

## Regione Toscana - Giunta Regionale

Direzione Mobilità, infrastrutture e trasporto pubblico locale

Settore Viabilità regionale ambiti Arezzo, Siena e Grosseto. Programmazione risanamento acustico

Direttore: Ing. Enrico Becattini

Dirigente: Ing. Sandra Grani

### Provincia di Grosseto Comune di Civitella Paganico

#### SR 64 del Cipressino

Intervento 1 - Stralcio 4 - Intervento di adeguamento in sede del ponte sul  
Lanzo e sistemazione idraulica del torrente in adiacenza al ponte

#### RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO

Ing. Sandra Grani

##### SUPPORTO AMMINISTRATIVO AL RUP:

Dott.ssa Daniela Germani

Dott. Luca Arrigucci

##### PROGETTAZIONE STRUTTURALE:

Dott. Ing. Domenico Mazzilli

Dott. Ing. Luca Stocchi

##### ASPETTI GEOLOGICI e GEOTECNICI:

Geol. Riccardo Martelli

##### PROGETTAZIONE IDRAULICA:

Ing. Giacomo Gazzini (Hydrogeo Ingegneria s.r.l.)

##### ASPETTI PAESAGGISTICI:

Ing. Giacomo Gazzini (Hydrogeo Ingegneria s.r.l.)

##### C.S.P.:

Ing. Giacomo Gazzini (Hydrogeo Ingegneria s.r.l.)

##### PROGETTISTA:

Dott. Ing. Domenico Mazzilli

##### CONSULENTI:

Dott. Ing. Luca Stocchi

e



Via Aretina 167/B - 50136 Firenze  
Tel 055 6587050 - P.IVA 05142000487  
e-mail: info@studiohydrogeo.it - pec: info@pec.hydrogeoingegneria.com

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

PFTE\_C\_ELABORATI SPECIALISTICI-STRUTTURE

V001

#### C- ELABORATI SPECIALISTICI - GEOLOGIA - STRUTTURE

#### RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

TAVOLA

C.01

SCALA

---

FORMATO

---

DATA Giugno 2025

2.0	Verifica ponte Lanzo_RGL_A5_Rev2	Geol. Francesco Facchini	Geol. Riccardo Martelli	Geol. Riccardo Martelli	Giugno 2025
REVISIONE	NOME FILE	PRIMA REDAZIONE	SECONDA REDAZIONE	APPROVATO	DATA

**PROGETTO:** VERIFICA DI VULNERABILITA' SISMICA 4 LIVELLO DEL  
PONTE SU TORRENTE LANZO, SP 59 DEL CIPRESSINO,  
CIVITELLA PAGANICO (GR)

**RICHIEDENTE:** PROVINCIA DI GROSSETO

**PROGETTISTA:** DOTT. ING. LUCA STOCCHI

**OGGETTO:** RELAZIONE GEOLOGICA

ai sensi del D.M. 17.01.2018 e Circ. Min. LL.PP. 7/2019, L.R.65/2014 e s.m.i., D.G.R. n. 431/2006, DPGR 53/R,  
L.R. 21/2012, DPGR 1/R/2022, R.U. Comune di Civitella Paganico, N.T.A. PAI e PGRA Aut. Distretto  
Appennino Settentrionale.

Via Aretina, 362 – Loc. Ellera, FIESOLE (FI)  
Tel.: +39 55 6594919  
Fax: +39 55 6594919  
Por. +39 335 6323692  
E-mail: martelli@studiogeologico.it  
P.e.c.: riccardo.martelli@pec.epap.it  
Web: www.studiogeologico.it

P. Iva: 04771480482  
Ordine dei Geologi della Toscana n. 913  
Albo CTU Tribunale di Firenze n. 8851  
Albo Periti Tribunale di Firenze n. 354

## INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMA DI RIFERIMENTO	4
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
4	MODELLO GEOLOGICO	7
4.1	Inquadramento geologico strutturale generale	7
4.2	Inquadramento geologico strutturale generale	7
4.3	Stratigrafia	8
4.4	Assetto geomorfologico	9
4.4.1	Lineamenti fisiografici generali	9
4.4.2	Inquadramento geomorfologico locale	9
4.5	Idrografia e idrologia	10
5	COMPATIBILITÀ CON ATTI DI PIANIFICAZIONE SOVRACOMUNALE	12
5.1	Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)	12
5.2	Piano di gestione del rischio alluvioni (PGRA)	13
6	COMPATIBILITÀ CON GLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI	15
6.1	Pericolosità geologica	15
6.2	Pericolosità idraulica	16
6.3	Pericolosità sismica	17
7	INDAGINI GEOLOGICHE	19
7.1	Sondaggio a carotaggio continuo	19
7.2	Prove di laboratorio geotecnico	21
7.3	Indagine sismica a rifrazione	22
7.4	Prova Masw	24
7.5	Indagine HVSR	26
8	MODELLO GEOTECNICO	29
8.1	Descrizione degli interventi	29
8.2	Caratterizzazione dei terreni di fondazione	30
8.3	Verifica alla liquefazione	31
9	CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA	33
10	CONSIDERAZIONI SULL'INTERAZIONE FRA TERRENO E STRUTTURA	34

## **ALLEGATI**

ALL. A – SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

ALL. B – PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

ALL. C – INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

ALL. D – INDAGINI GEOFISICHE SCHEDE

FILE: VERIFICA PONTE LANZO\_RGL\_A5 REV2

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione geologica viene prodotta come elaborato del progetto di adeguamento sismico del Ponte Lanzo posto sulla SP64 Cipressino nel Comune di Civitella Paganico, secondo il progetto del Dott. Ing. Luca Stocchi.

Tale relazione viene presentata ad espletamento della normativa attualmente vigente per quanto riguarda la redazione di documentazione tecnico – scientifica di supporto alla progettazione di interventi di prevenzione e riduzione del rischio sismico delle infrastrutture pubbliche (D.M. 17.01.2018 e sua Circolare Ministeriale Applicativa n.7/2019) e della normativa Regionale e comunale vigente per la stessa materia (L.R. 65/2014, L.R. 58/2009, N.T.A. Comune di Civitella Paganico), nonché ai sensi della normativa regionale vigente per il rischio idraulico e geomorfologico e per la normativa PAI.

I dati trascritti e valutati in questa relazione sono stati ricavati da apposite indagini geologiche condotte in situ ai sensi del DPGR 1/R/2022 e NTC 2018.

Sono stati così realizzati da Regione Toscana, ai fini della caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica, n. 1 sondaggio geognostico con prove SPT e prelievo di campioni indisturbati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico ed una indagine sismica a rifrazione in onde P ed SH; in precedenza, nell’ambito delle indagini di supporto alla preparazione delle schede di primo livello sono state eseguite n. 1 prova Masw e n. 1 prova HVSR. Questi dati sono stati ulteriormente integrati con la consultazione dello studio geologico di supporto al P.S. comunale e geologica regionale e con la bibliografia tecnico – scientifica disponibile per il sito in esame.

## 2 NORMA DI RIFERIMENTO

Lo studio è stato realizzato nel rispetto e in ottemperanza alla normativa vigente, ed elencata di seguito:

- Legge 464/84. Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio geologico (Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT) della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale.
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2018). NTC 2018: Norme Tecniche delle Costruzioni
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2019). Circolare n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2003). Ordinanza OPCM 3274/2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2006). Ordinanza OPCM 3519/2006: Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Presidenza della Repubblica (2001). DPR 380/2001: Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.
- Normativa dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Bacino del Fiume Arno: il DPCM 6.05.2005 di approvazione del Piano stralcio Assetto Idrogeologico (PAI); il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, adottato con Delibera 231 del 17/12/2015 del Comitato Istituzionale;
- Legge Regione Toscana n. 41/18 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 e simili;
- Legge Regione Toscana n. 58/09;
- Legge Regione Toscana n. 65/14;
- Regolamento regionale DPGR 1/R/22 e relative direttive tecniche;
- Piano Strutturale Comune di Civitella Paganico;
- Regolamento Urbanistico Comune di Civitella Paganico;
- Del. GRT n. 421 del 26/05/2014: classificazione sismica dei Comuni della Regione Toscana.

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in esame è localizzato sulla SP64 “Cipressino” tra il Km 3+049 e 3+107, circa 2Km a NE dall’abitato cittadino di Civitella Paganico, alla quota altimetrica di 74.4 m s.l.m..

Il sito si trova in un settore semi pianeggiante, le variazioni di pendenza più significative sono da ricondurre agli argini naturali del Torrente Lanzo, che scorre al di sotto del ponte oggetto di studio.

L’area è individuata nella carta tecnica CTR in scala 1:10000 della Regione Toscana e ricade all’interno della sezione 319080.

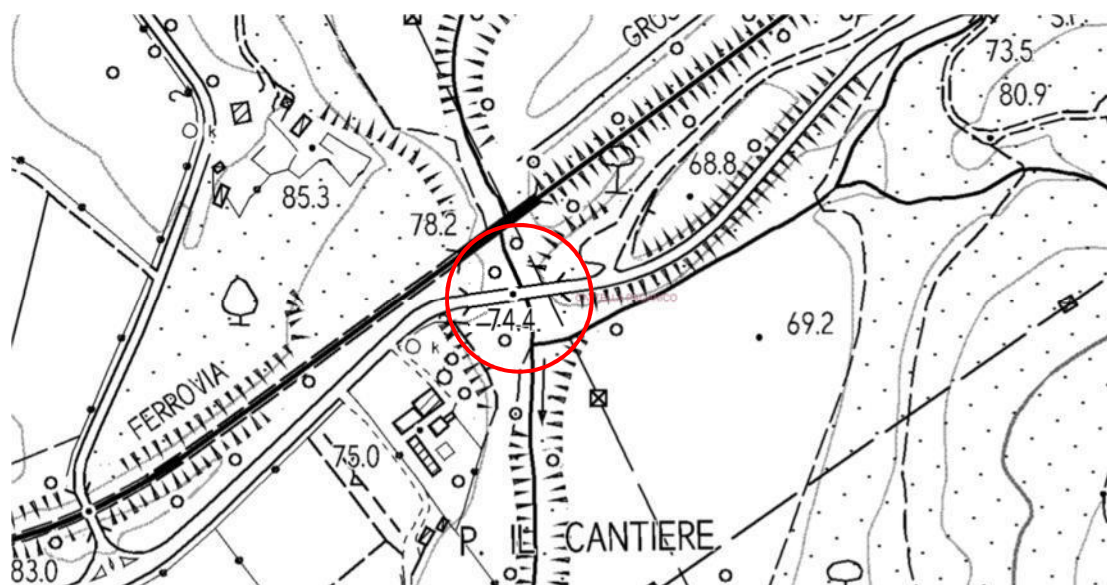


Figura 3-1: Inquadramento geografico dell’area (CTR Regione Toscana 1:10.000 – Foglio 319080)





Figura 3-2 - Inquadramento geografico dell'area di intervento (da Google Maps).

Secondo il R.D. n. 3267/1923 l'area non ricade in zone sottoposte a vincolo idrogeologico.

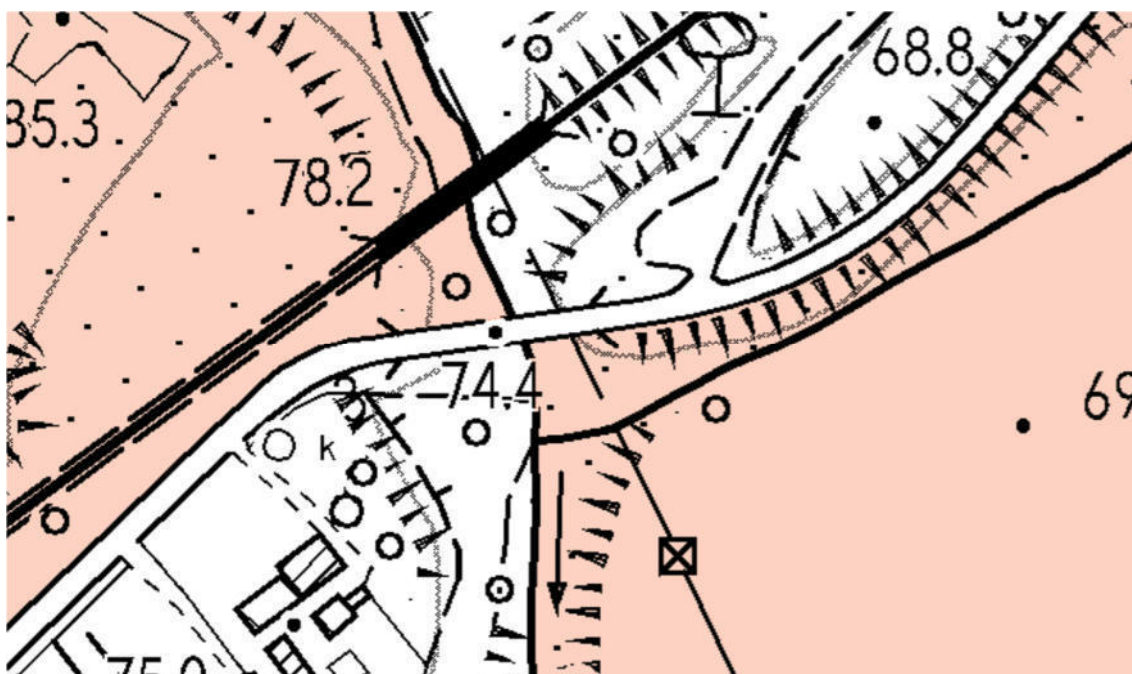


Figura 3-3 – Vincolo idrogeologico



## **4 MODELLO GEOLOGICO**

### **4.1 Inquadramento geologico strutturale generale**

Lo studio della macroarea di interesse, finalizzato alla definizione delle sue caratteristiche geologico-geomorfologiche e delle eventuali criticità presenti, è avvenuto attraverso il rilievo geologico e geomorfologico diretto, l'analisi dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche ed il reperimento di tutti i dati disponibili presso i vari enti pubblici, oltre ad ogni altro dato ritenuto significativo per l'elaborazione del modello geologico e geomorfologico.

### **4.2 Inquadramento geologico strutturale generale**

Il Comune di Civitella Paganico si estende per oltre 190 km<sup>2</sup> in provincia di Grosseto e ha confini naturali approssimativi con il torrente Farma a nord, il torrente Gretano a ovest e il fiume Ombrone a sud e a est. Morfologicamente, il territorio presenta caratteristiche di media e alta collina nei quadranti nord-ovest e nord-est, con altitudini spesso superiori ai 500 metri (quota massima: Poggio ai Leccioni, +591 m sul livello del mare), occupando rispettivamente i settori della dorsale Monticiano-Roccastrada a ovest e di quella Murlo-Pari a est (P.S. Civitella Marittima. Piano d'Ambito Civitella Paganico).

La morfologia locale si addolcisce gradualmente verso sud, dove le pendenze medie diminuiscono notevolmente e colli più rilevanti sono presenti solo all'estremità meridionale. Queste differenze sono correlate ai litotipi affioranti, con una prevalenza di rocce della serie Toscana o del gruppo ofiolitifero nei quadranti settentrionali e dei termini neogenici nei quadranti meridionali.

Dal punto di vista tettonico, tutte le maggiori strutture tettoniche sono concentrate nel settore settentrionale. L'architettura generale della dorsale Monticiano-Roccastrada è principalmente basata su un sistema di fratture di distensione, probabilmente dovute al forte dislivello tettonico rispetto alle aree adiacenti. Questo sistema include alcune faglie importanti, principalmente anti-appenniniche, accompagnate da una vasta rete di piccole fratture locali con rigetti minimi e direzioni variabili.

Una faglia significativa è presente a ovest dell'abitato di Civitella Marittima, con direzione appenninica, separando gli affioramenti della serie Toscana e dei termini flyschoidi da quelli neogenici più a ovest, marcando probabilmente il bordo di un graben. Nel settore della dorsale Murlo-Pari affiorano i materiali alloctoni del complesso ofiolitifero inferiore.

La transizione di questo complesso sarebbe avvenuta non prima della fine del Langhiano, anche se studi dettagliati hanno ipotizzato che la messa in posto delle scaglie liguri si sia realizzata secondo tempi e modalità diversi. La natura alloctona di questi depositi ha contribuito al loro assetto giaciturale, che risulta caotico e scompaginato, specie nelle facies calcareo-marnose, con frequente presenza di microfratture a orientazione variabile. Le uniche faglie significative si incrociano a sud di Monte Acuto, con direzioni approssimative di N 110° e N 160°.

### 4.3 Stratigrafia

I litotipi affioranti nell'area d'indagine sono costituiti totalmente da depositi alluvionali quaternari, trovandosi l'opera in esame in corrispondenza dall'alveo del Torrente Lanzo.

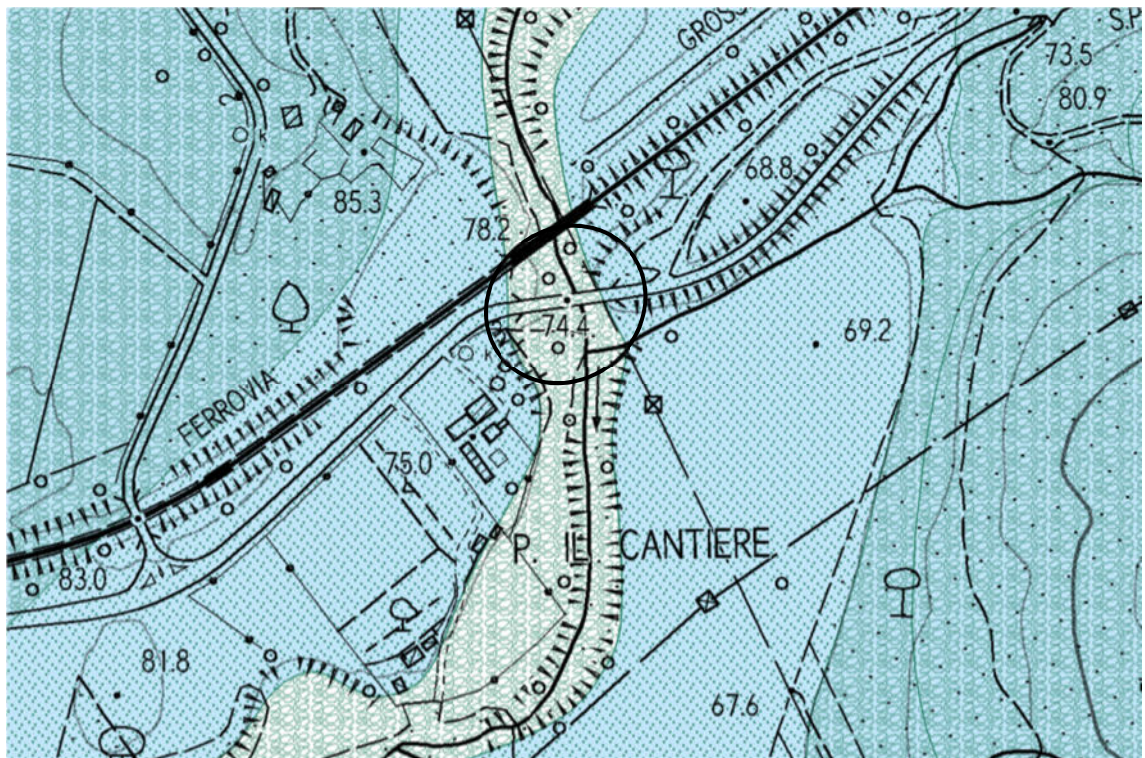


Figura 4-1- Carta geologica (Continuum geologico Regione Toscana) in scala 1:10.000

Di seguito si riporta la descrizione della successione litostratigrafica affiorante nell'area, partendo dei sedimenti più recenti:

#### *DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI O TERRAZZATI (PLEISTOCENE-OLOCENE)*

Si tratta dei depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati e delle alluvioni recenti e attuali originati a partire dal Pleistocene superiore. In questa zona sono presenti sabbie limose poggianti su ghiaie e sabbie presenti a varie profondità. Affiorano in corrispondenza delle principali aste fluviali, in questo caso nella pianura alluvionale del Torrente Lanzo. Nell'area si riscontrano soprattutto ghiaie e limi sabbiosi.

### **4.4 Assetto geomorfologico**

#### *4.4.1 Lineamenti fisiografici generali*

Civitella Paganico, situata nella parte settentrionale della provincia di Grosseto, si estende lungo la valle del fiume Ombrone, con un territorio che varia dalle pianure fluviali (circa +65 metri s.l.m. a Paganico) fino alle colline che raggiungono i +481 metri s.l.m. nella frazione di Casale di Pari. Il paesaggio è caratterizzato da una combinazione di pianure alluvionali e rilievi collinari. Le aree pianeggianti lungo il corso dell'Ombrone sono costituite da depositi alluvionali recenti, mentre le zone collinari presentano formazioni sedimentarie più antiche, risalenti al periodo neogenico-quadernario.

#### *4.4.2 Inquadramento geomorfologico locale*

L'indagine geomorfologica si propone, attraverso l'analisi delle forme del paesaggio, di individuare i processi morfogenetici che agiscono nell'area e che nel loro insieme costituiscono la dinamica morfologica.

Sulla Carta Geomorfologica del P.S. del Comune di Civitella Paganico sono riportati tutti quei fenomeni geomorfologici che possono avere una particolare importanza ai fini dell'analisi della stabilità dell'area in esame.



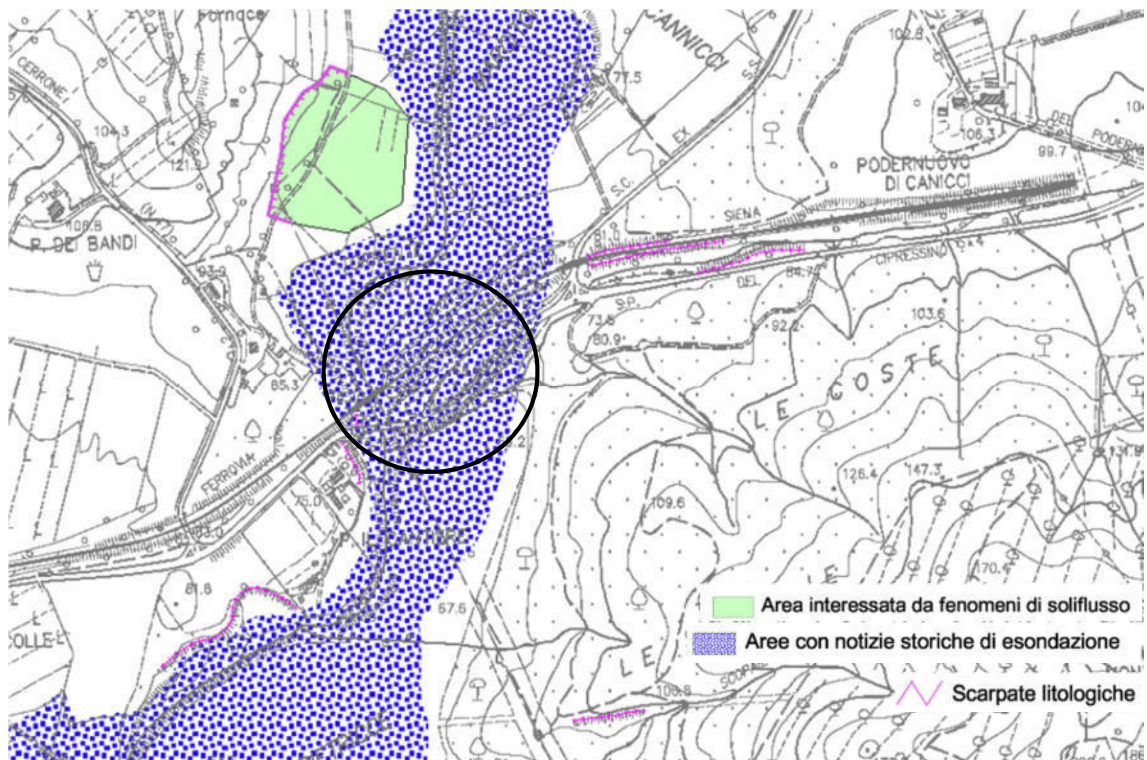


Figura 4-2 - Carta geomorfologica (P.S. Comune di Civitella Paganico)

Nell'area di studio non si rilevano fenomenologie morfologiche significative ad eccezione di alcune scarpate litologiche e di un'area interessata da fenomeni di soliflusso, presente al di fuori dell'area d'interesse. Il lotto rientra nei settori con notizie storiche di inondazioni.

Sono presenti fenomeni di erosione localizzata in corrispondenza dell'opera in esame, data la notevole energia delle acque che vi transitano in occasione di eventi di piena. Sono presenti altresì fenomeni di erosione di fondo. L'opera esistente non presenta lesioni riferibili a movimenti del terreno o fenomeni di rottura del sottosuolo.

#### 4.5 Idrografia e idrologia

Nell'area oggetto di studio, il livello di base dei corsi d'acqua è rappresentato dal Torrente Lanzo, che in questo settore ha un andamento quasi rettilineo con prevalente direzione N-S.

Il suo tributario più vicino è il Botro della Fonte, localizzato immediatamente a valle del ponte che confluisce nel Torrente Lanzo in sinistra idrografica.

La permeabilità dei terreni del sottosuolo risulta medio-elevata nei livelli ghiaioso-sabbiosi, mentre nei livelli limoso-sabbiosi la permeabilità è media. La falda ospitata nei sedimenti alluvionali ghiaiosi e sabbiosi è di tipo libero. Nell'ambito della campagna di indagine condotta in sito è stata riscontrata la presenza di acqua all'interno del perforo di sondaggio alla profondità maggiore di -2,86 m dal p.c. in data 08/11/2024. Il PS del comune di Civitella Paganico indica una vulnerabilità alta per tutta l'area d'interesse.

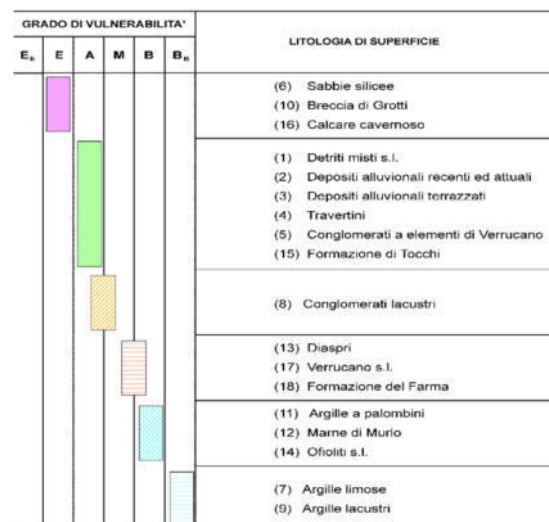
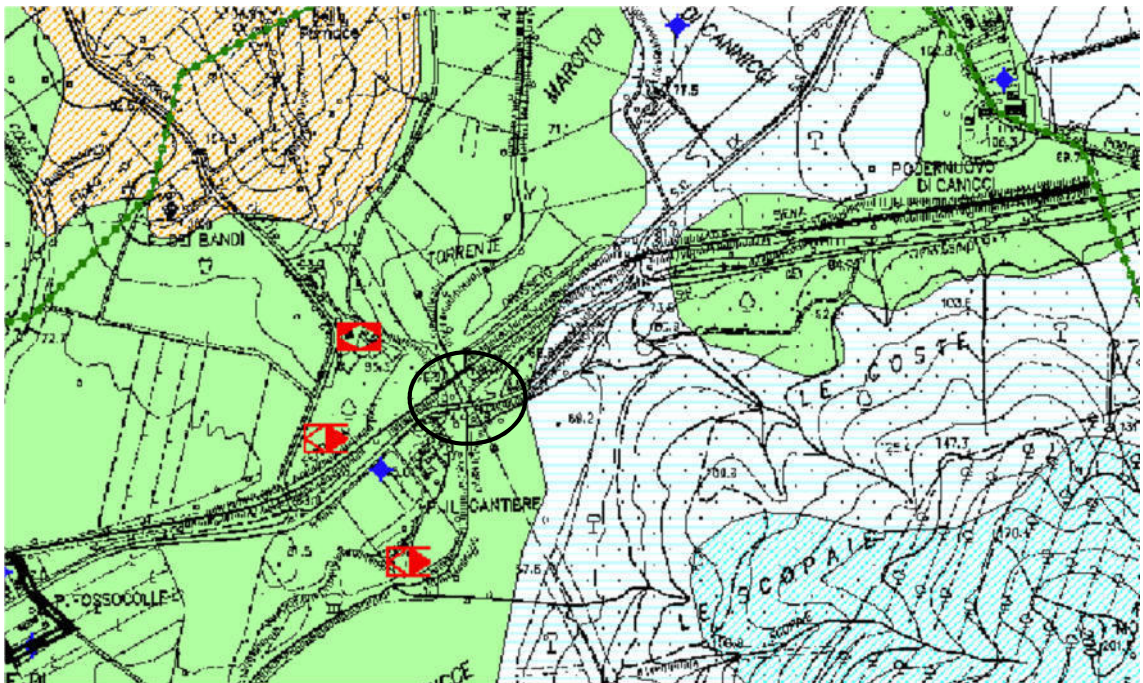


Figura 4-3 - Carta della vulnerabilità (P.S. Civitella paganico)



## 5 COMPATIBILITÀ CON ATTI DI PIANIFICAZIONE SOVRACOMUNALE

### 5.1 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

La zona studiata ricade all'interno delle aree di pertinenza del Piano di Bacino dell'Appennino Settentrionale (PAI). Nell'ambito del PAI sono identificati e descritti i criteri di pericolosità geomorfologica, finalizzati alla redazione di strumenti di pianificazione per la salvaguardia del territorio.

Si riporta di seguito uno stralcio della Carta di Pericolosità da Frana allegata al Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale (adozione delibera n.11, 12 e 13 del 25 gennaio 2005). Tale cartografia fornisce una distribuzione territoriale delle aree esposte a processi di dinamica geomorfologica, ordinate secondo classi a gravosità crescente.

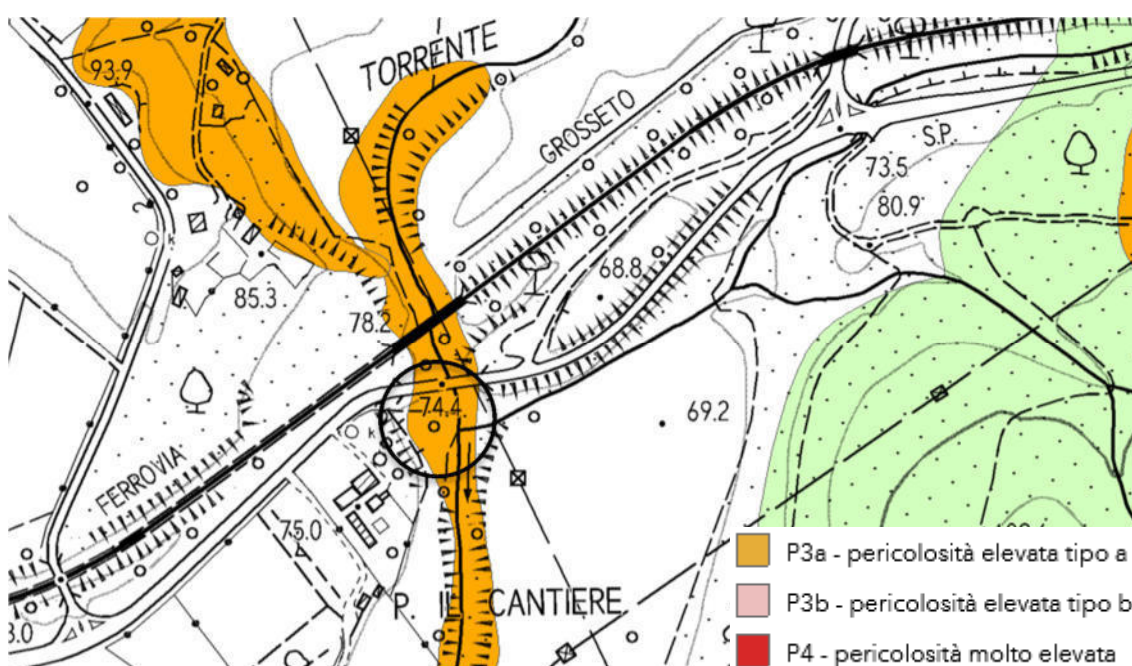


Figura 5-1 - Pai Dissesti (accesso maggio 2025)

L'area di intervento risulta ricadere in un settore a pericolosità elevata P3a secondo la carta geomorfologica dal Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale (Figura 5.1).

Secondo le NTA del PAI sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio senza aggravare le condizioni di stabilità delle aree contermini.

Oltre alle suddette NTA del PAI adottate si rimanda, anche alle norme di attuazione dello strumento urbanistico per la definizione delle condizioni di fattibilità.

## **5.2 Piano di gestione del rischio alluvioni (PGRA)**

Nell'ambito dei propri compiti istituzionali connessi alla difesa del territorio l'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale ha disposto, ai sensi dell'art. 17, comma 6-ter della Legge 18.05.1989 n. 183, la redazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, inteso come strumento di individuazione delle aree a rischio alluvionale e quindi, da sottoporre a misure di salvaguardia ma anche di delimitazione delle aree di pertinenza fluviale: il piano è, quindi, funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive) il conseguimento di un assetto fisico dell'ambito fluviale compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli, industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

L'area di intervento è localizzata in corrispondenza del Torrente Lanzo, e presenta conseguentemente una pericolosità da alluvione fluviale elevata P3 secondo la cartografia dell'Autorità di bacino del Fiume Arno (PGRA).

Secondo le NTA del PGRA gli interventi di adeguamento sismico su infrastrutture esistenti, come i ponti, che ricadono in P3 sono generalmente consentiti, a condizione che:

- non aumentino la pericolosità o il rischio idraulico esistente;
- non ostacolino il deflusso delle acque o riducano la capacità di invaso delle aree interessate;
- non compromettano le sistemazioni idrauliche esistenti o la realizzazione di interventi previsti dalla pianificazione di bacino.



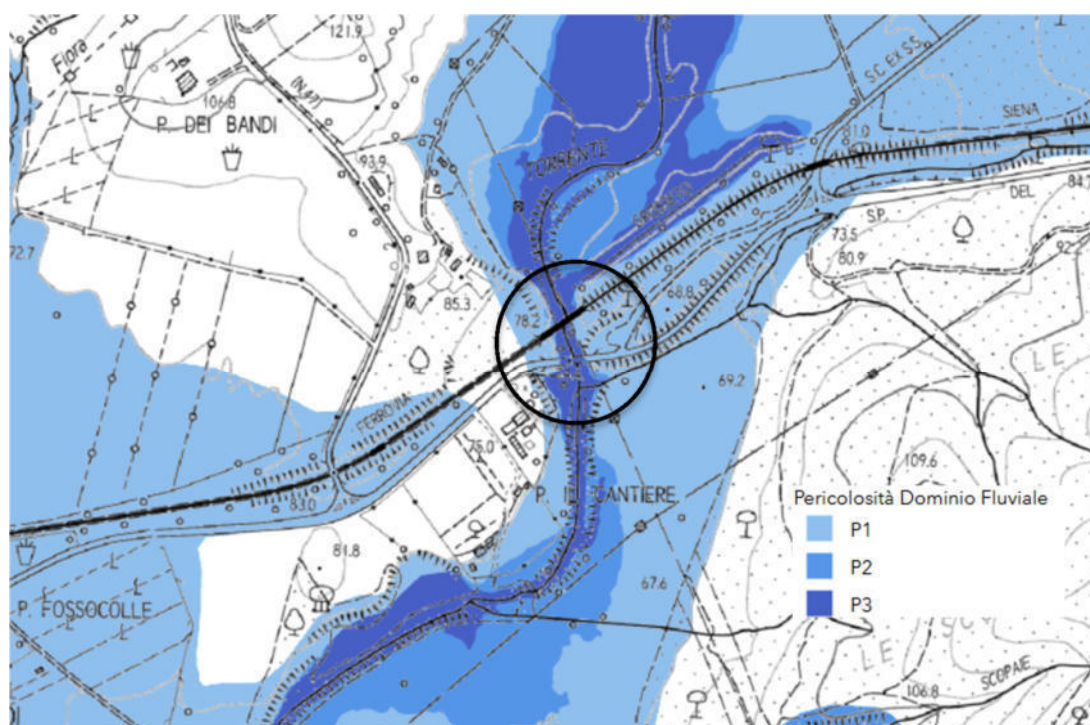


Figura 5-2: Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica (PGRA).

## 6 COMPATIBILITÀ CON GLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI

### 6.1 Pericolosità geologica

Secondo la carta della pericolosità geologica di supporto al P.S. del Comune di Civitella Paganico approvato nel 2024, il lotto in esame risulta ricompreso in un'area classificata a pericolosità geologica elevata (G.3). In base agli aspetti di pericolosità geologica riscontrati nell'area di intervento si riportano di seguito i criteri da seguire per la fattibilità delle opere, ai sensi delle NTA comunali.

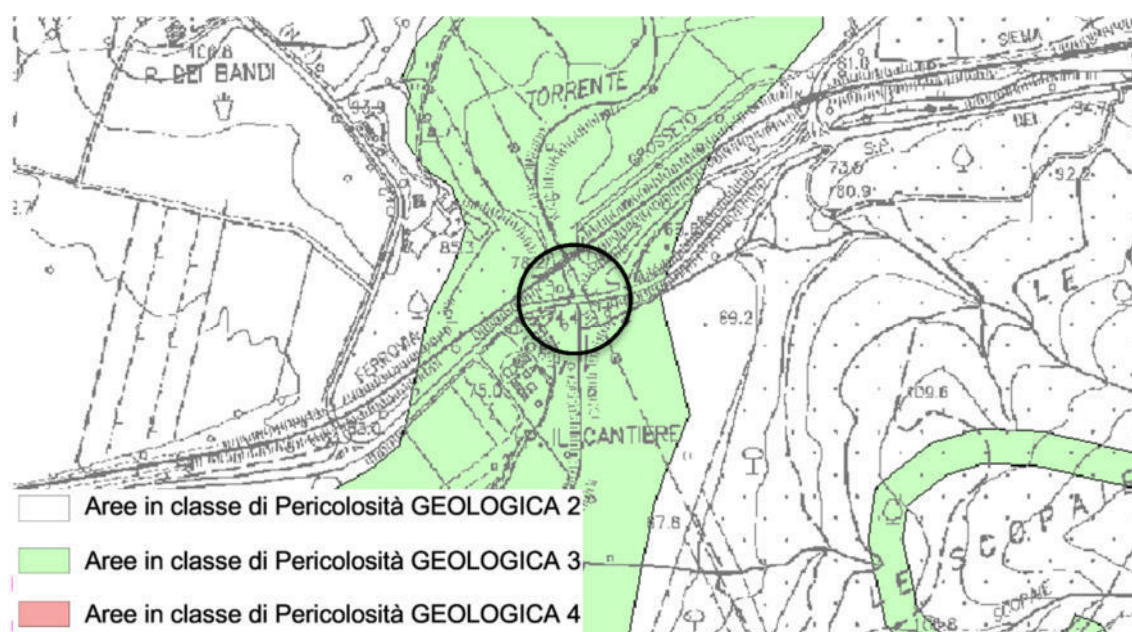


Figura 6-1 - Carta della pericolosità geologica (P.S. Comune di Civitella Paganico)

Secondo le NTA viene definita una classe di fattibilità geologica condizionata F3, per la quale sono consentiti gli interventi di ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione, di ristrutturazione urbanistica, nuova edificazione o realizzazione di nuove infrastrutture, condizionandoli, ove necessario, alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione funzionali alla loro messa in sicurezza a livello di ambito di influenza inteso come area sede di fenomeni, che direttamente o indirettamente potrebbero interessare l'intervento.

Tali interventi di messa in sicurezza sono definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici di dettaglio e devono essere comunque tali da:

- non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
- non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;
- consentire sempre il controllo della funzionalità e la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

Per gli interventi che prevedono scavi o riporti di profondità o altezza maggiori di tre metri, devono essere condotti studi specifici per la valutazione della stabilità locale con estensione anche ad un intorno significativo.

Per gli interventi che prevedono scavi o riporti di profondità o altezza minori di tre metri, sarà cura del progettista verificare le condizioni di fattibilità degli interventi, in relazione alle fenomenologie presenti nell'area.

Data la classificazione di fattibilità, sono state programmate ed eseguite indagini geognostiche e geofisiche in conformità del DPGR 1/R/2022 e delle NTC 2018, che hanno escluso la presenza di configurazioni geologiche tali da condizionare l'esecuzione delle opere in progetto.

## **6.2 Pericolosità idraulica**

L'area in esame risulta compresa all'interno delle aree a Pericolosità idraulica molto elevata P4, definita per le aree interessate da eventi con tempo di ritorno  $T_r$  inferiore a 30 anni, secondo la Carta di Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale del Comune di Civitella Paganico.

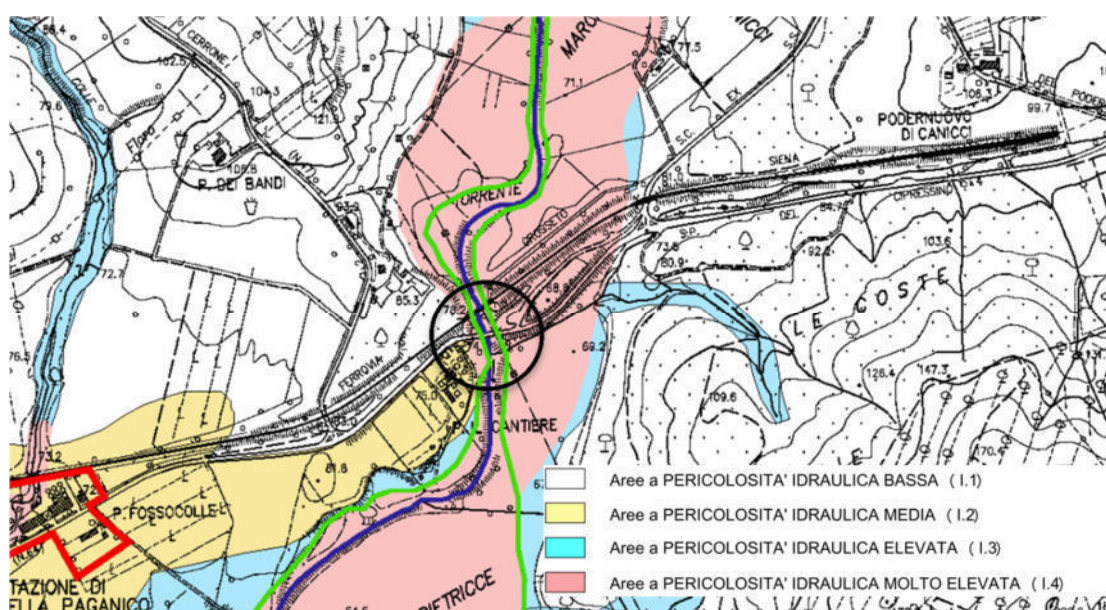


Figura 6-2 - Carta della pericolosità idraulica (P.S. Comune di Civitella Paganico)

Data la tipologia d'intervento, che può essere realizzato in condizioni di gestione del rischio, esso risulta fattibile senza prescrizioni ai sensi delle NTA e della L.R. 41/2018.

### 6.3 Pericolosità sismica

L'area in esame risulta compresa all'interno della Aree caratterizzate da instabilità dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali, per la presenza di depositi di ghiaie e sabbie suscettibili di densificazione (Figura 6-3), non è invece presente la Carta della Pericolosità Sismica Locale.



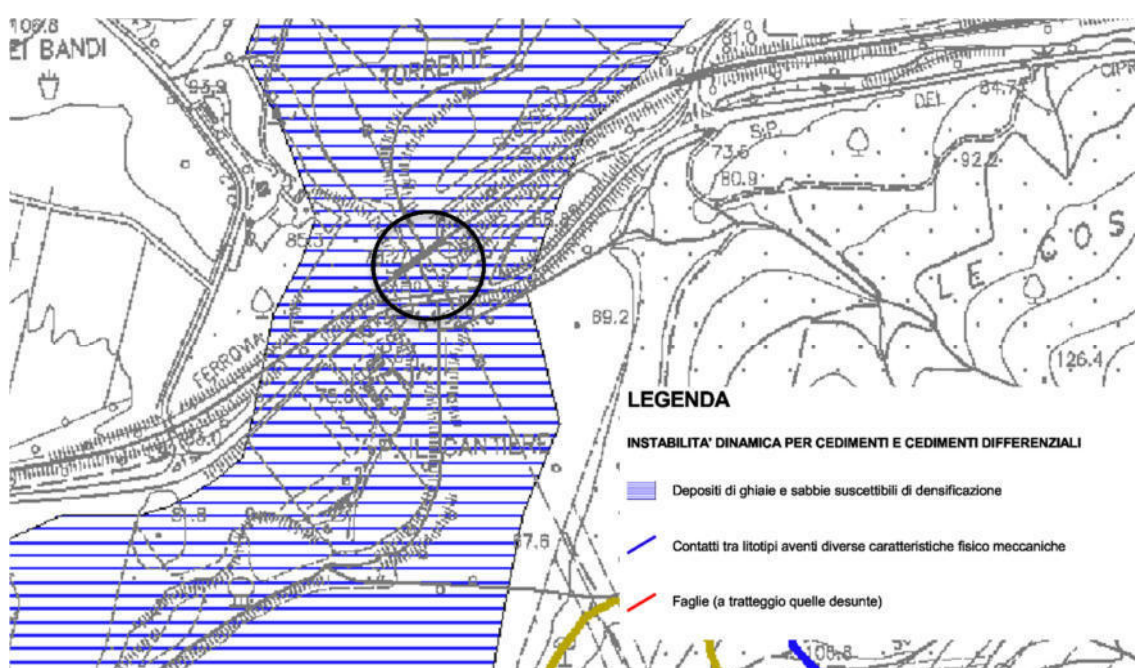


Figura 6-3 – Carta dell'instabilità dinamica per cedimenti e cedimenti differenziali, (P.S. del Comune di Civitella Paganico)

In ogni caso sono state programmate ed eseguite indagini geognostiche e geofisiche in conformità del DPGR 1/R/2022 e delle NTC 2018 che hanno evidenziato la presenza di configurazioni geologiche tali da prefigurare possibili amplificazioni del segnale sismico.

## 7 INDAGINI GEOLOGICHE

La successione stratigrafica, le caratteristiche geotecniche dei vari livelli, le caratteristiche idrogeologiche e sismiche del sottosuolo, sono state definite a mezzo di specifiche indagini geologiche e geofisiche condotte all'interno del lotto da Regione Toscana e nell'ambito della preparazione delle schede di primo livello, ai sensi del DPGR 1/R e delle NTC 2018. In particolare, Regione Toscana ha coordinato l'esecuzione di n. 1 sondaggio geognostico, da cui sono stati prelevati 4 campioni, di cui uno rimaneggiato, e in cui sono state eseguite tre prove SPT, oltre ad una indagine sismica a rifrazione inonde P e SH. Nell'ambito della preparazione delle schede di primo livello sono state eseguite n. 1 prova Masw e n. 1 prova HVSR.



Figura 7-1 - Indagini geognostiche Regione Toscana e geofisiche schede

### 7.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Durante il mese di novembre 2024 è stato realizzato n. 1 sondaggio a carotaggio continuo le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente.

*Informazioni Tecniche Generali*

	Informazioni Tecniche
Ditta Esecutrice	Geologica Toscana
Tipo di perforatrice	Geomarc-GM 600 R
Diametro di Perforazione	101 mm
Diametro Rivestimento	127 mm
Fluido	Acqua
Profondità perforazione	-20 m dal p.c.

*Tubo carotiere*

Per la realizzazione del sondaggio è stato utilizzato un tubo carotiere del diametro di 101 mm con punta a widia. L'avanzamento è avvenuto a secco in presenza di materiali di riporto, fini e ghiaiosi e con acqua in presenza di livelli litoidi avanzando sempre mediante carotaggio continuo.

*Velocità di perforazione*

La velocità di perforazione è risultata abbastanza costante in un intervallo compreso fra 5 ed 10 cm/min, con episodiche variazioni in aumento o in diminuzione, legate alla consistenza del materiale.

*Standard Penetration Test*

Nel sondaggio sono state eseguite tre prove SPT, di seguito si riporta un riepilogo:

- la prova SPT 1 (3,00-3,45 m dal p.c.) è stata eseguita con campionatore Raymond a punta aperta, aste di perforazione di diametro  $\varnothing = 76$  mm e peso 10,8 Kg/m, maglio di 63,5 Kg e dispositivo di rilascio del maglio di 76 cm. La prova ha fornito un numero di colpi pari a 9-17-23 (Nspt = 40).
- la prova SPT 2 (6,00-6,45 m dal p.c.) è stata eseguita con campionatore Raymond a punta aperta, aste di perforazione di diametro  $\varnothing = 76$  mm e peso 10,8 Kg/m, maglio di 63,5 Kg e dispositivo di rilascio del maglio di 76 cm. La prova ha fornito un numero di colpi pari a 24-31-35 (Nspt = 66).
- la prova SPT 3 (10,00-10,45 m dal p.c.) è stata eseguita con campionatore Raymond a punta chiusa, aste di perforazione di diametro  $\varnothing = 76$  mm e peso 10,8 Kg/m, maglio di 63,5 Kg e dispositivo di rilascio del maglio di 76 cm. La prova ha fornito un numero di colpi pari a 18-23-29 (Nspt = 52).



*Prelievo di campioni e altre prove*

Nel sondaggio S2p è stato effettuato il prelievo di n. 3 campioni indisturbati con campionatore Shelby alla profondità rispettivamente di 2.00-2.40, 5.00-5.50 e 12.50-13.00.

*Percentuale di recupero*

La percentuale di recupero è stata eccellente in tutti i livelli incontrati (maggiore del 98%).

*Chiusura finale del perforo*

Nel perforo di indagine è stato installato un tubo piezometrico per il rilevamento della falda.

## **7.2 Prove di laboratorio geotecnico**

I 4 campioni prelevati nelle fasi di indagine, di cui tre indisturbati e uno disturbato, sono stati recapitati presso il laboratorio geotecnico della SGEO per essere sottoposto alle seguenti analisi:

### Campione S2C1:

- Apertura campioni (ASTM D2488-93)
- Contenuto d'acqua (C.N.R. U.N.I. 10008)
- Peso di volume (A.G.I. 1994-C.N.R. B.U. XII N.63)
- Analisi granulometrica (C.N.R. B.U. VI N.27 - ASTM D422-63)
- Limiti di consistenza (C.N.R. U.N.I. 10014)
- Peso specifico dei grani (C.N.R. U.N.I. 10010-10013)
- Prova di taglio diretto CD (UNI CEN ISO/TS 17892-10)
- Prova edometrica (NORMA ASTM D2435)

### Campione S2C2:

- Apertura campioni (ASTM D2488-93)
- Contenuto d'acqua (C.N.R. U.N.I. 10008)
- Peso di volume (A.G.I. 1994-C.N.R. B.U. XII N.63)

- Analisi granulometrica (C.N.R. B.U. VI N.27 - ASTM D422-63)
- Limiti di consistenza (C.N.R. U.N.I. 10014)
- Peso specifico dei grani (C.N.R. U.N.I. 10010-10013)
- Prova di taglio diretto CD (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

#### Campione S2-C3

- Apertura campioni (ASTM D2488-93)
- Analisi granulometrica (C.N.R. B.U. VI N.27 - ASTM D422-63)
- Peso specifico dei grani (C.N.R. U.N.I. 10010-10013)

#### Campione S2-C4R

- Apertura campioni (ASTM D2488-93)
- Analisi granulometrica (C.N.R. B.U. VI N.27 - ASTM D422-63)
- Peso specifico dei grani (C.N.R. U.N.I. 10010-10013)
- Prova di taglio diretto CD (UNI CEN ISO/TS 17892-10)

I certificati delle prove di laboratorio geotecnico sono riportati in allegato alla presente Relazione Tecnica.

### 7.3 Indagine sismica a rifrazione

Nel dicembre 2024 è stata eseguita una campagna di indagine sismica a rifrazione in onde P e S. La descrizione della prova è riportata nella relazione allegata alla presente. Le indagini hanno consentito di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde P che si correla bene con le caratteristiche geologiche dell'area in esame. Tali indagini evidenziano un progressivo aumento della velocità delle onde P, con la profondità.

Riprendendo i risultati del report, con le indagini si individua in generale un primo sismostrato, dello spessore medio di circa 8 m, in cui sono presenti terreni da poco a moderatamente compatti con velocità inferiori a 1400 m/s. Al di sotto di tale strato le velocità aumentano passando da 1400 m/s a 2800 m/s, segnalando la presenza di terreni molto compatti. Per quanto riguarda il profilo in onde S, si individua in generale un primo sismostrato, dello spessore medio di 6.5 m, in cui sono presenti terreni poco compatti con velocità inferiori a 300 m/s. Al di sotto di tale strato le velocità aumentano (> 300 m/s), segnalando la presenza di terreni moderatamente compatti.

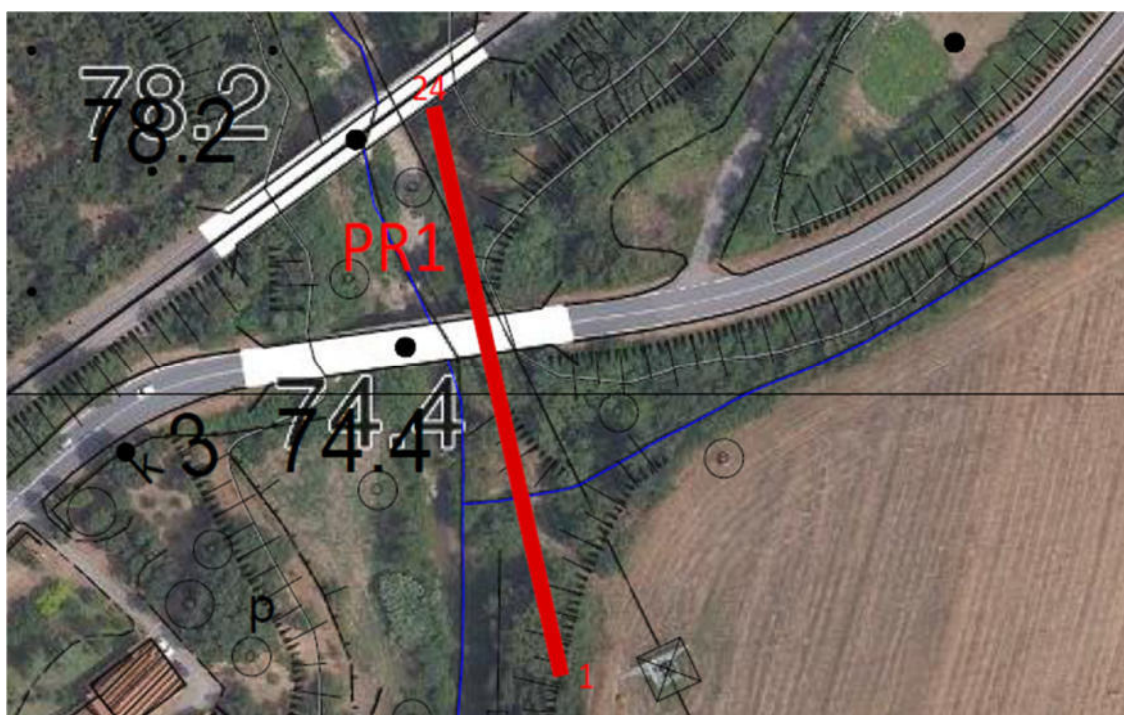


Figura 7-2 - Indagini geofisica Regione Toscana

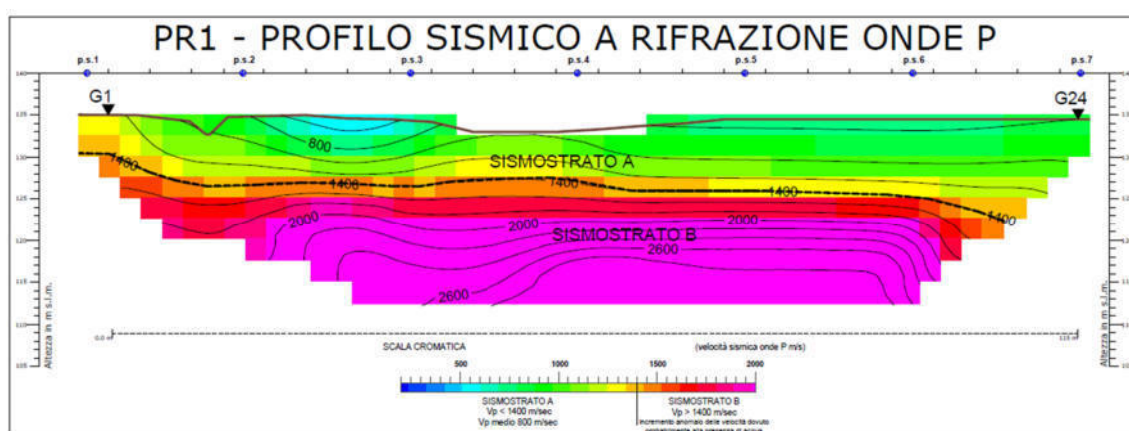


Figura 7-3 – Profilo sismico Onde P

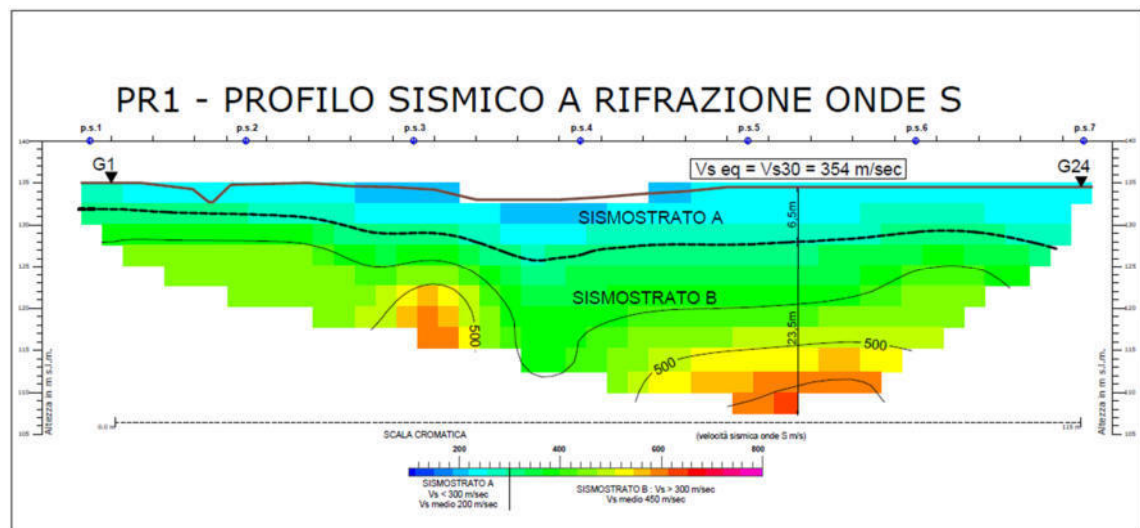


Figura 7-4 – Profilo sismico onde S

## 7.4 Prova Masw

In data 27 giugno 2024, nell'ambito degli approfondimenti funzionali alla compilazione delle schede di primo livello, è stata eseguita una campagna geofisica mediante acquisizione MASW, analisi delle dispersioni delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva lungo un allineamento posto ad E del fabbricato in esame. Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il metodo si basa sulla scomposizione del treno di onde superficiali generato dall'energizzazione sismica, mediante la trasformata di Fourier. Si ottengono così delle onde monofrequenza per le quali si possono individuare gli spettri velocità di fase/ampiezza; per ogni frequenza risulteranno dei massimi disposti in funzione dei modi propri di vibrazione del terreno.

Le onde superficiali viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata alla loro propagazione. In un mezzo stratificato dette onde sono dispersive, cioè si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo per le diverse lunghezze d'onda.

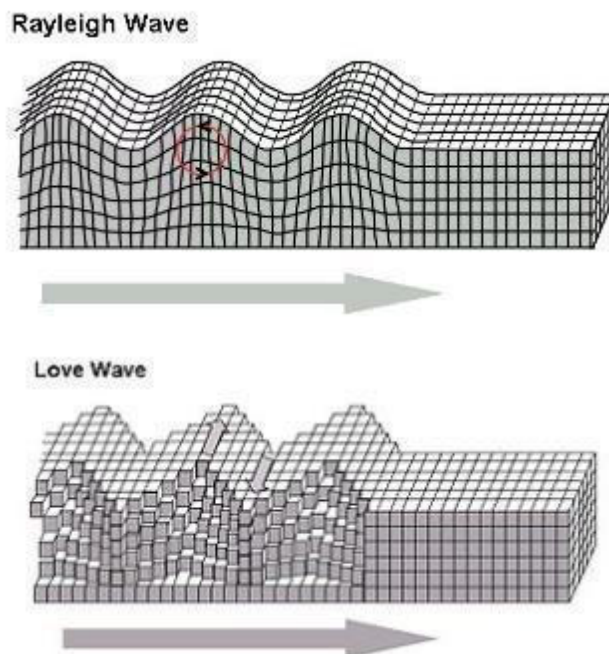
Le onde ad alta frequenza, quindi con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali, mentre le onde bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Questo permette di correlare gli spettri delle indagini MASW con le condizioni stratigrafiche e le velocità sismiche degli strati di terreno attraversati.

Il modello teorico considera la propagazione delle onde di Rayleigh su strati orizzontali omogenei. Per le frequenze maggiori la penetrazione delle onde è contenuta, quindi la velocità di propagazione ( $c_R$ ) è legata alla velocità delle onde S del solo strato superiore ( $c_{s1}$ ), dalla relazione:

$$c_R = \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \cdot c_S$$

Riducendo la frequenza, le onde interessano maggiori profondità, variando di conseguenza la propria velocità.



Per le analisi MASW riferite alle onde di Rayleigh si utilizzano i dati registrati sulla componente geofonica verticale (Z). Viceversa per le analisi MASW riferite alle onde di Love si utilizzano i dati registrati sulla componente geofonica trasversale (NS). La modellazione delle onde di Love si effettua considerando la propagazione in strati orizzontali omogenei.

La linea sismica realizzata nel corso delle indagini ha avuto una lunghezza pari a 54,0 m; il sistema di ricezione è costituito da un geofono fisso posizionato alla testa dello stendimento e da un geofono mobile, che viene spostato per 27 volte, ad ogni battuta, con una distanza intergeofonica pari a 2,0 metri. Il modulo elastico dinamico è

determinato mediante la relazione  $E_d = \gamma v_p (1-2\nu)(1+\nu)/(1-\nu)$ . Per terreni granulari generalmente lo si può considerare 10 volte il modulo elastico statico.

L'indagine eseguita ha evidenziato l'assenza di un bedrock sismico entro la profondità di 30 m e la presenza di un primo sismostrato fino a -3,0 m dal p.c. con velocità Vs pari 200 m/s, seguito da un secondo sismostrato con velocità Vs di 440 m/s.

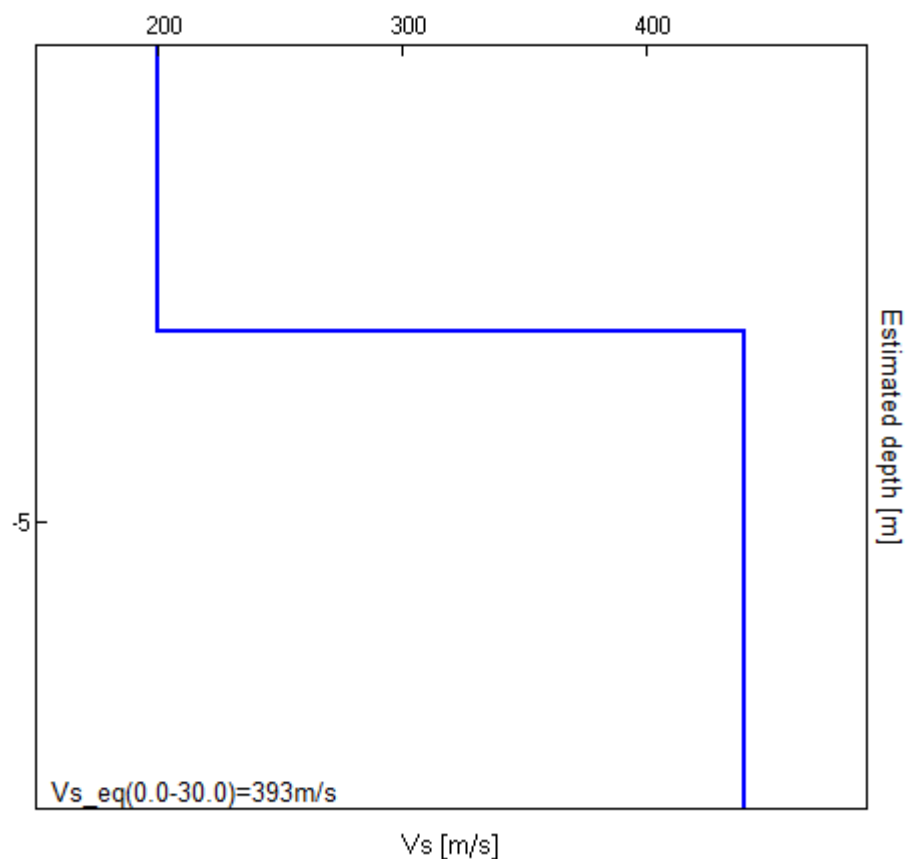


Figura 7-5 - Diagramma Masw

Gli elaborati relativi all'indagine precedentemente descritta sono riportati in allegato alla presente relazione.

## 7.5 Indagine HVSR

Le misure di microtremore ambientale HVSR sono state eseguite con l'utilizzo di un tromografo (*Tromino*®, Micromed spa), in grado di registrare su tre canali velocimetri a



elevato guadagno, orientati secondo tre direzioni ortogonali, le vibrazioni sismiche alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

I microtremori sono sempre presenti sulla superficie terrestre e hanno origine da perturbazioni meteorologiche, moto ondoso nei mari, vento, terremoti lontani, traffico automobilistico, rumore urbano, ecc. Le onde sono in parte “intrappolate” nei corpi stratigrafici, in funzione della loro impedenza acustica. Gli stessi corpi stratigrafici sono quindi eccitati secondo la loro frequenza di risonanza (analogamente alle corde di una chitarra), diventando amplificatori/filtri del microtremore.

La frequenza fondamentale di risonanza per terreni a strati orizzontali omogenei e isotropi è  $f = V_s/4h$ , dove  $V_s$  è la velocità media delle onde di taglio e  $h$  è lo spessore dello strato considerato. I microtremori che giungono in superficie mostrano dei picchi di ampiezza alle frequenze fondamentali di risonanza dei terreni che si trovano sotto al punto di misura. La determinazione di tali picchi riveste notevole importanza per due motivi:

- il fenomeno di amplificazione dei microtremori replica, con rilevanti similitudini, i meccanismi di amplificazione che si possono verificare durante i terremoti
- la frequenza di risonanza fornisce una valida stima indiretta del rapporto  $V_s/4h$  dei terreni presenti sotto al punto di misura

Nei terreni soffici (coperture) l'ampiezza della componente orizzontale dei microtremori (H) è maggiore della componente verticale (V), mentre nei terreni rigidi i due valori sono simili in corrispondenza del picco di oscillazione. In pratica, la componente verticale non risente molto della natura del mezzo attraversato, mentre la componente orizzontale è incrementata per effetto dei predetti fenomeni di risonanza.

Il fattore di amplificazione del moto orizzontale in superficie può essere valutato, frequenza per frequenza, dal rapporto di ampiezza dei movimenti verticali rispetto a quelli orizzontali, essendo questi ultimi ricavati dalla media geometrica delle componenti nord-sud ed est-ovest. Preliminarmente i segnali acquisiti sono suddivisi in finestre temporali, depurati del loro trend medio e sottoposti a media mobile pesata (per enfatizzare i picchi significativi), componente per componente. Per ogni segnale viene quindi calcolata la trasformata di Fourier, al fine di ritrovare le armoniche delle singole onde di Rayleigh e di Love che compongono la registrazione (con relative ampiezze/frequenze).

I risultati ottenuti, come per quasi tutte le indagini geofisiche, è affetto da un errore di  $\pm 20-30\%$ . Il grado di approssimazione è maggiore per frequenze di risonanza sotto a 1 Hz, data la maggiore variabilità spazio-temporale delle sorgenti del microtremore (soprattutto atmosferiche e marine).



In appendice sono riportati i rapporti tecnici sintetici. Il primo grafico mostra il rapporto H/V al variare delle frequenze di misura, con relative curve di errore (deviazione standard).

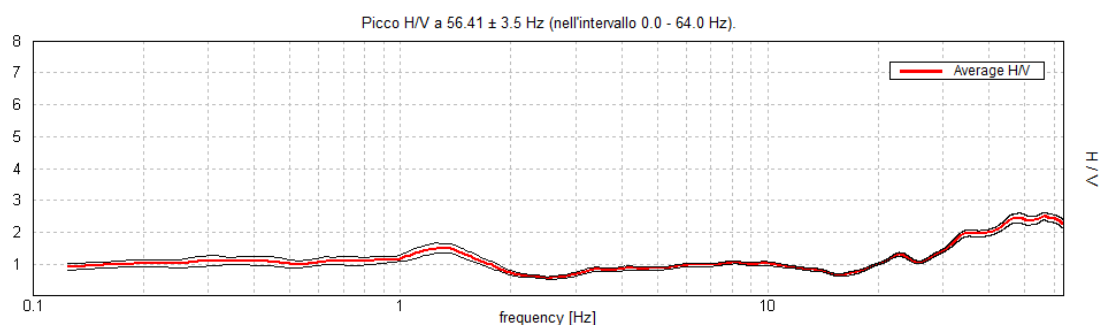
I successivi diagrammi mostrano l'intensità delle misure alle diverse frequenze in funzione del tempo di osservazione trascorso o della direzione. Le eventuali bande nere nel primo diagramma mostrano le misurazioni ignorate per la presenza di disturbi (pulizia delle tracce). Il secondo diagramma fornisce informazioni sulle disomogeneità morfologiche e litologiche al di sotto del punto di misura.

Il successivo grafico mostra l'accelerazione delle tre componenti di vibrazione misurate per le diverse frequenze. Il discostamento delle componenti N-S e E-W può essere dovuto a effetti topografici o a un assetto stratigrafico non omogeneo. L'allontanamento della componente verticale, specialmente verso il basso, è chiaro indicatore di una discontinuità dell'impedenza sismica tra i diversi orizzonti.

Il grafico "experimental Vs – Synthetic H/V" ripropone lo spettro H/V, confrontandolo con la curva teorica (in azzurro) derivante dal modello di sottosuolo, adattato fino a ottenere il massimo avvicinamento delle due curve. Il medesimo modello è definito dalle successive tabelle e grafico, insieme al calcolo della  $V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_{si})$ .

Chiudono il rapporto le verifiche di congruità riferite alle linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations, 2005). Secondo tali linee guida sono accettabili curve HVSR per le quali si verificano le 3 condizioni elencate e sono sufficientemente significativi i picchi HVSR per i quali si verificano almeno 5 delle 6 condizioni elencate.

La stazione T1 di misura dei microtremori eseguita in data 26 giugno 2024, nell'ambito degli approfondimenti funzionali alla compilazione delle schede di primo livello, è di seguito riportata:



Come si evince dall'immagine, non sono presenti picchi particolarmente significativi, dovuto ad un aumento graduale della velocità delle onde all'interno del terreno.

La direzione strumentale 0° è circa coincidente con la direzione geografica Nord. Secondo i criteri SESAME la curva si giudica affidabile ma i picchi non sono chiari. I picchi nei grafici H/V risultano abbastanza omogenei al variare della direzione.

## **8 MODELLO GEOTECNICO**

### **8.1 Descrizione degli interventi**

L'intervento in progetto prevede l'adeguamento sismico del Ponte sul Fiume Lanzo, sulla SP64 "Cipressino" tra il Km 3+049 e 3+107. Per i dettagli progettuali si faccia riferimento alle tavole del progettista.

## 8.2 Caratterizzazione dei terreni di fondazione

La determinazione dei parametri geotecnici è stata effettuata per via diretta usando i dati di laboratorio geotecnico e indiretta, utilizzando i dati acquisiti con le prove penetrometriche, adottando le correlazioni comunemente usate e validate dalla pratica professionale. In tal modo è stata ricostruita la seguente successione stratigrafica:

Unità geotecnica 1 (da -0,00 a -2,00 m dal p.c.): ghiaie eterometriche in matrice limo sabbiosa. Tale livello mostra un comportamento prevalentemente attritivo a breve e a lungo termine con una resistenza al taglio mobilitata da un angolo di attrito interno  $\phi'$  pari a  $30^\circ$ . Il peso di volume  $\gamma$  medio è pari a  $1,9 \text{ g/cm}^3$  ed è poco compressibile con modulo  $E'$  pari a  $100 \text{ Kg/cm}^2$ .

Unità geotecnica 2 (da -2,00 a -6,0 m, da -9,50 a -13,00 m, e da -16,70 a  $>-20$  m dal p.c.): Limi argillosi debolmente sabbiosi con sporadici livelli di ghiaie passanti ad argille limose da molto compatte a dure con livelli limoso sabbiosi. Le varie prove SPT forniscono un valore medio di NSPT pari a 38 colpi. Tale livello mostra un comportamento prevalentemente coesivo a breve termine con una resistenza al taglio mobilitata da una coesione non drenata  $c_u$  pari a  $1,00 \text{ kg/cm}^2$  ed attritivo a lungo termine con una resistenza al taglio mobilitata da un angolo di attrito interno  $\phi'$  varia da  $20,5^\circ$  a  $28,2^\circ$  e da una coesione efficace  $c'$  che varia da  $0,124$  a  $0,140 \text{ Kg/cm}^2$ . Il peso di volume  $\gamma$  medio è pari a  $1,92 \text{ g/cm}^3$  ed è compressibile con modulo  $E_d$  pari a  $55 \text{ Kg/cm}^2$ .

Unità geotecnica 3 (da -6,00 a -9,5 m, da 13,00 a -16,70 m dal p.c.): ghiaie fini e ghiaie sabbio limose alternate a sabbie limose. Le varie prove SPT forniscono un valore medio di NSPT pari a 59 colpi. Data la granulometria è atteso un comportamento attritivo a breve e a lungo termine, con una resistenza al taglio mobilitata da un angolo di attrito interno non inferiore a  $32^\circ$ . Il peso di volume  $\gamma$  è assunto a  $2,00 \text{ g/cm}^3$  ed è poco compressibile con modulo  $E'$  pari a  $150 \text{ Kg/cm}^2$ .

I valori medi vengono assunti come valori caratteristici (DM 17.01.2018). Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. I valori di progetto dei parametri geotecnici si ottengono dai valori caratteristici tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_M$ .

All'interno del piezometro nell'ambito delle indagini condotte in sito è stata riscontrata la presenza di acqua a -2,86 m dal piano campagna.

### 8.3 Verifica alla liquefazione

Ai sensi del cap. 7.11.3.4.2 delle NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa se si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

La presenza di materiali argillosi e ghiaiosi addensati fa sì che il fenomeno non possa manifestarsi.

Il calcolo della verifica di stabilità viene comunque eseguito con metodo semplificato con il quale, sempre ai sensi delle NTC2018, la resistenza del deposito alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$F_S = \frac{CRR}{CSR}$$

Per la determinazione del valore di CRR (resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico, R nella tabella di calcolo) e del valore di CSR (sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma, T nella tabella di calcolo) è stato adottato il metodo di Seed e Idriss che richiede la conoscenza di pochi parametri geotecnici come la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume. La verifica a liquefazione dà risultato nei casi di presenza di terreno incoerente, di strato sotto falda, di strato avente spessore dello strato  $>1$  m e di presenza di sisma.

La falda è stata assunta a partire dalla profondità di  $-2,85$  m dal p.c. attuale.

Al di sotto del piano di campagna sono presenti strati fini di varia consistenza, poggianti su ghiaie addensate all'interno delle quali è ospitata una falda leggermente in pressione.

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	Svo (Kg/cm <sup>2</sup> )	S'vo (Kg/cm <sup>2</sup> )	T	R	Fs	Condizione:
1	2.00	10.00	15.741	0.380	0.380	0.119	0.185	1.56	Livello non liquefacibile
2	6.00	40.00	44.086	1.157	0.842	0.153	147.559	965.80	Livello non liquefacibile
3	9.50	55.00	49.317	1.861	1.196	0.163	117.954	723.39	Livello non liquefacibile
4	13.00	40.00	30.515	2.543	1.528	0.164	21.448	131.02	Livello non liquefacibile
5	19.00	55.00	32.988	3.749	2.134	0.153	9.885	64.40	Livello non liquefacibile
6	21.00	40.00	22.484	4.139	2.324	0.149	5.135	34.45	Livello non liquefacibile

Il calcolo mostra che la presenza di terreni coesivi variamente consistenti o incoerenti addensati porta a considerare trascurabile gli effetti indotti da tale fenomeno, che può verificarsi solo in presenza di livelli di sabbie sciolte sotto falda.

## 9 CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/06, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003 si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ )
Zona 1	È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g > 0.25$
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0.15 < a_g \leq 0.25$
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	$0.05 < a_g \leq 0.15$
Zona 4	È la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g \leq 0.05$

L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

La normativa regionale sismica vigente per la Regione Toscana è la Delibera della Giunta Regionale N° 421 del 26/05/2014 che classifica il Comune di Civitella Paganico in zona 3. Per la definizione dell'azione sismica di progetto, ai sensi del D.M. 17.01.2018 e del Regolamento Regionale DPGR 1/R/2022 si rimanda alla relazione sismica.

## 10 CONSIDERAZIONI SULL'INTERAZIONE FRA TERRENO E STRUTTURA

Le indagini geologiche eseguite nell'ambito dell'intervento di adeguamento sismico del Ponte sul Torrente Lanzo, situato lungo la SP64 "Cipressino" nel comune di Civitella Paganico, hanno evidenziato la presenza di una successione litologica costituita da livelli alterni di limi argillosi molto consistenti e sabbie ghiaiose ben addensate. È stato inoltre individuato un livello piezometrico superficiale, ubicato a circa -2,86 m dal piano campagna.

Nonostante il sito ricada in un'area classificata a pericolosità geologica elevata e a pericolosità da alluvione molto elevata, si rileva come le indagini storiche e le osservazioni dirette non abbiano evidenziato nel tempo la presenza di dissesti franosi o danni strutturali riconducibili a fenomeni gravitativi attivi. Sono presenti fenomeni di erosione localizzata in corrispondenza dell'opera in esame, data la notevole energia delle acque che vi transitano in occasione di eventi di piena. Sono presenti altresì fenomeni di erosione di fondo. L'opera esistente non presenta lesioni riferibili a movimenti del terreno o fenomeni di rottura del sottosuolo.

Dal punto di vista sismico, la presenza di terreni coesivi o incoerenti ben addensati esclude la possibilità di innesco della liquefazione in fase dinamica, fenomeno che tipicamente interessa sabbie sciolte sotto il livello di falda.

Fiesole, giugno 2025

**Dott. Geol. Riccardo Martelli**

Ordine Geologi Toscana n. 913

Il presente documento è sottoscritto con firma digitale ai sensi dell'art. 21 del d.lgs. 82/2005. La riproduzione dello stesso su supporto analogico è effettuata da Riccardo Martelli e costituisce una copia integra e fedele dell'originale informatico, disponibile a richiesta presso l'Unità emittente.



## ALLEGATO A

# GEOLOGICA TOSCANA

VIALE MARCONI, 106 - POGGIBONSI - Tel. 0577 935891

Data: 06.11.2024

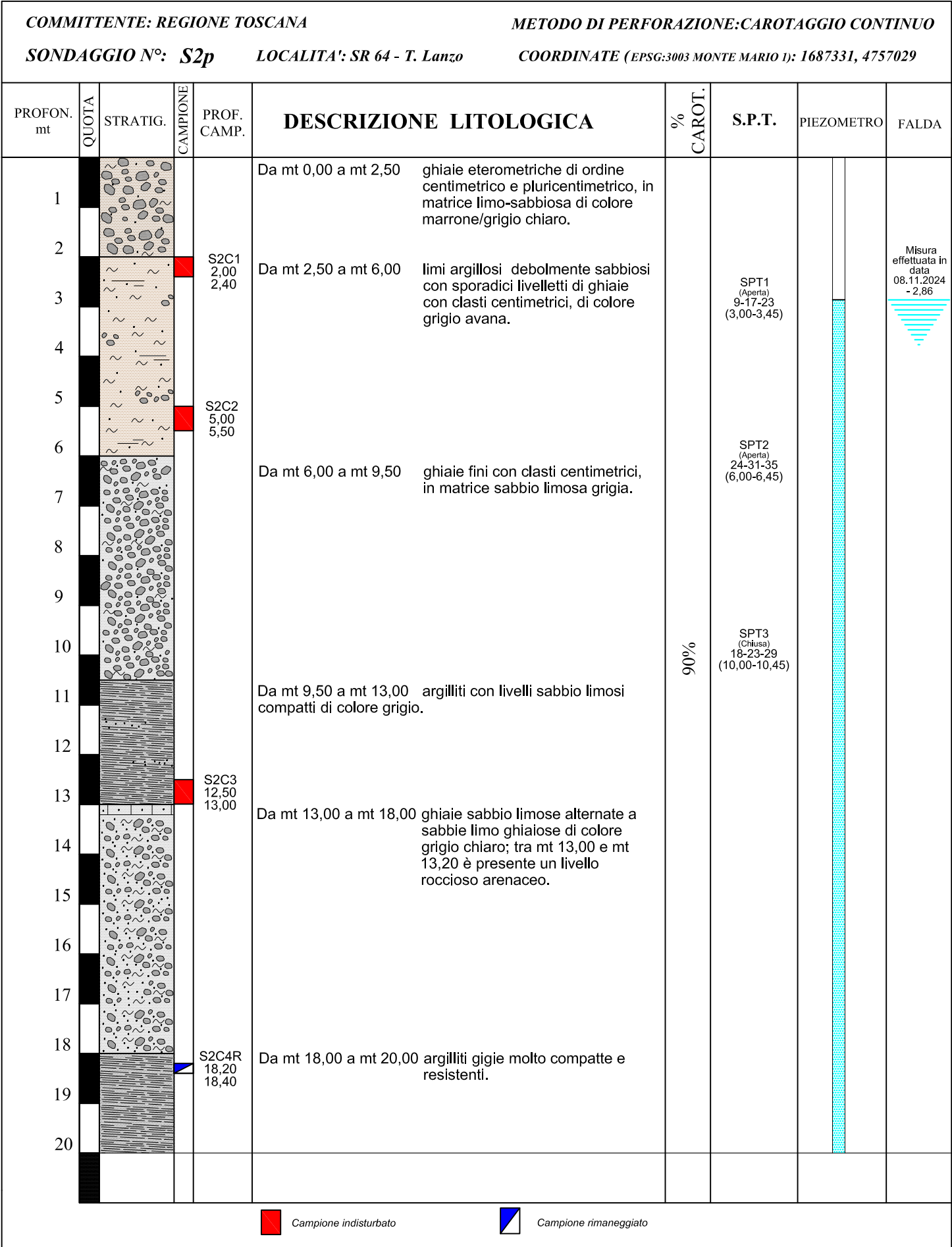


FIG. 4

## SONDAGGIO S2p



**Postazione sondaggio S2p**



**Installazione piezometro**



## **GEOLOGICA TOSCANA s.n.c.**

di Damiano Guarguaglini & C.



**Da mt 0,00 a mt 5,00**



**Da mt 5,00 a mt 10,00**





**Da mt 10,00 a mt 15,00**



**Da mt 15,00 a mt 20,00**

## ALLEGATO B



**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** C1

**PROFONDITÀ:** m 2,00-2,40

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	27,4	%
Peso di volume	19,2	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	15,1	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	19,4	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,74	
Indice dei vuoti	0,782	
Porosità	43,9	%
Grado di saturazione	96,0	%

### PROVA EDOMETRICA

$\sigma$ kPa	E kPa	Cv cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec
98,1 ÷ 196,1	5406	0,000423	7,67E-09
196,1 ÷ 392,3	6983	0,000331	4,64E-09
392,3 ÷ 784,5	10993	0,000297	2,65E-09
784,5 ÷ 1569,0	18490	---	---
1569,0 ÷ 3138,0	31522	---	---

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	52,0	%
Limite di plasticità	29,8	%
Indice di plasticità	22,2	%
Indice di consistenza	1,11	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	13,4	%
Limo	23,3	%
Argilla	63,3	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00

A7-6 I.G. = 15

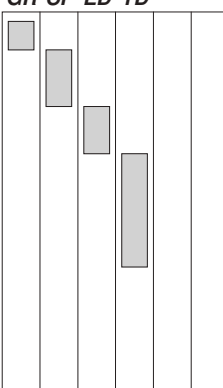
### TAGLIO DIRETTO

Coesione:	13,0	kPa
Angolo di attrito interno:	19,8	°

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove  
GR CF ED TD



cm  
0  
10  
20  
30  
40

Rp  
kPa  
150  
160  
160

VT  
kPa  
150  
160  
160

cm  
40

### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Argilla limosa e sabbiosa (f), di colore grigio, consistente e a struttura omogenea: Reagente all'HCl

Qualità del campione: Q5

**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** C1

**PROFONDITA':** m 2,00-2,40

## CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

**Classifica A.G.I.**

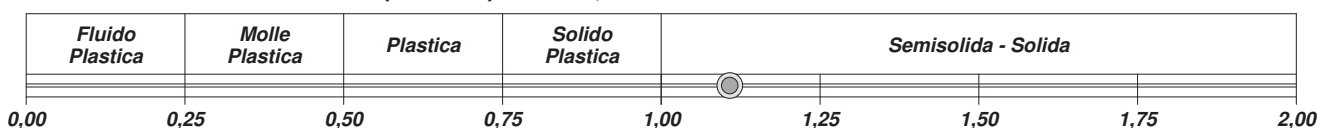
Argilla limosa e sabbiosa

## CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

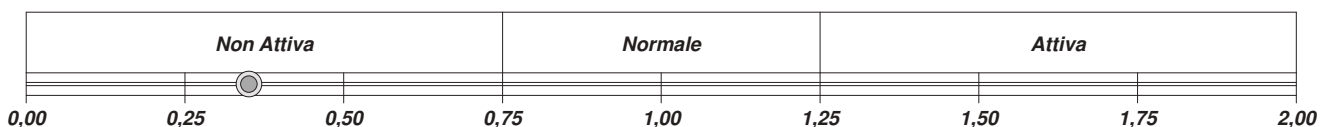
Abaco di plasticità di Casagrande

MH o OH - Limi inorganici o argille e limi organici ad alta compressibilità

**I.C. = Indice di consistenza =  $(LL - W_n) / IP = 1,11$**



**A = Attività (Skempton) =  $IP / CF$  (clay fraction) = 0,35**



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06088	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 18/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 19/11/24

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C1</i>	<b>PROFONDITA':</b> <i>m</i>	<i>2,00-2,40</i>

## CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216-19

$W_n = \text{contenuto d'acqua allo stato naturale (media delle tre misure)} = 27,4 \%$

Struttura del materiale:

- ☒ Omogeneo  
☐ Stratificato  
☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06089	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 18/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 18/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)			
RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	2,00-2,40

## PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377:1975 Test 15

### Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 19,2 kN/m<sup>3</sup>

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06090	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 19/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 20/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)			
RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	2,00-2,40

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-23

$\gamma_s$ = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,74
$\gamma_{sc}$ = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,74

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,9 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06091 Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 12/12/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 13/12/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)  
RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino  
SONDAGGIO: S2 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 2,00-2,40

## LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

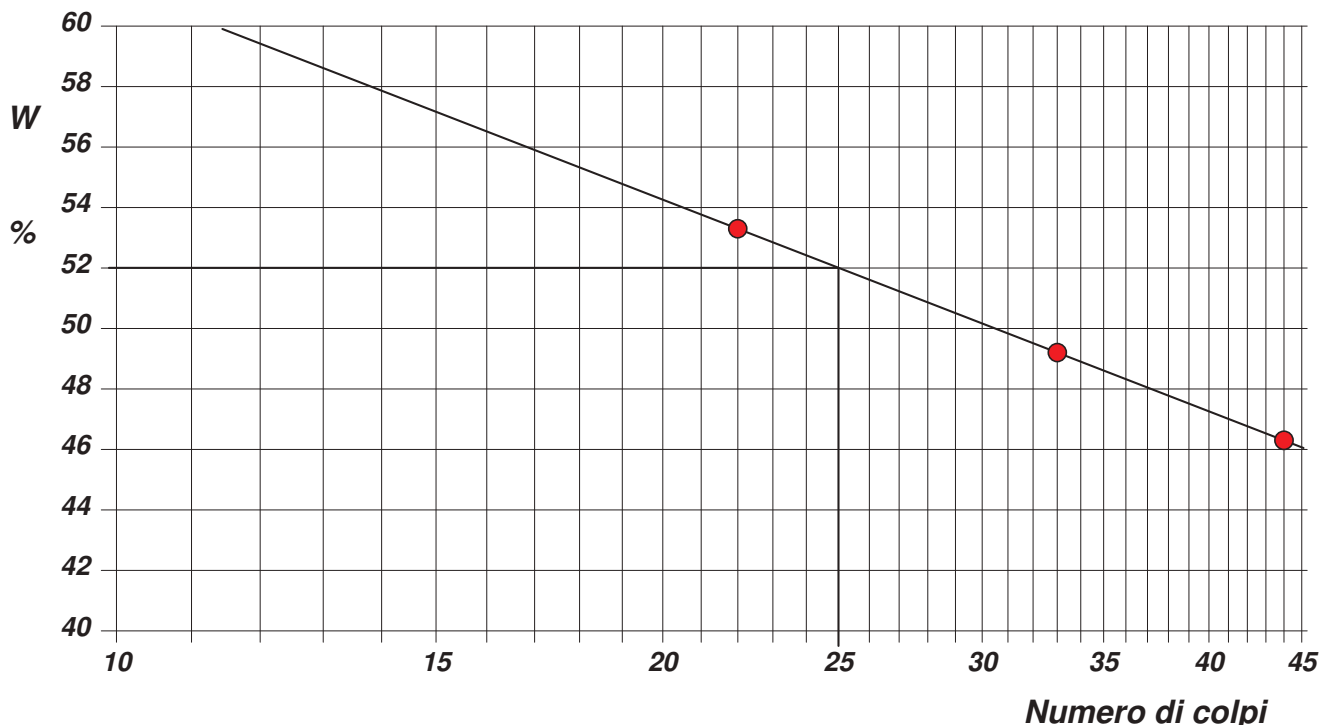
Modalità di prova: Norma ASTM D4318-17e1

Limite di liquidità	52,0 %
Limite di plasticità	29,8 %
Indice di plasticità	22,2 %

La prova è stata eseguita sulla frazione  
granulometrica passante al setaccio  
n° 40 (0.42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'						LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	22	33	44			Umidità (%)	29,8	29,8
Umidità (%)	53,3	49,2	46,3			Umidità media	29,8	

### Determinazione del Limite di liquidità



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06091 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 12/12/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 13/12/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

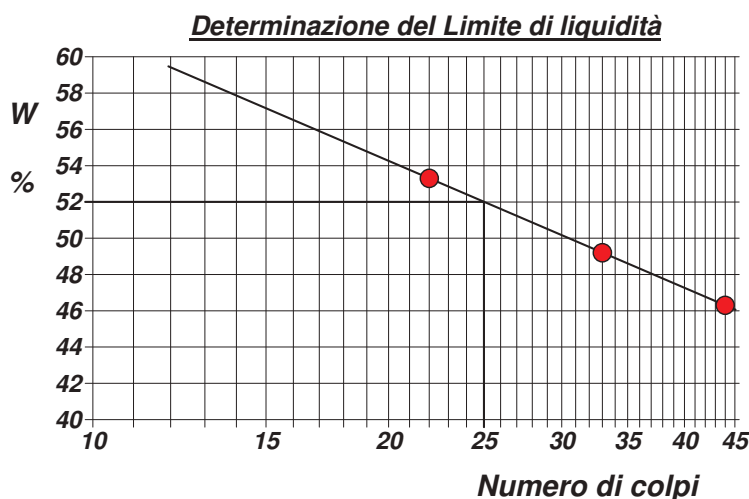
RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 2,00-2,40

## ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D4318-17e1

Limite di liquidità 52,0 %  
Limite di plasticità 29,8 %  
Indice di plasticità 22,2 %  
Indice di consistenza 1,11  
Passante al set. n° 40 SI



C - Argille inorganiche

L - Bassa compressibilità

**M - Limi inorganici**

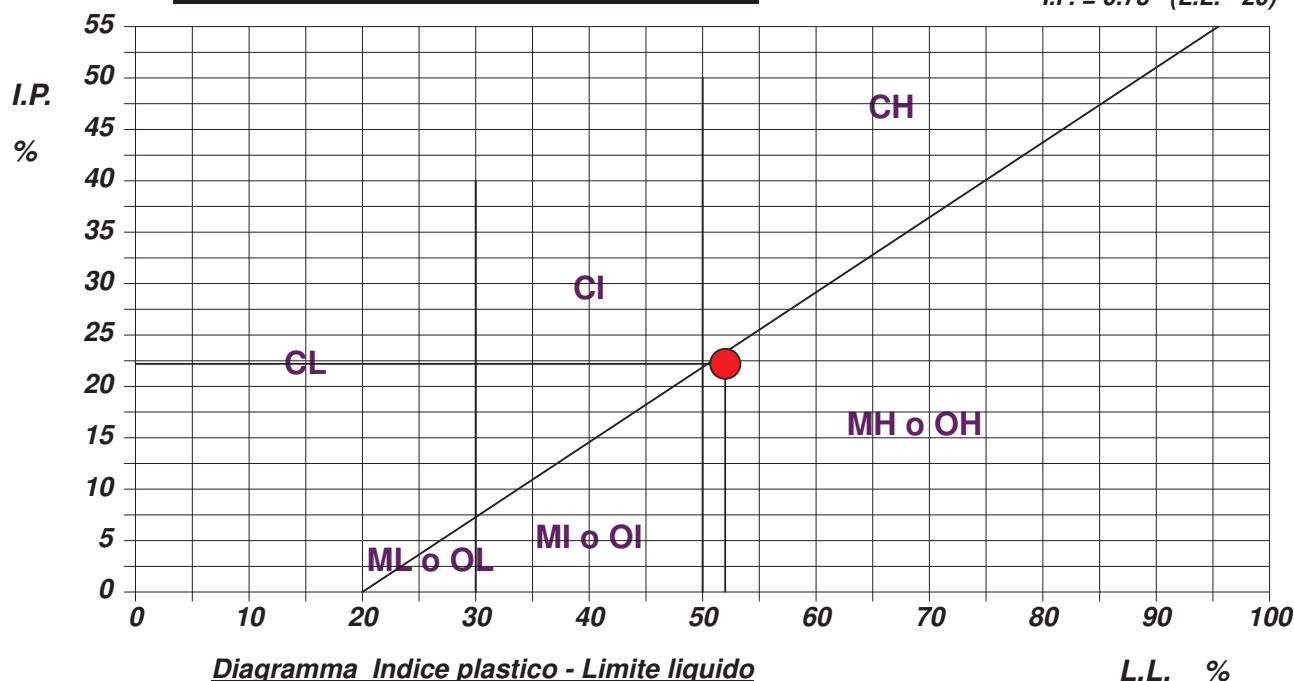
I - Media compressibilità

**O - Argille e limi organici**

**H - Alta compressibilità**

## ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

$I.P. = 0.73 \cdot (L.L. - 20)$



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06092 Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

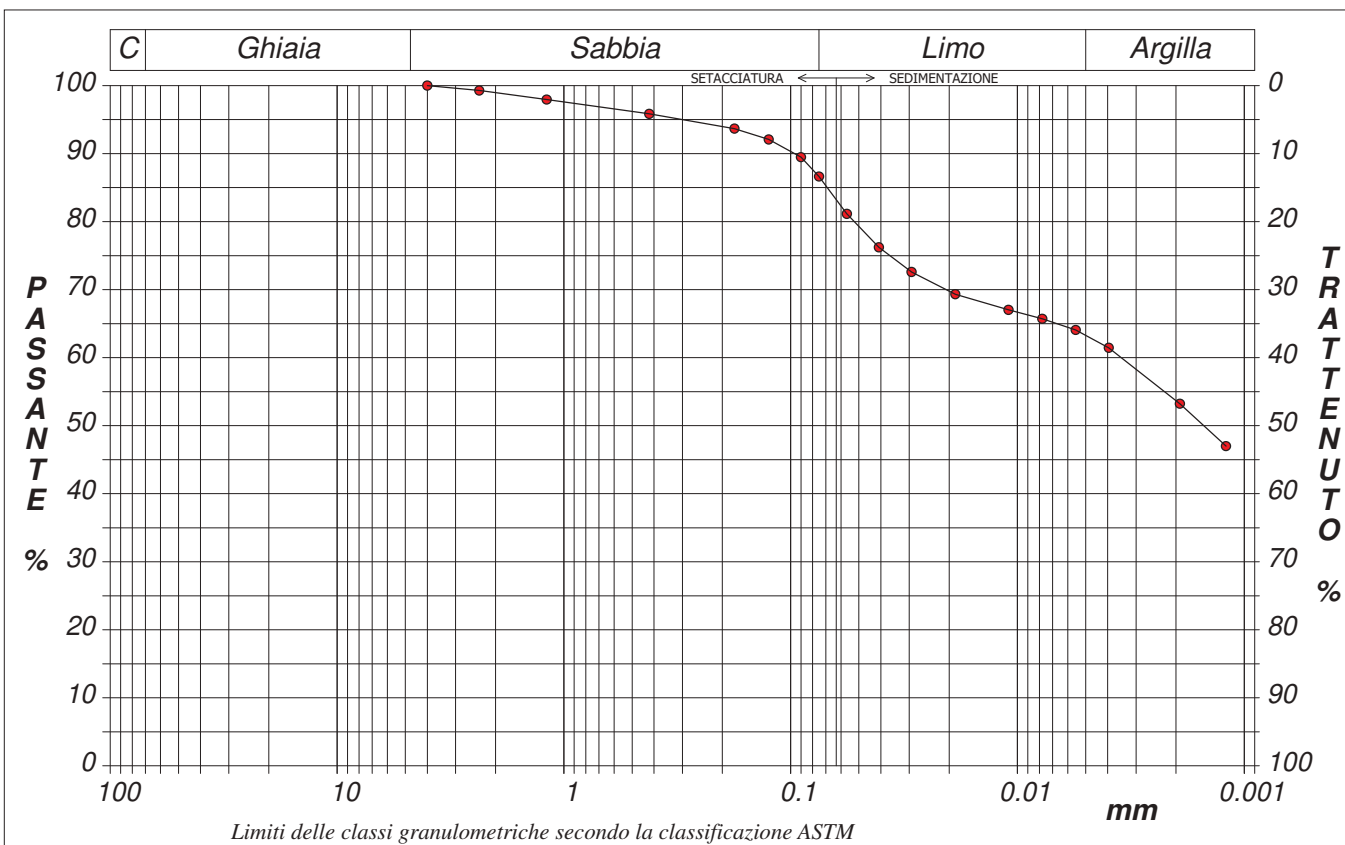
CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00-2,40

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,0 %	D10	---	mm
Sabbia	13,4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	95,8 %	D30	---	mm
Limo	23,3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	86,6 %	D50	0,00151	mm
Argilla	63,3 %			D60	0,00348	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura	---	D90	0,09614 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1250	92,09	0,0293	72,61	0,0040	61,45		
2,3600	99,27	0,0900	89,47	0,0188	69,33	0,0019	53,24		
1,1900	97,95	0,0750	86,64	0,0109	67,03	0,0012	47,01		
0,4200	95,85	0,0565	81,14	0,0078	65,72				
0,1770	93,68	0,0408	76,22	0,0055	64,07				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06092 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00-2,40

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

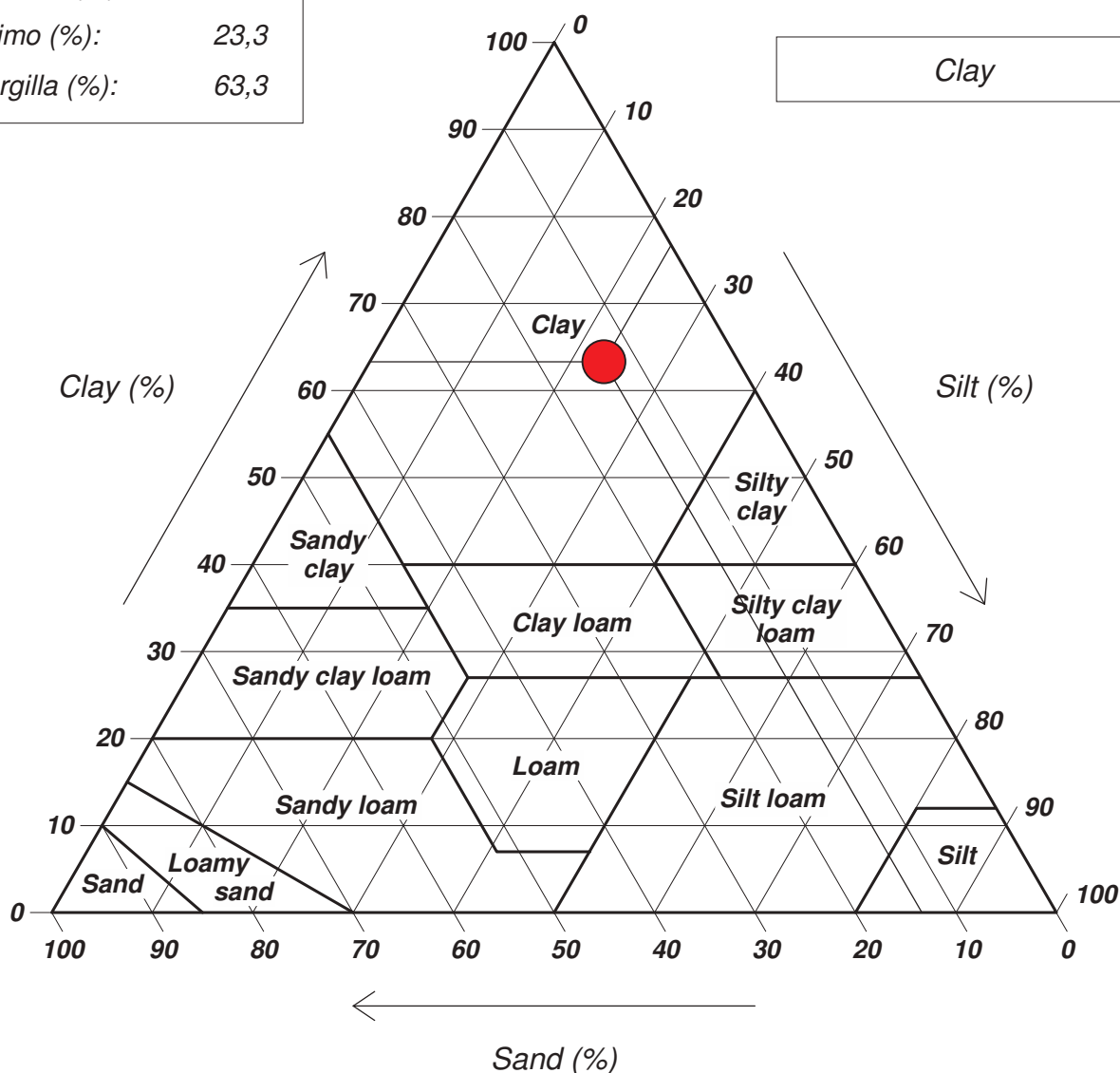
Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Sabbia (%): 13,4

Limo (%): 23,3

Argilla (%): 63,3

### Diagramma U.S.D.A.



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06093 Pagina 1/3

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 27/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00-2,40

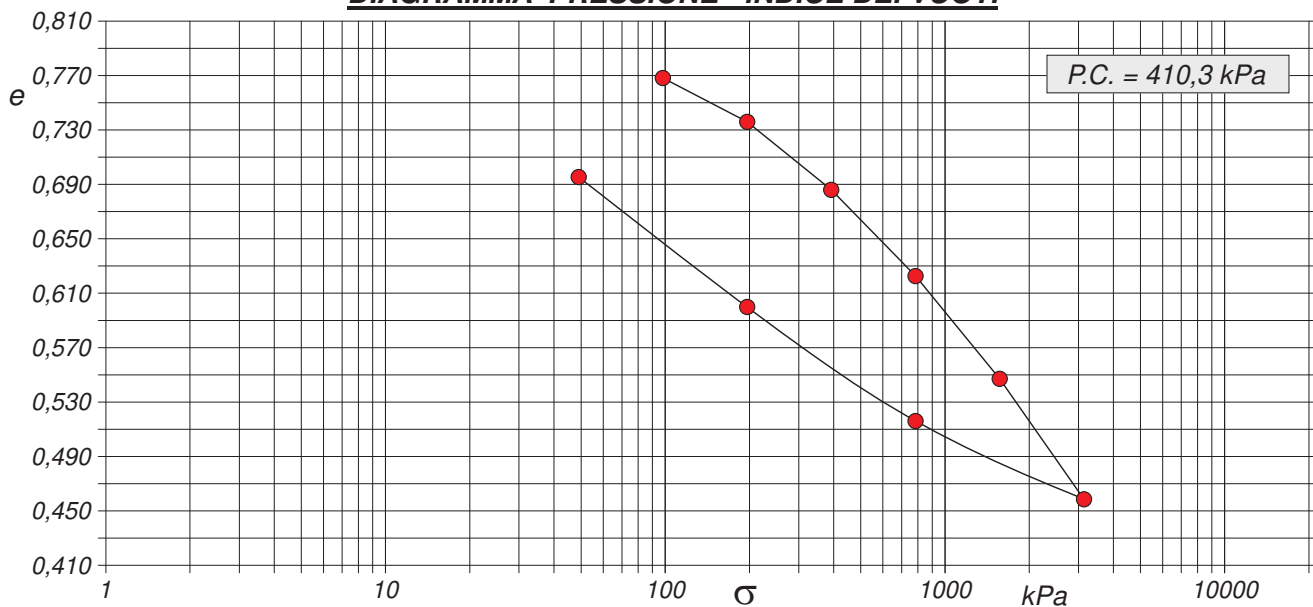
## PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D2435

### Caratteristiche del campione

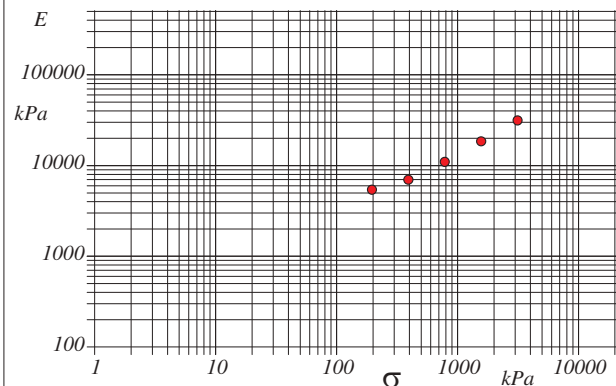
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	19,25	Altezza provino (cm)	2,00	Indice dei vuoti	0,78
Umidità (%)	27,5	Volume provino (cm <sup>3</sup> )	40,03	Porosità (%)	43,79
Peso specifico	2,74	Volume dei vuoti (cm <sup>3</sup> )	17,53	Saturazione (%)	96,6

### DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI



Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa	Cv cm <sup>2</sup> /sec	k cm/sec
98,1	11,5	0,768				
196,1	47,8	0,736	0,107	5406	0,000423	7,67E-09
392,3	104,0	0,686	0,166	6983	0,000331	4,64E-09
784,5	175,4	0,623	0,211	10993	0,000297	2,65E-09
1569,0	260,3	0,547	0,251	18490		
3138,0	359,9	0,459	0,294	31522		
784,5	295,2	0,516				
196,1	201,0	0,600				
49,0	93,5	0,695				

### Diagramma Pressione - Modulo edometrico





CERTIFICATO DI PROVA N°: 06093 Pagina 2/3  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 27/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

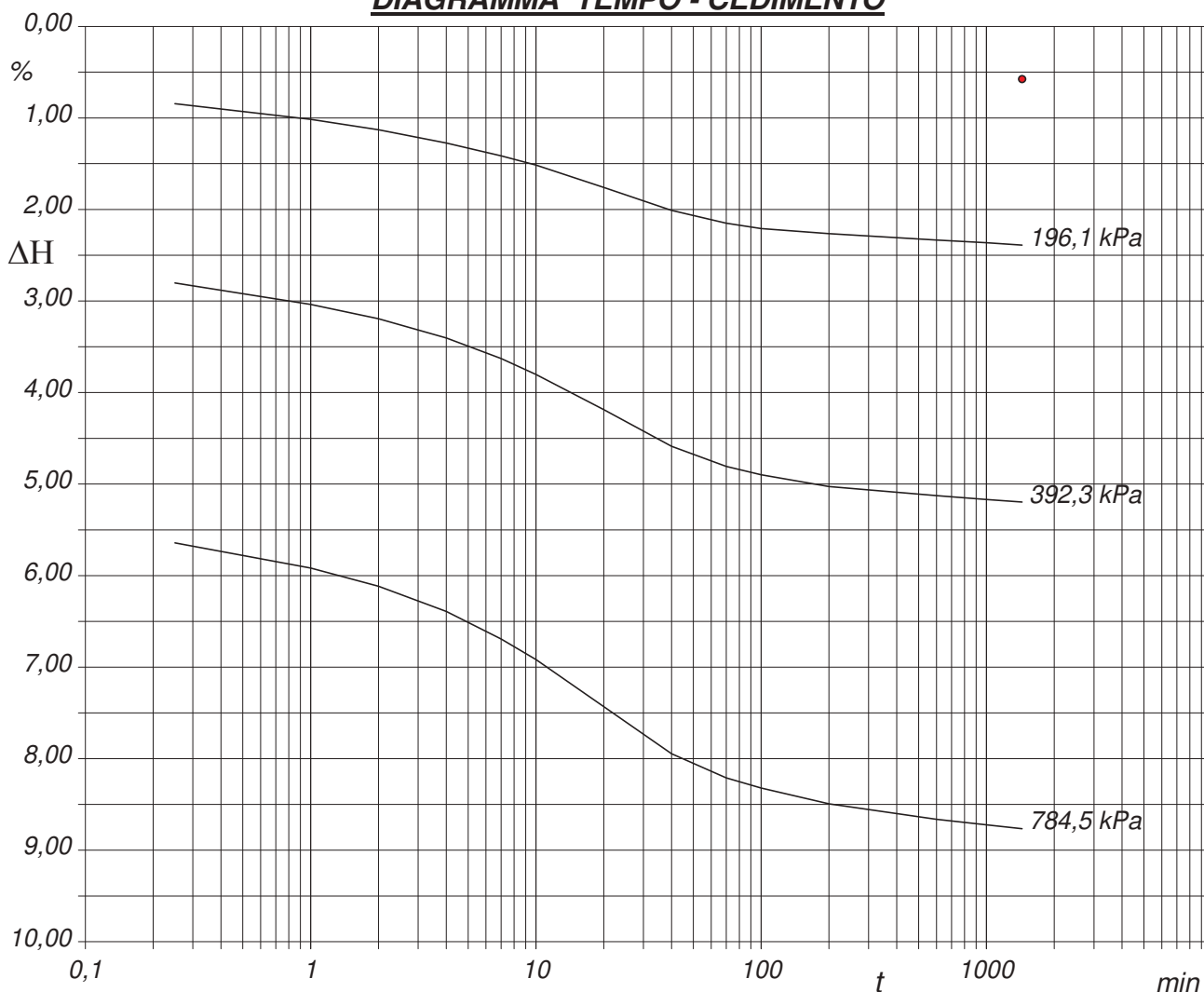
CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00-2,40

## PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D2435

### DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 06093</b>	<b>Pagina 3/3</b>	<b>DATA DI EMISSIONE: 27/12/24</b>	<b>Inizio analisi: 18/11/24</b>
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24</b>		<b>Apertura campione: 18/12/24</b>	<b>Fine analisi: 27/11/24</b>

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C1</i>	<b>PROFONDITA':</b> <i>m</i>	<i>2,00-2,40</i>

## PROVA EDOMETRICA

**Modalità di prova: Norma ASTM D2435**

## LETTURE INTERMEDIE - TABELLE RIASSUNTIVE

Pressione 196,1 kPa		Pressione 392,3 kPa		Pressione 784,5 kPa		Pressione -- kPa	
Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100	Tempo minuti	Cedim. mm/100
0,00	11,5	0,00	47,8	0,00	104,0		
0,25	16,9	0,25	56,1	0,25	112,9		
1,00	20,3	1,00	60,8	1,00	118,4		
2,00	22,6	2,00	63,9	2,00	122,4		
4,00	25,5	4,00	68,1	4,00	127,9		
7,00	28,3	7,00	72,6	7,00	133,9		
10,00	30,3	10,00	76,1	10,00	138,4		
20,00	35,2	20,00	83,8	20,00	148,7		
40,00	40,2	40,00	91,8	40,00	159,0		
70,00	43,0	70,00	96,2	70,00	164,3		
100,00	44,2	100,00	98,0	100,00	166,5		
200,00	45,3	200,00	100,6	200,00	170,0		
600,00	46,7	600,00	102,6	600,00	173,3		
1000,00	47,3	1000,00	103,4	1000,00	174,5		
1440,00	47,8	1440,00	104,0	1440,00	175,4		

[illegible]

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06094 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 2,00-2,40

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	27,3 27,5	27,4 26,5	27,2 25,2
Peso di volume (kN/m³):	19,2	19,2	19,2
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,004 mm / min		

DIAGRAMMA  
Tensione  
Deformazione orizzontale

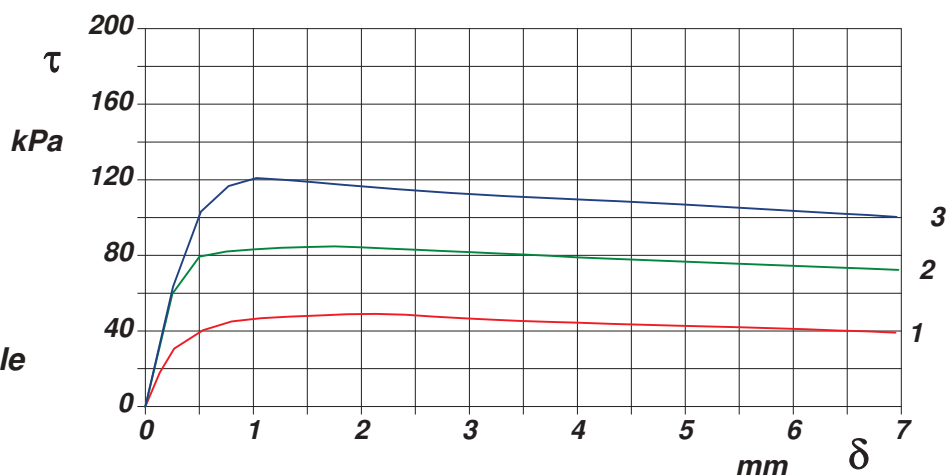
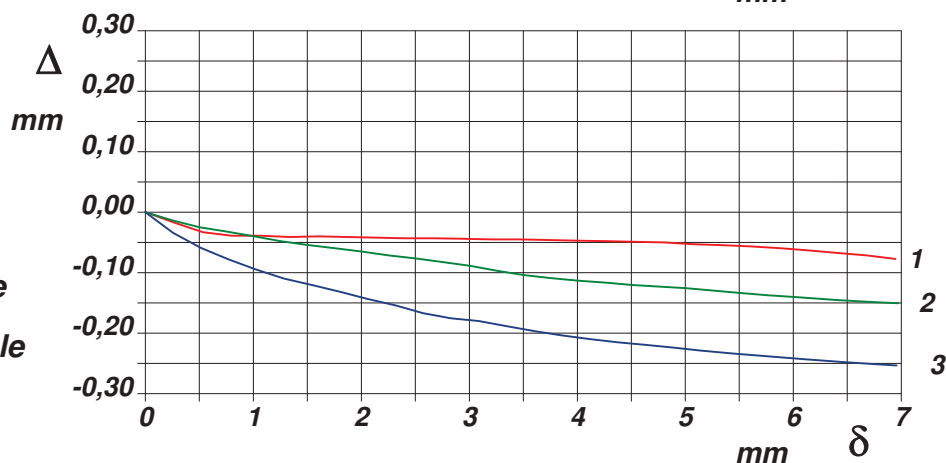


DIAGRAMMA  
Deformazione verticale  
Deformazione orizzontale



<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C1</i>	<b>PROFONDITA':</b> <i>m</i>	<i>2,00-2,40</i>

**Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04**

1106-24

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06094 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

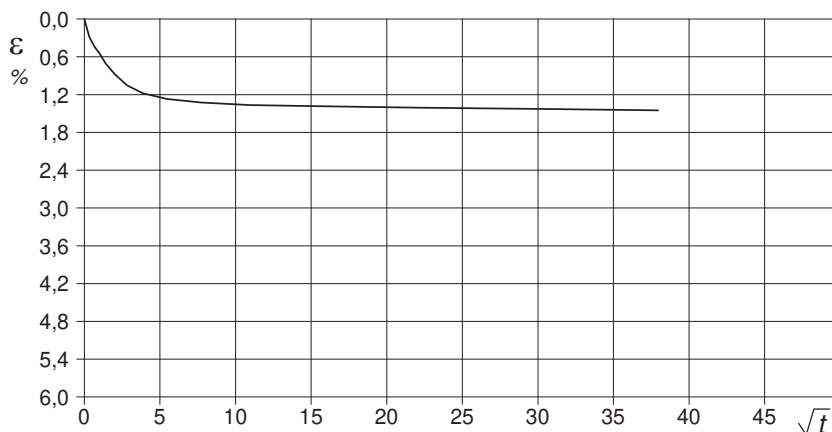
PROFONDITA': m 2,00-2,40

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04

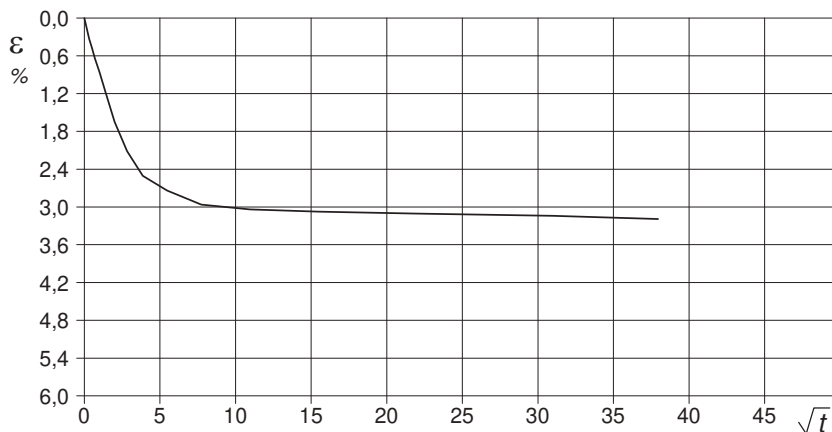
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,971
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	11,0
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,018



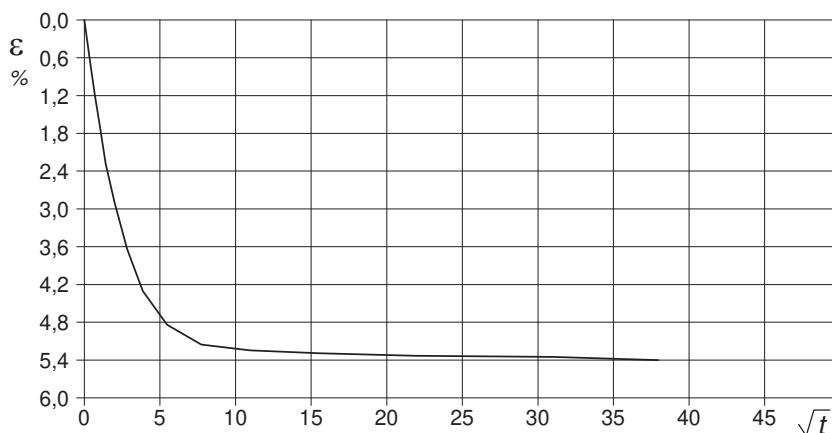
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,936
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	15,8
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,013



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,892
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	11,6
Df (mm)	1
Vs (mm/min)	0,009



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 10 x T<sub>100</sub>

Vs = Df / tf

1106-24



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 06094</b>	<b>Pagina 4/4</b>	<b>DATA DI EMISSIONE: 27/12/24</b>	<b>Inizio analisi: 18/11/24</b>
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24</b>		<b>Apertura campione: 18/12/24</b>	<b>Fine analisi: 25/11/24</b>

**COMMITTENTE:** *Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)*

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2                      CAMPIONE: C1                      PROFONDITA': m 2.00-2.40

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

**Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04**

[illegible]

**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** C2

**PROFONDITA':** m 5,00-5,50

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	21,0	%
Peso di volume	19,3	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	16,0	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	19,9	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,72	
Indice dei vuoti	0,671	
Porosità	40,1	%
Grado di saturazione	85,3	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	32,7	%
Limite di plasticità	22,2	%
Indice di plasticità	10,5	%
Indice di consistenza	1,11	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	53,6	%
Limo	28,1	%
Argilla	18,3	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A6 I.G. = 2

### TAGLIO DIRETTO

Coesione:	12,4	kPa
Angolo di attrito interno:	28,2	°

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove  
CF GR TD

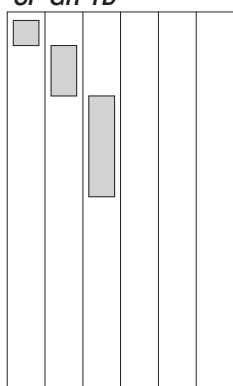
cm

Rp  
kPa

VT  
kPa

cm

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE



0  
10  
20  
30  
40

110  
110  
115

45

Sabbia (f) con limo argillosa, di colore grigio, consistente e a struttura omogenea. Reagente all'HCl

Qualità del campione: Q5

1107-24

**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** C2

**PROFONDITA':** m 5,00-5,50

## CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

**Classifica A.G.I.**

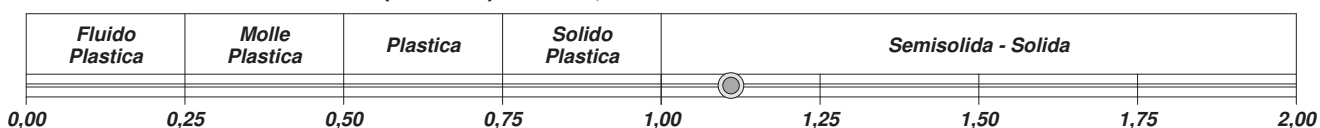
Sabbia con limo argillosa

## CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

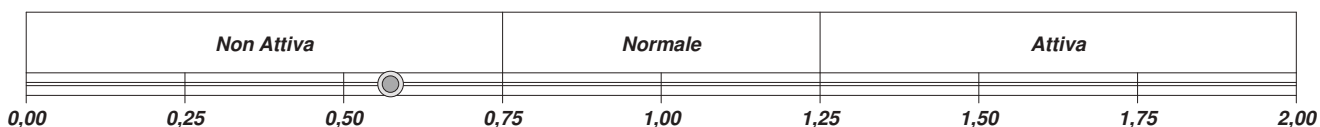
Abaco di plasticità di Casagrande

CL - Argille inorganiche a bassa compressibilità

**I.C. = Indice di consistenza =  $(LL - W_n) / IP = 1,11$**



**A = Attività (Skempton) =  $IP / CF$  (clay fraction) = 0,57**



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06095      Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24      Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24      Fine analisi: 19/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 5,00-5,50

## CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D2216-19

$W_n = \text{contenuto d'acqua allo stato naturale (media delle tre misure)} = 21,0 \%$

Struttura del materiale:

☒ Omogeneo

☐ Stratificato

☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06096	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 18/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 18/11/24

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C2</i>	<b>PROFONDITA': m</b>	<i>5,00-5,50</i>

## PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377:1975 Test 15

### Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 19,3 kN/m<sup>3</sup>



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06097	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 19/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 20/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)			
RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	5,00-5,50

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-23

$\gamma_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,72

$\gamma_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,72

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,9 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06098 Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 12/12/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 13/12/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 5,00-5,50

## LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

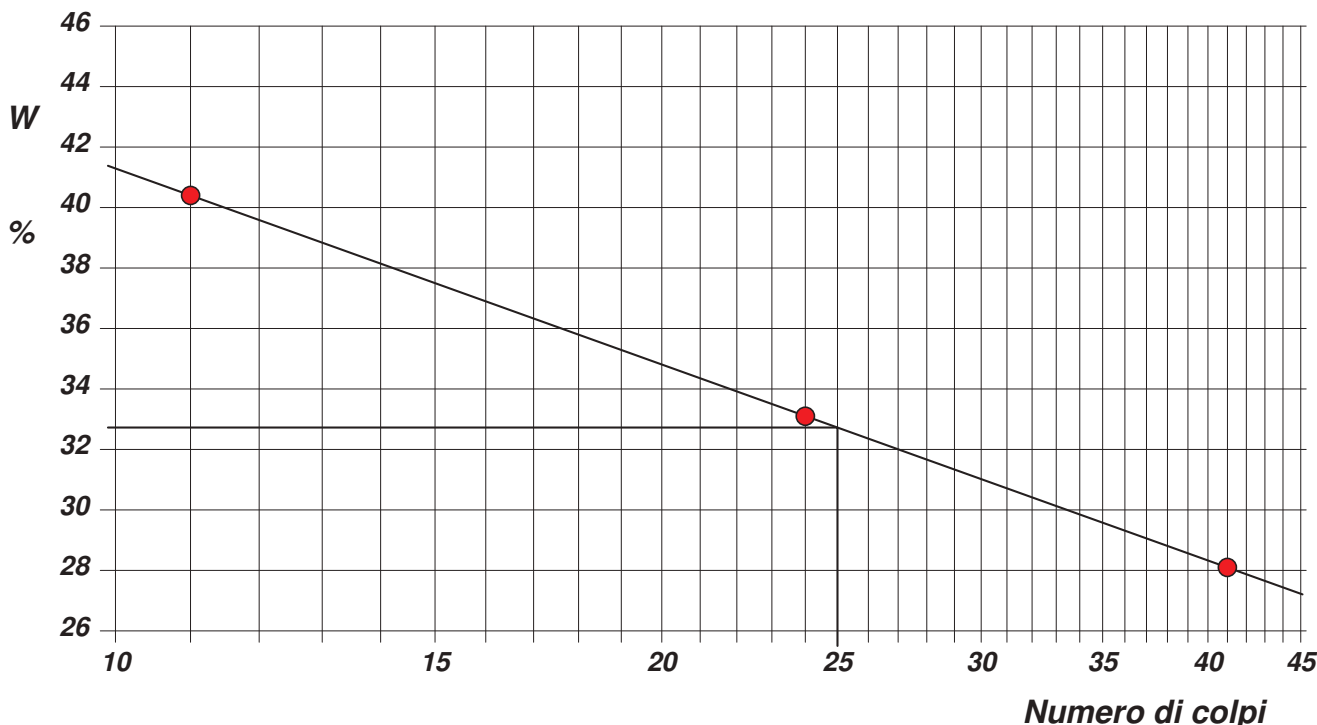
Modalità di prova: Norma ASTM D4318-17e1

Limite di liquidità	32,7 %
Limite di plasticità	22,2 %
Indice di plasticità	10,5 %

La prova è stata eseguita sulla frazione  
granulometrica passante al setaccio  
n° 40 (0.42 mm)

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	11	24	41		Umidità (%)	22,2	22,2
Umidità (%)	40,4	33,1	28,1		Umidità media	22,2	

### Determinazione del Limite di liquidità



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06098 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 12/12/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 13/12/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

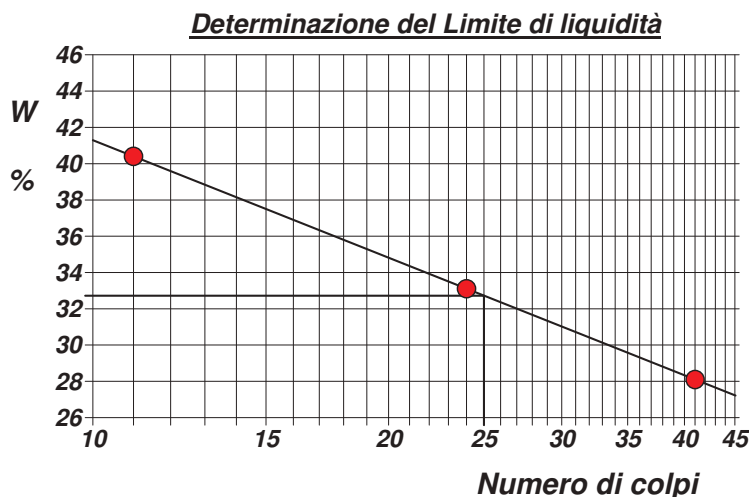
CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 5,00-5,50

## ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D4318-17e1

Limite di liquidità 32,7 %  
Limite di plasticità 22,2 %  
Indice di plasticità 10,5 %  
Indice di consistenza 1,11  
Passante al set. n° 40 SI



**C - Argille inorganiche**

L - Bassa compressibilità

M - Limi inorganici

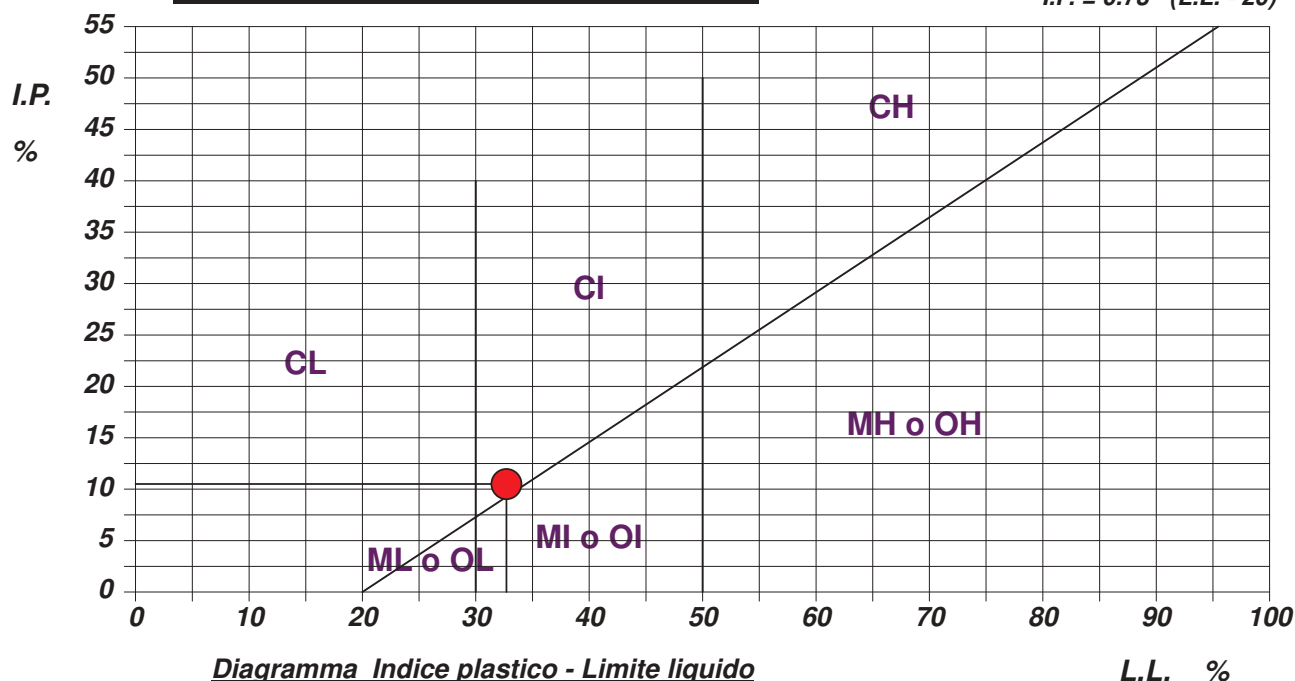
**I - Media compressibilità**

O - Argille e limi organici

H - Alta compressibilità

## ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

$I.P. = 0.73 \cdot (L.L. - 20)$



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06099 Pagina 1/1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

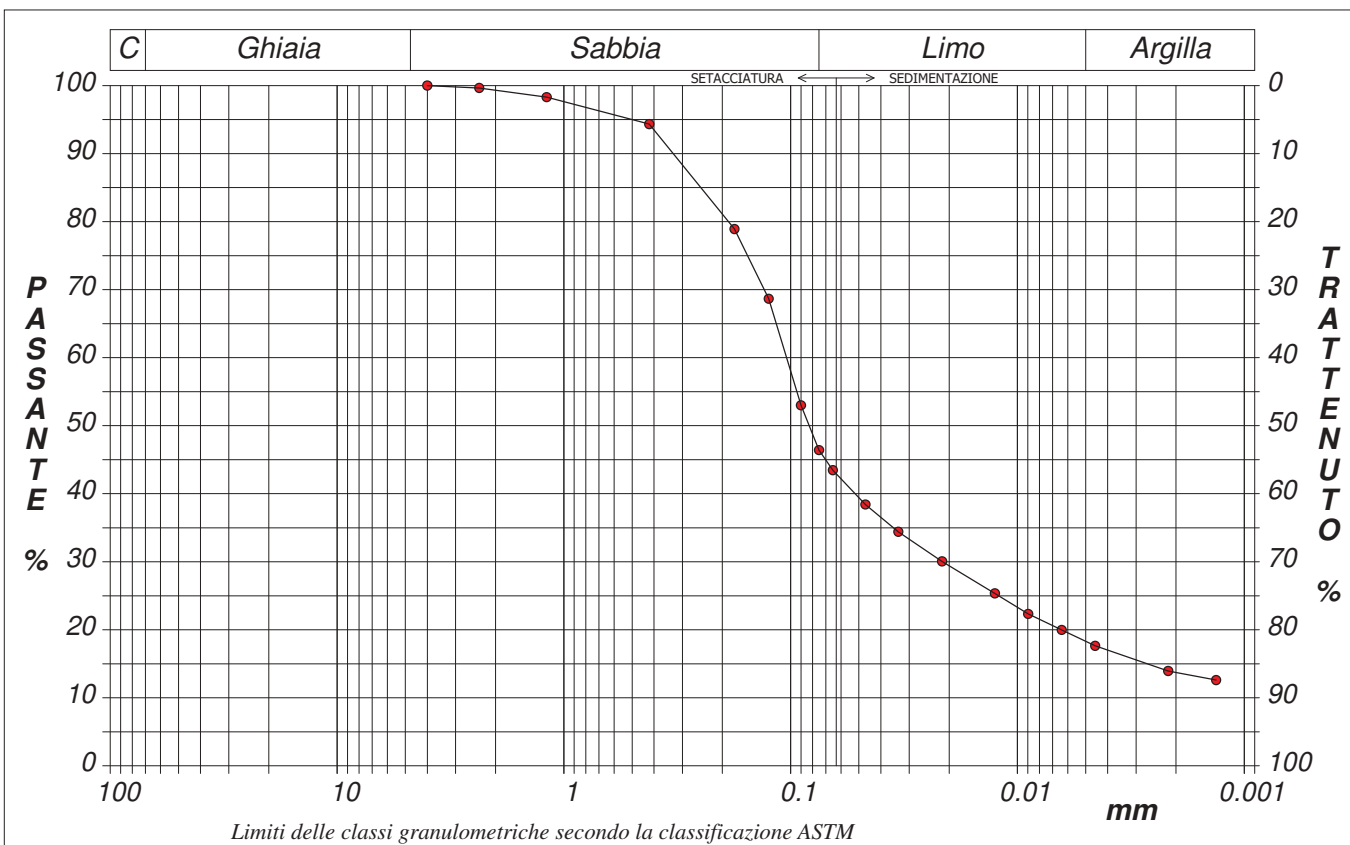
CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 5,00-5,50

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,3 %	D10	---	mm
Sabbia	53,6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	94,3 %	D30	0,02137	mm
Limo	28,1 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	46,4 %	D50	0,08281	mm
Argilla	18,3 %			D60	0,10423	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura	---	D90	0,32953 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1250	68,67	0,0335	34,40	0,0045	17,64		
2,3600	99,65	0,0900	53,00	0,0215	30,05	0,0022	13,95		
1,1900	98,30	0,0750	46,43	0,0126	25,35	0,0013	12,61		
0,4200	94,33	0,0652	43,46	0,0090	22,33				
0,1770	78,91	0,0468	38,43	0,0064	19,99				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06099 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 5,00-5,50

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

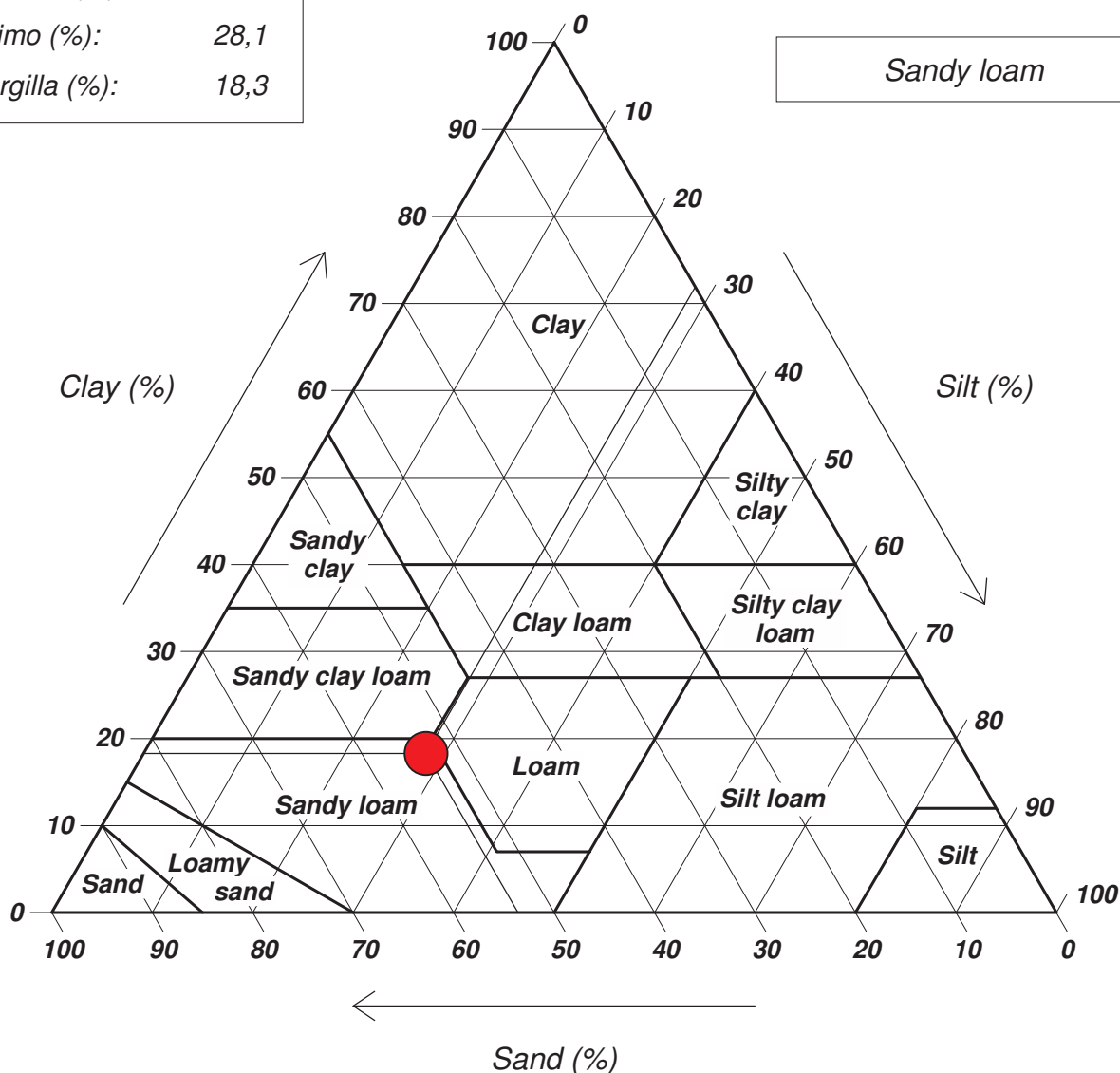
Sabbia (%): 53,6

Limo (%): 28,1

Argilla (%): 18,3

### Diagramma U.S.D.A.

Sandy loam





CERTIFICATO DI PROVA N°: 06100 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C2

PROFONDITA': m 5,00-5,50

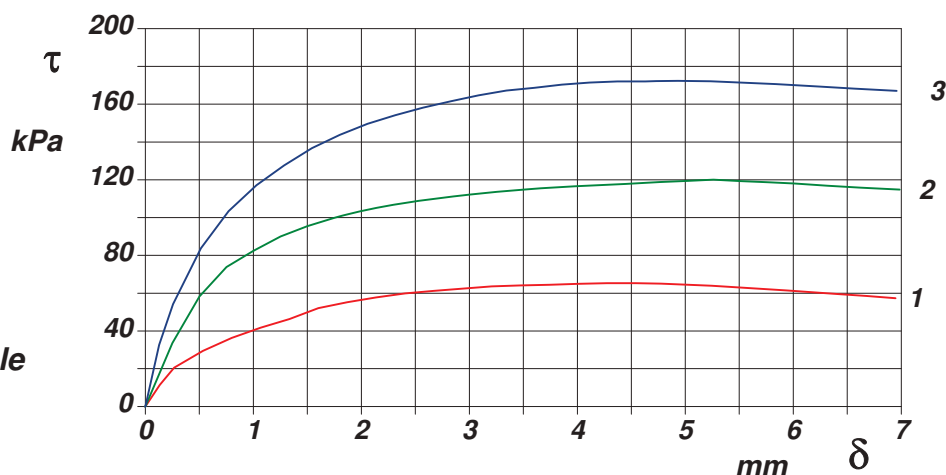
## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	21,1 22,7	21,2 21,8	21,0 19,6
Peso di volume (kN/m³):	19,3	19,3	19,3
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,004 mm / min		

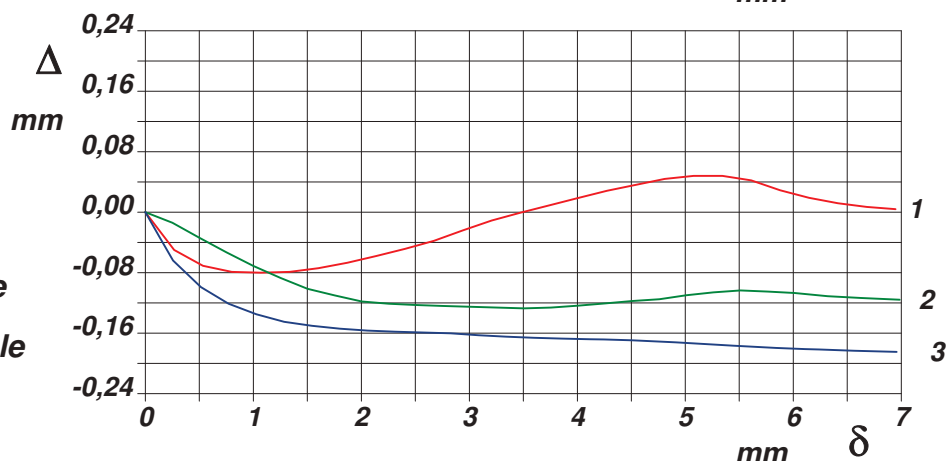
### DIAGRAMMA

Tensione  
Deformazione orizzontale



### DIAGRAMMA

Deformazione verticale  
Deformazione orizzontale



<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C2</i>	<b>PROFONDITA':</b> <i>m</i>	<i>5,00-5,50</i>

**Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04**

1107-24

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06100 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C2

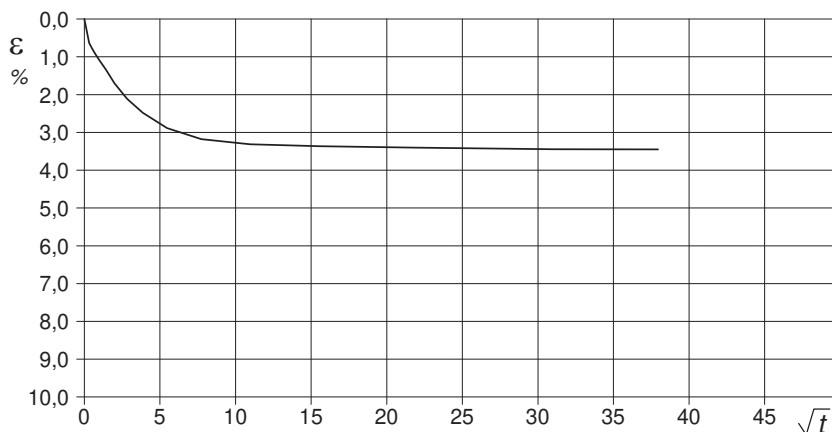
PROFONDITA': m 5,00-5,50

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04

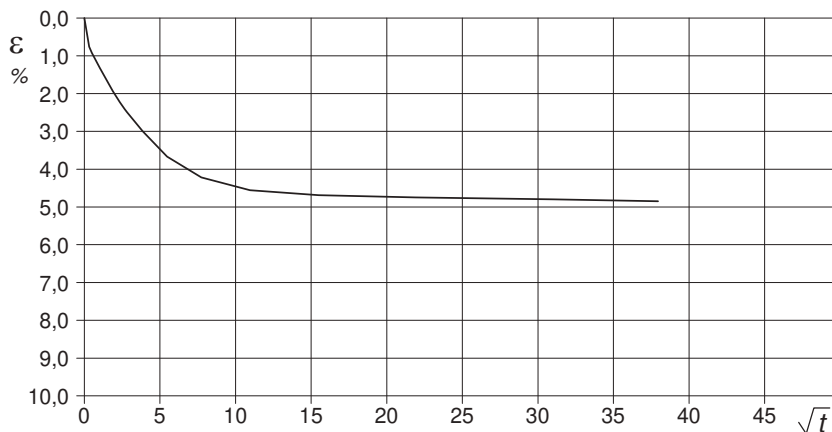
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,931
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	22,6
Df (mm)	4
Vs (mm/min)	0,018



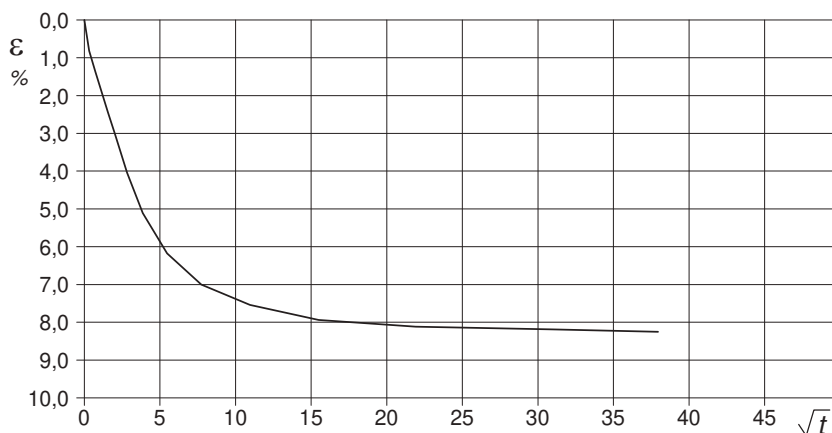
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,903
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	33,3
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,015



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,835
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	37,2
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,013



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 10 x T<sub>100</sub>

Vs = Df / tf

1107-24

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C2</i>	<b>PROFONDITA':</b> <i>m</i>	<i>5,00-5,50</i>

**Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04**

1107-24

**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** C3

**PROFONDITA':** m 12,50-13,00

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

**Peso specifico** 2,71

### ANALISI GRANULOMETRICA

		%
Ghiaia		
Sabbia	45,6	%
Limo	33,4	%
Argilla	21,0	%

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove  
GR CF

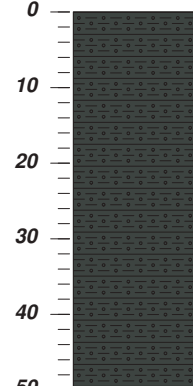
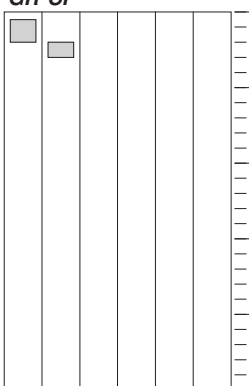
cm

Rp  
kPa

VT  
kPa

cm

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE



410  
410  
420

50

Sabbia (f) con limo argillosa, di colore grigio, estremamente compatta e a struttura omogenea. Reagente all'HCl

Qualità del campione: Q5

1108-24

*Raffaele Carbone*



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06101	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 19/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 20/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)			
RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C3	PROFONDITA': m	12,50-13,00

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-23

$\gamma_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,71

$\gamma_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,71

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,9 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06102 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

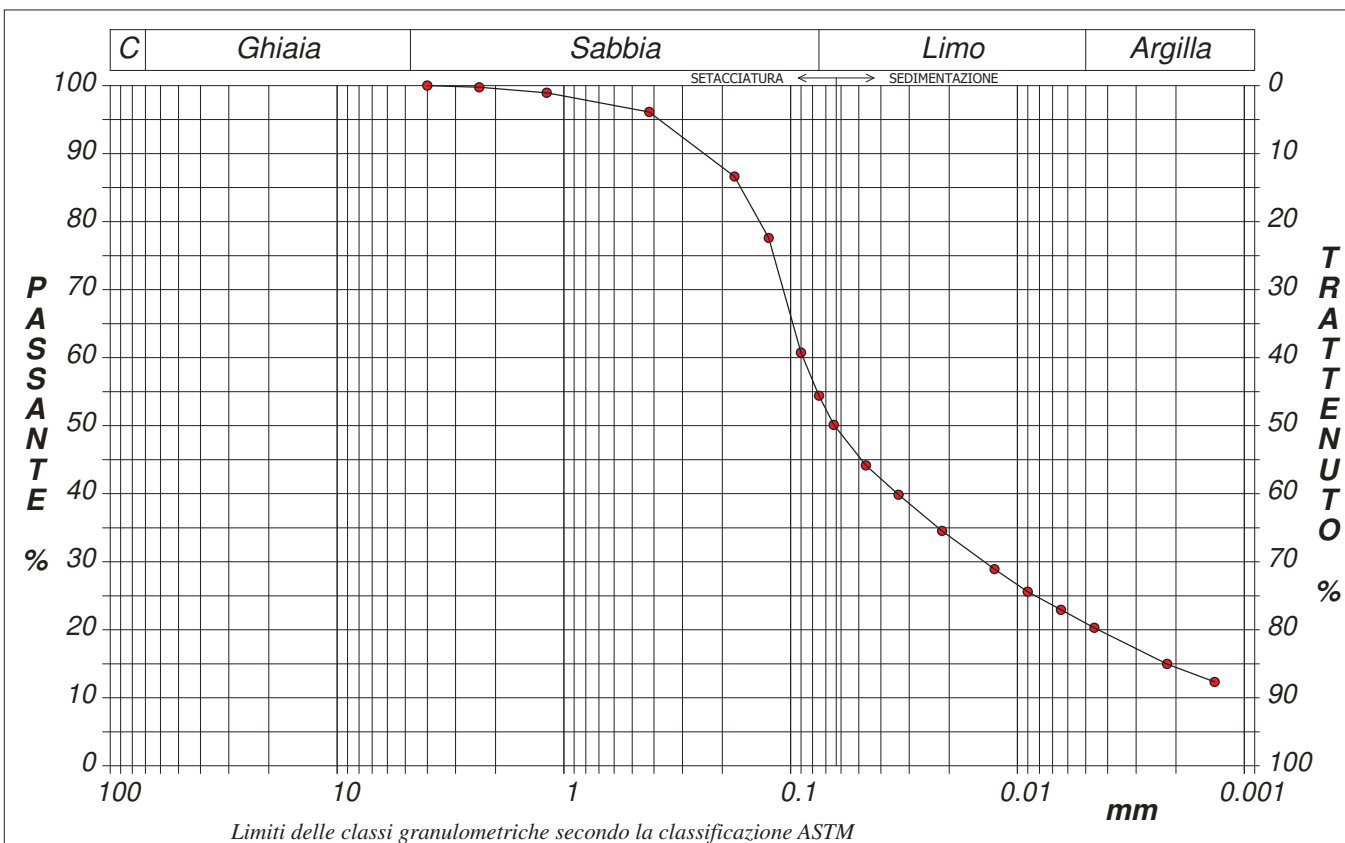
CAMPIONE: C3

PROFONDITA': m 12,50-13,00

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,6 %	D <sub>10</sub>	---	mm
Sabbia	45,6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	96,1 %	D <sub>30</sub>	0,01399	mm
Limo	33,4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	54,4 %	D <sub>50</sub>	0,06409	mm
Argilla	21,0 %			D <sub>60</sub>	0,08810	mm
				D <sub>90</sub>	0,24057	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura		---	



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1250	77,59	0,0334	39,85	0,0046	20,29		
2,3600	99,74	0,0900	60,74	0,0215	34,55	0,0022	14,99		
1,1900	98,95	0,0750	54,41	0,0126	28,91	0,0014	12,33		
0,4200	96,12	0,0646	50,13	0,0090	25,60				
0,1770	86,63	0,0466	44,16	0,0064	22,94				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06102 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C3

PROFONDITA': m 12,50-13,00

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

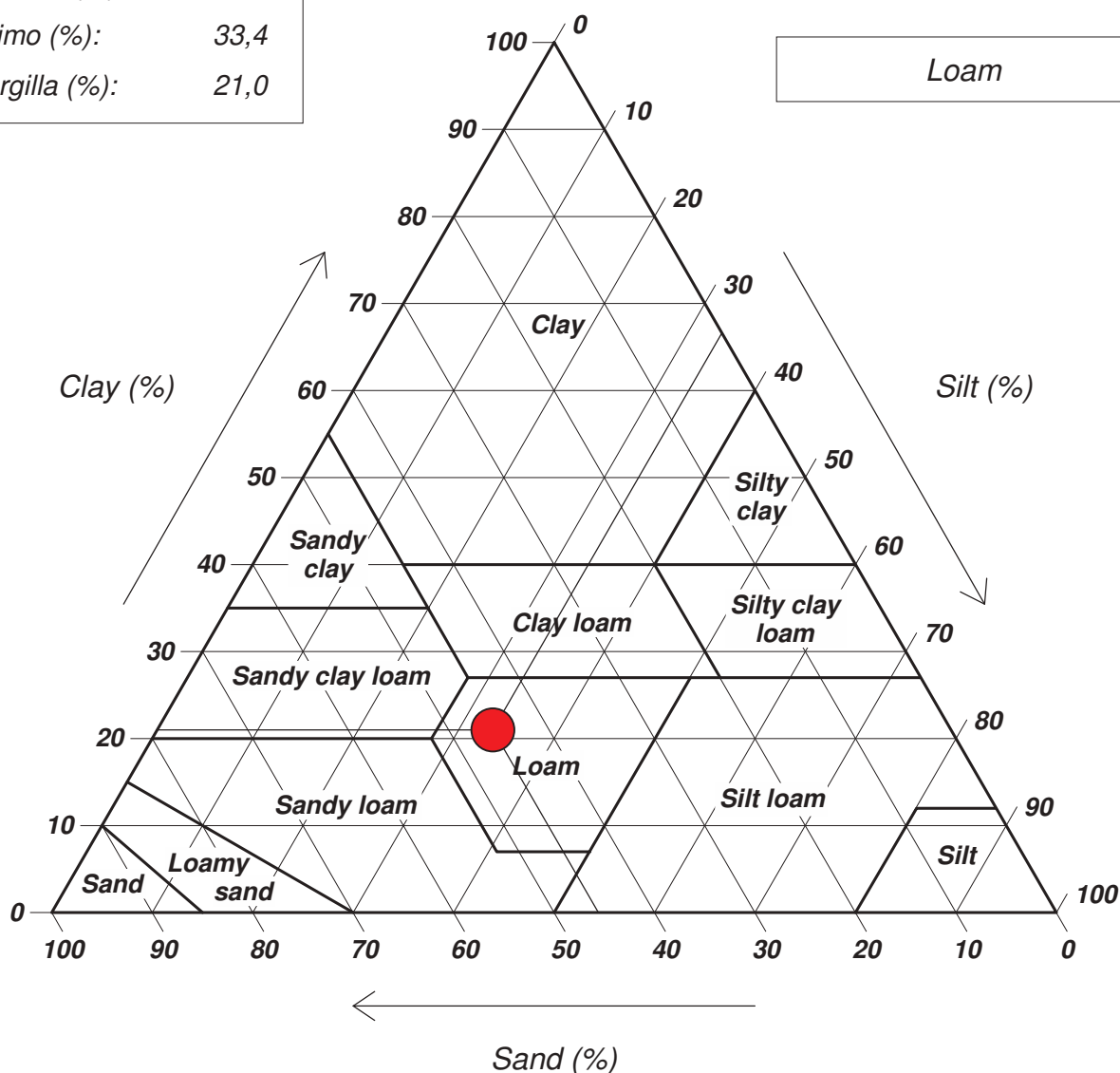
Sabbia (%): 45,6

Limo (%): 33,4

Argilla (%): 21,0

### Diagramma U.S.D.A.

Loam



**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** C4R

**PROFONDITA': m** 18.20-18.40

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

**Peso specifico** 2,75

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	8,3	%
Limo	45,7	%
Argilla	46,0	%

### TAGLIO DIRETTO

<b>Coesione:</b>	15,2	kPa
<b>Angolo di attrito interno:</b>	21,0	°

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove  
GR CF TD

cm

Rp  
kPa

VT  
kPa

cm

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Argilla con limo debolmente sabbiosa (f), di colore grigio, estremamente compatta e a struttura omogenea. Reagente all'HCl

Qualità del campione: Q3

1109-24

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06103	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 19/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/11/24	Fine analisi: 20/11/24

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>C4R</i>	<b>PROFONDITA': m</b>	<i>18.20-18.40</i>

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-23

$\gamma_s$  = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,75

$\gamma_{sc}$  = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,75

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,9 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06104 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/11/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

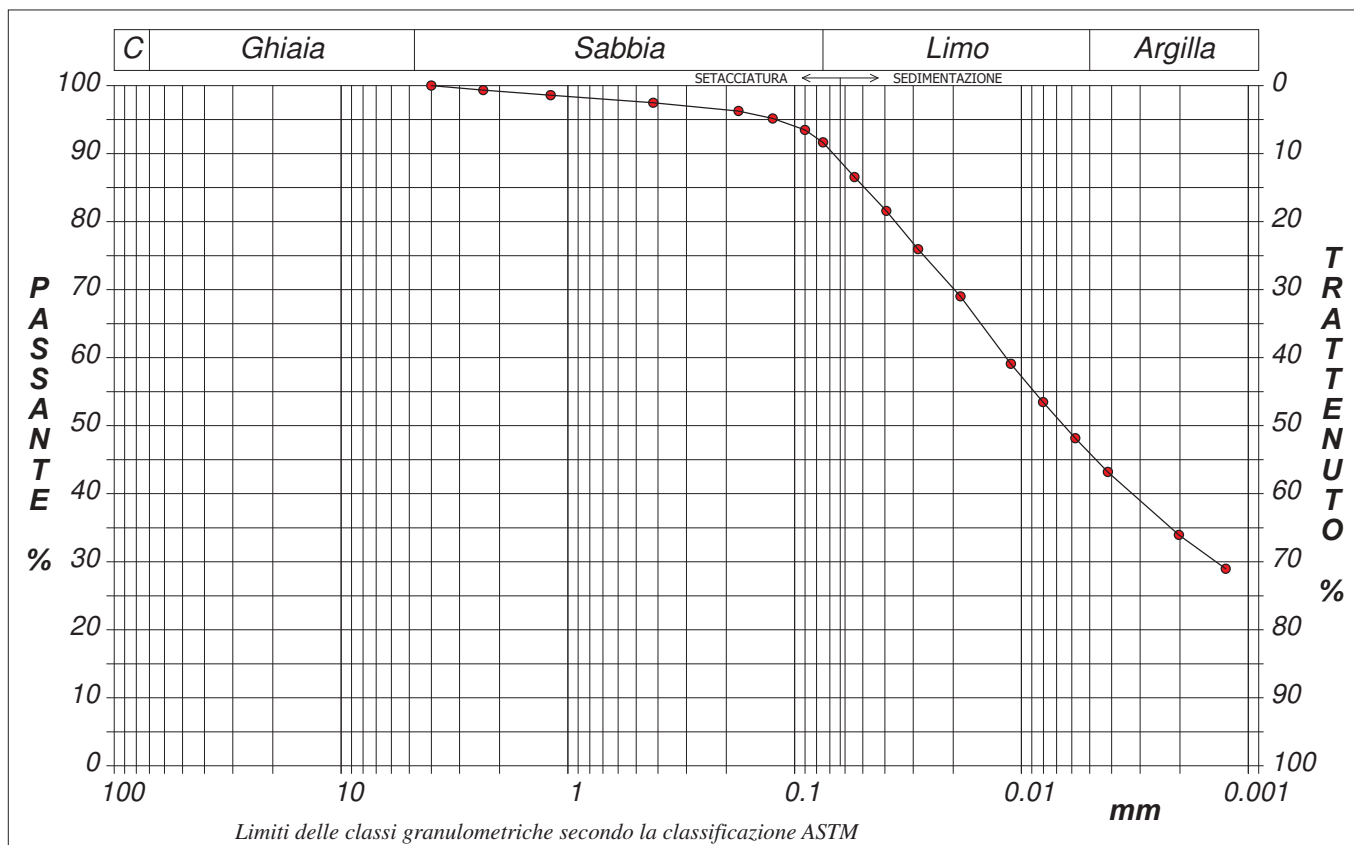
CAMPIONE: C4R

PROFONDITA': m 18.20-18.40

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,2 %	D10	---	mm
Sabbia	8,3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	97,5 %	D30	0,00139	mm
Limo	45,7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	91,7 %	D50	0,00648	mm
Argilla	46,0 %			D60	0,01167	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura		---	
				D90	0,06760	mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1250	95,15	0,0285	75,96	0,0042	43,21		
2,3600	99,33	0,0900	93,47	0,0186	69,01	0,0020	33,94		
1,1900	98,59	0,0750	91,66	0,0111	59,09	0,0013	28,98		
0,4200	97,47	0,0545	86,55	0,0080	53,46				
0,1770	96,26	0,0394	81,59	0,0058	48,17				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06104 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/11/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C4R

PROFONDITA': m 18.20-18.40

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

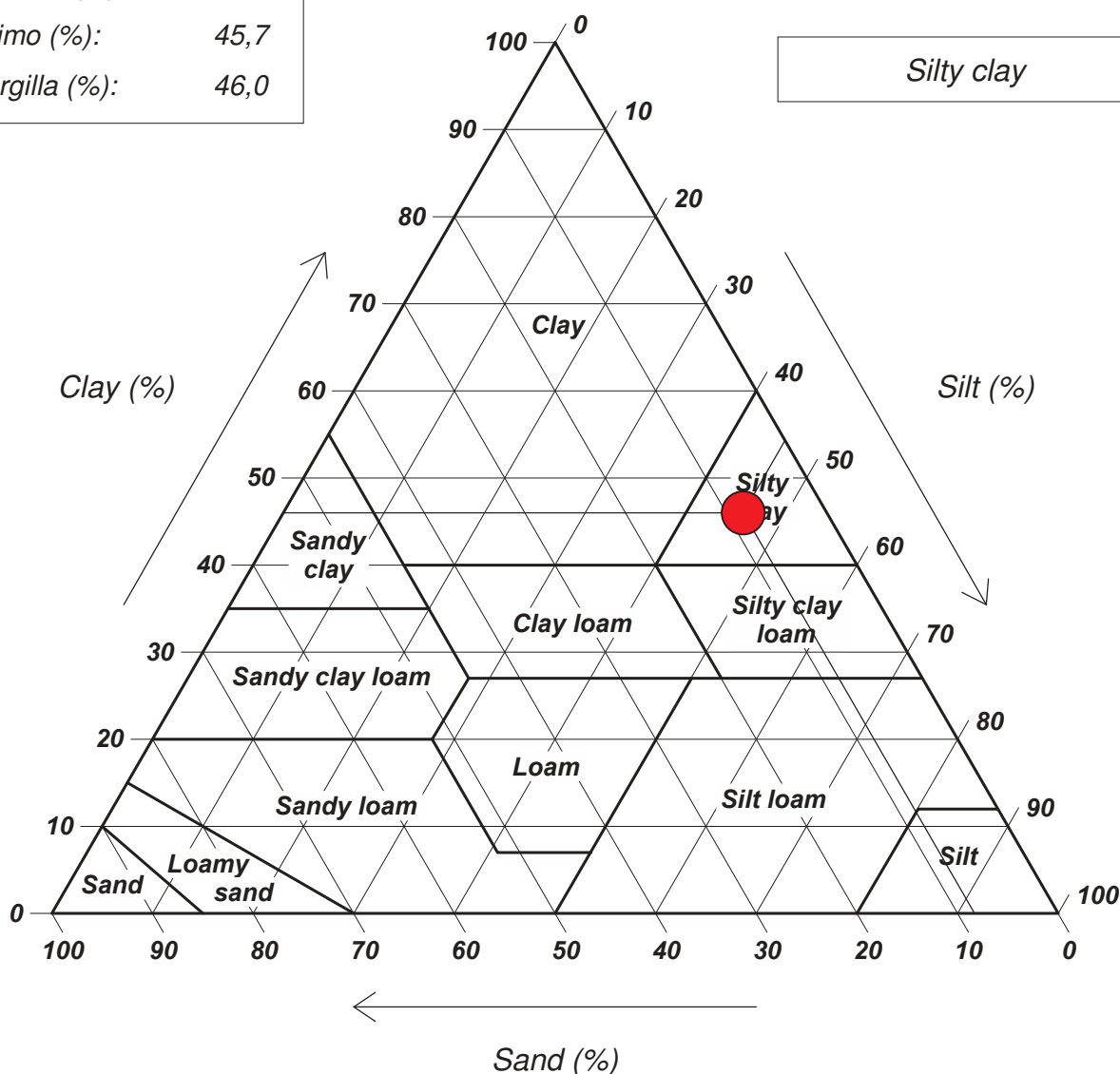
Sabbia (%): 8,3

Limo (%): 45,7

Argilla (%): 46,0

### Diagramma U.S.D.A.

Silty clay



CERTIFICATO DI PROVA N°: 06105 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/11/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C4R

PROFONDITA': m 18.20-18.40

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

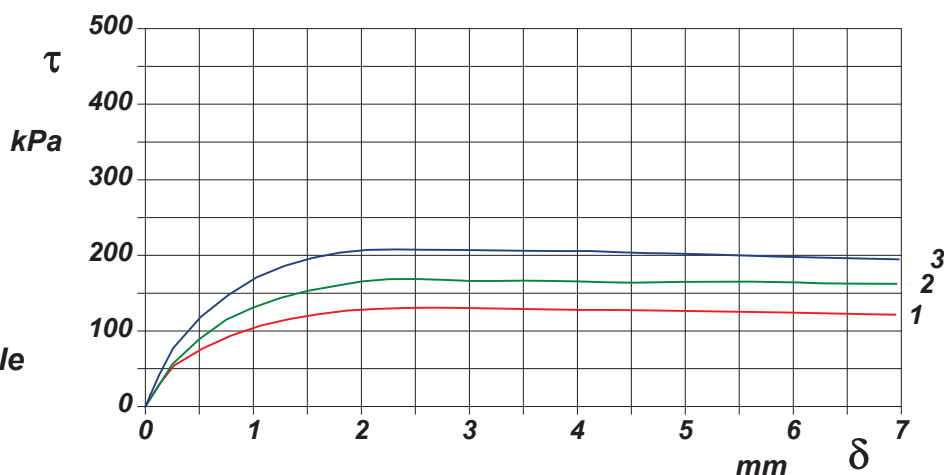
Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Disturbato	Disturbato	Disturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	300,0	400,0	500,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	14,7 19,0	14,8 18,3	14,6 17,6
Peso di volume (kN/m³):	19,5	19,5	19,5
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,004 mm / min		

### DIAGRAMMA

Tensione

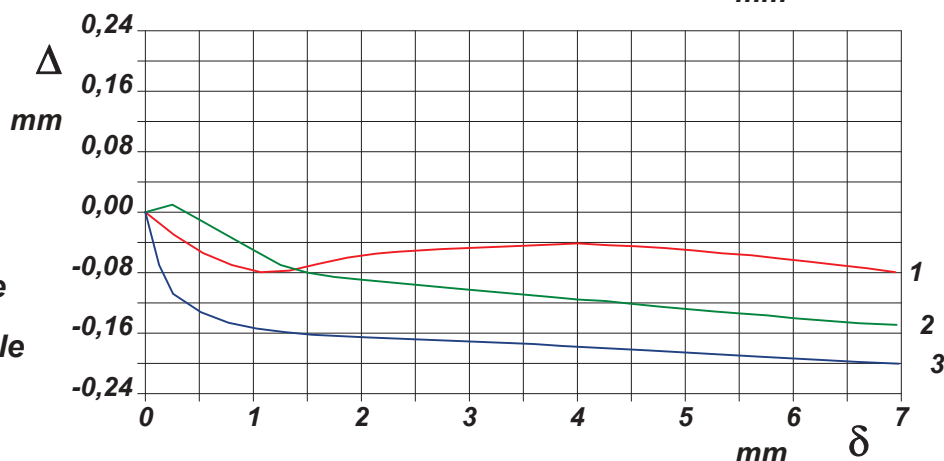
Deformazione orizzontale



### DIAGRAMMA

Deformazione verticale

Deformazione orizzontale



<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>				
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>				
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>		<b>CAMPIONE:</b> <i>C4R</i>		<b>PROFONDITA':</b> <i>m 18.20-18.40</i>

**Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04**

1109-24

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06105 Pagina 3/4  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/11/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

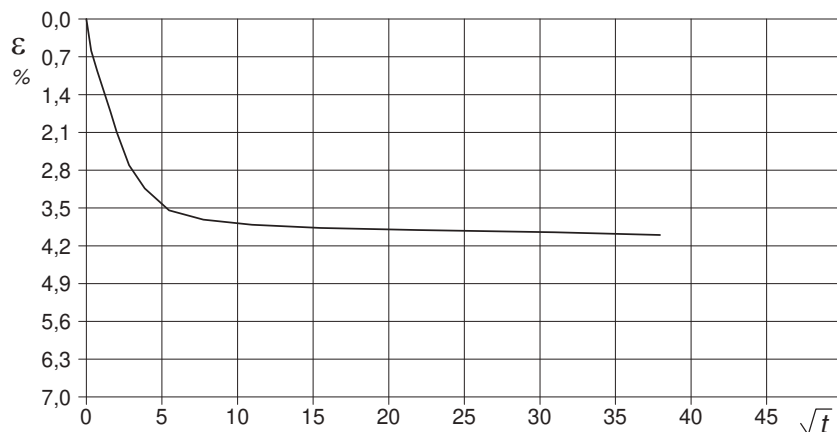
SONDAGGIO: S2 CAMPIONE: C4R PROFONDITA': m 18.20-18.40

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04

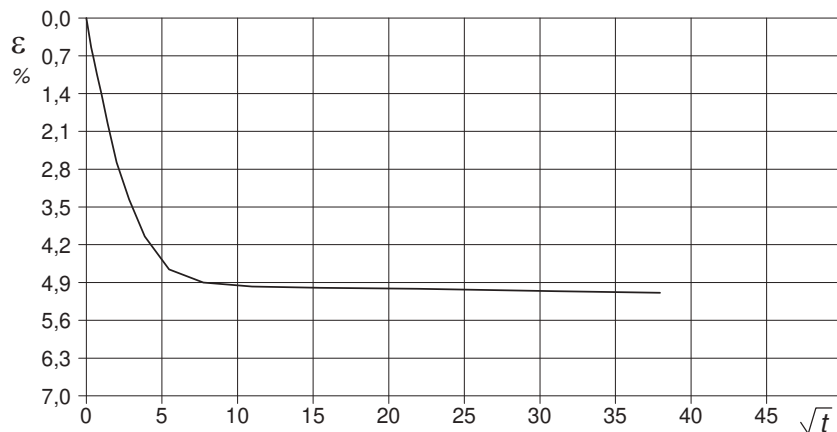
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,920
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	17,1
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,018



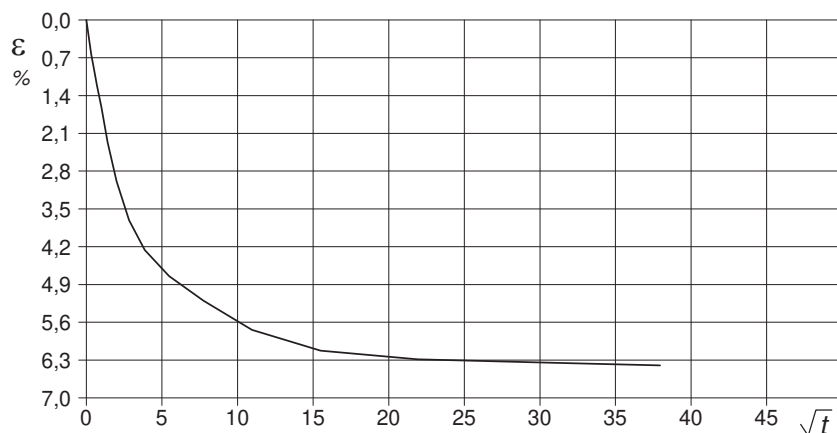
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	400
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,898
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	15,3
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,013



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	500
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,872
Sezione (cm²):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	17,5
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,011



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata

tf = 10 x T<sub>100</sub> Vs = Df / tf

1109-24



<b>CERTIFICATO DI PROVA N°: 06105</b>	<b>Pagina 4/4</b>	<b>DATA DI EMISSIONE: 27/12/24</b>	<b>Inizio analisi: 18/11/24</b>
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297</b>	<b>del 14/11/24</b>	<b>Apertura campione: 18/11/24</b>	<b>Fine analisi: 25/11/24</b>

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>				
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>				
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>		<b>CAMPIONE:</b> <i>C4R</i>		<b>PROFONDITA':</b> <i>m 18.20-18.40</i>

### PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

**Modalità di prova: Norma ASTM D3080-04**

[illegible]

**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** SPT1

**PROFONDITA':** m 3.00-3.45

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

**Peso specifico** 2,73

### ANALISI GRANULOMETRICA

		%
Ghiaia		
Sabbia	15,4	%
Limo	52,6	%
Argilla	32,0	%

### FOTOGRAFIA



#### Posizione delle prove

cm

Rp  
kPa

VT  
kPa

cm

#### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Limo con argilla sabbioso (f), di colore grigio.  
Reagente all'HCl

Qualità del campione: Q2

45

1110-24

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06106	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 19/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/11/24	Fine analisi: 20/11/24

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>SPT1</i>	<b>PROFONDITA':</b> <i>m</i>	<i>3.00-3.45</i>

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-23

$$\gamma_s = \text{Peso specifico dei granuli (media delle due misure)} = 2,73$$

$$\gamma_{sc} = \text{Peso specifico dei granuli corretto a } 20^\circ = 2,73$$

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,9 °C

Dimensione massima delle particelle: 3,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06107 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/11/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

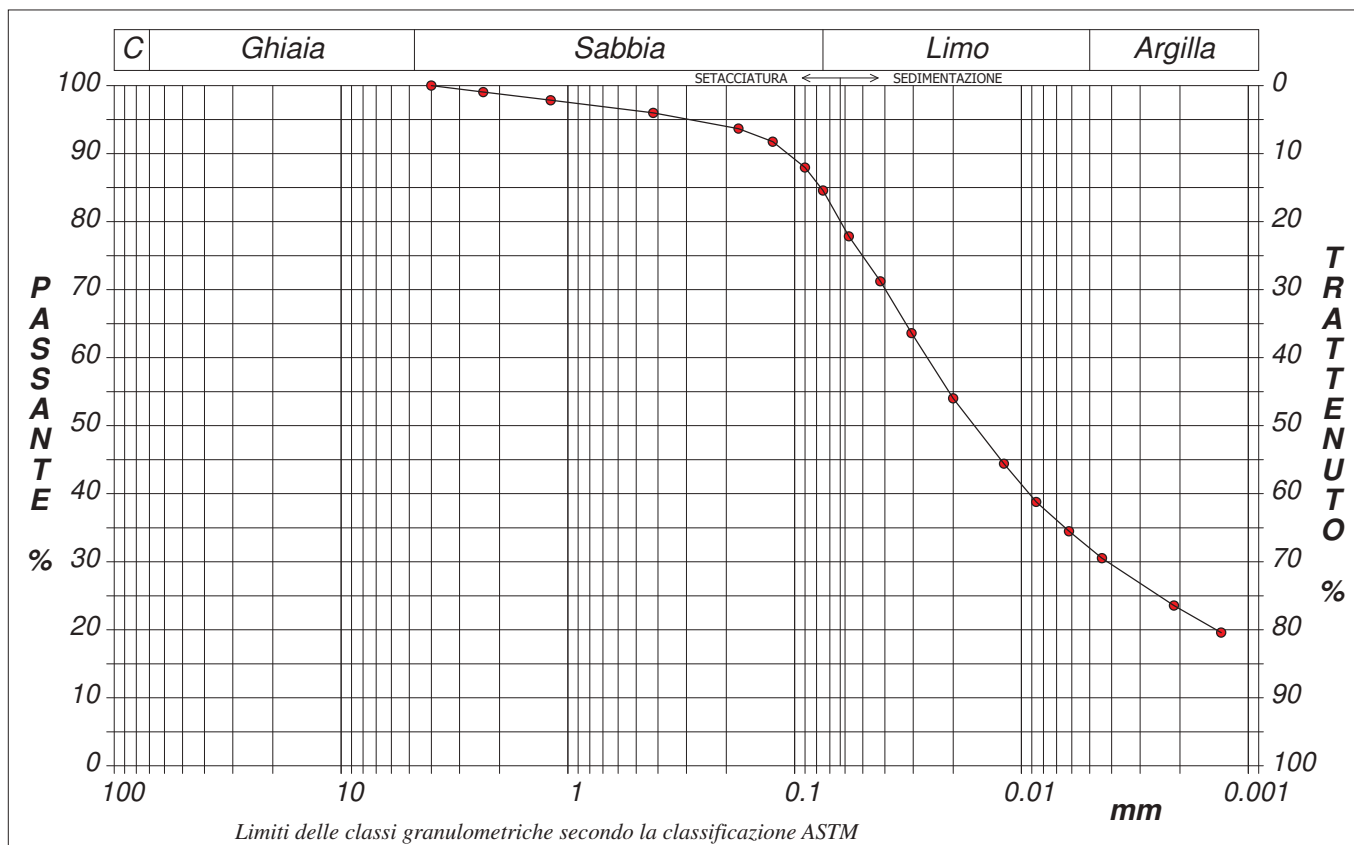
CAMPIONE: SPT1

PROFONDITA': m 3.00-3.45

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	98,8 %	D <sub>10</sub>	---	mm
Sabbia	15,4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	96,0 %	D <sub>30</sub>	0,00418	mm
Limo	52,6 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	84,6 %	D <sub>50</sub>	0,01613	mm
Argilla	32,0 %			D <sub>60</sub>	0,02605	mm
				D <sub>90</sub>	0,10752	mm
Coefficiente di uniformità		---	Coefficiente di curvatura		---	



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1250	91,74	0,0305	63,61	0,0044	30,52		
2,3600	99,04	0,0900	87,94	0,0200	54,01	0,0021	23,56		
1,1900	97,85	0,0750	84,58	0,0119	44,42	0,0013	19,59		
0,4200	95,98	0,0576	77,84	0,0086	38,79				
0,1770	93,67	0,0419	71,22	0,0062	34,49				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06107 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/11/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: SPT1

PROFONDITA': m 3.00-3.45

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

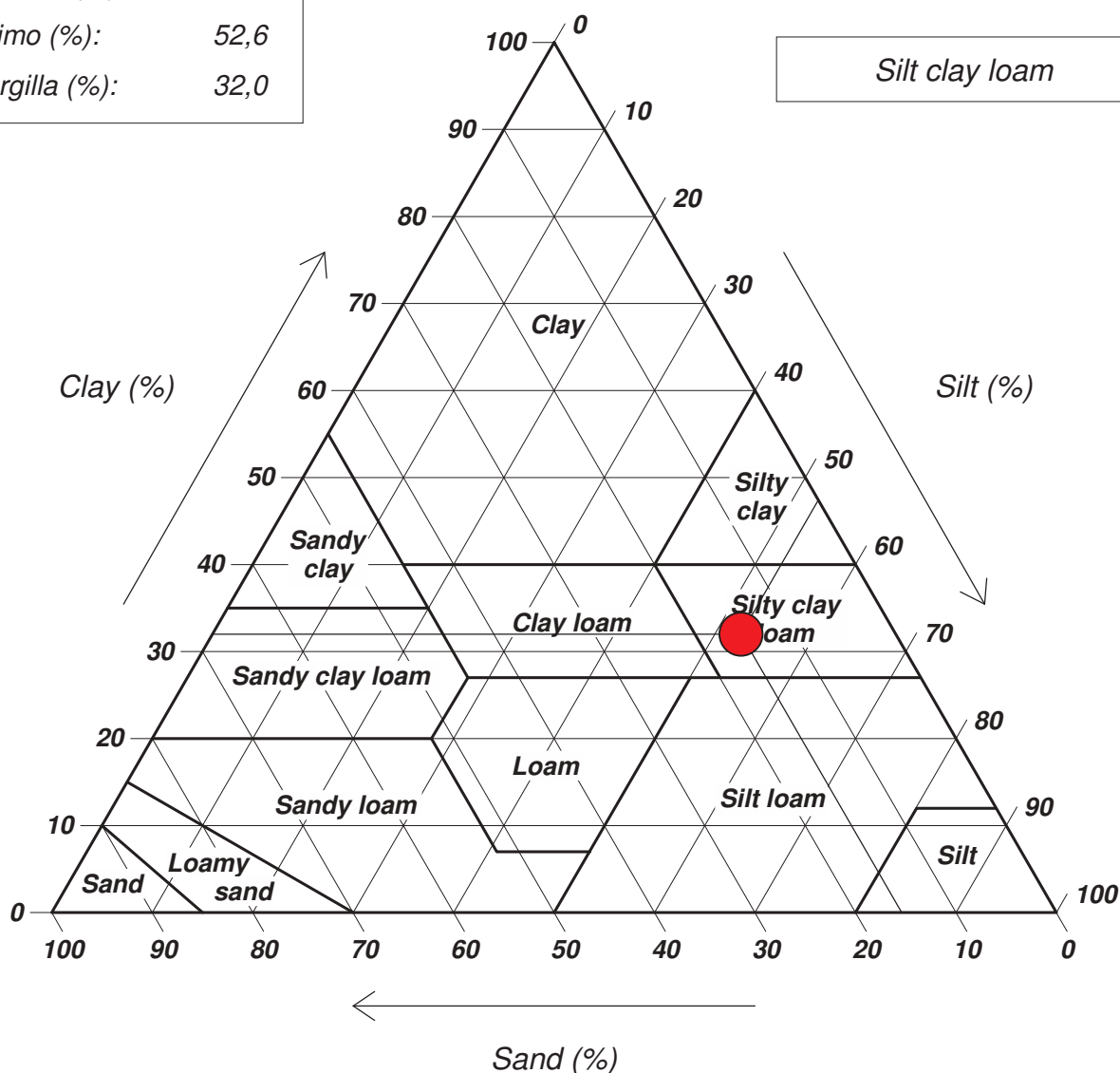
Sabbia (%): 15,4

Limo (%): 52,6

Argilla (%): 32,0

### Diagramma U.S.D.A.

Silt clay loam





**COMMITTENTE:** Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

**RIFERIMENTO:** Regione Toscana - SR del Cipressino

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** SPT2

**PROFONDITA':** m 6,00-6,45

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

**Peso specifico** 2,74

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	31,2	%
Sabbia	52,4	%
Limo	7,7	%
Argilla	8,7	%

### FOTOGRAFIA



#### Posizione delle prove

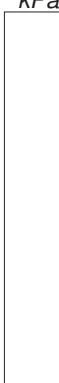
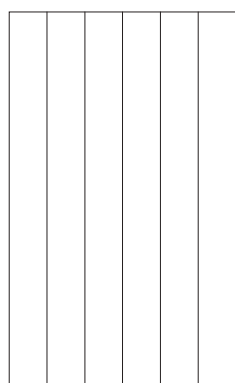
cm

Rp

VT

cm

#### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE



Sabbia (m/f) con ghiaia (e), ad elementi subarrotondati a forma discoidale (lMax = 1,5 cm) debolmente argillosa e limosa, di colore grigio nerastro. Reagente all'HCl

Qualità del campione: Q2

1111-24

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06108	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 27/12/24	Inizio analisi: 19/11/24
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24		Apertura campione: 18/12/24	Fine analisi: 20/11/24

<b>COMMITTENTE:</b> <i>Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)</i>			
<b>RIFERIMENTO:</b> <i>Regione Toscana - SR del Cipressino</i>			
<b>SONDAGGIO:</b> <i>S2</i>	<b>CAMPIONE:</b> <i>SPT2</i>	<b>PROFONDITA': m</b>	<i>6,00-6,45</i>

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D854-23

$\gamma_s$ = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,74
$\gamma_{sc}$ = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,74

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 21,0 °C

Dimensione massima delle particelle: 15,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06109 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24

Inizio analisi: 18/11/24

Apertura campione: 18/12/24

Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

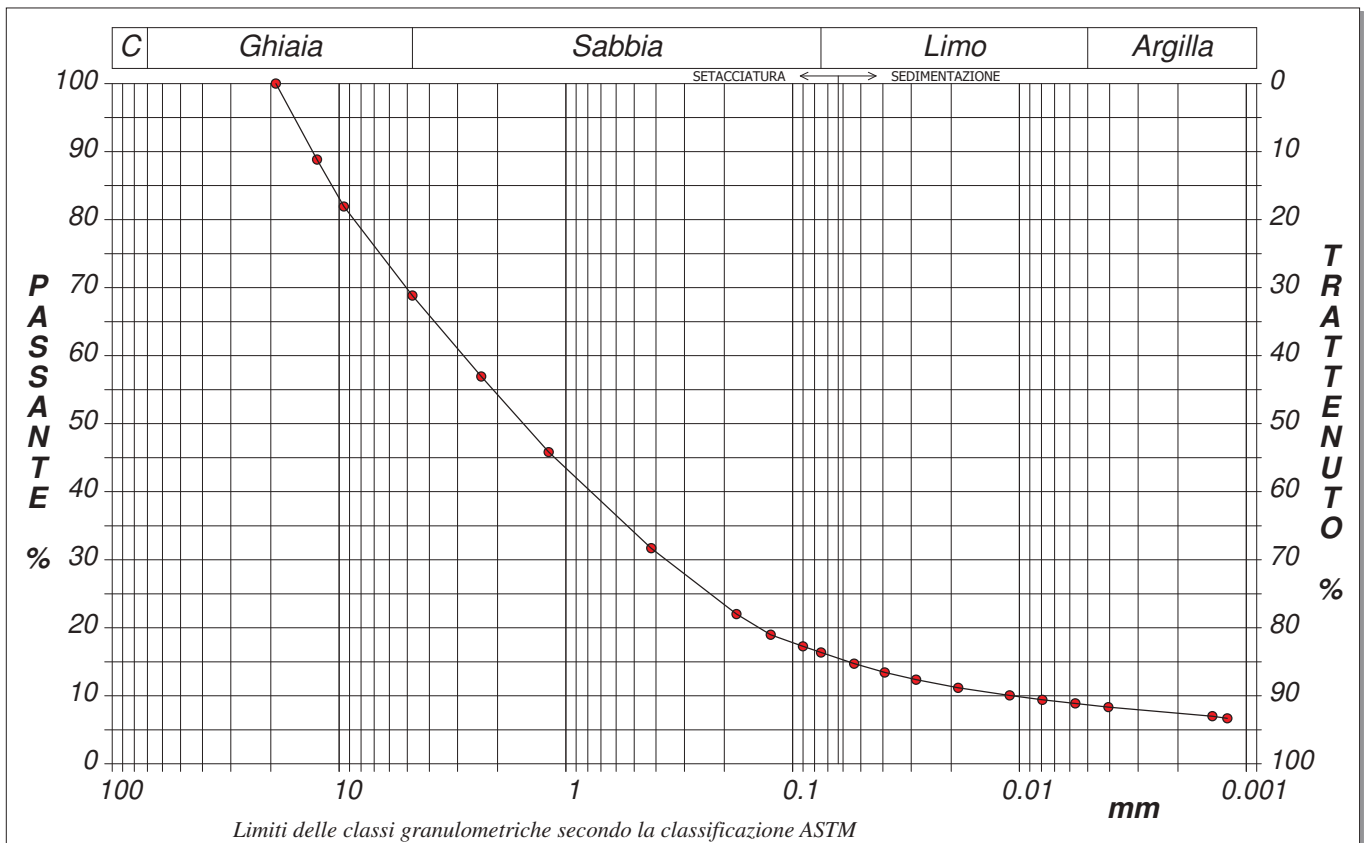
CAMPIONE: SPT2

PROFONDITA': m 6,00-6,45

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

Ghiaia	31,2 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	54,3 %	D <sub>10</sub>	0,01070 mm
Sabbia	52,4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	31,7 %	D <sub>30</sub>	0,36082 mm
Limo	7,7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	16,4 %	D <sub>50</sub>	1,53881 mm
Argilla	8,7 %			D <sub>60</sub>	2,82624 mm
Coefficiente di uniformità		264,04	Coefficiente di curvatura		4,30
					D <sub>90</sub> 13,06005 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
19,0000	100,00	1,1900	45,83	0,0750	16,37	0,0110	10,06	0,0012	6,68
12,5000	88,83	0,4200	31,70	0,0535	14,73	0,0079	9,42		
9,5200	81,93	0,1770	22,03	0,0393	13,44	0,0057	8,88		
4,7500	68,83	0,1250	18,99	0,0286	12,37	0,0041	8,34		
2,3600	56,93	0,0900	17,27	0,0186	11,19	0,0014	7,00		

CERTIFICATO DI PROVA N°: 06109 Allegato 1  
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 297 del 14/11/24

DATA DI EMISSIONE: 27/12/24 Inizio analisi: 18/11/24  
Apertura campione: 18/12/24 Fine analisi: 25/11/24

COMMITTENTE: Geologica Toscana Snc - Viale Marconi, 106 - Poggibonsi (SI)

RIFERIMENTO: Regione Toscana - SR del Cipressino

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: SPT2

PROFONDITA': m 6,00-6,45

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma UNI CEN ISO/TS 17892-4: 2005

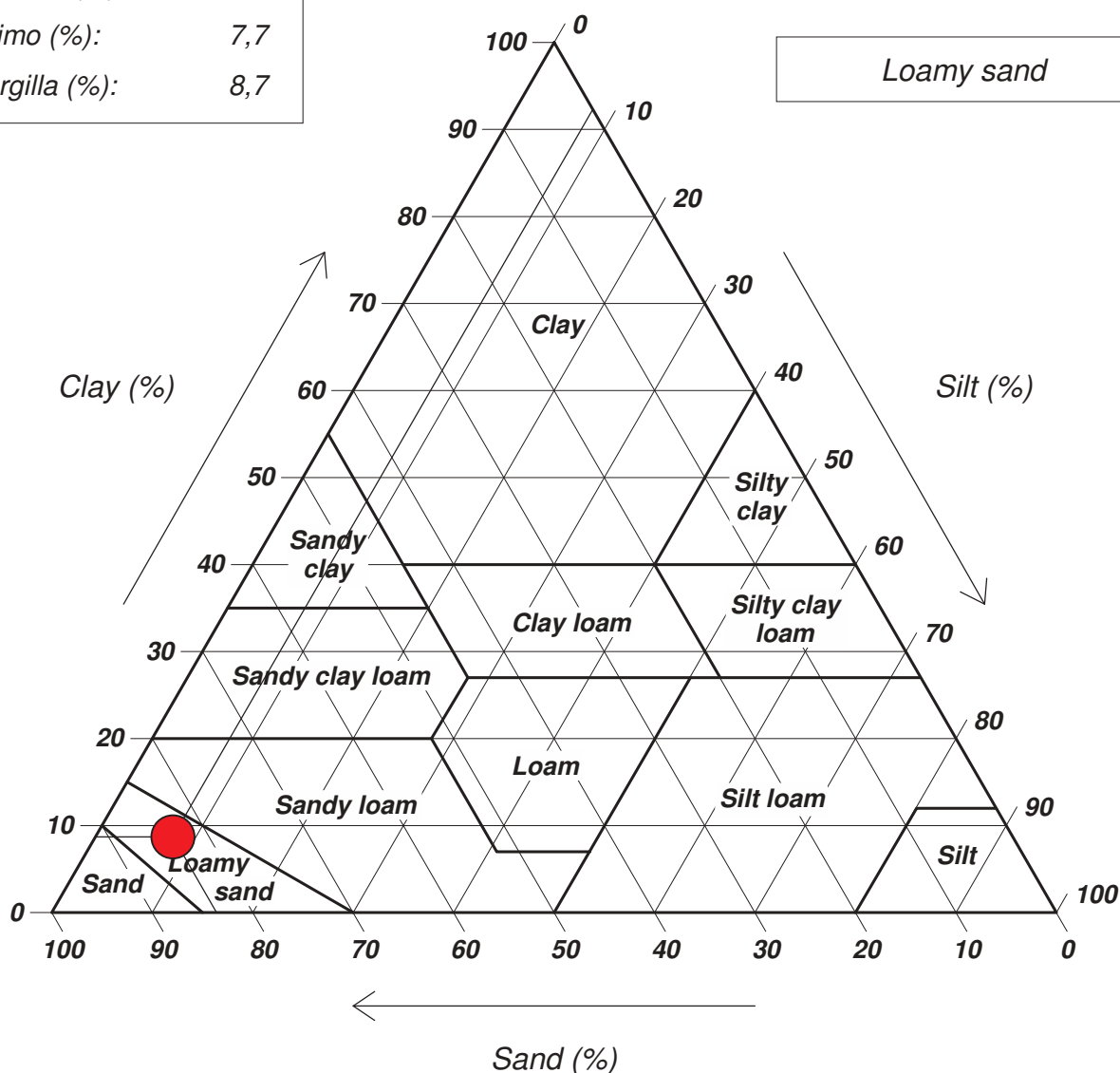
Sabbia (%): 83,6

Limo (%): 7,7

Argilla (%): 8,7

### Diagramma U.S.D.A.

Loamy sand



## ALLEGATO C



# **PROVINCIA DI GROSSETO**



**Regione Toscana**

**REPORT DELLE RISULTANZE OTTENUTE DALLA CAMPAGNA GEOFISICA  
ESEGUITA LUNGO LA SR 64 CIPRESSINO, IN PROVINCIA DI GROSSETO**

**Codice Unico Progetto (CUP): D77H24000760001**

**Consulente Geologo: Dott. Geol. Massimo Fanti**

**Grosseto, dicembre 2024**

## 1. PREMESSA

Su incarico e per conto della Regione Toscana è stata eseguita una campagna d'indagine geofisica lungo la SR 64 del Cipressino (GR), CUP: D77H24000760001.

### 1.1. INDAGINE SISMICA

Per l'esecuzione dell'indagine sismica sono state utilizzate le seguenti strumentazioni di campo e programmi di elaborazione:

Anno d'indagine	Metodo d'indagine	Strumento utilizzato	Nome strumento	Marca strumento	Programma elaborazione
2024	Tomografia sismica in onde P-Sh	Sismografo	Geode 24 bit	Geometrics	SeisOpt Pro (Optim Software)
2024	MASW				Win MASW (Eliosoft geophysical software and services)

**Tabella 1** – Strumentazione hardware e software utilizzato nelle indagini sismiche

Per l'acquisizione dei dati sismici attivi è stata utilizzata la seguente configurazione di campo:

Tipo di acquisizione	Prospezione sismica	Numero geofoni	Frequenza geofono (hz)	Interd. (m)	L. (m)	Finestra temporale	Shot	Sistema di energizzazione
Onda P	PR1	24	4.5 (comp. verticale)	5	120	1 s	7 (ogni 4 geofoni)	Martello a impulso verticale (6kg)
Onda Sh	PR1	24	14 (comp. orizzontale)	5	120	300 ms	7 (ogni 4 geofoni)	Martello a impulso di taglio (6kg)

**Tabella 2** – Configurazione di campo geometrie e tempi di acquisizione

Per la documentazione fotografica, ubicazione, profilo tomografico e relativi sismogrammi di registrazione si veda la scheda PR1.

## 1.2. RISULTANZE OTTENUTE E MODELLO SISMICO DEL TERRENO

### Profilo Sismico PR1

Le prospezioni sismiche a rifrazione hanno permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde P che si correla bene con le caratteristiche geologiche dell'area in esame. Il modello sismico ottenuto evidenzia un progressivo aumento della velocità delle onde P, con la profondità.

Per quanto riguarda il profilo in onde P, si individua in generale un primo sismostrato, dello spessore medio di circa 8 m, in cui sono presenti terreni da poco a moderatamente compatti con velocità inferiori a 1400 m/s.

Al di sotto di tale strato le velocità aumentano passando da 1400 m/s a 2800 m/s, segnalando la presenza di terreni molto compatti.

Per quanto riguarda il profilo in onde S, si individua in generale un primo sismostrato, dello spessore medio di 6.5 m, in cui sono presenti terreni poco compatti con velocità inferiori a 300 m/s.

Al di sotto di tale strato le velocità aumentano ( $> 300$  m/s), segnalando la presenza di terreni moderatamente compatti.

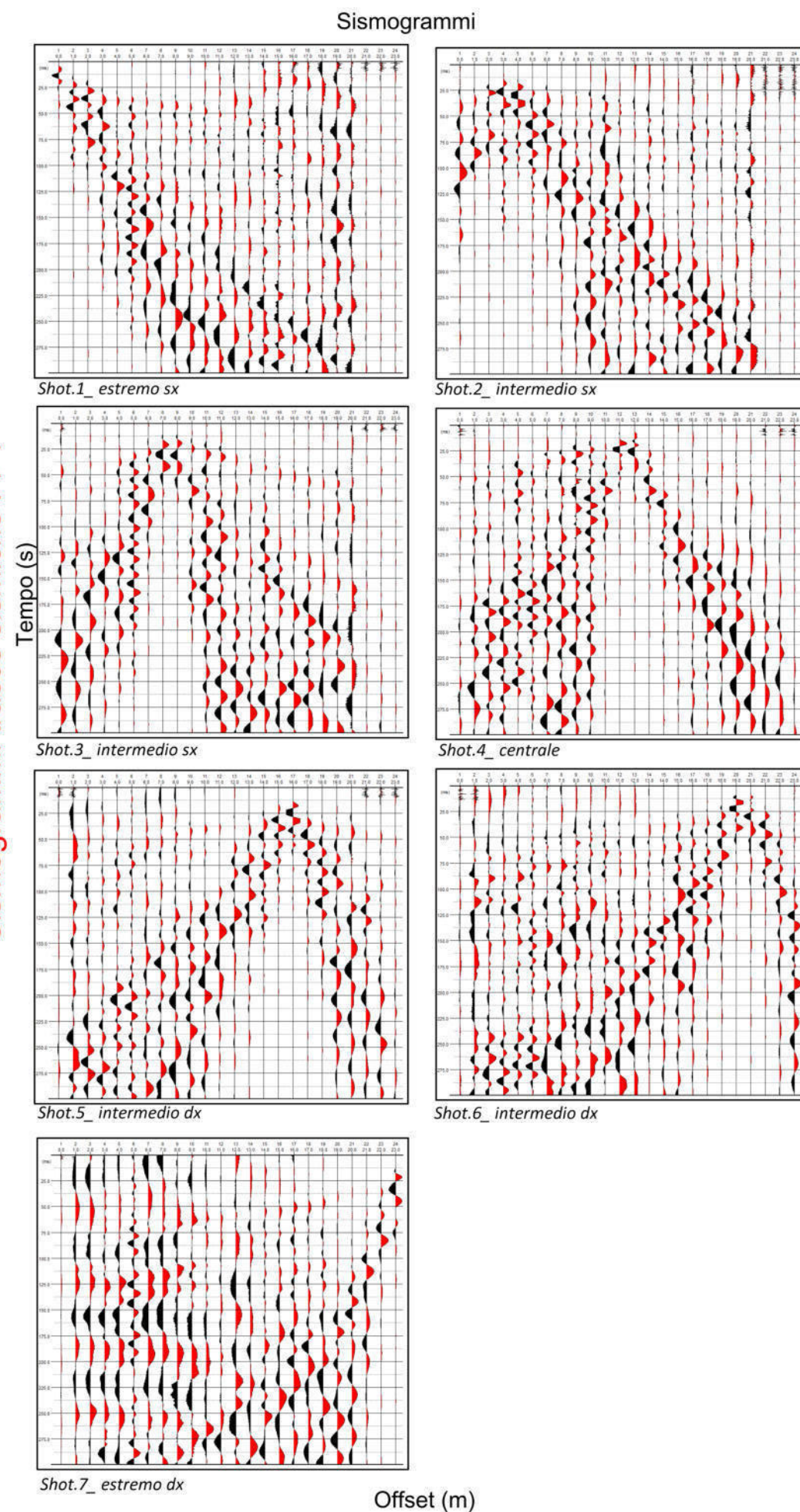
Grosseto, dicembre 2024



Il Tecnico  
Dott. Geol. Massimo Fanti  
N. 944

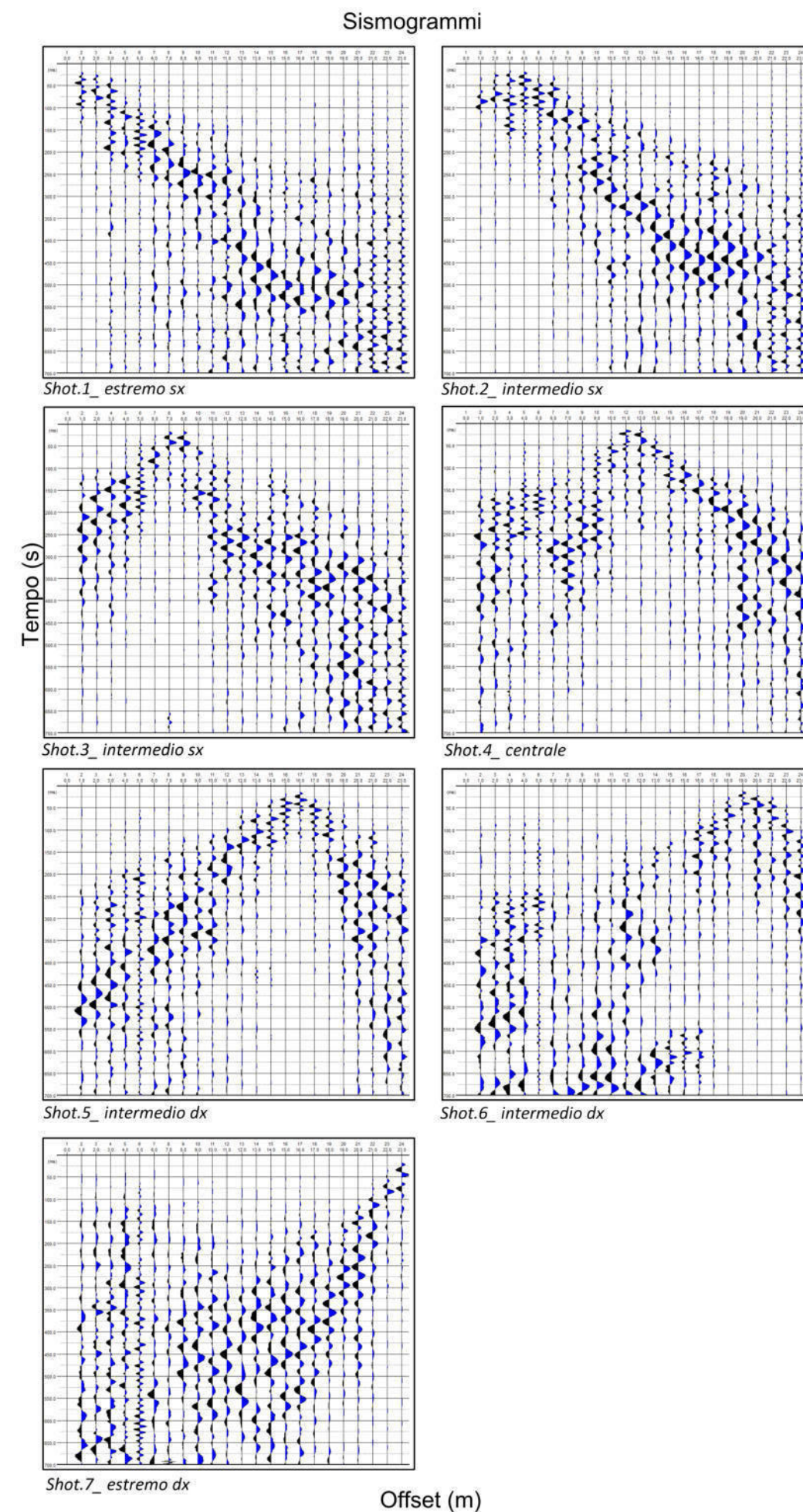


Sismogrammi tracce sismiche PP1



Profilo PR1

Sismogrammi tracce sismiche PS1





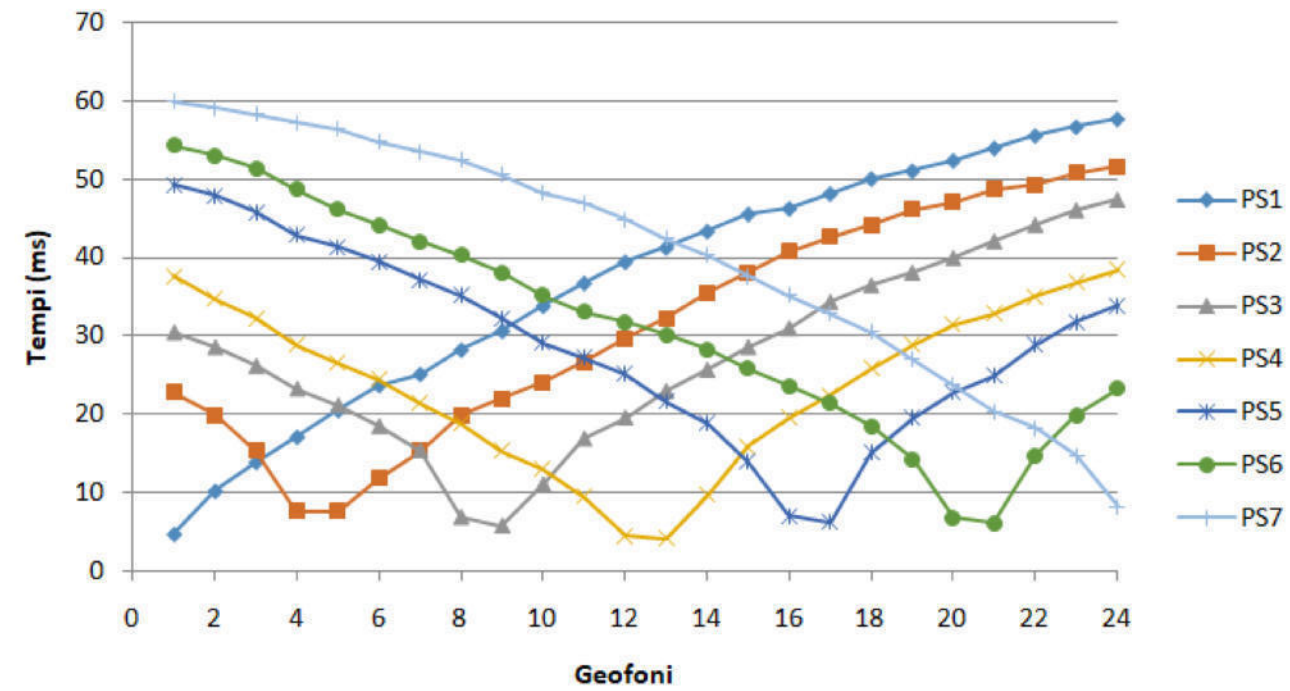
# 

### Dromocrone PP1

		Punti di scoppio						
		PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7
Geofoni	G1	4.8	22.8	30.5	37.6	49.3	54.3	59.9
	G2	10.3	19.9	28.6	34.7	47.9	53	59.1
	G3	14	15.4	26.2	32.3	45.8	51.4	58.3
	G4	17.2	7.7	23.3	28.9	42.9	48.7	57.2
	G5	20.6	7.7	21.2	26.5	41.3	46.1	56.4
	G6	23.8	11.9	18.5	24.4	39.5	44.2	54.8
	G7	25.2	15.4	15.4	21.4	37.1	42.1	53.5
	G8	28.3	19.9	6.9	18.8	35.2	40.3	52.4
	G9	30.7	22	5.8	15.4	32.3	38.1	50.6
	G10	33.9	24.1	11.1	13	29.1	35.2	48.2
	G11	36.8	26.7	16.9	9.5	27.3	33.1	46.9
	G12	39.5	29.7	19.6	4.5	25.2	31.8	44.8
	G13	41.3	32.3	23	4.2	21.7	30.2	42.4
	G14	43.4	35.5	25.7	9.8	18.8	28.3	40.3
	G15	45.6	38.1	28.6	15.9	14	25.9	37.6
	G16	46.3	40.8	31	19.6	7.1	23.6	35.2
	G17	48.2	42.6	34.4	22.5	6.3	21.4	32.8
	G18	50.1	44.2	36.5	25.9	15.1	18.5	30.5
	G19	51.1	46.1	38.1	28.9	19.6	14.3	27
	G20	52.4	47.1	40	31.5	22.8	6.9	23.8
	G21	54	48.7	42.1	32.8	24.9	6.1	20.4
	G22	55.6	49.3	44.2	35	28.9	14.8	18.3
	G23	56.7	50.8	46.1	36.8	31.8	19.9	14.8
	G24	57.7	51.6	47.4	38.4	33.9	23.3	8.2

Tempi (ms)

### Dromocrone onde P - PR1

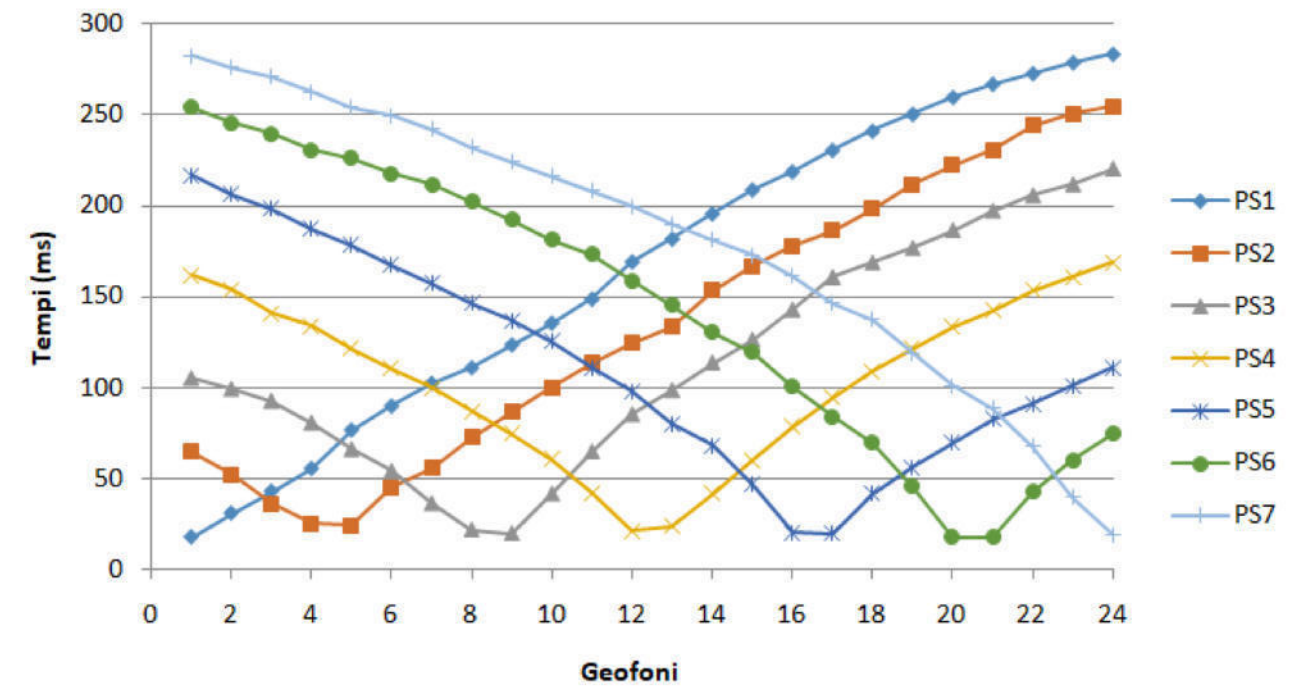


### Dromocrone PS1

		Punti di scoppio						
		PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	PS6	PS7
Geofoni	G1	17.5	64.5	105	162	217	254.1	282.6
	G2	30.7	51.9	99	154	206.4	245.5	276
	G3	42.7	36	92.4	140.8	198.4	239.5	271.3
	G4	55.3	24.8	80.4	134.1	187.2	230.9	262.7
	G5	76.5	24.1	65.9	121.5	178.5	226.3	254.1
	G6	89.7	44.7	53.9	110.3	167.3	217.6	249.5
	G7	102.3	55.3	36	99.7	157.3	211.7	242.2
	G8	110.9	72.5	21.5	87.1	146.1	202.4	232.2
	G9	123.5	86.4	19.5	74.5	136.8	192.5	224.3
	G10	135.5	99.7	41.3	60.6	125.5	181.2	216.3
	G11	148.7	113.6	64.5	42	110.9	173.2	208.4
	G12	169.3	124.2	85.1	20.8	97.7	158.7	199.8
	G13	181.9	133.5	98.3	23.4	79.8	145.4	189.8
	G14	195.8	153.4	113.6	41.3	67.9	130.2	181.2
	G15	209	166.6	126.2	59.9	46.6	119.6	172.6
	G16	219	177.9	142.8	78.5	20.1	100.3	161.3
	G17	230.9	186.5	160.6	94.4	19.5	83.8	146.1
	G18	241.5	198.4	168.6	108.9	41.3	69.2	137.4
	G19	250.8	211.7	176.6	121.5	55.9	45.3	118.9
	G20	260.1	222.3	186.5	133.5	69.2	17.5	101
	G21	267.4	230.9	197.1	142.1	82.4	17.5	88.4
	G22	273.3	244.2	205.7	153.4	91.1	42.7	67.2
	G23	279.3	250.8	211.7	160.6	101	59.9	39.4
	G24	283.9	254.8	220.3	168.6	110.9	74.5	18.8

Tempi (ms)

### Dromocrone onde S - PR1





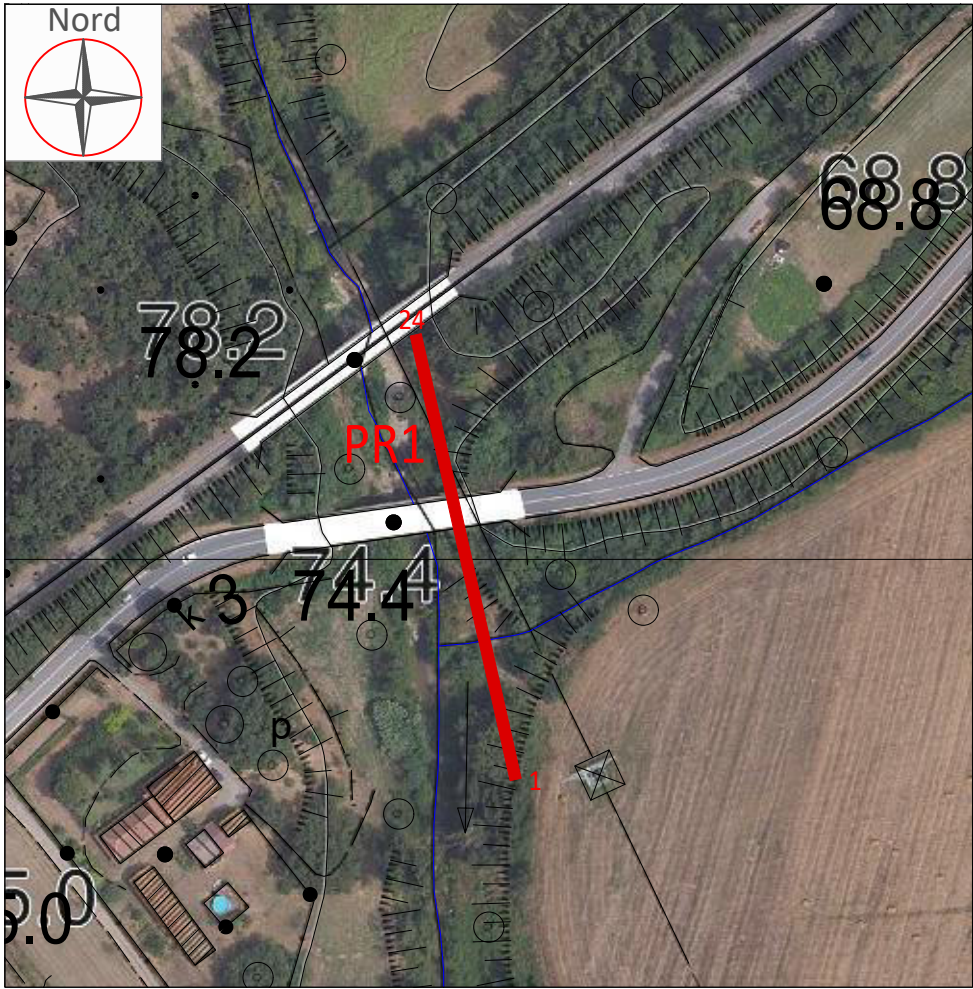


Fig. 1 - Ubicazione traccia sismica PR1 in scala 1:2.000



Foto 1 - Fase di realizzazione indagine sismica PR1

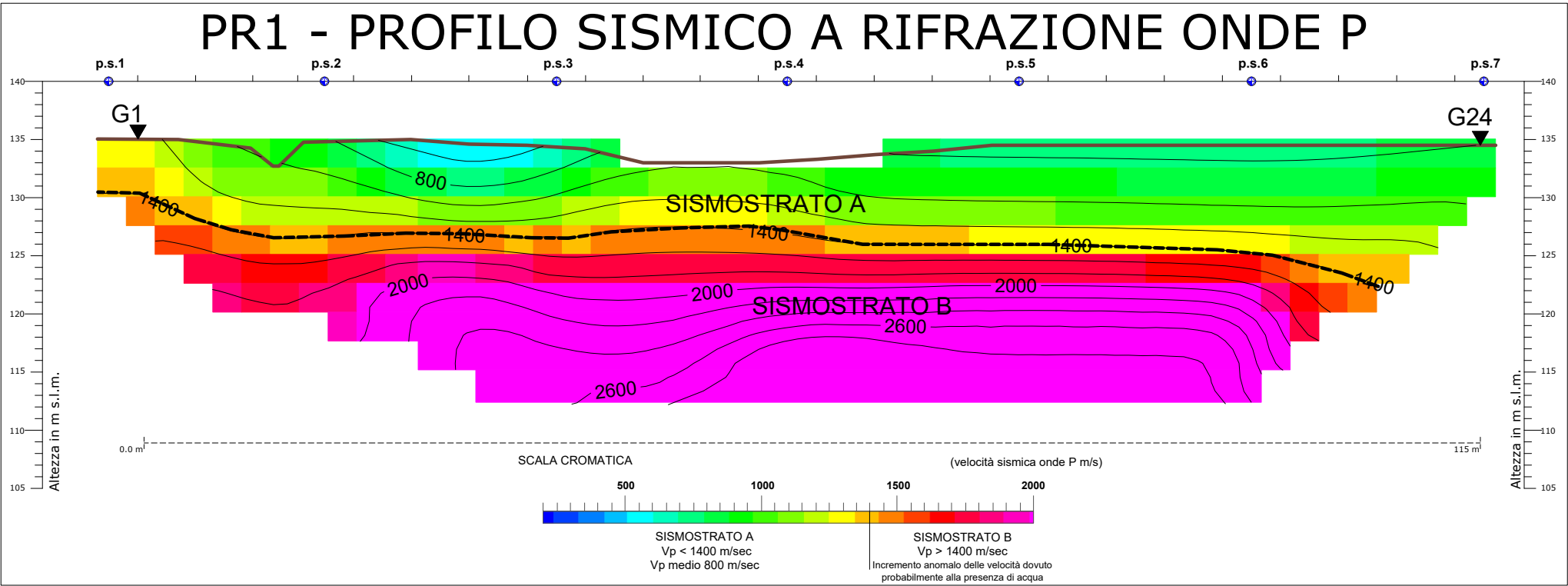


Fig. 2 - PROFILO 1 - ONDE P in scala 1:500

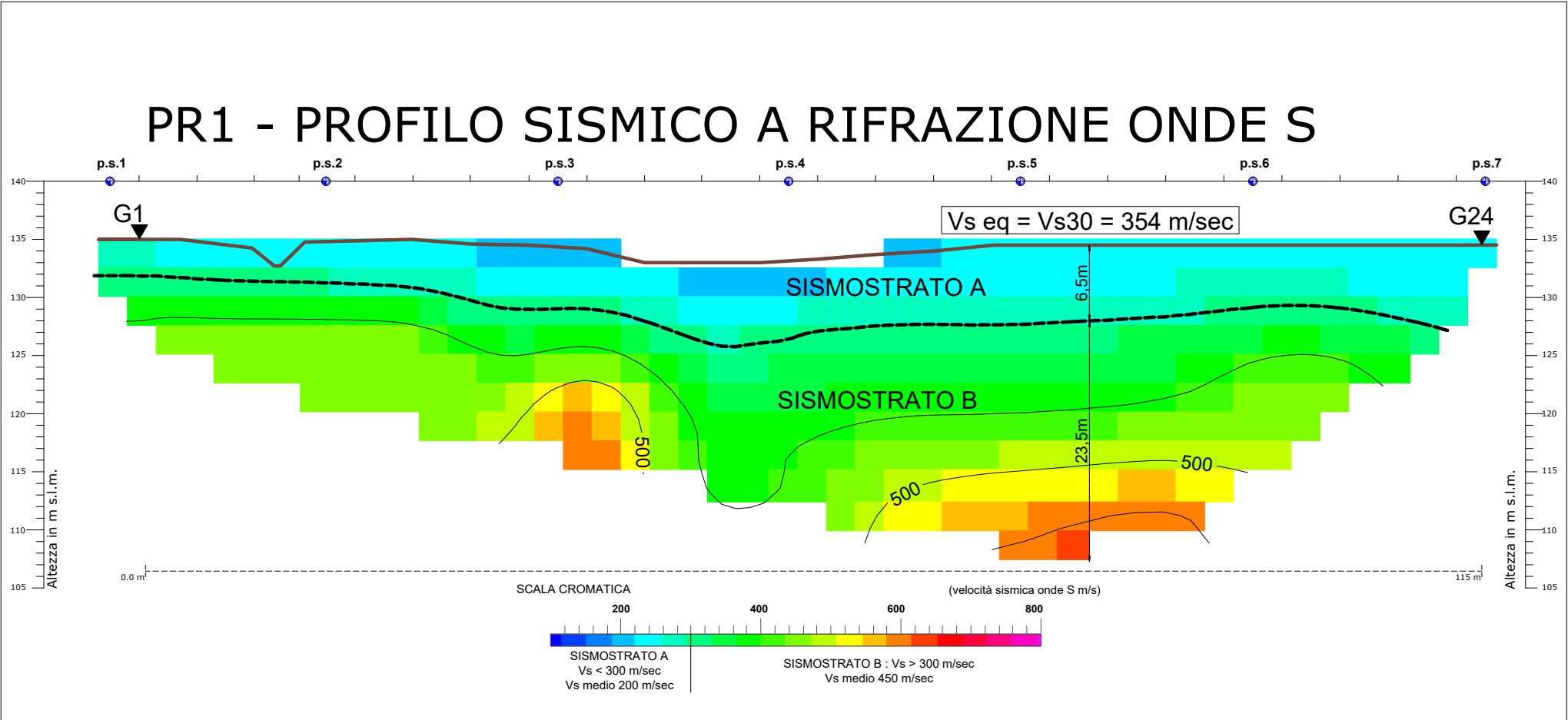


Fig. 3 - PROFILO 1 - ONDE S in scala 1:500



## ALLEGATO D

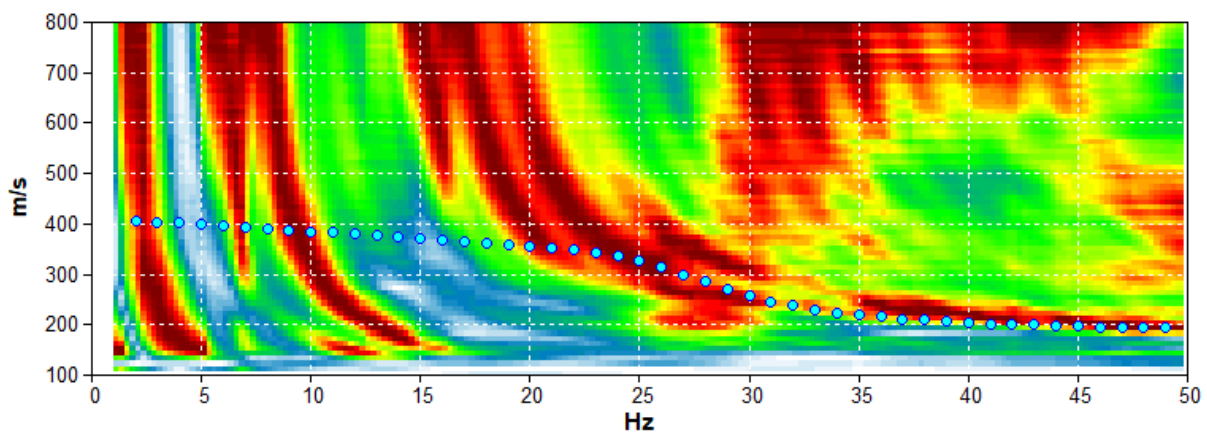
## PONTE LANZO, [Z] ARRAY 001

Inizio registrazione: 27/06/2004 09:36:45      Fine registrazione: 27/06/2004 09:42:08  
Durata registrazione: 0h00'02".      Analizzato 89% tracciato (selezione automatica)  
Freq. campionamento: 1024 Hz

Nomi canali: B1 ; B2 ; B3 ; B4 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B9  
; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; B15

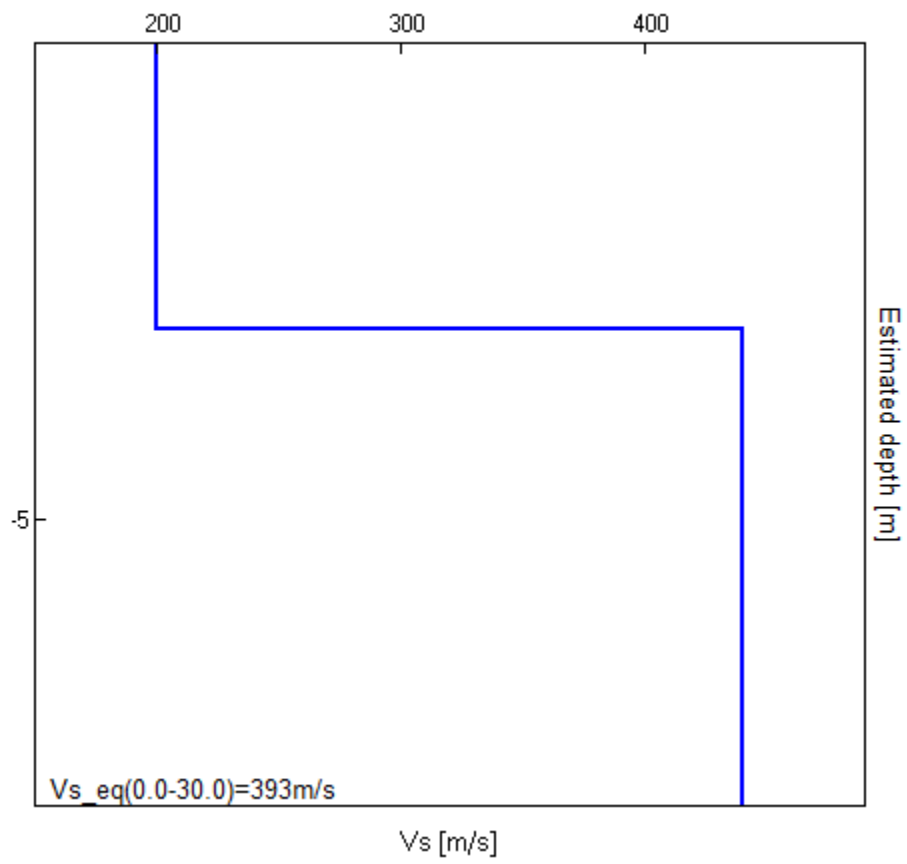
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 m.

### MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	200	0.35
inf.	inf.	440	0.35

Vs\_eq(0.0-30.0)=393m/s



## PONTE LANZO, STAZIONE SINGOLA 001

Strumento: TEP-0037/01-09

Formato dati: 16 bit

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 27/06/2004 16:52:43 Fine registrazione: 27/06/2004 17:20:42

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h28'00".

Analizzato 89% tracciato (selezione automatica)

Freq. campionamento: 128 Hz

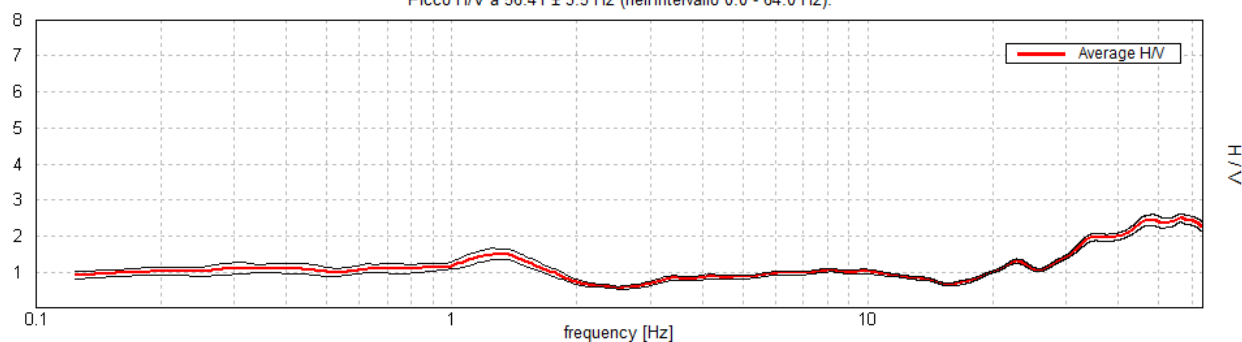
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

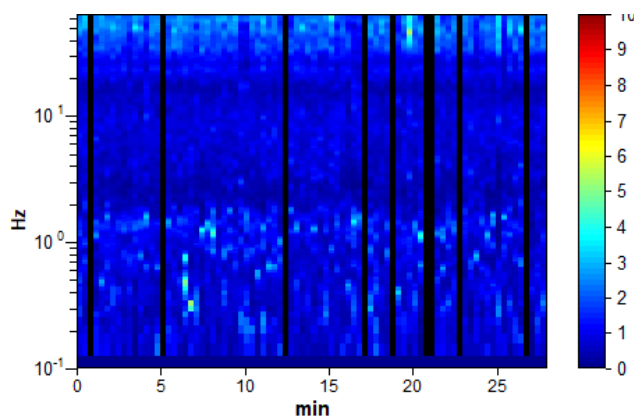
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

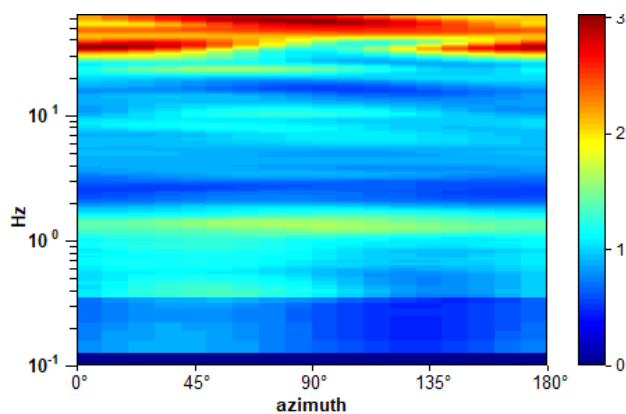
Picco H/V a  $56.41 \pm 3.5$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



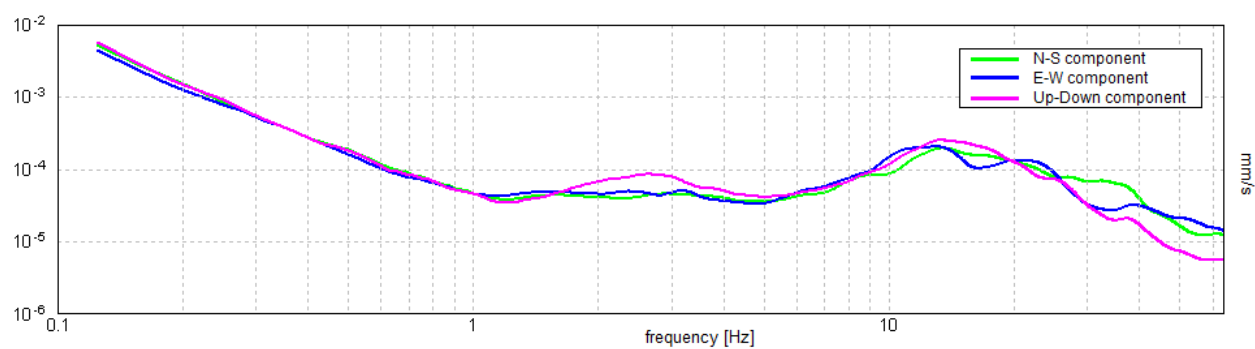
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V

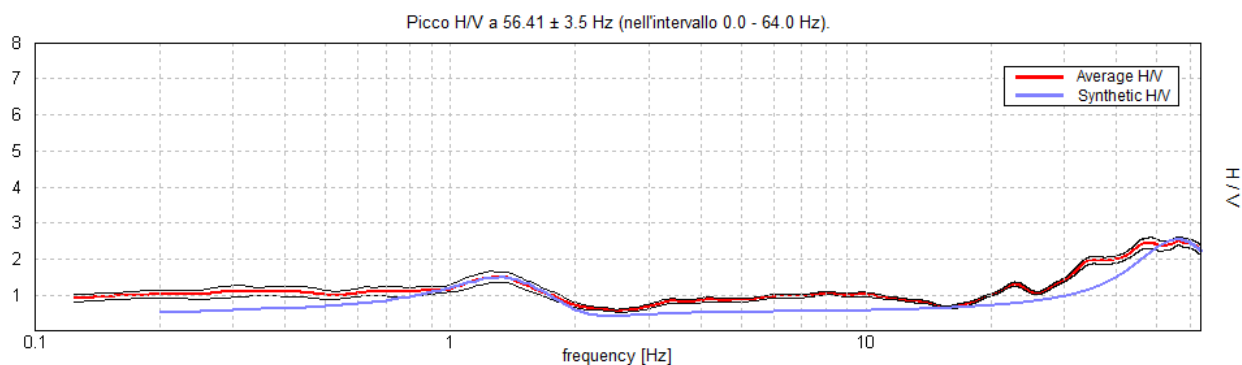


## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



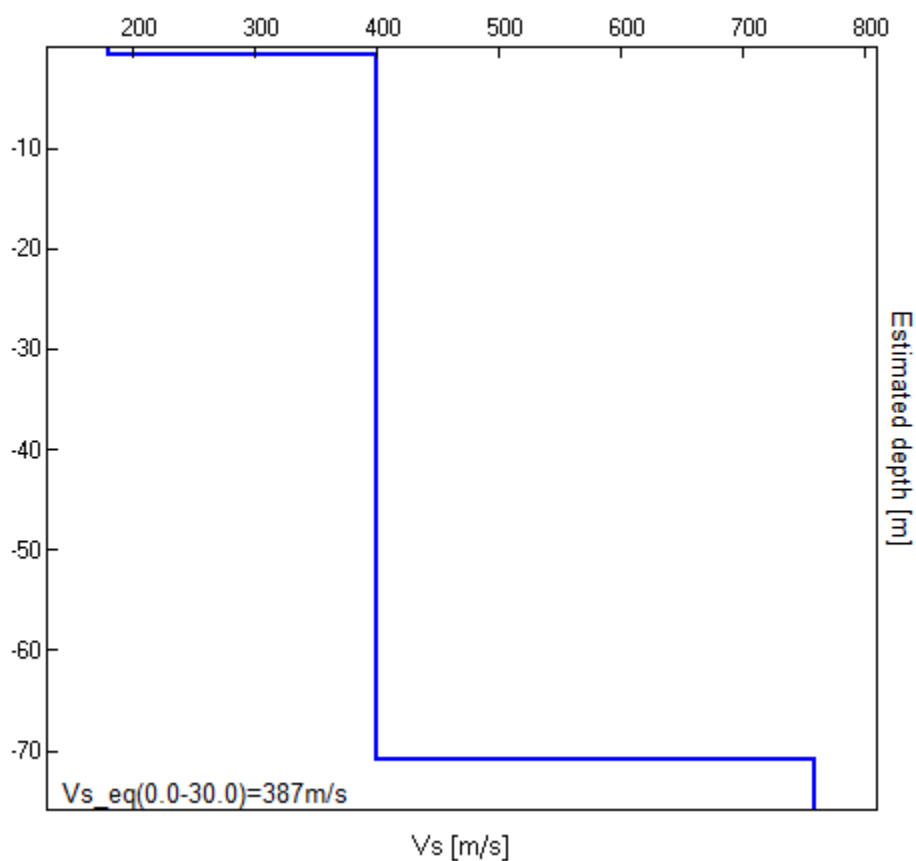


# H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.80	0.80	180	0.35
70.80	70.00	400	0.35
inf.	inf.	760	0.35

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=387\text{m/s}$



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

**Picco H/V a  $56.41 \pm 3.5$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$56.41 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$84609.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1146	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	28.031 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.50 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06205  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.49988 < 2.82031$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1174 < 1.58$	OK	

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

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

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