

Geologica Toscana

*Viale G. Marconi, 106 – 53036 Poggibonsi (SI)
Tel 0577935891 www.geologikatoscana.eu
Email info@geologikatoscana.eu*

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA
PER ESCLUDERE LA PRESENZA DI FENOMENI GRAVITATIVI
IN ATTO O POTENZIALI
IN PROSSIMITA' DI UN INVASO INTERRATO DA REALIZZARE
DENOMINATO "LAGO MILANO"
IN LOC. L'IMPOSTINO – VEDETTA A CASTIGLION DEL BOSCO
NEL COMUNE DI MONTALCINO (SI)



Geologo Responsabile:	Committente: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA SRL
	<p>GRUPPO DI LAVORO:</p> <p>Dott. Geol. Paolo Castellani, Dott. Geol. Stefano Nastasi, Dott. Geol. Damiano Guarguaglini, Dott. Geol. Annalisa Fontanelli, Dott. Geol. Andrea Castellani</p> <p>COLLABORATORE:</p> <p>Dott. Geol. Riccardo Cortigiani, Dott. Geol. Aurora Martini, Dott. Matteo Rumachella</p>
	Lavoro nr. 6.308

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

§ 1) PREMESSA

Su incarico e per conto della società Castiglion del Bosco Agricola SRL (Preventivo accettato dall'Amministratore Delegato Dott. Simone Pallesi in data 22.11.2022) abbiamo effettuato un'indagine geologica in un terreno di proprietà dell'azienda committente ubicato in Località L'Impostino - Vedetta a Castiglion del Bosco nel Comune di Montalcino (vedi fig. 1).

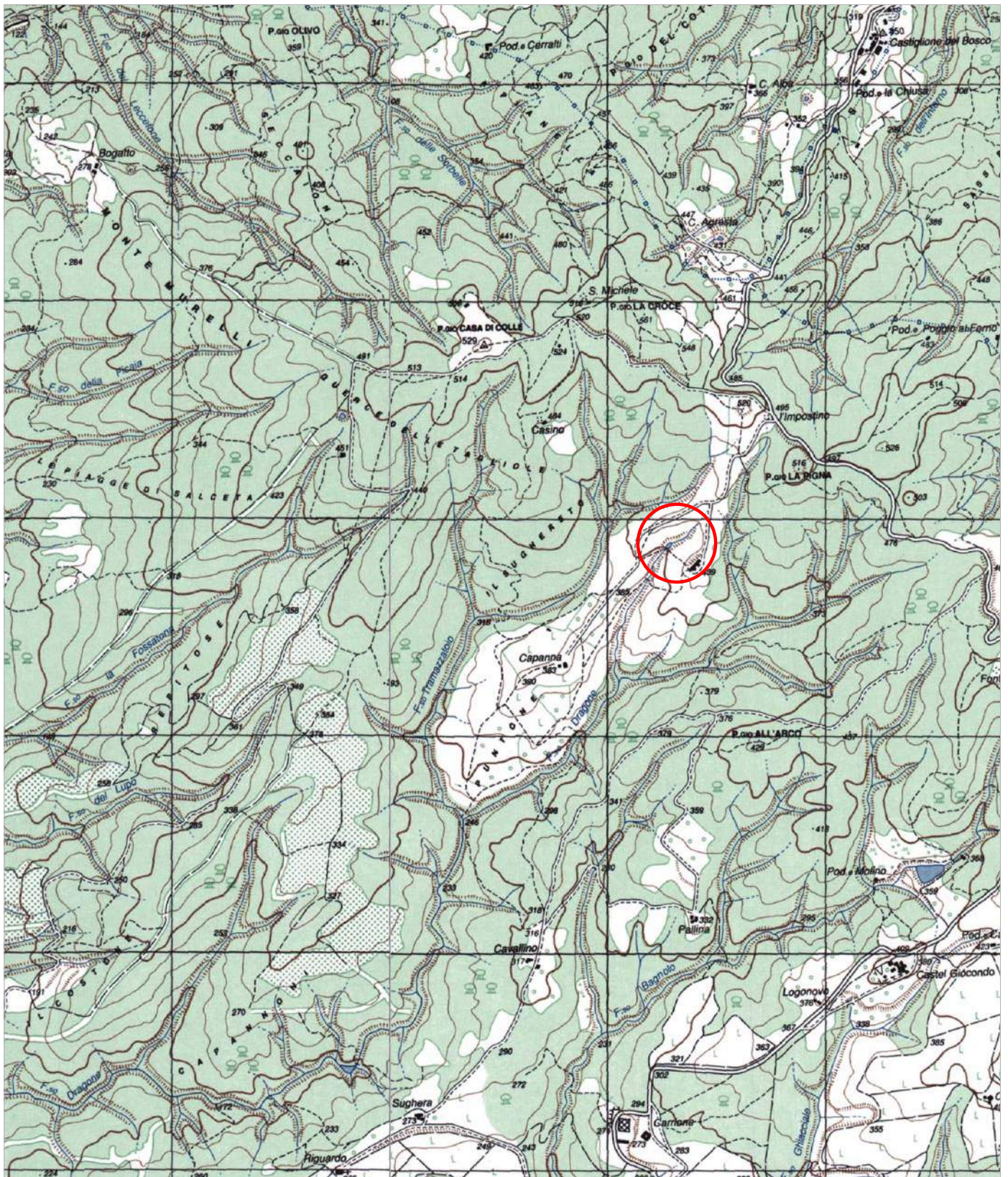
In tale area sorge un piccolo stagno originato dallo sbarramento dell'impluvio alla testata del Fosso dell'Impostino, tributario in riva destra orografica del Torrente Dragone.

Attualmente lo stagno è in gran parte interrato a seguito dell'apporto solido derivante dalle erosioni dei pendii posti a nord e nord-ovest del lago coltivati a vigneti con impianto a rittochino.

Nell'area dove è posto lo stagno e a monte di essa sarà scavato il nuovo invaso interrato e saranno realizzati lo sfioratore e il canale fuggatore.

L'area dove verrà ubicato l'invaso è classificata dallo Strumento Urbanistico vigente (P.S. del Comune di Montalcino) in **pericolosità geologica molto elevata G.4** a causa della presenza di un orlo di scarpata antropica intorno al lago e il versante sud-est prospiciente l'invaso è classificato a **pericolosità geologica elevata G.3** a causa della presenza di dissesti geomorfologici.

Anche dalle motivazioni dell'attribuzione delle classi di pericolosità si capisce che non sono presenti frane in atto e in realtà la natura lapidea del terreno esclude la presenza di qualunque fenomeno gravitativo in atto e potenziale.



Scala 1:25.000

FIG. 1
UBICAZIONE DELL'AREA



AREA IN ESAME



Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Il presente studio intende caratterizzare l'area in esame dal punto di vista geologico, strutturale, geomorfologico ed idrogeologico, nonché sismico e geotecnico, attraverso l'esecuzione di rilevamenti e sopralluoghi diretti eseguiti nel sito d'intervento; indica inoltre le indagini geognostiche e geofisiche realizzate nell'area in esame, finalizzate alla ricostruzione della stratigrafia, litologia e sismostratigrafia della zona.

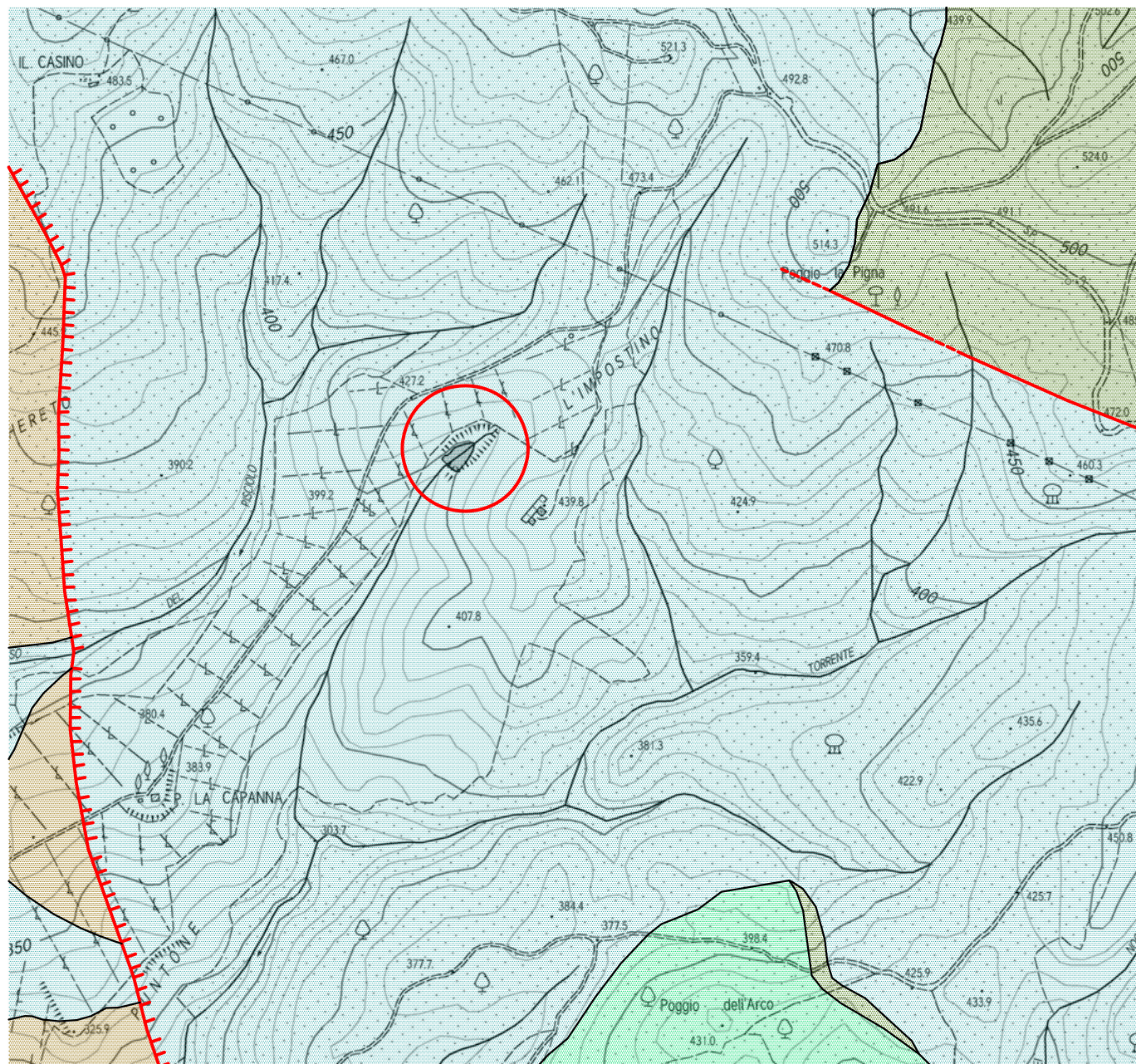
Tutto ciò è stato effettuato per dimostrare che l'area dove verrà realizzato l'invaso interrato in progetto è priva di fenomeni franosi attivi e non mostra alcun sintomo di instabilità potenziali.

§ 2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è una vastissima zona contermina ad essa (vedi fig. 2) è costituita da formazioni geologiche appartenenti al Dominio Ligure (Cretacico – Paleocene), cioè formazioni che sono sovrascorse per falde orogenetiche sui terreni della Serie Toscana.

In particolare il sito in esame è costituito dalla Formazione di Sillano, formata in prevalenza da argilliti grigio-brune e da calcari e calcilutiti.





Dai sondaggi geognostici si rileva che la componente argillitica è molto compatta e fortemente resistente ed è nettamente prevalente rispetto alla frazione calcarea.



Scala 1:10.000

FIG. 2
INQUADRAMENTO GEOLOGICO

DOMINIO LIGURE

-  Formazione di Sillano: argilliti grigio-brune e calcilutiti (Cretacico sup.-Paleocene)
-  Formazione di Sillano: calcilutiti grigie e argilliti nocciola (Cretacico sup.-Paleocene)
-  Formazione della Pietraforte: arenarie e siltiti quarzoso-feldspatiche e carbonatiche (Cretacico sup.)
-  Argille varicolori: argille varicolori con calcari (Cretacico)

 Faglia diretta

 AREA IN ESAME



Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

I calcari sono sempre presenti con livelletti di spessore per lo più decimetrico, di colore grigio scuro e talvolta con venature di calcite, intercalati a potenti spessori argillitici.

A causa della loro genesi, le giaciture della Formazione di Sillano sono sempre incerte e mai uniformi.

Nell'area rilevata sono presenti alcune linee tettoniche, di cui una faglia diretta di particolare rilevanza, che separa la Formazione di Sillano dalla Pietraforte ad ovest del Podere Capanna e che non interessa minimamente l'area d'intervento.

§ 3) GEOMORFOLOGIA

Il sito dove verrà realizzato l'invaso è ubicato in una zona di fondovalle di limitata estensione, alla sommità di un impluvio naturale, che costituisce la parte iniziale del Fosso dell'Impostino.

L'area in esame è posta ad una quota altimetrica di circa mt 400 slm.

A seguito della litologia sostanzialmente lapidea del sottosuolo la stabilità geomorfologica di tutta l'area è buona; infatti nella zona d'intervento non si rilevano fenomeni gravitativi in atto.

Sono invece presenti fenomeni erosivi, causati da ruscellamenti diffusi, concentrati soprattutto nei pendii sovrastanti l'invaso sul lato nord-occidentale del laghetto per la presenza di vigneti con impianto a rittochino e in un'area di estensione limitata nel lato meridionale.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Tuttavia lo strumento urbanistico vigente del Comune di Montalcino classifica quest'area in pericolosità geologica molto elevata (classe di pericolosità geologica G. 4), derivante esclusivamente dalla presenza di un orlo di scarpata di degradazione e da un solco di erosione concentrata (vedi l'estratto della carta geomorfologica e della carta della pericolosità geologica tratte dal P.S. vigente del Comune di Montalcino in fig. 3).

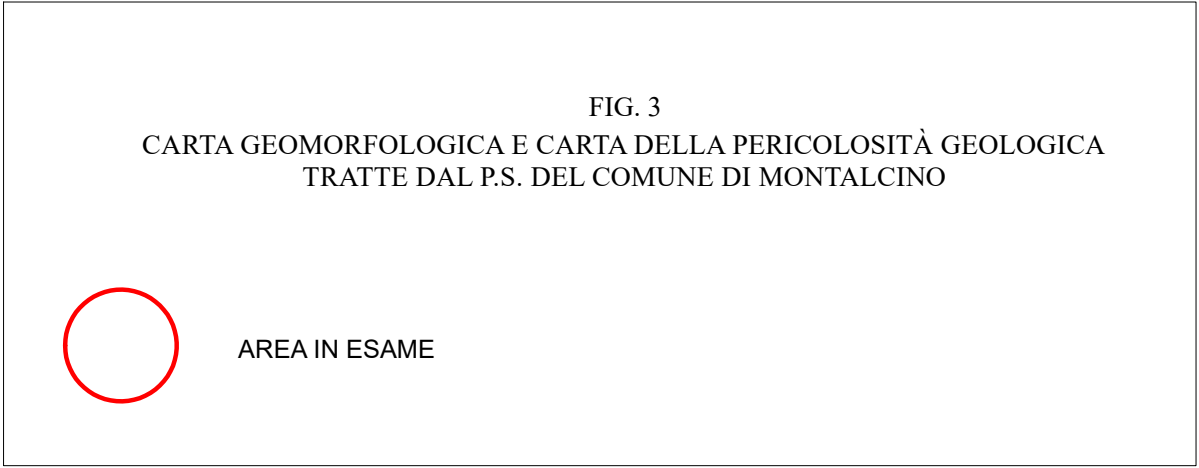
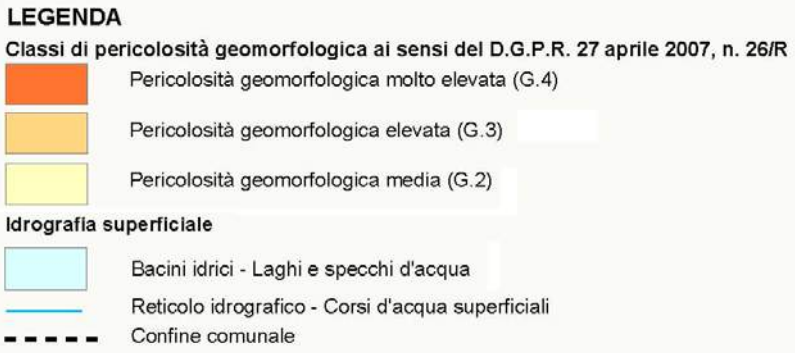
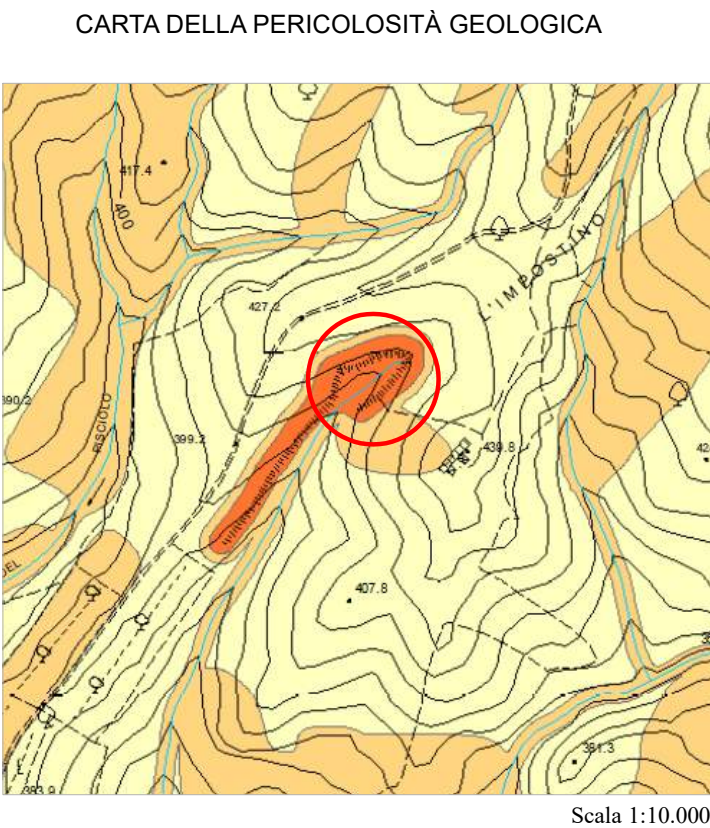
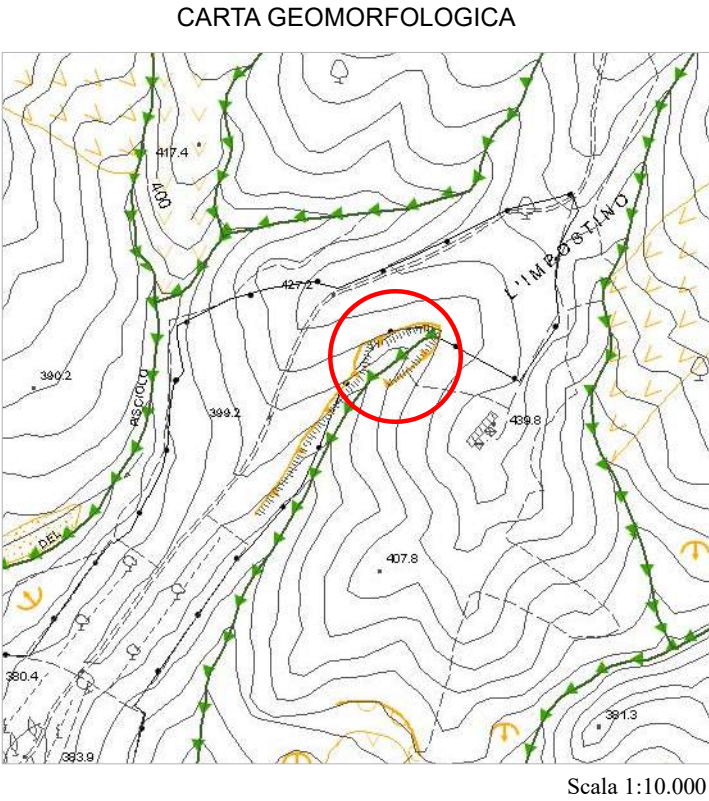
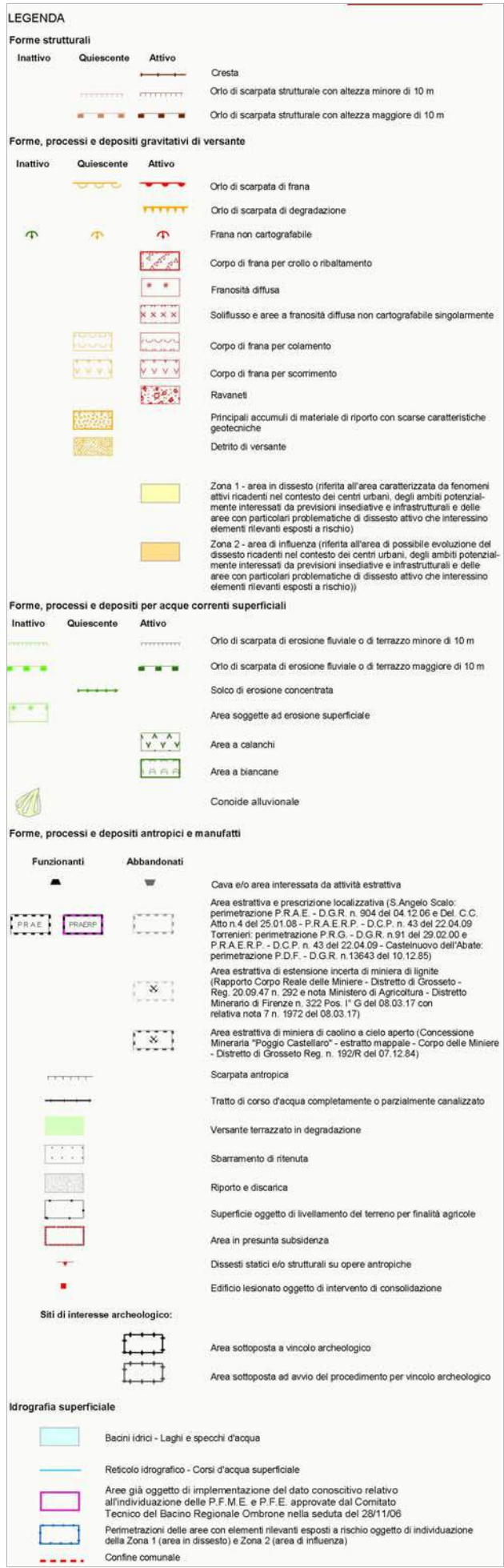
In realtà la presenza dello stagno e il progetto di realizzazione di un invaso interrato annullano completamente questi fenomeni, in quanto non è possibile l'esistenza di un orlo di scarpata e di un solco di erosione concentrata entro l'invaso stesso.

Inoltre il pendio prospiciente l'invaso lungo la sua sponda meridionale è classificato a pericolosità geologica elevata G. 3 per forte pendenza, ma riteniamo che la litologia argillitica e calcarea del versante escluda qualunque fenomeno gravitativo anche potenziale.

In ogni caso per verificare la stabilità del pendio prospiciente l'invaso in progetto abbiamo eseguito una verifica di stabilità del pendio secondo una sezione di massima pendenza (vedi § 10).

§ 4) IDROGEOLOGIA

Il terreno in esame può essere considerato come un mezzo idrogeologico sostanzialmente impermeabile o a permeabilità estremamente ridotta.



Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Infatti le acque pluviali e ruscellanti non riescono ad infiltrarsi in profondità attraverso le argilliti, anche se non si può escludere una permeabilità di tipo secondario per fessurazione attraverso le fratture e le diaclasi della roccia.

La sostanziale impermeabilità delle argilliti è confermata anche dalle prove di permeabilità Lefranc effettuate in entrambi i sondaggi geognostici eseguiti a monte dell'invaso sulla Formazione di Sillano a profondità di mt 2,00; 2,50 e 5,00 dal piano campagna.

In tutte le prove di permeabilità Lefranc il coefficiente di permeabilità risulta dell'ordine di $10^{-8}/10^{-19}$ m/sec e pertanto il terreno può essere classificato impermeabile (un terreno si considera impermeabile quando il coefficiente di permeabilità è $K > 10^{-8}$ m/sec).

A conferma di quanto detto, in entrambi i sondaggi, attrezzati con piezometro, non è stata rilevata alcuna falda per tutto il periodo di monitoraggio piezometrico (dal 26 aprile 2023 al 29 maggio 2023).

Pertanto si può escludere qualunque circolazione significativa di acqua nel sottosuolo, che potrebbe innescare instabilità geomorfologiche a monte e sui fianchi dell'invaso.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

§ 5) INDAGINE GEOGNOSTICA

Per ottenere parametri litostratigrafici e geotecnici precisi sul litotipo su cui sarà impostato l'invaso e soprattutto sul versante particolarmente acclive posto sul lato sud-orientale dell'invaso, relativamente al quale abbiamo ritenuto prudente eseguire una verifica di stabilità, abbiamo realizzato due sondaggi geognostici a carotaggio continuo della profondità di mt 20,00, entrambi attrezzati con piezometro.

In entrambi i sondaggi era previsto il prelievo di 3 campioni indisturbati di terreno, ma a causa della forte resistenza meccanica del sottosuolo e della litologia argillitica e calcarea è stato possibile il prelievo di un unico campione indisturbato nel sondaggio S2 in corrispondenza di un tratto argillitico non compatto.

L'impossibilità di prelievo di un numero significativo di campioni indisturbati ci ha indotto a sostituire i campioni con numerose prove penetrometriche in foro S.P.T. (n° 4 nel sondaggio S1 e n° 5 nel sondaggio S2).

Nella fig. 4 è riportata l'ubicazione dei sondaggi geognostici utilizzati per la verifica di stabilità del pendio.

5.1) Modalità esecutive dei sondaggi geognostici

I sondaggi sono stati eseguiti con impianto semovente a rotazione ed avanzamento a secco operante a carotaggio continuo con sistema ad aste e carotiere del diametro di mm 101 (rivestimento, quando necessario, con tubo di ferro del diametro di mm 127).

I sondaggi sono stati spinti a profondità utili agli scopi dell'indagine e precisamente entrambi a mt 20,00 rispetto al piano campagna.



Scala 1:2.000

FIG. 4
UBICAZIONE DELL'INDAGINE GEOGNOSTICA E GEOFISICA

- **S2** SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CARATOGGIO CONTINUO E RELATIVO NUMERO DI RIFERIMENTO
- MASW**
1 — 24 STENDIMENTO DI SISMICA MASW
- ESAC**
— STENDIMENTO DI GEOSISMICA ESAC
- ▲ **HVSr** MISURA DI SISMICA PASSIVA HVSr
- A** — **A'** TRACCIA DELLA SEZIONE LITOLOGICO-TECNICA DI FIG. 12
- B** — **B'** TRACCIA DELLA SEZIONE DELLA VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE DI FIG. 13
- INVASO DA RIPRISTINARE



Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Sono state allestite cassette catalogatrici in plastica contenenti ciascuna 5 metri di campionatura ordinaria; in base a tali cassette e tramite costanti osservazioni di cantiere è stata ricostruita la stratigrafia del terreno.

Inoltre nel sondaggio geognostico n° 2 è stato prelevato un campione indisturbato di terreno, sottoposto successivamente ad analisi di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica del terreno (i risultati ottenuti devono essere ritenuti estremamente prudenziali, perché riferiti alla parte meno resistente del sottosuolo).

5.2) Il Campione indisturbato di terreno

L'unico campione indisturbato che è stato possibile prelevare è stato ottenuto a mezzo di campionatore Shelby a pareti sottili con fustella del diametro di mm 88,9.

Il campione indisturbato è stato prelevato ad una quota di mt 12,00-12,40 nel S2 e non risulta molto utile per gli scopi della presente indagine.

In ogni caso il campione prelevato è stato sigillato con paraffina fusa, chiuso con appositi tappi, contrassegnato e consegnato personalmente al laboratorio per l'esecuzione delle analisi geotecniche.

5.3) Le prove S.P.T.

La Standard Penetration Test è una prova nella quale si misura il numero di colpi necessario per infiggere il campionatore standard per la profondità di 45 centimetri sul fondo del foro di sondaggio.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Le prove sono state effettuate rispettando le norme definite nei documenti "ASTM designation D 1586/67 e 84", infiggendo il campionatore a mezzo di un dispositivo a percussione del peso di Kg 63,5 che cade da un'altezza costante di cm 76.

Per tale prova esistono apposite tabelle e diagrammi che correlano i risultati della prova standard con le caratteristiche del terreno e con il carico ammissibile per fondazioni di varie dimensioni.

Di seguito riportiamo le profondità in cui sono state eseguite le S.P.T. ed i relativi valori:

Sondaggio 1

S.P.T. n° 1	mt 2,00	numero di colpi: 16 - 18 - 27
S.P.T. n° 2	mt 5,00	numero di colpi: 21 - 28 - 32
S.P.T. n° 3	mt 12,00	numero di colpi: 31 - Rif. (cm 13)
S.P.T. n° 4	mt 18,00	numero di colpi: 27 - 41 – Rif. (cm 4)

Sondaggio 2

S.P.T. n° 5	mt 2,00	numero di colpi: 16 - 24 - 32
S.P.T. n° 6	mt 4,50	numero di colpi: 21 - 27 - 36
S.P.T. n° 7	mt 7,50	numero di colpi: 32 - Rif. (cm 9)
S.P.T. n° 8	mt 10,00	numero di colpi: 27 - 33 - 42
S.P.T. n° 9	mt 15,00	numero di colpi: 22 - 28 – 36

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

5.4) Stratigrafie dei sondaggi geognostici

Le stratigrafie dei sondaggi geognostici sono rappresentate e descritte nelle figg. 5 e 6, dove è riportata la colonna stratigrafica; la simbologia e la quota di prelievo dei campioni indisturbati; la descrizione litologica; la percentuale di carotaggio; i risultati e la profondità delle prove S.P.T., la simbologia e le quote di esecuzione delle prove di permeabilità Lefranc; l'indicazione della tubazione del piezometro e le informazioni sulla falda.

Nell'allegato 1 sono riportate le foto delle cassette contenenti le carote di sondaggio.

§ 6) ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Sul campione prelevato sono state effettuate le seguenti analisi geotecniche:

- a) Prove di identificazione:** umidità, peso di volume, peso specifico e analisi granulometrica.
- b) Prove di resistenza meccanica:** identificazione dell'angolo d'attrito interno e della coesione tramite prove di taglio diretto C.D. consolidato drenato.
- c) Prove di compressione:** prove di compressione ad espansione laterale impedita (o prove edometriche).

GEOLOGICA TOSCANA

VIALE G. MARCONI, 106 - POGGIBONSI - Tel. 0577 935891

Data: 20.04.2023

COMMITTENTE: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA SRL METODO DI PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO										
SONDAGGIO N°: 1					LOCALITA': VEDETTA - CASTIGLION DEL BOSCO - MONTALCINO (SI)					
PROFON. mt	QUOTA	STRATIG.	CAMPIONE	PROF. CAMP.	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	S.P.T.	PROVE DI PERMEABILITA' LEFRANC	PIEZO METRO	Falda
1					Da mt 0,00 a mt 2,50 argilliti avana molto resistenti con inclusi calcarei decimetrici da mt 1,90 a mt 2,00.					
2							16-18-27 (2,00)	<div></div> 2,00 2,50		
3					Da mt 2,50 a mt 3,40 argilliti grigie.					
4					Da mt 3,40 a mt 3,70 calcari grigi compatti con venature di calcite.					
5							21-28-32 (5,00)	<div></div> 5,00 5,50		
6										
7					Da mt 3,70 a mt 10,60 argilliti grigie compatte con inclusioni calcaree centimetriche.					
8										
9						90%				
10										
11					Da mt 10,60 a mt 12,00 argilliti grigie intercalate a livelletti calcarei di spessore centimetrico.					
12							31-RIF (12,00)			
13										
14										
15					Da mt 12,00 a mt 19,00 argilliti grigie molto resistenti con inclusi rari elementi calcarei centimetrici.					
16										
17										
18							27-41- RIF (18,00)			
19										
20					Da mt 19,00 a mt 20,00 calcari grigi intercalati ad argilliti.					
▼ Campione indisturbato										
A S S E N T E										

A S S E N T E

FIG. 5

GEOLOGICA TOSCANA

VIALE G. MARCONI, 106 - POGGIBONSI - Tel. 0577 935891

Data: 26.04.2023

COMMITTENTE: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA SRL METODO DI PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO

SONDAGGIO N°: 2

LOCALITA': VEDETTA - CASTIGLION DEL BOSCO - MONTALCINO (SI)

PROFON. mt	QUOTA	STRATIG.	CAMPIONE	PROF. CAMP.	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	S.P.T.	PROVE DI PERMEABILITA' LEFRANC	PIEZO METRO	Falda
1					Da mt 0,00 a mt 0,80 terreno di riporto e suolo argillitico.					
2					Da mt 0,80 a mt 1,50 argilliti compatte avana.		16-24-32 (2,00)	2,50 3,00		
3					Da mt 1,50 a mt 1,80 livello calcareo grigio scuro compatto con venature di calcite.					
4					Da mt 1,80 a mt 5,20 argilliti compatte grigie con rari inclusi calcarei.		21-27-36 (4,50)	5,00 5,50		
5										
6					Da mt 5,20 a mt 7,80 calcari grigi compatti intercalati a livelli prevalentemente argilliti tra mt 6,00 a mt 7,20		32 - RIF (7,50)			
7						90%				
8										
9					Da mt 7,80 a mt 15,00 argilliti avana, a tratti molto compatti e resistenti e a tratti meno compatte, come tra mt 11,00 e mt 12,60		27-33-42 (10,00)			
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17					Da mt 15,00 a mt 20,00 argilliti grigie compatte con inclusi elementi calcarei centimetrici		22-28-36 (15,00)			
18										
19										
20										

C1S2
12,00
12,40

▼ Campione indisturbato

A S S E N T E

FIG. 6

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

6.1) Modalità esecutive

L'umidità naturale espressa in percentuale (W%), ovvero il contenuto d'acqua riferito al peso secco del campione, è stata determinata per doppia pesata con essiccamento in stufa a 110° centigradi.

Il peso di volume o densità umida è stato determinato per spostamento di mercurio.

La composizione granulometrica è stata determinata per setacciatura ad umido per la frazione avente dimensioni maggiori di 74 micron e con sedimentazione con il metodo della pipetta per la frazione inferiore.

I risultati sono rappresentati in un diagramma avente in ascisse (scala logaritmica) il diametro dei granuli e in ordinate (scala aritmetica) i passanti percentuali.

L'angolo d'attrito interno (ϕ') e la coesione (c') sono stati determinati tramite prove di taglio diretto consolidato drenato, mediante scatola di Casagrande a sezione circolare su provini cilindrici del diametro di mm 6 con carichi assiali di 1 - 2 - 3 Kg/cmq.

Le caratteristiche di compressibilità sono state ricavate mediante la prova di compressione ad espansione laterale impedita (prova edometrica) su provini opportunamente dimensionati.

I risultati sono rappresentati su appositi diagrammi aventi in ordinate (scala aritmetica) i valori dell'indice dei vuoti e in ascisse (scala logaritmica) le pressioni, per poi ricavare il modulo edometrico.

Nell'allegato 2 sono riportati i certificati delle analisi di laboratorio.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

6.2) Esame dei risultati

L'unico campione che siamo riusciti a prelevare risulta scarsamente significativo, sia perché non è tipico della litologia presente (argilliti e calcari), sia per la profondità di prelievo (mt 12,00 – 12,40) che non incide in modo significativo sulla stabilità del pendio.

In ogni caso fornisce alcune indicazioni per quanto riguarda esclusivamente la frazione non argillitica e calcarea del sottosuolo.

Dalla prova di taglio, mediata con i risultati delle numerose prove S.P.T., abbiamo ricavato i parametri medi che abbiamo utilizzato per la verifica di stabilità (vedi § 10).

§ 7) INDAGINE GEOSISMICA

Per ottenere la Vs equivalente del sottosuolo e nel tentativo di individuare il substrato sismico ai fini della verifica di stabilità allo stato sismico abbiamo effettuato una prova MASW – ESAC, abbinata a una prova HVSR.

Per l'ubicazione delle indagini geofisiche, cioè gli stendimenti MASW e ESAC e la prova HVSR, vedi la fig. 4.

7.1) L'indagine sismica congiunta MASW-ESAC e le misure H/V

Questo tipo di indagine è stata eseguita con lo scopo di ottenere la Vs equivalente del sottosuolo e nel tentativo di raggiungere il sub-strato sismico.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

7.1.1 Strumentazione per sismica MASW

Le misure MASW sono state effettuate con sismografo *PASI MOD. GEA 24 - S.N. 21511* corredato da 12 geofoni a 4.5 Hz.

I profili sismici sono stati eseguiti energizzando artificialmente il terreno e registrando le vibrazioni prodotte mediante captatori, denominati geofoni, collegati ad un ricevitore (sismografo) attraverso un cavo multipolare.

I 12 geofoni, con frequenza minima di soglia di 4,5 Hz, sono stati posizionati ad una distanza definita l'uno dall'altro così da coprire una distanza orizzontale predeterminata.

L'energizzazione è avvenuta battendo una mazza da 11 Kg su una piastra in alluminio; al momento della battuta vengono generate artificialmente onde sismiche nel terreno ed ha inizio la registrazione (trigger) con campionamento costante e predeterminato del segnale da parte dei geofoni.

Per ogni scoppio abbiamo utilizzato la metodologia dello stacking che consiste nel ripetere più volte le misurazioni al fine di amplificare l'ampiezza del segnale sismico ed ottenere quindi sismogrammi di più facile lettura.

Eseguita la prima acquisizione è stato allontanato il punto di scoppio pari alla metà della distanza tra il primo scoppio e il primo geofono e ripetute le operazioni di registrazione.

Questa operazione permette di avere sismogrammi a 24 tracce con soli 12 geofoni.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

7.1.2 Metodo ESAC

Si tratta di una procedura sperimentale per la determinazione del profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo a partire da misure di vibrazioni ambientali condotte con geofoni verticali posizionati con una geometria conosciuta (antenna sismica o seismic array).

In particolare, la procedura è finalizzata alla determinazione delle velocità di propagazione delle onde superficiali presenti nel campo delle vibrazioni ambientali alle varie frequenze di vibrazione (“spettro di velocità”).

Questa informazione verrà poi utilizzata all’interno di una procedura di inversione per dedurre il profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo.

Il metodo ESAC (Extended Spectral AutoCorrelation method) è frutto di una idea sviluppata inizialmente da Aki (1957).

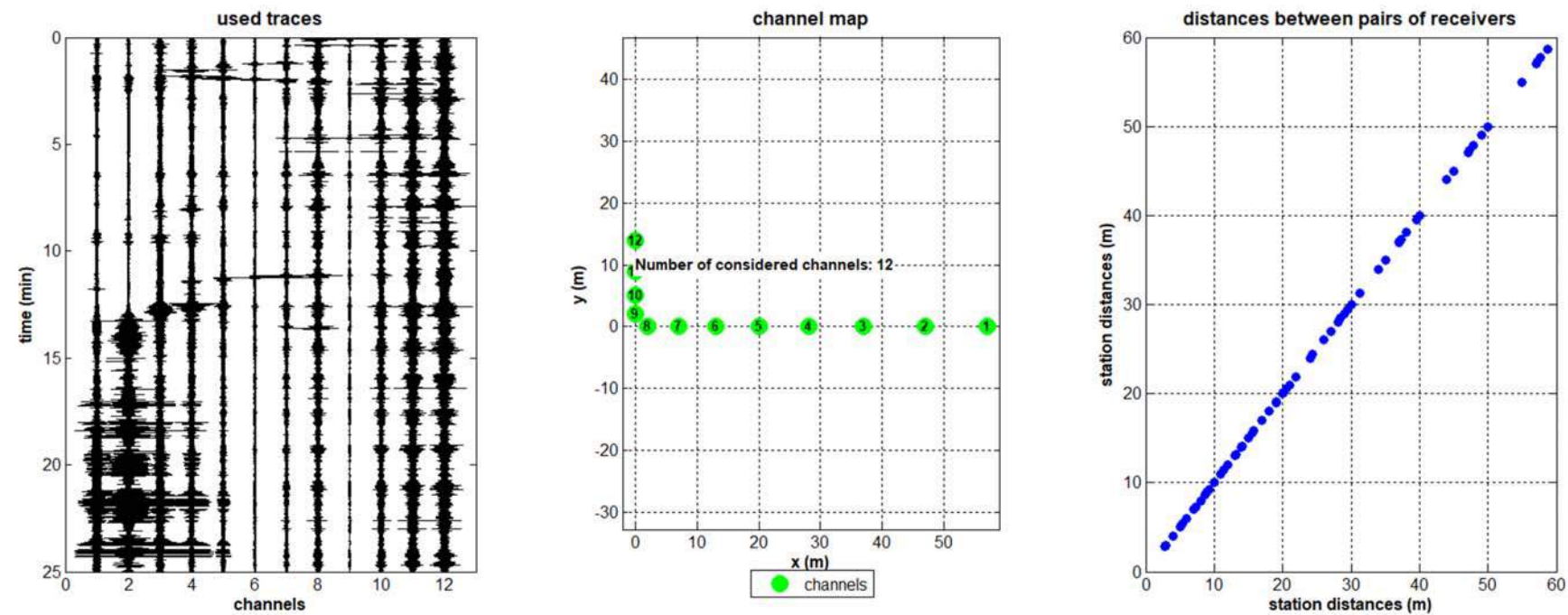
7.1.3 Strumentazione per sismica ESAC

I dati sono stati acquisiti con sismografo *PASI MOD. GEA 24 - S.N. 21511* corredato da 12 geofoni a 4.5 Hz disposti ad L (misure mt 57 e mt 14), con lunghezza di acquisizione poco superiore ai venticinque minuti.

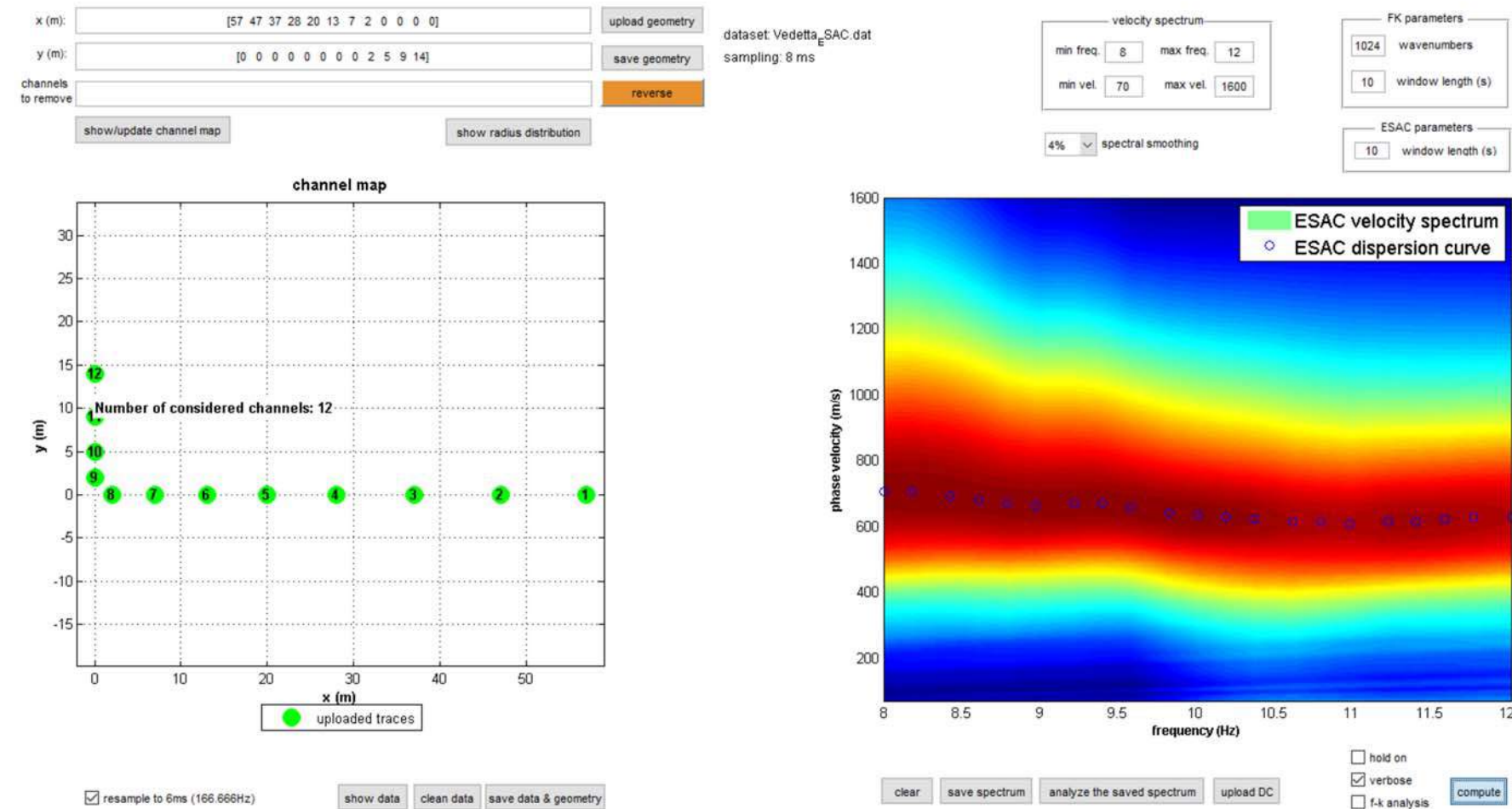
Le distanze tra i vari geofoni sono state scelte in modo di avere la massima correlazione tra le varie coppie di geofoni e per essere sicuri di avere la massima penetrazione possibile.

Nelle figg. 7, 8 e 9 sono riportate le risultanze dell’indagine congiunta MASW-ESAC.

ACQUISIZIONE ESAC



SPETTRO DI VELOCITA' ESAC E CURVA DI DISPERSIONE EFFETTIVA



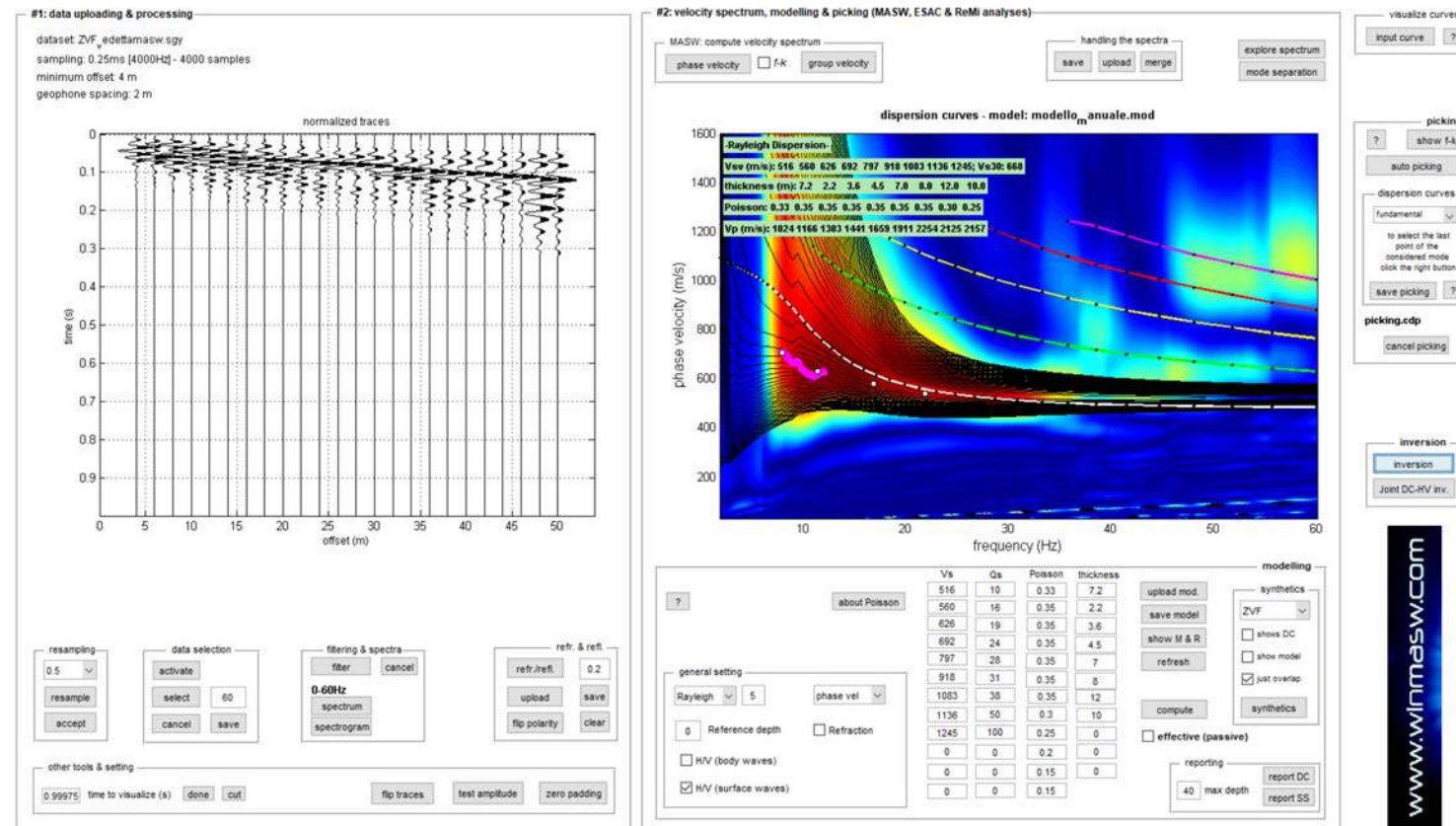
Stendimento ESAC



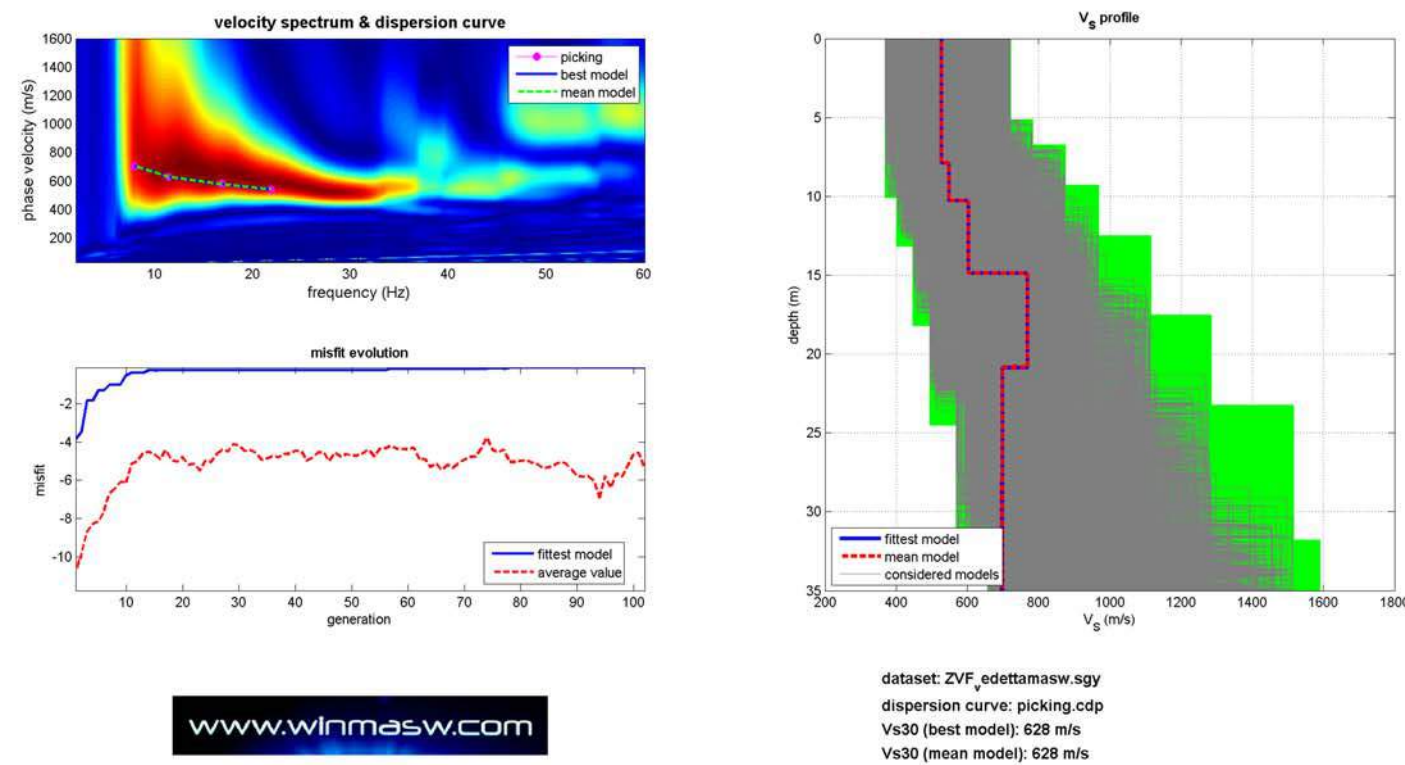
FIG. 7
RISULTANZE DELL'ANALISI SISMICA CONGIUNTA MASW - ESAC

SPETTRO DI VELOCITA' MASW + CURVA DI DISPERSIONE EFFETTIVA ESAC

Stendimento MASW



INVERSIONE CONGIUNTA MASW – ESAC E PROFILO DI VELOCITA'



INTERPRETAZIONE CONGIUNTA MASW – HVSR

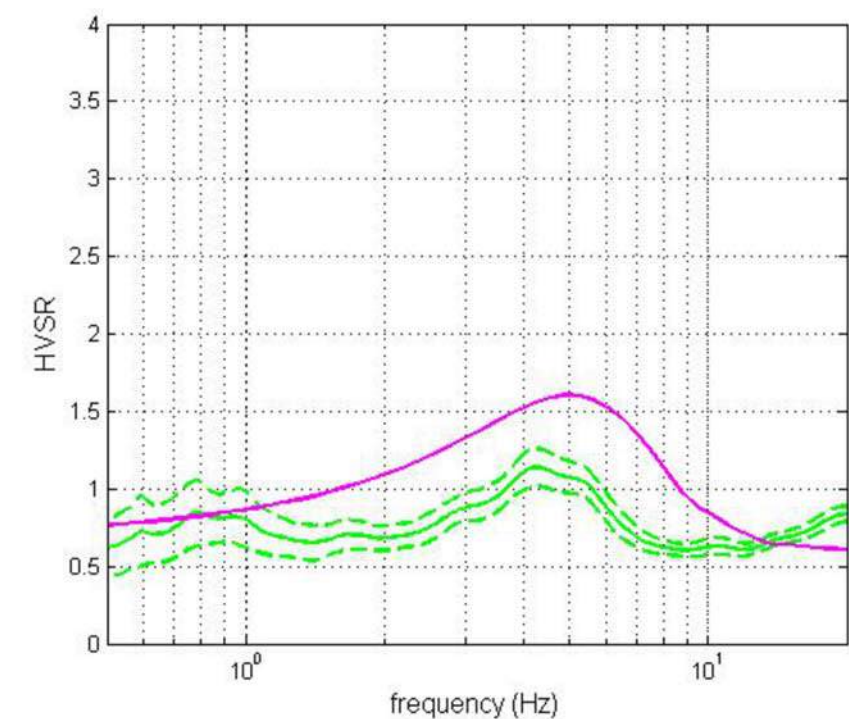
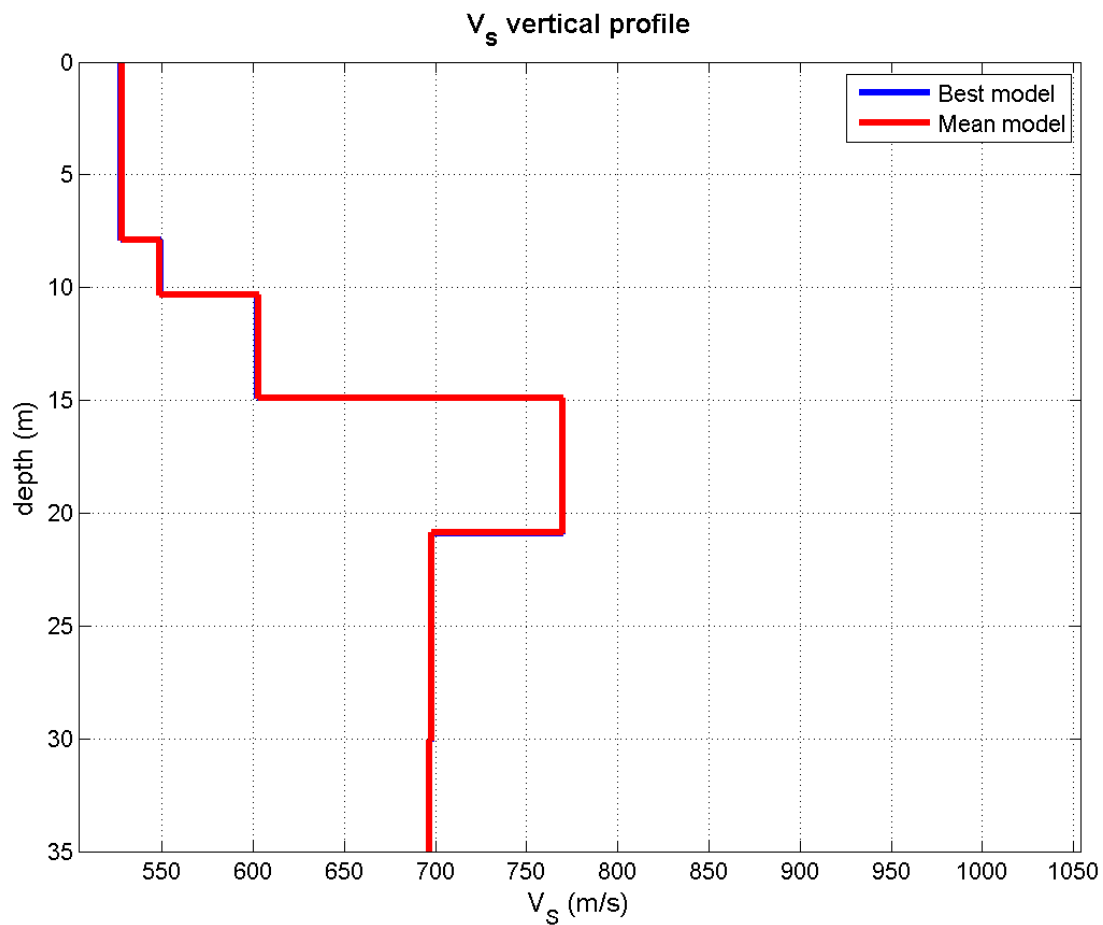


FIG. 8
RISULTANZE DELL'ANALISI SISMICA CONGIUNTA MASW - ESAC

PROFILO DI VELOCITA' MASW - ESAC



Vs (m/s):528, 549, 603, 770, 698, 697

Thickness (m):7.9, 2.4, 4.6, 6.0, 9.2, 10.7

Standard deviations (m/s):0.0, 0.0, 0.0, 0.2, 0.0, 0.0

Density (gr/cm3) (approximate values):2.07, 2.04, 2.10, 2.19, 2.21, 2.16

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values):578, 616, 762, 1297, 1077, 1047

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s):1088, 956, 1190, 1729, 1901, 1518

Poisson:0.35, 0.25, 0.33, 0.38, 0.42, 0.37

Vs30 (m/s): 628

Fig. 9

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Essa non ha consentito di individuare il sub-strato sismico entro la massima profondità raggiunta di mt 35 (vedi fig. 9), ci ha tuttavia permesso di avere informazioni fino a notevoli profondità, evidenziando un litotipo con comportamento molto prossimo ad una roccia lapidea (V_s prossima o superiore a 700 m/s).

7.1.4 La misura HVSR

Il metodo dei rapporti spettrali H/V (rapporto fra gli spettri di ampiezza delle componenti orizzontali rispetto a quelle verticali del moto del suolo) o metodo di Nakamura (Nakamura, 1989) è stato utilizzato per stimare le frequenze di risonanza del sito in esame.

Esso è stato applicato in diversi campi d'indagine, quali la zonazione sismica in aree urbane (Lachet et al., 1996), lo studio dei bacini sedimentari (Al Yuncha & Luzon, 2000) e lo studio delle frequenze di risonanza delle strutture abitative (Mucciarelli & Monachesi, 1998; Mucciarelli et al., 2001; Nakamura et al., 2000).

L'ampio uso di tale metodologia ha evidenziato nelle diverse applicazioni numerosi punti di dibattito nell'ambito della comunità scientifica.

L'aspetto comune che può essere dedotto dai lavori presenti in letteratura è che la tecnica di Nakamura è in grado di stimare la frequenza di risonanza del sito in esame, ma non è affidabile per la stima assoluta dell'amplificazione del moto del suolo (Mucciarelli et al., 2001).

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

I dati sono stati acquisiti tramite un geofono tridimensionale a 4,5 Hz scegliendo 1 postazione di misura sulla sommità collinare e misurando i microtremori per un tempo di circa 20 minuti.

Dopo aver posizionato il geofono tridimensionale in piano e allineato i suoi assi orizzontali con le direzioni nord - sud e est - ovest, abbiamo scelto una frequenza di campionamento di 300 Hz.

La durata della registrazione è stata di circa 20 minuti, acquisendo così 360.000 campioni per ciascuna prova.

I sismogrammi ottenuti sono stati opportunamente elaborati con il software WinMasw Academy 7.0 distribuito dalla ditta Eliosoft.

In particolare, dopo una visione generale delle registrazioni, sono state scelte le finestre temporali sulle quali eseguire i rapporti H/V.

E' stato scelto di usare finestre temporali fisse con t di 20 secondi, dopo aver rimosso i possibili rumori antropici locali in modo da captare frequenze di risonanza minime dell'ordine di 0,125 Hz (se esistenti).

Inoltre il software è stato settato in modo da evitare fenomeni di triggering sul dato di campagna e ottenere uno smoothing triangolare al 10% dei risultati finali.

L'elaborazione è riportata nelle figure 10 e 11.

Dalla fig. 11 si nota che non esistono picchi stratigrafici significativi.

HVSR

DATE 15.05.2023		HOUR 11:49		PLACE Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)																																				
OPERATOR Geologica Toscana snc			GPS TYPE and #																																					
Monte Mario Italy 1 EPSG: 3003 LATITUDE 4770613		Monte Mario Italy 1 EPSG: 3003 LONGITUDE 1696372		ALTITUDE 440 m slm																																				
STATION TYPE GPA Engeneering		SENSOR TYPE 3D - 4,5 Hz																																						
STATION #		SENSOR #		DISK #																																				
FILE NAME Vedetta_HVSR.saf				POINT #																																				
GAIN		SAMPL. FREQ 300 Hz		REC. DURATION 20 min minutes seconds																																				
WEATHER		WIND <input checked="" type="radio"/> none <input type="radio"/> weak (5m/s) <input type="radio"/> medium <input type="radio"/> strong Measurement (if any):																																						
CONDITIONS		RAIN <input checked="" type="radio"/> none <input type="radio"/> weak <input type="radio"/> medium <input type="radio"/> strong Measurement (if any):																																						
Temperature (approx): 15		Remarks																																						
GROUND		<input type="radio"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="radio"/> gravel <input type="radio"/> sand <input type="radio"/> rock <input type="radio"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)																																						
TYPE		<input type="radio"/> asphalt <input checked="" type="radio"/> cement <input type="radio"/> concrete <input type="radio"/> paved <input type="radio"/> other																																						
		<input checked="" type="radio"/> dry soil <input type="radio"/> wet soil Remarks																																						
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes, type																																								
BUILDING DENSITY <input type="radio"/> none <input checked="" type="radio"/> scattered <input type="radio"/> dense <input type="radio"/> other, type																																								
TRANSIENTS		MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...)																																						
		<input checked="" type="radio"/> no <input type="radio"/> yes, type																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>none</th> <th>few</th> <th>moderate</th> <th>many</th> <th>very dense</th> <th>distance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cars</td> <td><input checked="" type="radio"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>trucks</td> <td><input checked="" type="radio"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>pedestrians</td> <td><input checked="" type="radio"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>other</td> <td><input checked="" type="radio"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			none	few	moderate	many	very dense	distance	cars	<input checked="" type="radio"/>						trucks	<input checked="" type="radio"/>						pedestrians	<input checked="" type="radio"/>						other	<input checked="" type="radio"/>						NEARBY STRUCTURES (description, height, distance) (trees, polls, buildings, bridges, underground structures...) Buildings			
	none	few	moderate	many	very dense	distance																																		
cars	<input checked="" type="radio"/>																																							
trucks	<input checked="" type="radio"/>																																							
pedestrians	<input checked="" type="radio"/>																																							
other	<input checked="" type="radio"/>																																							
OBSERVATIONS				FREQUENCY: (if computed in the field) Hz																																				

**Qualità della misura:****MISURA TIPO A2****HVSR**Peak HVSR value: 1.1 (± 0.1)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [$f_0 > 10/Lw$]: 4.254 > 0.5 (OK)
- #2. [$nc > 200$]: 14890 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 1.2Hz (OK)
- #2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 1.1 < 2 (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: 1.804 > 0.213 (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.121 < 1.58 (OK)

FIG. 10

show data reset show location field notes

step#1 (optional) - decimate
64Hz new frequency resample

step#2 - H/V computation
remove events (both Rad. & Tr.) clean axes
20 window length (s) Min. freq.: 0.25Hz
8 tapering (%)
15 outlier tolerance threshold
15% spectral smoothing (triangular window)
☐ show particle motion and all HVSRS
☒ full output compute

step#3 - directivity analysis
frequencies to highlight: 0.5 2.0 5.0 10.0 Hz compute

3D motion
☐ save video show 3D motion

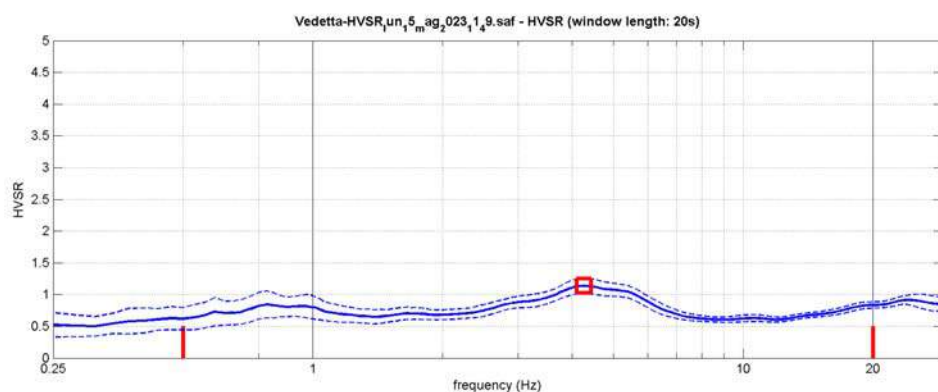
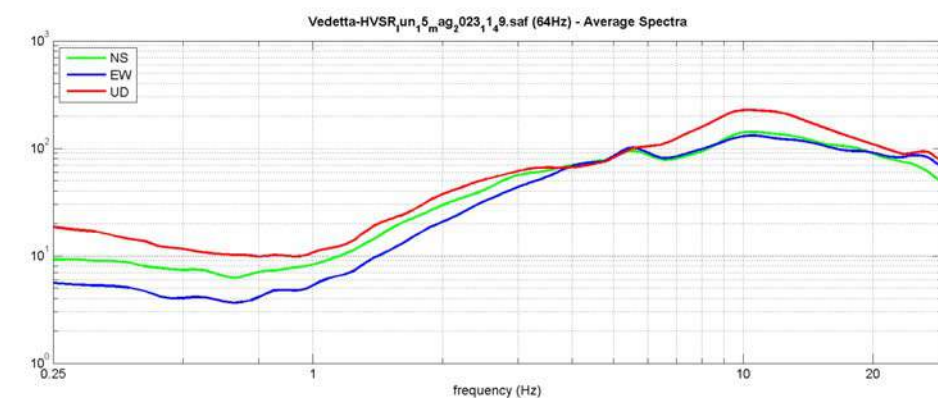
save - option#1: save HVSRS as it is
save H/V from 0.25 to 30 Hz
save H/V curve (as it is)

save - option#2: picking H/V curve
pick H/V curve save picked H/V

quick analysis (f-Vs/#)
200 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)
20 depth of the bedrock (m)
1000 Vs of the bedrock
clean compute

highlight a frequency
draw highlight 10 Hz

directivity over time
time step: 60 s



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the H/V curve, go to the "Velocity Spectrum/Modeling & Picking" panels and upload the saved H/V curve

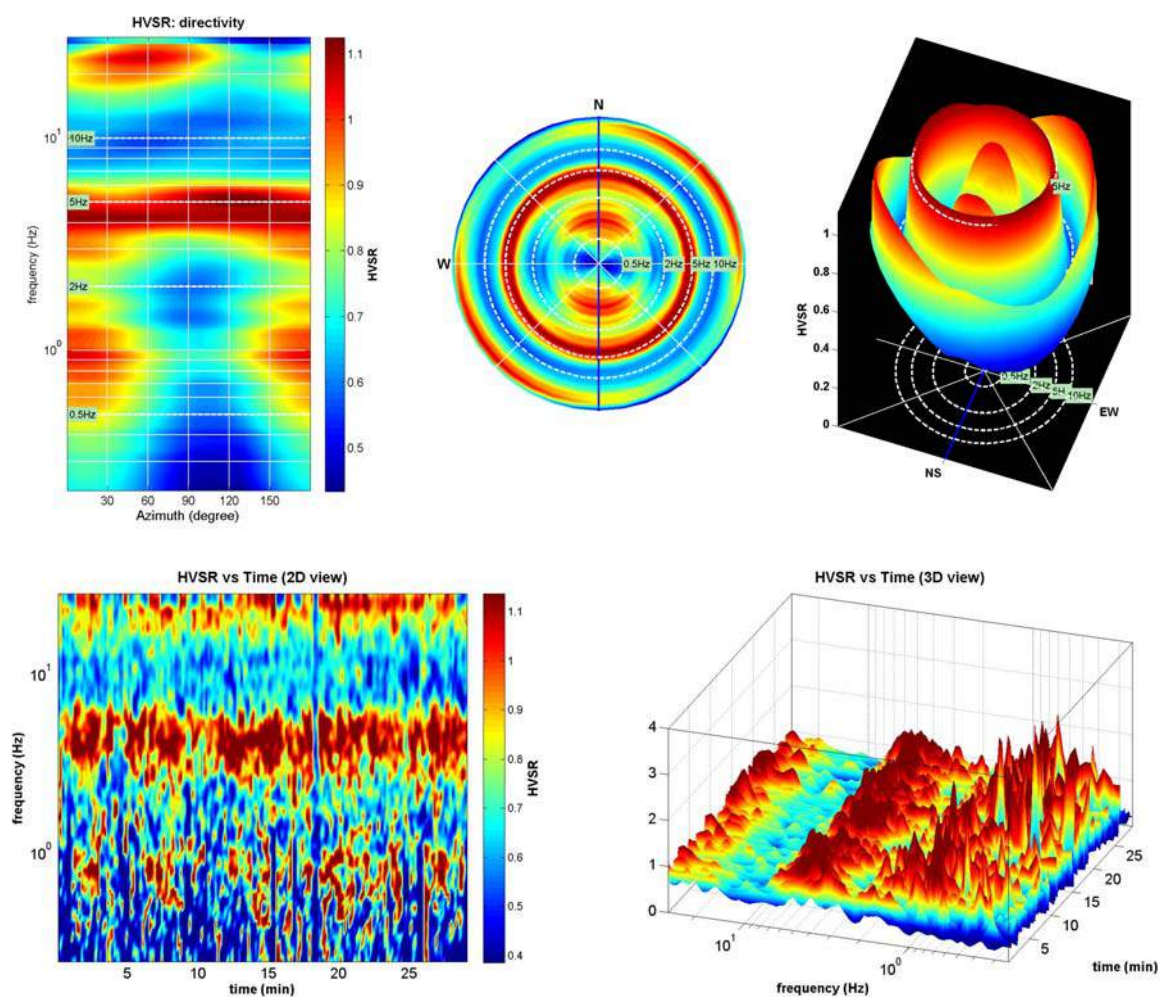


FIG. 11

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

MODELLAZIONE SISMICA

§ 8) AZIONE SISMICA: ACCELERAZIONI DI PROGETTO E CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Ai sensi del D.M. 17/01/18, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito d’intervento.

La “pericolosità sismica di base” costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Essa è definita in termini di accelerazione massima attesa “**ag**” in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , come definite nel § 3.2.1 delle NTC, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4 delle NTC.

In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione orizzontale massima al sito;

F₀ = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Come indicato nell'allegato A del D.M. 14/01/08, i valori dei parametri (ag , F_0 , e T^*_c) propri del sito in esame sono ottenibili tramite una media pesata di 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono l'area.

Vita Nominale	$VN \geq 50$ anni
Classe d'uso	I (presenza occasionale di persone, edifici agricoli...) → $cu = 0,7$

Nel caso specifico, attribuendo all'intervento in esame una vita nominale $VN = 50$ anni ed attribuendo una Classe d'uso I (presenza occasionale di persone, edifici agricoli...), si ottiene il seguente valore di riferimento VR per l'azione sismica:

$$VR = VN \cdot CU = 50 \cdot 0,7 = 35 \text{ anni}$$

La categoria del suolo di fondazione è stata desunta dalle misure sismiche sopra esposte: da esse risulta un V_{s30} di **628 m/sec** e pertanto il terreno viene classificato come **un suolo di CATEGORIA B** (Tabella 3.2.II delle NTC) corrispondente a **"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"**.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, come nel caso in esame, la velocità equivalente delle onde di taglio V_s eq è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H = 30$ metri.

Con l'ausilio del software *Geostru PS - Parametri sismici* è stata effettuata per il sito d'intervento la seguente caratterizzazione:

Coordinate sito d'intervento:

latitudine: 43,0639

longitudine: 11,4113

Classe d'uso: I

Vita nominale: 50

Nodi griglia di riferimento (Tabella 1 in Allegato B – D.M. 14/01/08):

Sito 1 ID: 23168	Lat: 43,0655	Lon: 11,3684	Distanza: 3488,320
Sito 2 ID: 23169	Lat: 43,0667	Lon: 11,4368	Distanza: 2093,3851
Sito 3 ID: 23391	Lat: 43,0167	Lon: 11,4385	Distanza: 5695,633
Sito 4 ID: 23390	Lat: 43,0155	Lon: 11,3701	Distanza: 6343,710

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 35 anni

Coefficiente c_u : 0,7

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,048 g
Fo: 2,489
Tc*: 0,244 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 35 [anni]
ag: 0,051 g
Fo: 2,501
Tc*: 0,246 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 332 [anni]
ag: 0,124 g
Fo: 2,498
Tc*: 0,274 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 682 [anni]
ag: 0,157 g
Fo: 2,515
Tc*: 0,281 [s]

COEFFICIENTI SISMICI

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,460
St: 1,200
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,679
Beta: 0,200

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,460
St:	1,200
Kh:	0,015
Kv:	0,007
Amax:	0,724
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,200
Kh:	0,043
Kv:	0,021
Amax:	1,755
Beta:	0,240

SLC:

Ss:	1,200
Cc:	1,420
St:	1,200
Kh:	0,054
Kv:	0,027
Amax:	2,220
Beta:	0,240

MODELLAZIONE GEOTECNICA

§ 9) ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE E RELATIVO MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla scorta dei rilevamenti e delle indagini svolte abbiamo ricostruito l'assetto
litostратigrafico del pendio sovrastante l'invaso Milano.

Tutto il versante e l'area contermina presenta una sostanziale omogeneità
litologica sia in senso orizzontale che verticale.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Infatti l'area in esame è costituita da argilliti e calcari della Formazione di Sillano in genere molto compatte o in forma lapidea, presenti fino ad oltre 20 metri di profondità.

La sezione geo-litotecnica della fig. 12 riporta la ricostruzione stratigrafica del terreno costituente i pendii prospicienti l'invaso e dell'area su cui insiste l'invaso stesso.

Le caratteristiche geotecniche* del pendio sovrastante l'invaso e dell'area su cui insisterà l'invaso stesso possono essere così riassunte (sono indicati i parametri caratteristici ottenuti dalle prove più significative per il litotipo presente):

**I parametri geotecnici sono stati ottenuti in parte dalle analisi di laboratorio dell'unico campione prelevato e in gran parte dai risultati delle prove S.P.T.*

ARGILLITI COMPATTE CON INTERCALATI LIVELLETTI CALCAREI DISCONTINUI

(presenti da circa mt 0,20 fino ad oltre mt 20,00 dal piano campagna)

- peso di volume $\gamma = 20,2 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito interno (in termini di tensioni efficaci) $\phi' = 40^\circ$
- coesione (in termini di tensioni efficaci) $c' = 9,8 \text{ kPa}$

Le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche della zona sono incompatibili con fenomeni di liquefazione in caso di sisma per l'assenza di sabbie sciolte sature nei primi metri di sottosuolo.

SEZIONE A-A'
Scala 1:1.000

STATO DI PROGETTO

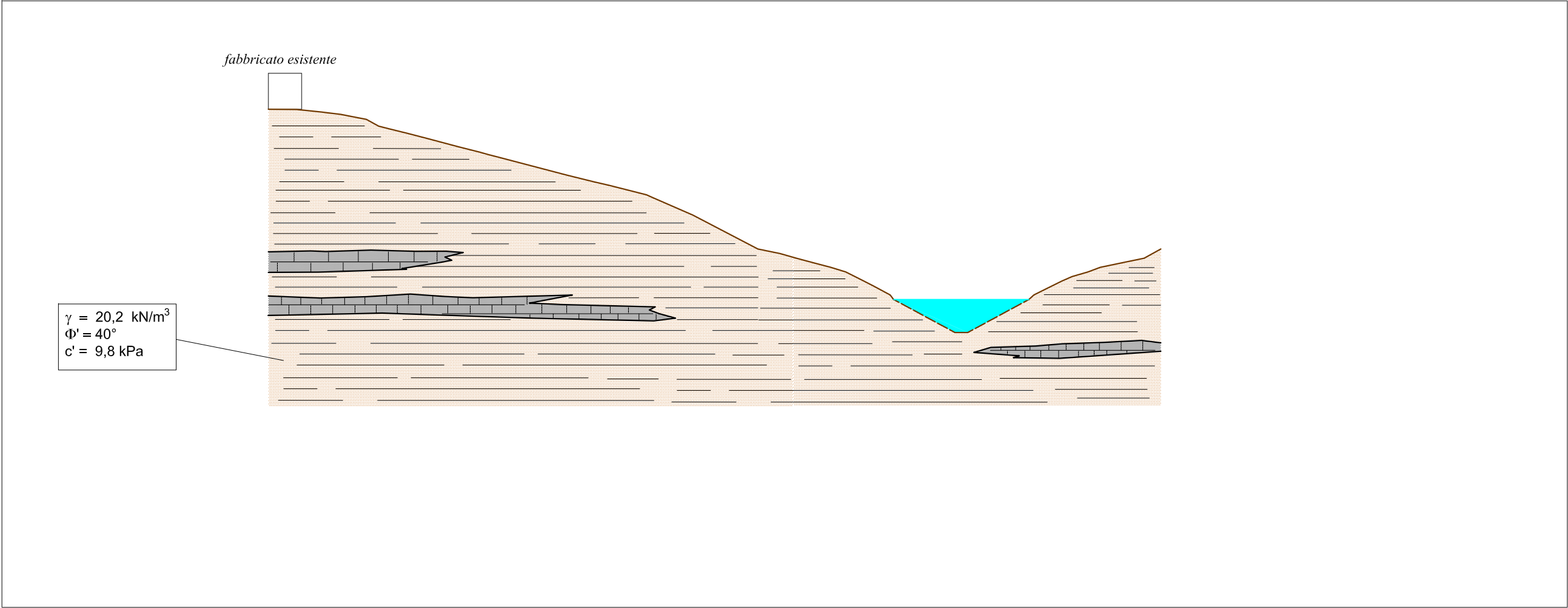
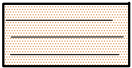
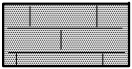


FIG. 12
SEZIONE GEO-LITOTECNICA



ARGILLITI COMPATTE GRIGIE O AVANA CON RARI INCLUSI CALCAREI O CALCILUTITICI



CALCARI GRIGIO-SCURI COMPATTI, TALVOLTA CON VENTURE DI CALCITE

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

§ 10) STABILITA' DEL PENDIO SOVRASTANTE L'INVASO E DEI FIANCHI DELL'INVASO STESSO

10.1) Stabilità generale dell'area e dei fianchi dell'invaso

La litologia di tutta l'area d'intervento, quindi sia dell'impluvio dove sarà realizzato l'invaso Milano che del pendio prospiciente ad esso, è sostanzialmente lapidea o comunque molto compatta, in conseguenza di un terreno argillitico con intercalazioni calcaree discontinue, come si può chiaramente vedere anche dalle foto delle cassette dei sondaggi nell'allegato 1 e dalla documentazione fotografica dell'area nell'allegato 3.

Tutti i pendii prospicienti l'invaso mostrano ottima stabilità geomorfologica, anche nelle zone a più elevata pendenza, in virtù della litologia lapidea o molto compatta del terreno.

Nella documentazione fotografica riportata nell'allegato 3 si può osservare molto chiaramente l'ottima situazione di stabilità delle sponde dell'invaso e dei pendii prospicienti ad esso.

Tuttavia l'elevata pendenza del versante sud-orientale sovrastante l'invaso e la presenza di una pericolosità geologica elevata G. 3 (vedi l'estratto della carta della pericolosità geologica tratta dal P.S. vigente del Comune di Montalcino in fig. 3) ci ha indotto ad eseguire una verifica di stabilità del pendio secondo una sezione topografica lungo la massima pendenza del versante.

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

10.2) Verifica di stabilità del pendio in condizione statica e sismica allo stato attuale e modificato

I parametri geotecnici utilizzati sono quelli riportati nel § 9 e graficamente nella sezione geo-litotecnica di fig. 12.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate con il metodo di Janbu, che riteniamo il più attendibile per le instabilità di versante.

Nella fig. 13 sono riportate le superfici di più probabile scivolamento con il corrispondente coefficiente di sicurezza minimo.

E' stata eseguita una verifica di stabilità sia in condizione statica che in condizione sismica e da esse si può vedere ovviamente che il coefficiente di stabilità risulta più elevato in condizione statica che in condizione sismica e che comunque è sempre abbondantemente superiore ai coefficienti minimi ammissibili di 1,3 in condizione statica e di 1,1 in condizione sismica.

Infatti allo stato attuale il coefficiente di sicurezza minimo $F_s = 1,71$ in condizione statica e $F_s = 1,38$ in condizione sismica dimostra la buona stabilità di tutto il pendio, in virtù di una litologia sostanzialmente lapidea o comunque molto compatta, nonostante l'elevata pendenza.

Allo stato modificato, cioè con lo scavo dell'invaso interrato e con l'acqua al livello dello sfioratore in progetto, i coefficienti di sicurezza minimi praticamente non cambiano, essendo di $F_s = 1,70$ in condizione statica e $F_s = 1,36$ in condizione sismica.

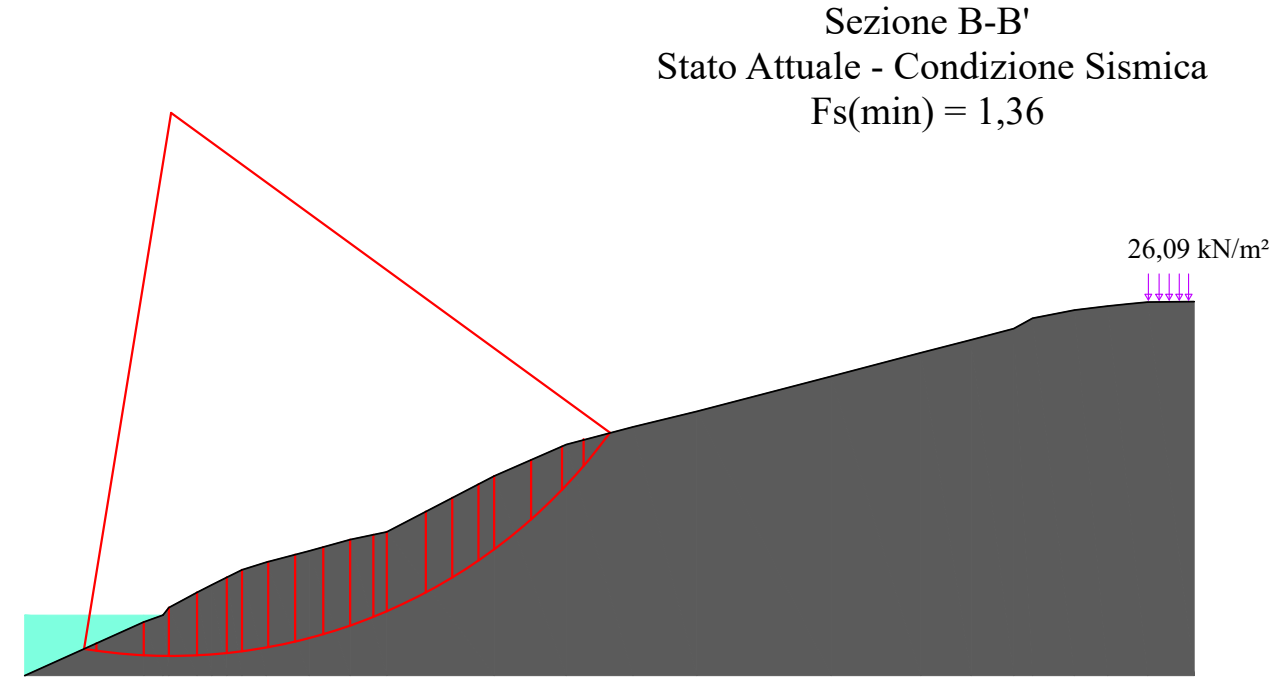
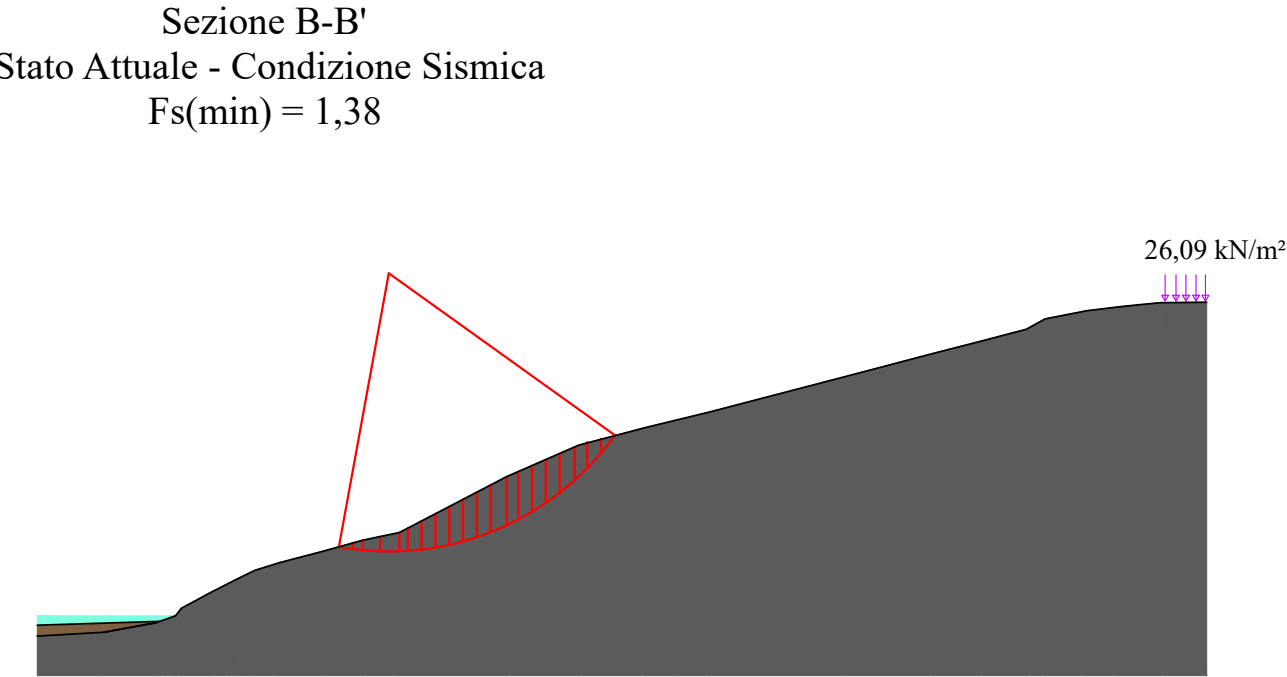
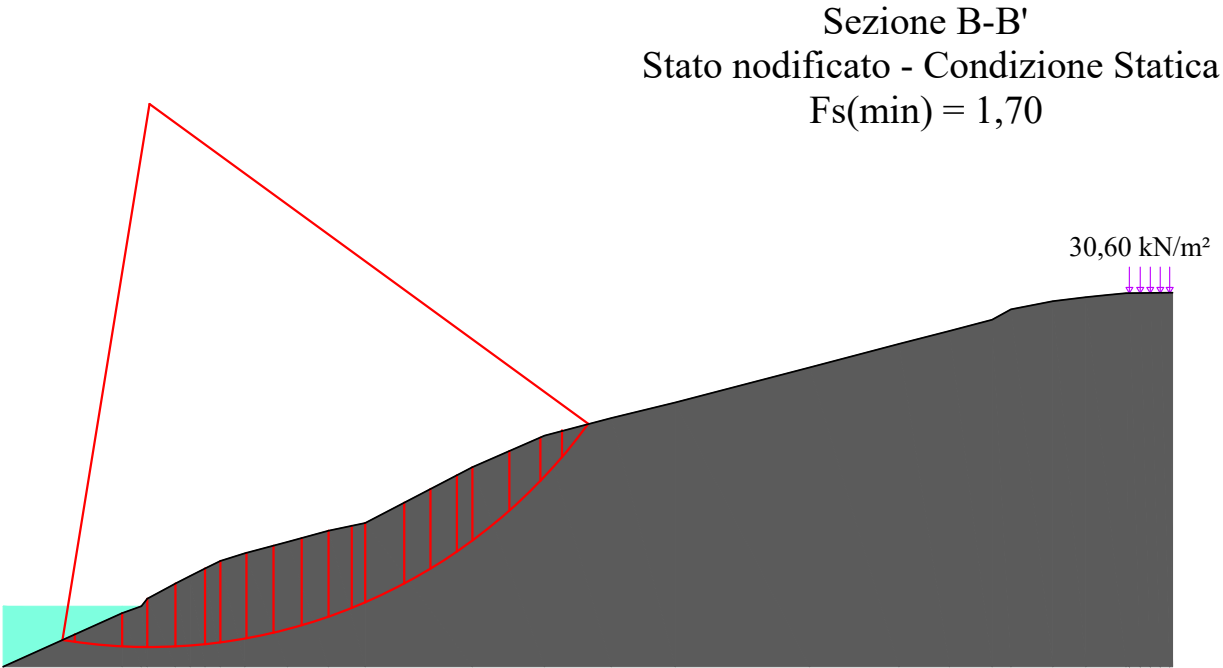
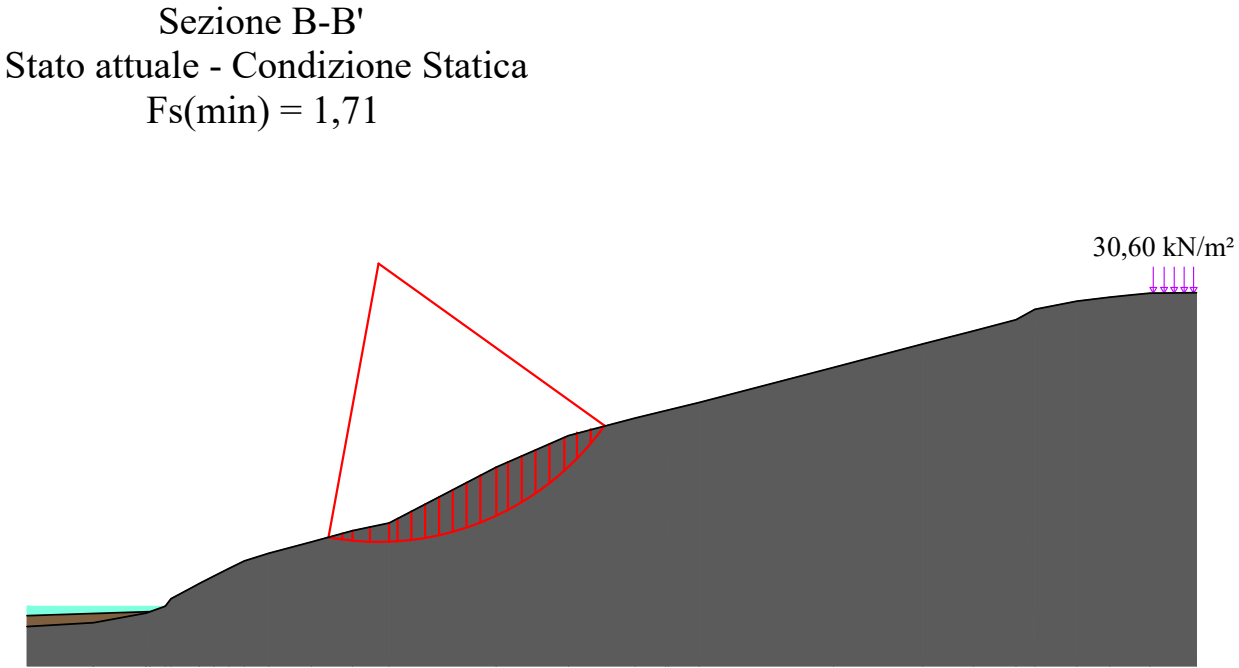


FIG. 13
VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SEZIONE B-B'

■ ARGILLITI MOLTO RESISTENTI CON INTERCALATI LIVELLI CALCAREI

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

Cambia invece la posizione della superficie di scivolamento più probabile, che allo stato attuale è posta nella zona a maggiore pendenza, mentre allo stato modificato interessa anche la sponda dell'invaso scavata.

Tuttavia l'intervento in progetto è fattibile in tutta sicurezza, perché il fattore di stabilità è sempre ampiamente verificato.

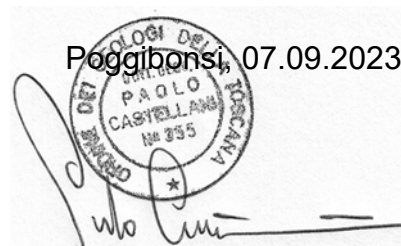
Nell'allegato 4 sono riportati i tabulati delle verifiche di stabilità del pendio sia in condizione statica che sismica.

§ 11) CONCLUSIONI

Il terreno sul quale insisterà l'invaso Milano e sul quale sono posti i pendii ad esso prospicienti è costituito, al di sotto di un modestissimo spessore di suolo pedologico, da argilliti con intercalazioni discontinue di calcari e calcilutiti che presentano caratteristiche prevalentemente coesive e comportamento quasi lapideo con ottimi parametri geotecnici, uniformi sia in senso orizzontale che verticale.

Le proprietà fisico-meccaniche escludono l'insorgenza di qualunque fenomeno gravitativo, come confermato anche dalle verifiche di stabilità in condizione statica e sismica eseguite lungo una sezione di massima pendenza del versante.

Poggibonsi, 07.09.2023



Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

A L L E G A T O 1

Foto delle cassette dei sondaggi

Committente: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA
Località: VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)

SONDAGGIO 1



DA MT 0,00 A MT 5,00



DA MT 5,00 A MT 10,00

Committente: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA
Località: VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)

SONDAGGIO 1



DA MT 10,00 A MT 15,00



DA MT 15,00 A MT 20,00

Committente: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA
Località: VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)

SONDAGGIO 2



DA MT 0,00 A MT 5,00



DA MT 5,00 A MT 10,00

Committente: CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA
Località: VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)

SONDAGGIO 2



DA MT 10,00 A MT 15,00



DA MT 15,00 A MT 20,00

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

A L L E G A T O 2

Certificati delle analisi geotecniche di laboratorio

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	16,8	%
Peso di volume	20,2	kN/m ³
Peso di volume secco	17,3	kN/m ³
Peso di volume saturo	20,7	kN/m ³
Peso specifico	2,72	
Indice dei vuoti	0,542	
Porosità	35,2	%
Grado di saturazione	84,5	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		%
Passante al set. n° 40		%
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	5,5	%
Sabbia	57,7	%
Limo	19,9	%
Argilla	16,9	%
D 10	0,001392	mm
D 50	0,274920	mm
D 60	0,575006	mm
D 90	3,689828	mm
Passante set. 10	79,3	%
Passante set. 42	55,3	%
Passante set. 200	36,8	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	9,8	kPa	
ϕ'	23,0	°	
c'_{Res}		kPa	
ϕ'_{Res}		°	

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	C_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	C'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	C_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	C_u	kPa	ϕ_u	°

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm ² /sec	k cm/sec
12,3 ÷ 24,5	4906	---	---
24,5 ÷ 49,0	2124	---	---
49,0 ÷ 98,1	1478	0,002219	1,47E-07
98,1 ÷ 196,1	2873	0,001768	6,04E-08
196,1 ÷ 392,3	6508	0,001590	2,40E-08
392,3 ÷ 784,5	12721	---	---
784,5 ÷ 1569,0	23749	---	---

FOTOGRAFIA



OSSERVAZIONI

Tipo di campione: Cilindrico		Qualità del campione: Q 3
------------------------------	--	---------------------------

Posizione delle prove
CF GR ED TD

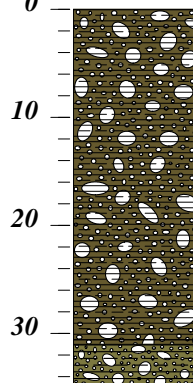
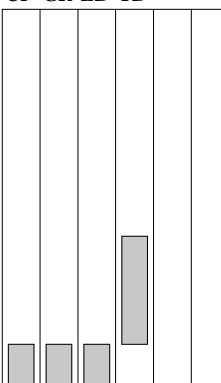
cm

Rp
kPa

VT
kPa

cm

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE



40
40
35

31
35

Ghiaia (e) subarrotondata-discoidale (Lmax = 4 cm) argillosa-limosa [ESAME VISIVO], di colore grigio-verdastro, poco consistente. Struttura omogenea. Reagente all'HCl.

Sabbia (f) limosa e argillosa debolmente ghiaiosa (e) subarrotondata-discoidale (Lmax = 6 mm), di colore grigio-verdastro, poco consistente. Struttura omogenea. Reagente all'HCl.

408-23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

CLASSIFICA BASATA SULLA GRANULOMETRIA

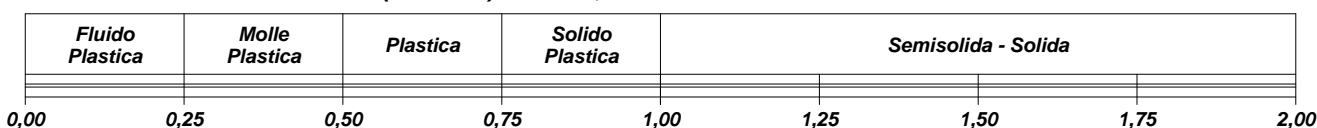
Classifica A.G.I.

Sabbia limosa e argillosa debolmente ghiaiosa

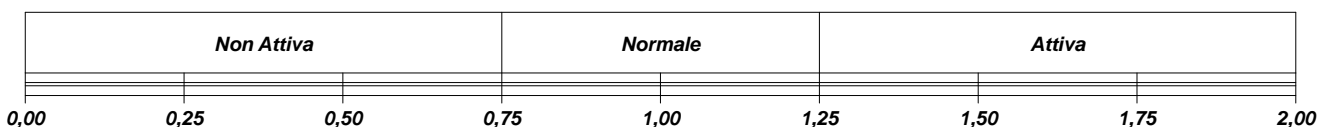
CLASSIFICHE BASATE SUI LIMITI DI CONSISTENZA

Abaco di plasticità di Casagrande

I.C. = Indice di consistenza = $(LL - W_n) / IP = 0,00$

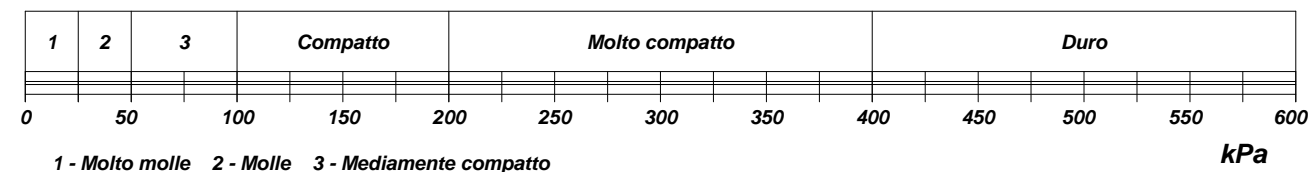


A = Attività (Skempton) = IP / CF (clay fraction) = 0,00



CLASSIFICA BASATA SULLA COESIONE NON DRENATA

Coesione non drenata = 0 kPa

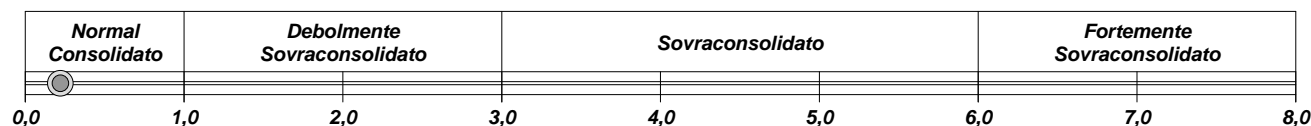


CLASSIFICA BASATA SULLA PRECONSOLIDAZIONE

Pressione del campione in sito = 244,8 kPa

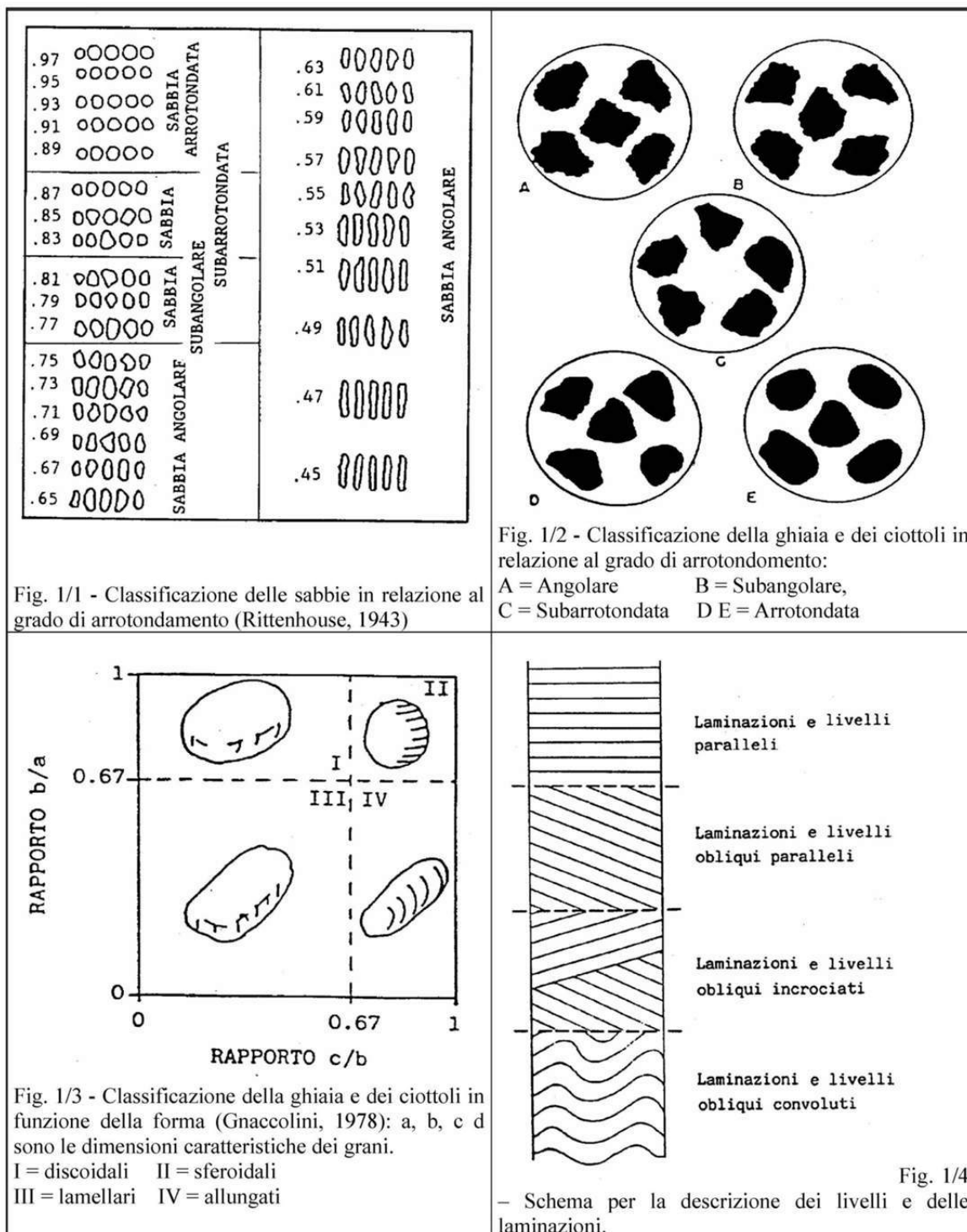
Pressione di preconsolidazione [da Prova Edometrica] = 54,2 kPa

O.C.R. (Over Consolidation Ratio) = 0,22





Geotest S.a.s. - Melfi (PZ) - Italy has been resulted in compliance with the standard
UNI EN ISO 9001:2008 for the following field of activities: Provision of geotechnical tests -
 Classification EA (European co-operation for Accreditation): 35



CERTIFICATO DI PROVA N°: 02761 **Pagina** 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23

Inizio analisi: 04/05/23

Apertura campione: 04/05/23

Fine analisi: 05/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale (media delle tre misure) = 16,8 %

☒ **Omogeneo**

Struttura del materiale:

☐ **Stratificato**

☐ **Caotico**

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Dimensione massima delle particelle: 8,00 mm

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02762	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 22/05/23	Inizio analisi: 04/05/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23		Apertura campione: 04/05/23	Fine analisi: 04/05/23

COMMITTENTE: <i>Geologica Toscana snc</i>			
RIFERIMENTO: <i>Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)</i>			
SONDAGGIO: <i>S2</i>	CAMPIONE: <i>C1</i>	PROFONDITA': m	<i>12,00-12,35</i>

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 20,2 kN/m³

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02763	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 22/05/23	Inizio analisi: 16/05/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23		Apertura campione: 04/05/23	Fine analisi: 17/05/23

COMMITTENTE: <i>Geologica Toscana snc</i>				
RIFERIMENTO: <i>Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)</i>				
SONDAGGIO: <i>S2</i>		CAMPIONE: <i>C1</i>		PROFONDITA': m <i>12,00-12,35</i>

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,72

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,72

Metodo: ☒ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 21,5 °C

Dimensione massima delle particelle: 8,00 mm

Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02764 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23

Inizio analisi: 04/05/23

Apertura campione: 04/05/23

Fine analisi: 11/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

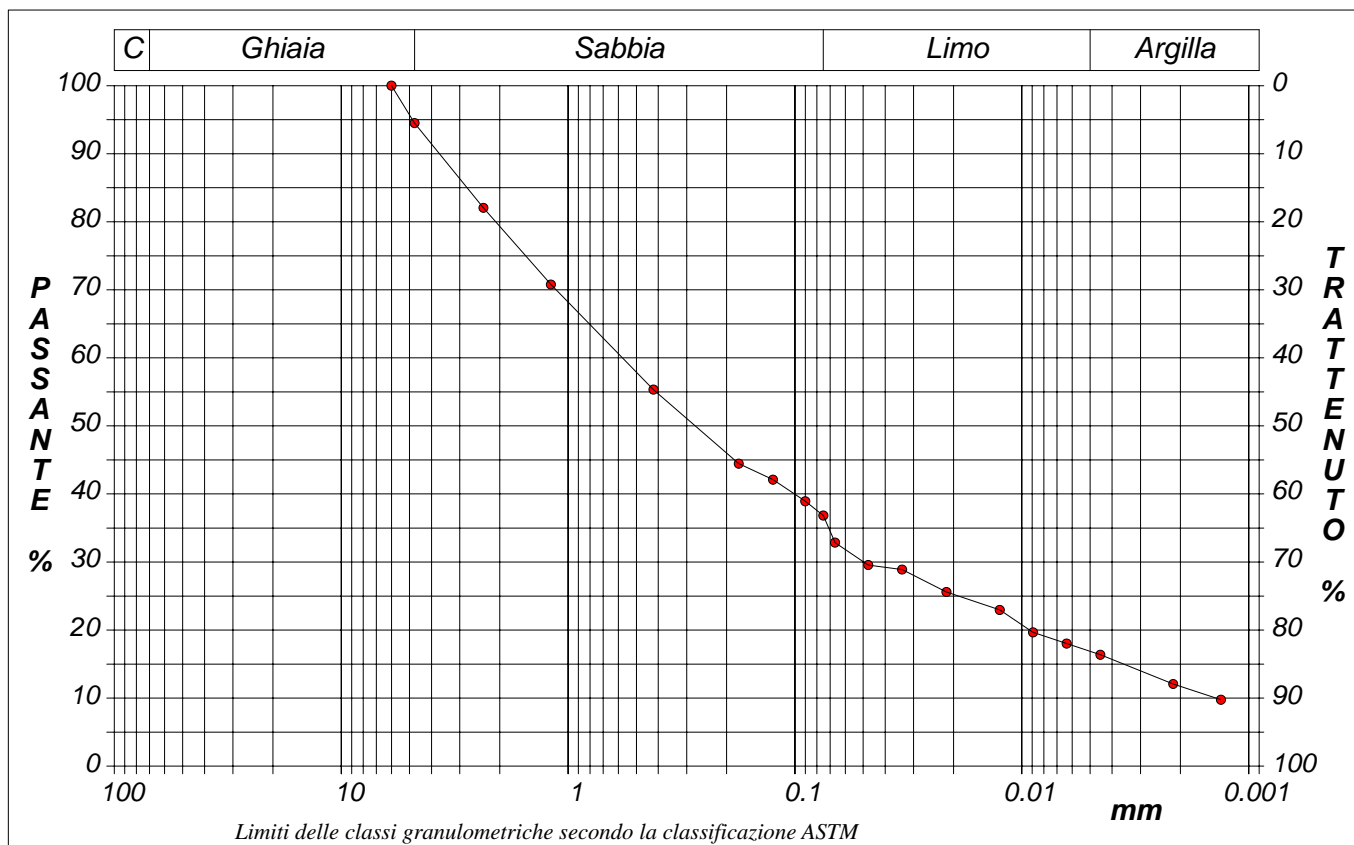
CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	5,5 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	79,3 %	D10	0,00139 mm	
Sabbia	57,7 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	55,3 %	D30	0,04968 mm	
Limo	19,9 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	36,8 %	D50	0,27492 mm	
Argilla	16,9 %			D60	0,57501 mm	
Coefficiente di uniformità		413,19	Coefficiente di curvatura	3,08	D90	3,68983 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
6,0000	100,00	0,1770	44,45	0,0475	29,56	0,0063	18,02		
4,7500	94,49	0,1250	42,11	0,0337	28,90	0,0045	16,37		
2,3600	82,05	0,0900	38,94	0,0215	25,61	0,0022	12,08		
1,1900	70,78	0,0750	36,83	0,0125	22,97	0,0013	9,77		
0,4200	55,34	0,0665	32,86	0,0089	19,67				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02764 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23

Inizio analisi: 04/05/23

Apertura campione: 04/05/23

Fine analisi: 11/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

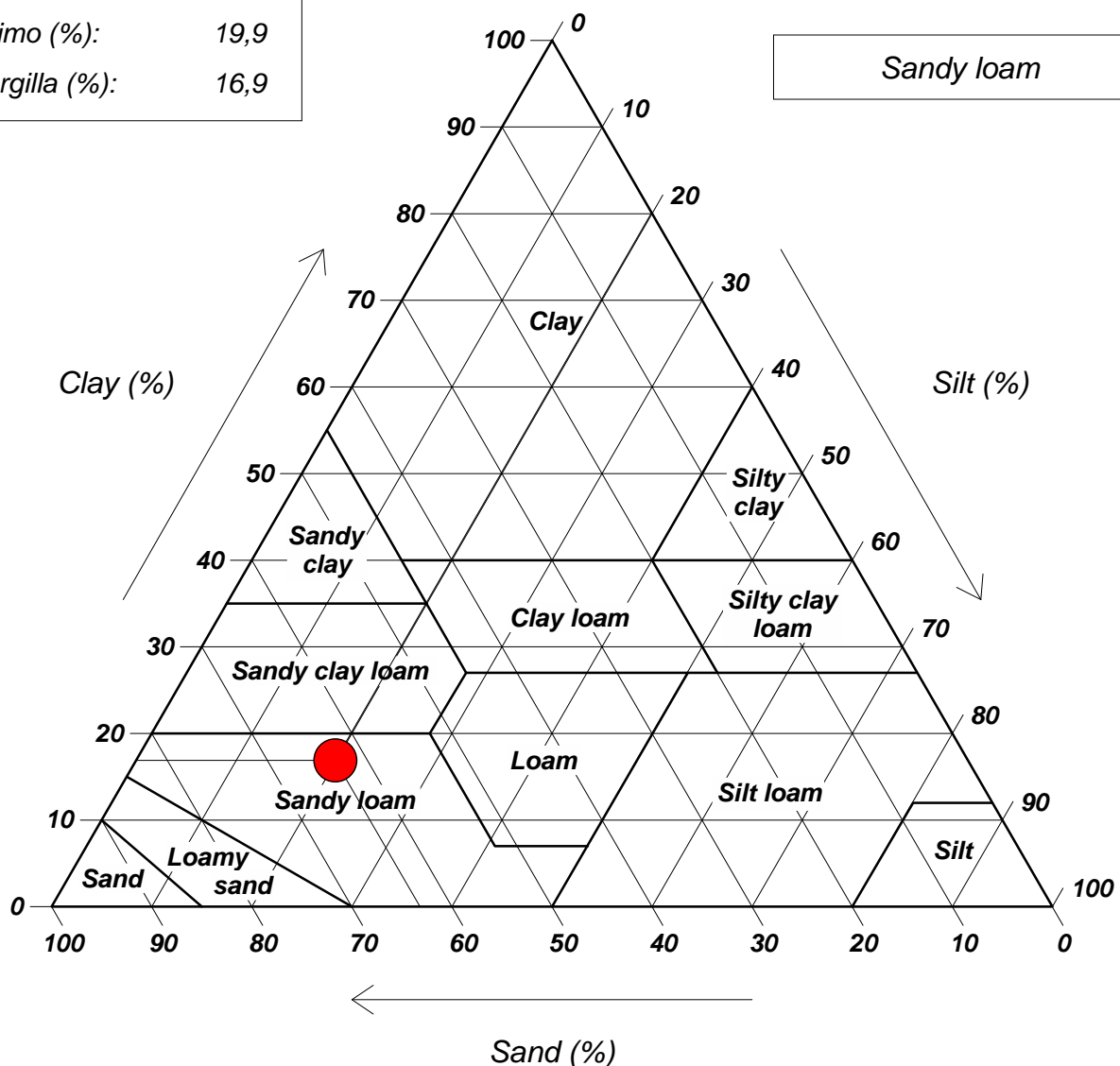
Sabbia (%): 63,2

Limo (%): 19,9

Argilla (%): 16,9

Diagramma U.S.D.A.

Sandy loam



CERTIFICATO DI PROVA N°: 02765 **Pagina** 1/3
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23 **Inizio analisi:** 04/05/23
Apertura campione: 04/05/23 **Fine analisi:** 13/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2 **CAMPIONE:** C1 **PROFONDITA': m** 12,00-12,35

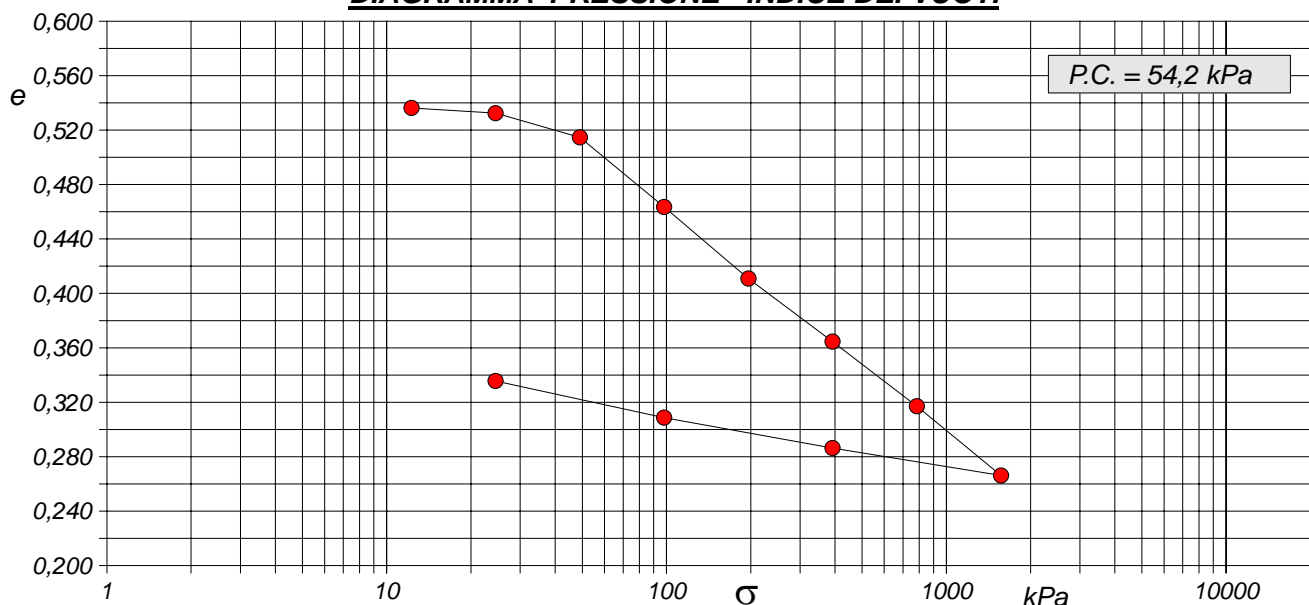
PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435

Caratteristiche del campione

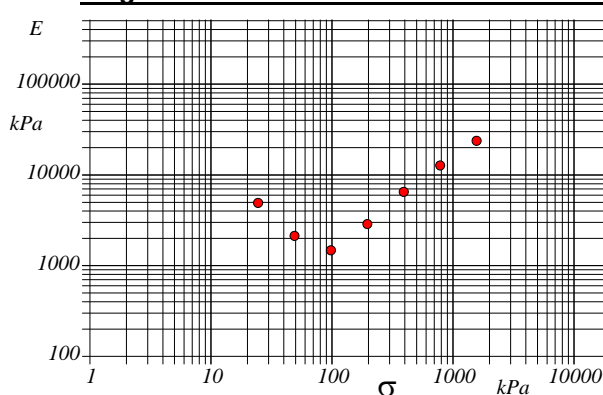
Peso di volume (kN/m ³)	20,24	Altezza provino (cm)	2,00	Indice dei vuoti	0,54
Umidità (%)	16,8	Volume provino (cm ³)	39,94	Porosità (%)	35,07
Peso specifico	2,72	Volume dei vuoti (cm ³)	14,00	Saturazione (%)	84,7

DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI



Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa	Cv cm ² /sec	k cm/sec
12,3	4,9	0,536				
24,5	9,9	0,532	0,013	4906		
49,0	33,0	0,515	0,059	2124		
98,1	99,4	0,464	0,170	1478	0,002219	1,47E-07
196,1	167,7	0,411	0,175	2873	0,001768	6,04E-08
392,3	228,0	0,365	0,154	6508	0,001590	2,40E-08
784,5	289,7	0,317	0,158	12721		
1569,0	355,8	0,266	0,169	23749		
392,3	329,6	0,286				
98,1	300,5	0,309				
24,5	265,6	0,336				

Diagramma Pressione - Modulo edometrico



Il provino è stato fustellato nella parte più fine, escludendo gli elementi ghiaiosi

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02765 Pagina 2/3

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23

Inizio analisi: 04/05/23

Apertura campione: 04/05/23

Fine analisi: 13/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

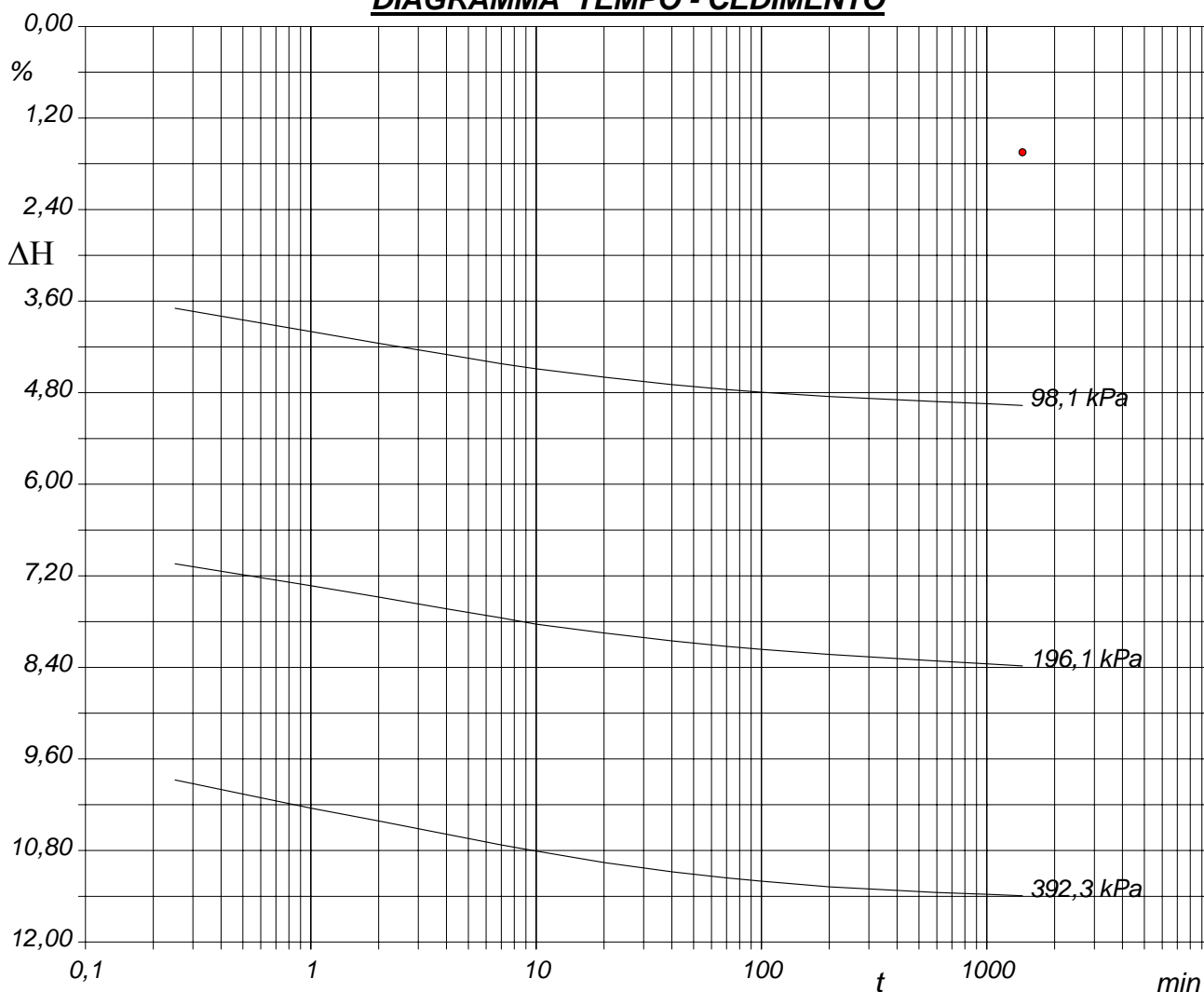
CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435

DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO



CERTIFICATO DI PROVA N°: 02765	Pagina 3/3	DATA DI EMISSIONE: 22/05/23	Inizio analisi: 04/05/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23		Apertura campione: 04/05/23	Fine analisi: 13/05/23

COMMITTENTE: <i>Geologica Toscana snc</i>				
RIFERIMENTO: <i>Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)</i>				
SONDAGGIO:	<i>S2</i>	CAMPIONE:	<i>C1</i>	PROFONDITA': <i>m 12,00-12,35</i>

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435

LETTURE INTERMEDIE - TABELLE RIASSUNTIVE

Pressione 98,1 kPa		Pressione 196,1 kPa		Pressione 392,3 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	33,0	0,00	99,4	0,00	167,7		
0,25	73,9	0,25	140,9	0,25	197,6		
1,00	80,0	1,00	146,7	1,00	205,0		
2,00	83,1	2,00	149,6	2,00	208,4		
4,00	86,1	4,00	152,7	4,00	211,8		
7,00	88,5	7,00	155,1	7,00	214,6		
10,00	89,8	10,00	156,7	10,00	216,3		
20,00	92,0	20,00	159,0	20,00	219,3		
40,00	93,9	40,00	161,2	40,00	221,7		
70,00	95,2	70,00	162,6	70,00	223,3		
100,00	95,9	100,00	163,4	100,00	224,2		
200,00	97,1	200,00	164,7	200,00	225,7		
600,00	98,4	600,00	166,4	600,00	227,1		
1000,00	99,0	1000,00	167,2	1000,00	227,6		
1440,00	99,4	1440,00	167,7	1440,00	228,0		

[illegible]

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02766 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23

Inizio analisi: 11/05/23

Apertura campione: 04/05/23

Fine analisi: 18/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Ricostituito	Ricostituito	Ricostituito
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	16,7 17,8	16,8 16,4	16,9 15,1
Peso di volume (kN/m³):	20,2	20,2	20,2
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,004 mm / min		

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

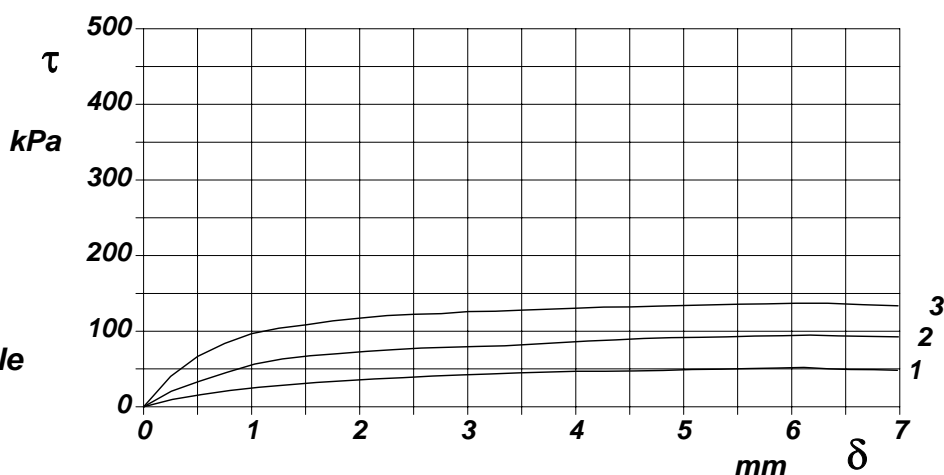
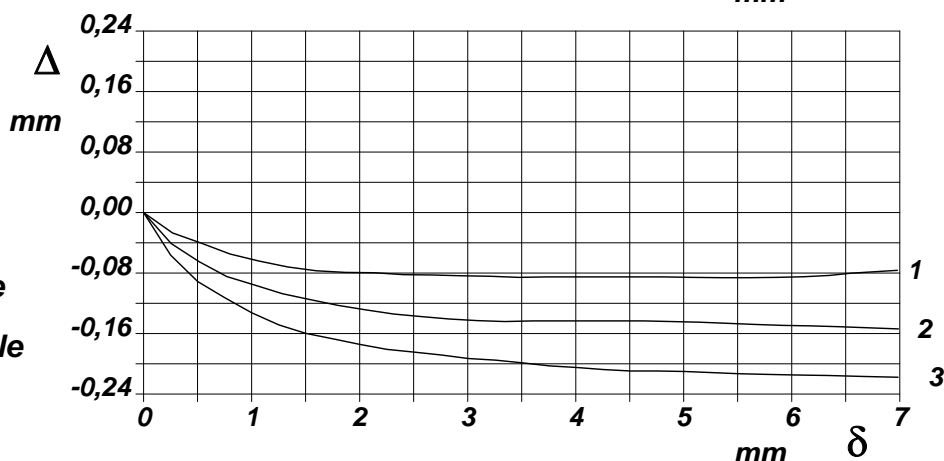


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Provini ricostituiti al peso di volume di 20,20 kN/m³, escludendo la parte ghiaiosa.

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02766	Pagina 2/4	DATA DI EMISSIONE: 22/05/23	Inizio analisi: 11/05/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23		Apertura campione: 04/05/23	Fine analisi: 18/05/23

COMMITTENTE: <i>Geologica Toscana snc</i>				
RIFERIMENTO: <i>Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)</i>				
SONDAGGIO:	<i>S2</i>	CAMPIONE:	<i>C1</i>	PROFONDITA': <i>m 12,00-12,35</i>

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02766 **Pagina** 3/4
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23

DATA DI EMISSIONE: 22/05/23 **Inizio analisi:** 11/05/23
Apertura campione: 04/05/23 **Fine analisi:** 18/05/23

COMMITTENTE: Geologica Toscana snc

RIFERIMENTO: Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 12,00-12,35

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,926
Sezione (cm²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	43,2
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,016

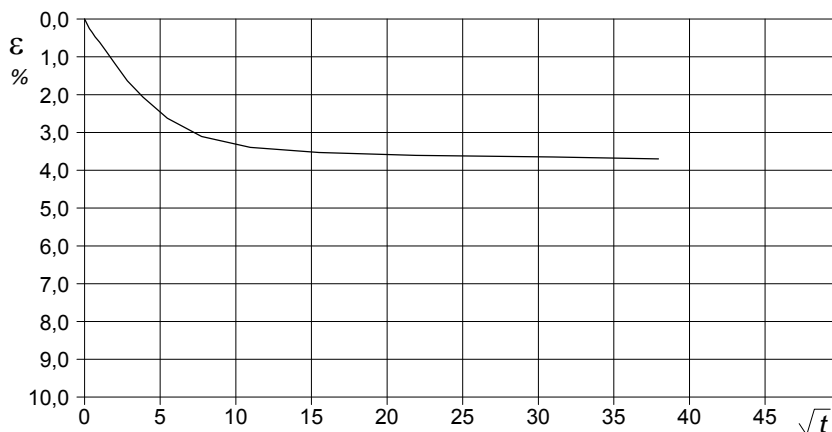


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,873
Sezione (cm²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	41,2
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,017

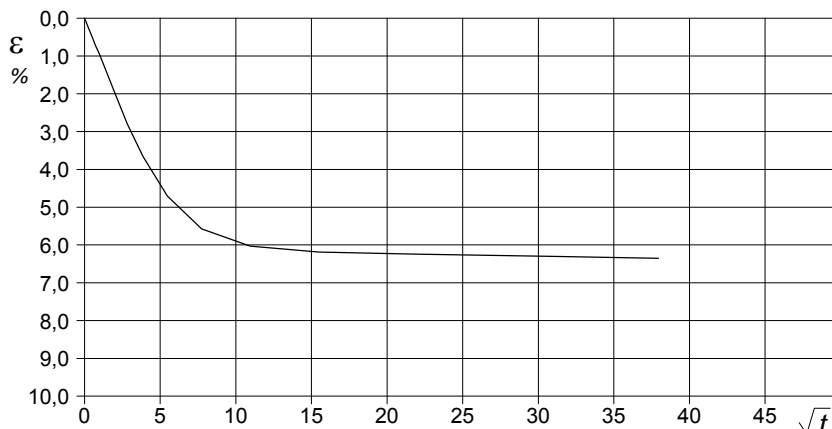
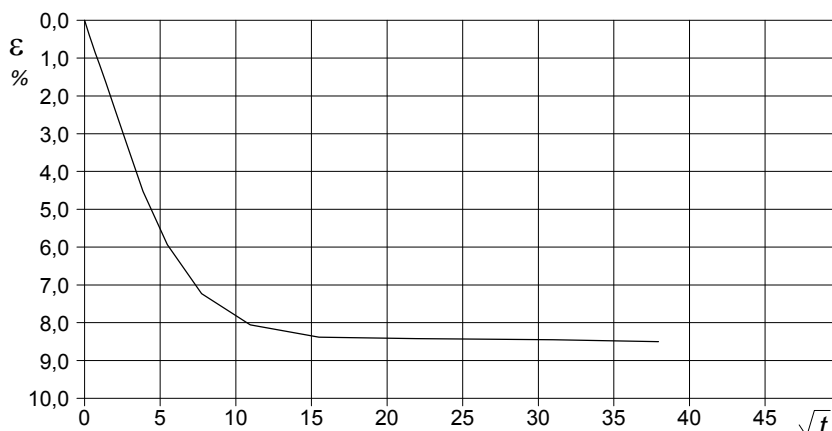


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,830
Sezione (cm²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	53,3
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,013



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

tf = 10 x T₁₀₀ Vs = Df / tf

408-23

CERTIFICATO DI PROVA N°: 02766	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE: 22/05/23	Inizio analisi: 11/05/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 136 del 04/05/23		Apertura campione: 04/05/23	Fine analisi: 18/05/23

COMMITTENTE: <i>Geologica Toscana snc</i>				
RIFERIMENTO: <i>Loc. Vedetta - Castiglion del Bosco - Montalcino (SI)</i>				
SONDAGGIO:	<i>S2</i>	CAMPIONE:	<i>C1</i>	PROFONDITA': m <i>12,00-12,35</i>

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

[illegible]

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

A L L E G A T O 3

Documentazione fotografica

**mostrante l'ottima situazione di stabilità delle sponde dell'invaso
e dei pendii prospicienti ad esso**

Committente: **CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA S.R.L.**

Località: L'IMPOSTINO – VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)



FOTO 1

Particolare delle argilliti affioranti sul pendio sovrastante l'invaso



FOTO 2

Il pendio sovrastante l'invaso in riva sinistra orografica

Committente: **CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA S.R.L.**

Località: L'IMPOSTINO – VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)



FOTO 3

Il pendio sovrastante l'invaso in riva destra orografica



FOTO 4

Il pendio e la sponda dell'invaso in riva destra orografica

Committente: **CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA S.R.L.**

Località: L'IMPOSTINO – VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)



FOTO 5

Visione d'insieme dei pendii sovrastanti l'invaso mostrante l'ottima stabilità geomorfologica di tutta l'area



FOTO 6

L'ottima stabilità geomorfologica della zona a massima pendenza lungo il pendio meridionale dell'invaso (sponda idrografica sinistra dell'invaso)

Committente: **CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA S.R.L.**

Località: L'IMPOSTINO – VEDETTA – CASTIGLION DEL BOSCO – MONTALCINO (SI)



FOTO 7

L'ottima stabilità geomorfologica della zona a massima pendenza lungo il pendio meridionale dell'invaso (sponda idrografica sinistra dell'invaso)



FOTO 8

L'ottima stabilità geomorfologica della zona a massima pendenza lungo il pendio meridionale dell'invaso (sponda idrografica sinistra dell'invaso)

Dott. Paolo Castellani
Dott. Stefano Nastasi
Dott. Damiano Guarguaglini
Dott. Annalisa Fontanelli
Dott. Andrea Castellani

A L L E G A T O 4

**Tabulati delle verifiche di stabilità del versante
in condizione statica e sismica allo stato attuale e modificato**

SEZIONE B-B'

STATO ATTUALE - CONDIZIONE STATICA

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	48,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	155,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	65,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	1,44
2	16,27	1,96
3	16,27	1,96
4	16,27	1,96
5	18,29	2,69
6	19,07	3,69
7	20,93	4,69
8	22,8	5,69
9	24,75	6,69
10	26,72	7,69
11	28,75	8,69
12	31,99	9,69
13	35,78	10,69
14	39,5	11,69
15	43,06	12,69
16	47,91	13,69
17	62,1	21,09
18	71,08	24,99
19	72,21	25,51
20	76,28	26,54
21	80,48	27,59
22	84,7	28,6
23	88,93	29,64
24	92,96	30,67
25	94,94	31,18
26	96,89	31,7
27	98,86	32,21
28	100,8	32,75
29	102,78	33,26
30	104,73	33,76
31	106,7	34,27
32	108,66	34,81

33	110,63	35,31
34	112,6	35,8
35	114,58	36,34
36	116,55	36,87
37	118,53	37,38
38	120,45	37,88
39	122,45	38,4
40	124,47	38,92
41	126,51	39,43
42	128,58	39,95
43	130,64	40,46
44	133,33	41,95
45	136,19	42,5
46	138,88	43,03
47	143,25	43,56
48	148,55	44,1
49	154,72	44,15

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	2,69
2	18,29	2,69

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,82	0,51
3	15,75	1,78
4	18,29	2,69
5	19,07	3,69
6	20,93	4,69
7	22,8	5,69
8	24,75	6,69
9	26,72	7,69
10	28,75	8,69
11	31,99	9,69
12	35,78	10,69
13	39,5	11,69
14	43,06	12,69
15	47,91	13,69
16	62,1	21,09
17	71,08	24,99
18	72,21	25,51
19	76,28	26,54
20	80,48	27,59
21	84,7	28,6
22	88,93	29,64
23	92,96	30,67
24	94,94	31,18
25	96,89	31,7
26	98,86	32,21
27	100,8	32,75
28	102,78	33,26
29	104,73	33,76
30	106,7	34,27
31	108,66	34,81
32	110,63	35,31

33	112,6	35,8
34	114,58	36,34
35	116,55	36,87
36	118,53	37,38
37	120,45	37,88
38	122,45	38,4
39	124,47	38,92
40	126,51	39,43
41	128,58	39,95
42	130,64	40,46
43	133,33	41,95
44	136,19	42,5
45	138,88	43,03
46	143,25	43,56
47	148,55	44,1
48	154,72	44,15

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
1	20	35	18	19.1	20.5	Sedimenti di fondo lago	
2	9.6		40	20.2	21.2	Argilliti compatte	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	148,67	44,3	154,67	44,34684	30,6

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,71
Ascissa centro superficie	46,5 m
Ordinata centro superficie	48,0 m
Raggio superficie	36,8 m

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

$$x_c = 46,50 \quad y_c = 48,00 \quad R_c = 36,798 \quad F_s = 1,714$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,83	-8,9	1,85	15,17	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	17,5	13,9
2	1,34	-6,4	1,35	28,94	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	31,0	16,6
3	2,31	-3,6	2,32	77,26	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	79,8	37,9
4	2,53	0,2	2,53	113,88	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	113,7	50,8
5	1,12	3,1	1,12	61,59	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	60,3	26,1
6	1,83	5,4	1,83	124,86	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	120,7	50,7
7	1,83	8,2	1,84	151,95	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	145,0	59,7
8	1,83	11,1	1,86	175,59	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	165,9	67,9
9	1,83	14,0	1,88	195,69	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	183,5	75,2
10	1,83	17,0	1,91	212,13	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	197,9	81,8
11	1,83	20,0	1,94	224,75	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	209,2	87,7
12	2,12	23,3	2,3	271,08	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	252,4	108,0
13	1,54	26,4	1,71	197,83	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	184,8	81,2
14	1,83	29,4	2,1	229,42	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	215,3	97,8
15	1,83	32,7	2,17	218,15	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	206,4	97,8
16	1,83	36,2	2,26	201,26	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	192,5	96,3
17	1,97	39,9	2,57	191,13	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	185,3	99,6
18	1,68	43,7	2,32	135,16	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	132,8	78,5
19	1,83	47,6	2,71	99,32	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	97,3	67,8
20	1,83	52,1	2,97	36,54	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	30,1	37,1

SEZIONE B-B'

STATO ATTUALE - CONDIZIONE SISMICA

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	43,0639/11,4113
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	48,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	155,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	65,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,47	2,49	0,24
S.L.D.	35,0	0,5	2,5	0,25
S.L.V.	332,0	1,22	2,5	0,27
S.L.C.	682,0	1,54	2,52	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Opere di sostegno
--------	-------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6768	0,18	0,0124	0,0062
S.L.D.	0,72	0,18	0,0132	0,0066
S.L.V.	1,7568	0,24	0,043	0,0215
S.L.C.	2,2176	0,24	0,0543	0,0271

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,043
Coefficiente azione sismica verticale	0,0215

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	1,44
2	16,27	1,96
3	16,27	1,96
4	16,27	1,96
5	18,29	2,69
6	19,07	3,69
7	20,93	4,69
8	22,8	5,69
9	24,75	6,69
10	26,72	7,69
11	28,75	8,69
12	31,99	9,69
13	35,78	10,69
14	39,5	11,69
15	43,06	12,69
16	47,91	13,69
17	62,1	21,09
18	71,08	24,99
19	72,21	25,51
20	76,28	26,54
21	80,48	27,59
22	84,7	28,6
23	88,93	29,64
24	92,96	30,67
25	94,94	31,18
26	96,89	31,7
27	98,86	32,21
28	100,8	32,75
29	102,78	33,26
30	104,73	33,76
31	106,7	34,27
32	108,66	34,81
33	110,63	35,31
34	112,6	35,8
35	114,58	36,34
36	116,55	36,87
37	118,53	37,38
38	120,45	37,88
39	122,45	38,4
40	124,47	38,92
41	126,51	39,43
42	128,58	39,95
43	130,64	40,46
44	133,33	41,95
45	136,19	42,5
46	138,88	43,03
47	143,25	43,56
48	148,55	44,1
49	154,72	44,15

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	2,69
2	18,29	2,69

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,82	0,51
3	15,75	1,78
4	18,29	2,69
5	19,07	3,69
6	20,93	4,69
7	22,8	5,69
8	24,75	6,69
9	26,72	7,69
10	28,75	8,69
11	31,99	9,69
12	35,78	10,69
13	39,5	11,69
14	43,06	12,69
15	47,91	13,69
16	62,1	21,09
17	71,08	24,99
18	72,21	25,51
19	76,28	26,54
20	80,48	27,59
21	84,7	28,6
22	88,93	29,64
23	92,96	30,67
24	94,94	31,18
25	96,89	31,7
26	98,86	32,21
27	100,8	32,75
28	102,78	33,26
29	104,73	33,76
30	106,7	34,27
31	108,66	34,81
32	110,63	35,31
33	112,6	35,8
34	114,58	36,34
35	116,55	36,87
36	118,53	37,38
37	120,45	37,88
38	122,45	38,4
39	124,47	38,92
40	126,51	39,43
41	128,58	39,95
42	130,64	40,46
43	133,33	41,95
44	136,19	42,5
45	138,88	43,03
46	143,25	43,56
47	148,55	44,1
48	154,72	44,15

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
1	20	35	18	19.1	20.5	Sedimenti di fondo lago	
2	9.6		40	20.2	21.2	Argilliti compatte	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	148,67	44,3	154,67	44,34684	26,09

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,38
Ascissa centro superficie	46,5 m
Ordinata centro superficie	48,0 m
Raggio superficie	36,8 m

xc = 46,50 yc = 48,00 Rc = 36,798 Fs=1,38

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,83	-8,9	1,85	15,17	0,65	0,33	7,68	33,9	0,0	17,8	16,0
2	1,34	-6,4	1,35	28,94	1,24	0,62	7,68	33,9	0,0	31,2	19,0
3	2,31	-3,6	2,32	77,26	3,32	1,66	7,68	33,9	0,0	80,1	43,3
4	2,53	0,2	2,53	113,88	4,9	2,45	7,68	33,9	0,0	113,7	57,8
5	1,12	3,1	1,12	61,59	2,65	1,32	7,68	33,9	0,0	60,1	29,6
6	1,83	5,4	1,83	124,86	5,37	2,68	7,68	33,9	0,0	120,0	57,4
7	1,83	8,2	1,84	151,95	6,53	3,27	7,68	33,9	0,0	143,9	67,5
8	1,83	11,1	1,86	175,59	7,55	3,78	7,68	33,9	0,0	164,2	76,6
9	1,83	14,0	1,88	195,69	8,41	4,21	7,68	33,9	0,0	181,2	84,7
10	1,83	17,0	1,91	212,13	9,12	4,56	7,68	33,9	0,0	195,0	91,9
11	1,83	20,0	1,94	224,75	9,66	4,83	7,68	33,9	0,0	205,6	98,2
12	2,12	23,3	2,3	271,08	11,66	5,83	7,68	33,9	0,0	247,4	120,8
13	1,54	26,4	1,71	197,83	8,51	4,25	7,68	33,9	0,0	180,6	90,6
14	1,83	29,4	2,1	229,42	9,87	4,93	7,68	33,9	0,0	209,9	108,8
15	1,83	32,7	2,17	218,15	9,38	4,69	7,68	33,9	0,0	200,6	108,6
16	1,83	36,2	2,26	201,26	8,65	4,33	7,68	33,9	0,0	186,4	106,5
17	1,97	39,9	2,57	191,13	8,22	4,11	7,68	33,9	0,0	178,7	109,9
18	1,68	43,7	2,32	135,16	5,81	2,91	7,68	33,9	0,0	127,4	86,3
19	1,83	47,6	2,71	99,32	4,27	2,14	7,68	33,9	0,0	92,5	74,3
20	1,83	52,1	2,97	36,54	1,57	0,79	7,68	33,9	0,0	27,5	40,5

SEZIONE B-B'

STATO MODIFICATO - CONDIZIONE STATICA

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	55,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	155,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	76,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	9,48	4,27
3	15,75	7,09
4	18,29	8,0
5	19,07	9,0
6	20,93	10,0
7	22,8	11,0
8	24,75	12,0
9	26,72	13,0
10	28,75	14,0
11	31,99	15,0
12	35,78	16,0
13	39,5	17,0
14	43,06	18,0
15	47,91	19,0
16	62,1	26,4
17	71,08	30,3
18	72,21	30,82
19	76,28	31,85
20	80,48	32,9
21	84,7	33,91
22	88,93	34,95
23	92,96	35,98
24	94,94	36,49
25	96,89	37,01
26	98,86	37,52
27	100,8	38,06
28	102,78	38,57
29	104,73	39,07
30	106,7	39,59
31	108,66	40,12

32	110,63	40,62
33	112,6	41,11
34	114,58	41,65
35	116,55	42,18
36	118,53	42,7
37	120,45	43,19
38	122,45	43,71
39	124,47	44,23
40	126,51	44,74
41	128,58	45,26
42	130,64	45,77
43	133,33	47,26
44	136,19	47,82
45	138,88	48,34
46	143,25	48,87
47	148,55	49,41
48	154,72	49,46

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	8,0
2	18,29	8,0

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
1	9.6		40	20.2	21.2	Argilliti compatte	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	148,67	49,45	154,67	49,49684	30,6

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,7
Ascissa centro superficie	19,38 m
Ordinata centro superficie	74,43 m
Raggio superficie	71,82 m

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

$$x_c = 19,375 \quad y_c = 74,425 \quad R_c = 71,817 \quad F_s = 1,701$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,62	-8,6	1,64	9,09	0,0	0,0	7,68	33,9	73,0	10,8	10,7
2	6,27	-5,4	6,3	196,42	0,0	0,0	7,68	33,9	311,9	206,8	100,5
3	3,31	-1,6	3,31	190,52	0,0	0,0	7,68	33,9	174,3	192,9	82,8
4	3,73	1,2	3,73	555,8	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	551,3	213,2
5	3,93	4,3	3,94	729,72	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	711,4	272,2
6	2,03	6,7	2,04	425,7	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	410,4	156,7
7	3,46	8,9	3,5	772,34	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	738,1	282,5
8	3,57	11,7	3,65	823,26	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	779,6	301,0
9	3,73	14,7	3,85	867,68	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	816,0	319,1
10	3,56	17,8	3,74	824,74	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	772,3	307,1
11	3,06	20,6	3,26	687,62	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	642,9	260,6
12	1,79	22,6	1,94	385,61	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	360,5	148,8
13	5,17	25,7	5,73	1111,62	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	1042,3	441,1
14	3,48	29,6	4,0	747,53	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	706,4	310,3
15	3,48	32,8	4,14	727,01	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	693,7	316,4
16	2,07	35,5	2,54	413,97	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	398,9	188,6
17	4,89	39,0	6,29	875,99	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	857,3	429,1
18	4,1	43,8	5,68	568,26	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	569,1	315,1
19	2,86	47,7	4,25	276,51	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	281,0	175,9
20	3,48	51,7	5,61	130,09	0,0	0,0	7,68	33,9	0,0	124,3	109,0

Indice

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

SEZIONE B-B'

STATO MODIFICATO - CONDIZIONE SISMICA

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1967)

Lat./Long.	43,0639/11,4113
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	55,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	155,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	76,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	20,0
Numero di celle lungo y	20,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	35,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,47	2,49	0,24
S.L.D.	35,0	0,5	2,5	0,25
S.L.V.	332,0	1,22	2,5	0,27
S.L.C.	682,0	1,54	2,52	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Opere di sostegno
--------	-------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6768	0,18	0,0124	0,0062
S.L.D.	0,72	0,18	0,0132	0,0066
S.L.V.	1,7568	0,24	0,043	0,0215
S.L.C.	2,2176	0,24	0,0543	0,0271

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,043
Coefficiente azione sismica verticale	0,0215

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	9,48	4,27
3	15,75	7,09
4	18,29	8,0
5	19,07	9,0
6	20,93	10,0
7	22,8	11,0
8	24,75	12,0
9	26,72	13,0
10	28,75	14,0
11	31,99	15,0
12	35,78	16,0
13	39,5	17,0
14	43,06	18,0
15	47,91	19,0
16	62,1	26,4
17	71,08	30,3
18	72,21	30,82
19	76,28	31,85
20	80,48	32,9
21	84,7	33,91
22	88,93	34,95
23	92,96	35,98
24	94,94	36,49
25	96,89	37,01
26	98,86	37,52
27	100,8	38,06
28	102,78	38,57
29	104,73	39,07
30	106,7	39,59
31	108,66	40,12
32	110,63	40,62
33	112,6	41,11
34	114,58	41,65
35	116,55	42,18
36	118,53	42,7
37	120,45	43,19
38	122,45	43,71
39	124,47	44,23
40	126,51	44,74
41	128,58	45,26
42	130,64	45,77
43	133,33	47,26
44	136,19	47,82
45	138,88	48,34
46	143,25	48,87
47	148,55	49,41
48	154,72	49,46

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	0,0	8,0
2	18,29	8,0

Coefficienti parziali azioni

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso saturo (kN/m ³)	Litologia	
1	9.6		40	20.2	21.2	Argilliti compatte	

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m ²)
1	148,67	49,45	154,67	49,49684	26,09

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,36
Ascissa centro superficie	19,38 m
Ordinata centro superficie	74,43 m
Raggio superficie	71,82 m

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

$$x_c = 19,375 \quad y_c = 74,425 \quad R_c = 71,817 \quad F_s = 1,36$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m ²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	1,62	-8,6	1,64	9,09	0,39	0,2	7,68	33,9	73,0	11,0	12,4
2	6,27	-5,4	6,3	196,42	8,45	4,22	7,68	33,9	311,9	208,2	115,7
3	3,31	-1,6	3,31	190,52	8,19	4,1	7,68	33,9	174,3	193,2	95,0
4	3,73	1,2	3,73	555,8	23,9	11,95	7,68	33,9	0,0	550,6	243,9
5	3,93	4,3	3,94	729,72	31,38	15,69	7,68	33,9	0,0	708,5	310,6
6	2,03	6,7	2,04	425,7	18,3	9,15	7,68	33,9	0,0	407,8	178,4
7	3,46	8,9	3,5	772,34	33,21	16,61	7,68	33,9	0,0	732,1	321,2
8	3,57	11,7	3,65	823,26	35,4	17,7	7,68	33,9	0,0	771,4	341,3
9	3,73	14,7	3,85	867,68	37,31	18,66	7,68	33,9	0,0	805,4	361,0
10	3,56	17,8	3,74	824,74	35,46	17,73	7,68	33,9	0,0	760,3	346,6
11	3,06	20,6	3,26	687,62	29,57	14,78	7,68	33,9	0,0	631,3	293,5
12	1,79	22,6	1,94	385,61	16,58	8,29	7,68	33,9	0,0	353,4	167,3
13	5,17	25,7	5,73	1111,62	47,8	23,9	7,68	33,9	0,0	1019,1	494,8
14	3,48	29,6	4,0	747,53	32,14	16,07	7,68	33,9	0,0	688,3	346,9
15	3,48	32,8	4,14	727,01	31,26	15,63	7,68	33,9	0,0	673,9	352,8
16	2,07	35,5	2,54	413,97	17,8	8,9	7,68	33,9	0,0	386,6	209,8
17	4,89	39,0	6,29	875,99	37,67	18,83	7,68	33,9	0,0	827,8	476,0
18	4,1	43,8	5,68	568,26	24,44	12,22	7,68	33,9	0,0	546,3	348,0
19	2,86	47,7	4,25	276,51	11,89	5,94	7,68	33,9	0,0	268,0	193,5
20	3,48	51,7	5,61	130,09	5,59	2,8	7,68	33,9	0,0	116,1	119,5