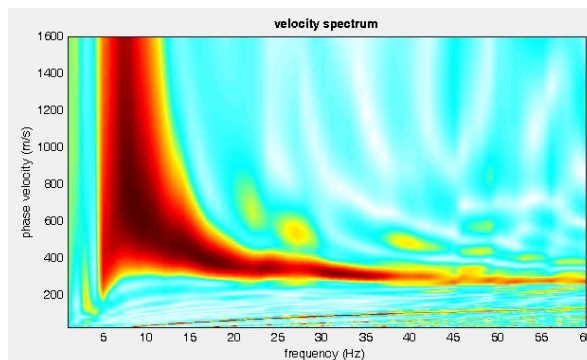


Figura 4 - Spettro delle velocità dell'intero campo di moto

2.3 Confronto tra la curva sperimentale e quelle calcolata

Una volta ricostruita e discretizzata la curva di dispersione sperimentale ne viene generata una calcolata e sovrapposta a quella sperimentale modificando la curva calcolata fino ad avere una buona sovrapposizione con quella sperimentale (Figura 5).

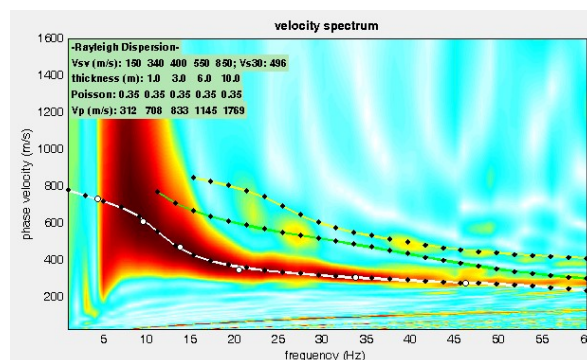


Figura 5 - Confronto tra la curva sperimentale e quella calcolata

È a questo punto possibile passare a definire un profilo di velocità del substrato sul quale calcolare la Vs 30 (Figura 6).

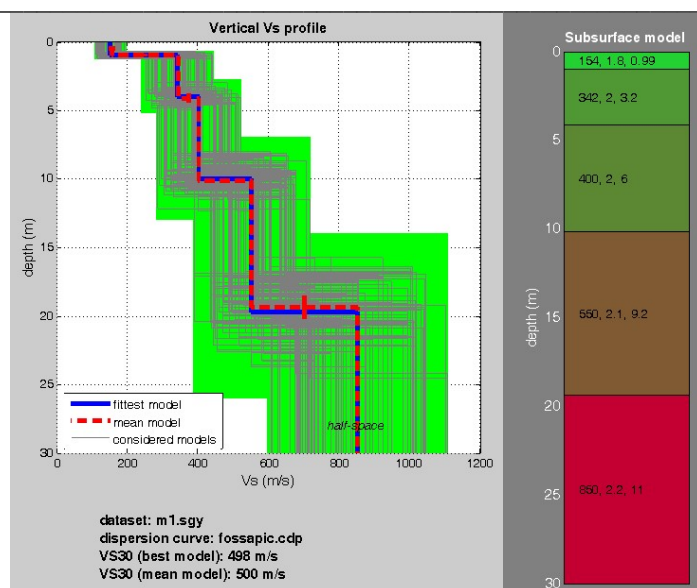


Figura 6 – Andamento della velocità Vs con la profondità

3 Riconoscimento dei picchi di risonanza

La figura 7 riporta un'immagine relativa ai dati registrati per le tre componenti di misura

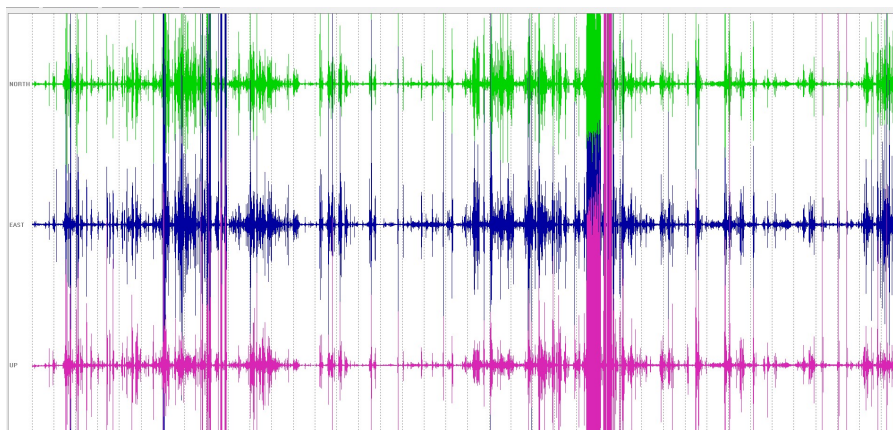


Fig. 7 - Andamento delle registrazioni delle tre componenti di microtremore nei punti di misura

Da segnale misurato è possibile per ogni componente ottenere lo spettro di risposta frequenza contro velocità su frequenza sintetizzato per le tre componenti nella figura 8

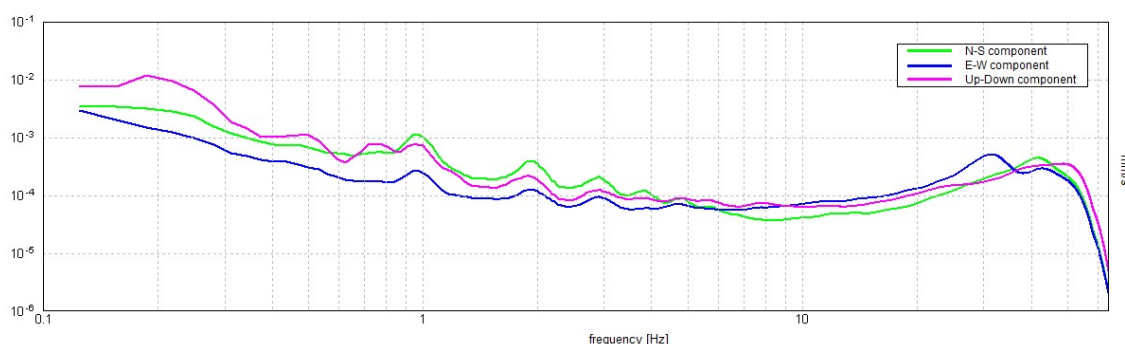


Fig. 8 - Andamento degli spettri $f-v/f$ nelle tre componenti nei punti di misura.

Dall'analisi degli spettri è possibile ottenere per le varie frequenze il rapporto H/V che indica la presenza di fenomeni di risonanza. L'analisi del rapporto deve considerare la direzionalità del picco. Un picco strutturale e non influenzato ad esempio da una sorgente esterna si mostrerà costante nelle diverse direzioni. La figura 9 mostra il valore del rapporto H/V in un diagramma Azimuth-Frequenza. La presenza di un picco costante nelle varie direzioni si manifesta con una linea orizzontale continua, una fascia stretta indica una frequenza precisa di risonanza, una fascia di colore più alta indica una disperazione nel valore della frequenza.

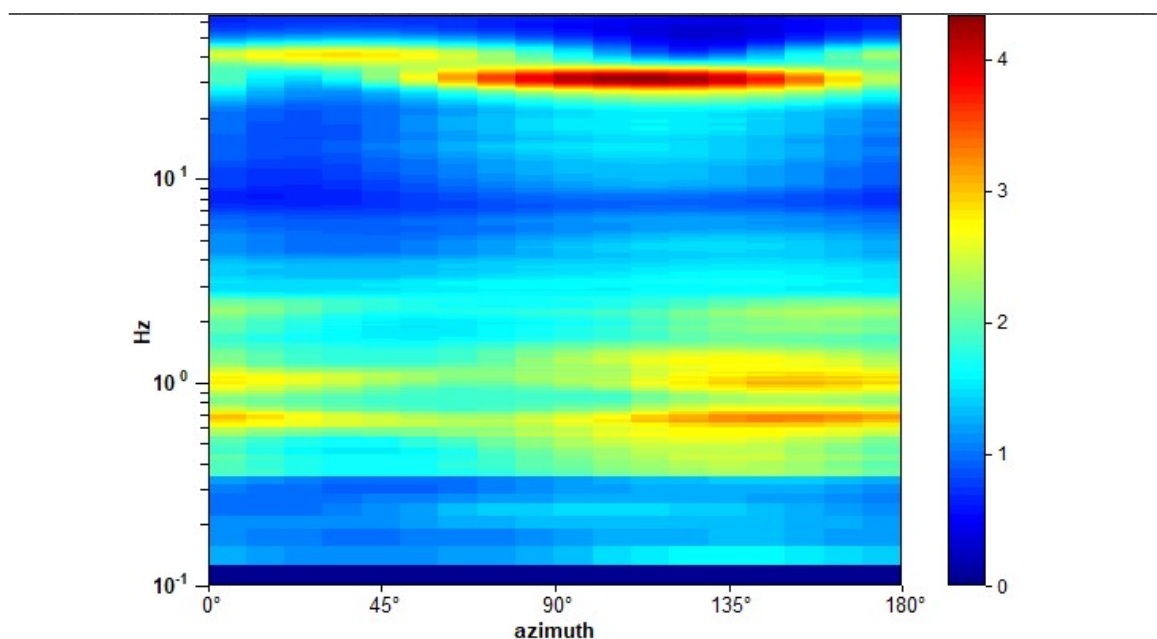


Fig. 9 - Andamento del rapporto H/V in un diagramma Azimuth - Frequenza

La figura 10 riporta l'andamento del rapporto H/V in funzione della Frequenza.

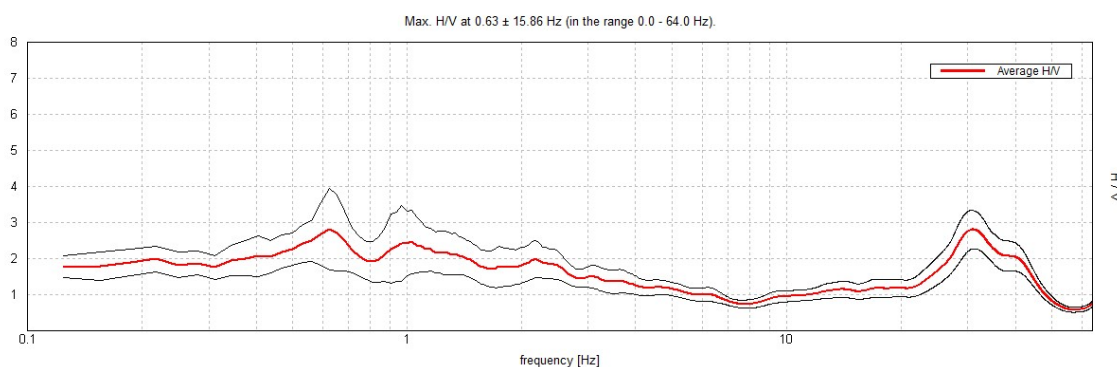


Fig. 10 - Andamento del rapporto H/V alle varie frequenze nei punti di misura

In letteratura si ritengono significativi picchi con ampiezza maggiore di 2, dall'analisi della direzionalità del segnale, ottenuta confrontando la componente verticale e le due componenti orizzontali separate (Figura 4 e 9), si vede che nella misura 1 è presente un evidente picco con frequenza 32 Hz. e ampiezza 2.8.

4 Riconoscimento della Ve (NTC 2018) e del profilo di appartenenza

In base a quanto definito nelle NTC 2018 la categoria di suolo deve essere definita in funzione della velocità equivalente calcolata secondo l'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

La tabella 3 riporta le categorie di suolo come definite nelle NTC 2018.

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

Tabella 3 - Categorie di suolo NTC 2018

La velocità V_e per il terreno in esame è pari a 408 m/s. Il terreno può essere classificato come terreno di categoria B.

Firenze, maggio '21

Dott. Alberto Iotti

IBT Prospezioni Srl

