COMUNE DI ZOLA PREDOSA
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

MESSA IN SICUREZZA STRADALE A SEGUITO DI EVENTO FRANOSO VIA DON MINZONI INCROCIO VIA VALLE

ALLEGATI: REL14 – RELAZIONE GEOLOGICA

Il TECNICO:

Ing. Marcello Marino

GATE INGEGNERI
Servizi per l'ingegneria civile

ORDINE INGEGNERI PROV. BOLOGNA
INGEGNERE
MARCELLO MARINO
Sezione A
N° 7426/A

SPAZIO RISERVATO AGLI ENTI

COMMITTENTE:

COMUNE DI ZOLA PREDOSA

ALLEGATI: 1

NOME FILE: REL14_RELAZIONE GEOLOGICA.docx

N. PAGINE:

Rev.	*Data*	*Note Revisione*	*Contr.*	*App.*
00	Ottobre 2021	EMISSIONE	x	x

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Città Metropolitana di Bologna
Comune di Zola Predosa

Progetto di Definitivo-Esecutivo per il ripristino del versante in dissesto a valle della Via Don Minzoni all'altezza del civico n. 17

Relazione geologica

Aggiornamenti					
	4				
	3				
	2				
	1				
	0	Maggio 2020	Claudio Cinti	Alessandro Zanna	Emissione
	N	Data	Redatto	Approvazione	Descrizione

Committente:	Redatto da:
Comune di Zola Predosa	GEOTEA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente

Progettisti:
Dott. Geol. Claudio Cinti
Dott. Ing. Francesco Losacco

MOD PROD14 REV01

Codice Cliente:	Codice interno: 19.212

Geotea s.r.l. - via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel 051 6255377- Fax 051 4998378
e-mail: info@geoteasrl.it

SOMMARIO

1. IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO 3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 4
3. PREMESSE 5
3.1. Riferimenti cartografici 6
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 7
4.1. Inquadramento litologico dell'intorno 7
4.2. Profilo morfologico-strutturale 7
4.3. Caratteri idrogeologici 9
5. SISMICITA' DEL SITO 10
5.1. Rischio sismico dell'area 10
5.2. Pericolosità sismica di base 10
5.3. Risposta sismica locale (effetti di sito) 11
5.3.1. Misura a stazione singola HVSR (H/V): 11
6. INDAGINI GEOTECNICHE 15
6.1. Prova penetrometrica statica (CPT) 15
6.1.1. Dati penetrometrici 15
6.1.2. Dati freatimetrici 17
6.2. Prelievo di campioni di terreno 17
7. ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO 18
7.1. Analisi granulometrica 18
7.2. Limiti di Consistenza 18
7.3. Prova di taglio diretto in scatola di Casagrande 18
8. ANALISI DEI DATI 19
8.1.1. Parametri caratteristici e modello geotecnico 19
9. VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE 20
10. OPERE DI INTERVENTO 21
11. CONCLUSIONI 22

ALLEGATI

Tav. 1- INQUADRAMENTO CTR, scala 1:5000 (C.T.R. Emilia Romagna)
Tav. 2 – CARTA GEOLOGICA, scala 1:5000 (Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - RER)
Tav. 3 – CARTA DEL DISSESTO, scala 1: 5000
Tav. 4 – UBICAZIONE INDAGINI, (su foto Bing)
ALLEGATO 1 – Report prove penetrometriche statiche meccaniche
ALLEGATO 2 – Rapporto indagine geofisica
ALLEGATO 3 – Rapporti di prova laboratorio geotecnico

1. IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

Note identificative.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del codice numero di commessa interno 19.212 rev. n° 00, del nostro archivio interno.

Direzione indagini e coordinamento lavoro.

Dott. Geol. Claudio Cinti

Redazione del documento.

Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Claudio Cinti

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n°22 fogli di testo e n°38 fogli allegati.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.2019

Istruzioni per l 'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni " di cui al D.M.17 gennaio 2018.

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 02.02.2009

Istruzioni per l 'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni " di cui al D.M.14 gennaio 2008.

Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario -Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n.36 del 27.07.2007

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita con prove in sito(2002).UNI

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni,strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I :Regole Generali .-UNI

Circ. Min. LL.PP. n° 30483 24 Settembre 1988

Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

3. PREMESSE

A seguito del verificarsi di un evento di dissesto a valle del corpo stradale della Via Don Minzoni, nell'ambito dell'affidamento del progetto di ripristino della carreggiata, nel mese di Giugno 2019, è stata effettuata un'indagine geotecnica volta a ricostruire le caratteristiche fisico-meccaniche e sismiche del sito in esame. L'ubicazione dell'area è riportata sulla Tav.1 allegata.

Fig. 1 Immagine satellite dei siti oggetto d'intervento; il cerchio bianco identifica la zona di ubicazione delle indagini. (google earth)

La presente relazione geologica, in ottemperanza alla legislazione tecnica vigente, delinea il modello geologico del sottosuolo dell'area in cui si inseriscono le opere in progetto, con riferimento ai caratteri geomorfologici, litostratigrafici, idrogeologici, sismici e strutturali che caratterizzano il sito.

Quanto si riporta è stato definito sulla base di conoscenze dirette degli scriventi, di informazioni reperibili dalla letteratura specializzata e dalla consultazione del cartografia disponibile al sito del Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna.

A supporto di tali informazioni, per la definizione di un modello geologico e geotecnico di dettaglio, è stata programmata una campagna d'indagini consistente nell'esecuzione di:

- n° 1 prova penetrometrica statica (CPT);
- n°3 campioni di terreno per analisi di laboratorio geotecnico per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Ci si è avvalsi inoltre di una campagna di indagini svolte in precedenza (Marzo 2014) in area limitrofa, consistita nell'esecuzione di: n°1 Prova Penetrometrica Statica, con prelievo di n°2 campioni; n°1 misura a stazione singola con tecnica HVSR per la determinazione del parametro Vs e delle principali frequenze di risonanza del sito in esame.

L'ubicazione delle prove è riportata in Tav.4 allegata.

I risultati ottenuti mediante l'elaborazione dei dati acquisiti sono stati utilizzati per la costruzione del modello geologico e geotecnico del sito in oggetto.

3.1. Riferimenti cartografici

Da un punto di vista cartografico l'area in oggetto è compresa nei seguenti elaborati tecnici:

- C.T.R. della R.E.R., scala 1:5.000 - Elemento n. 220110 (Tav.1 allegata).

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

4.1. Inquadramento litologico dell'intorno

Nell'area oggetto di studio, il locale substrato è riconducibile alla Formazione delle *Argille Azzurre (FAA)* appartenente ai sedimenti della successione Neogenico-Quaternaria del Margine Appenninico Padano

Si tratta di Argille, Argille marnose, Marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareniti fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Alla base, possono essere localmente presenti marne biancastre ricchissime in Foraminiferi planctonici per uno spessore massimo di 10 m.

Sono sempre presenti i microfossili. Nella parte alta possono essere presenti slumps, o localmente olistoliti plurimetrici di provenienza ligure. Ambiente variabile da scarpata a piattaforma.

Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore

A più ampia scala, l'area presenta contatto tra diverse formazioni (vedi carta geologica Tav.2)

In particolare si ritrova, in eteropia laterale, verso nord, la *Formazione di Monte Adone - Membro delle Ganzole (ADO2),* areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate, in strati da medi a molto spessi; geometria tabulare, cuneiforme e concava. La comparsa di livelli pelitici oltre a rendere più evidente la stratificazione, permette di individuare la transizione verso le sovrastanti FAA. Localmente distinta una litofacies arenaceo-conglomeratica (ADO2c). Talora presenti livelli di peliti grigio scure.

Un contatto tettonico viene indicato, a sud, con la sottostante *Formazione Gessoso Solfifera (GES)* del Messiniano, banchi di gesso selenitico con cristalli traslucidi geminati a "coda di rondine", di dimensioni anche decimetriche, gessoareniti e gessoruditi con intercalazioni di argille siltose bituminose grigio scure o nerastre con bioclasti; sono presenti sottili livelli di siltiti fini grigio chiaro gradate, con sabbia fine organogena alla base, che passano a marne siltose grigie compatte a laminazione ondulata. Nella parte bassa della formazione compaiono sottili strati di calcari dolomitici. Il limite inferiore è graduale, ma verosimilmente è discordante e tettonizzato con la *Formazione del Termina (TER).*

Quest'ultima, appartenente alla successione delle unità epiliguri è costituita da Marne argillose, siltose, talora debolmente sabbiose, grigio-scure, fossilifere (Lamellibranchi, Gasteropodi, Echinidi piritizzati) con rari strati medi di areniti carbonatiche giallastre e sporadici strati medi e sottili di arenarie gradate, marroni o grigie, con granulometria media e grossolana, ricche in bioclasti e glauconite.

Possono essere presenti rari livelli di peliti nerastre con lamine piano-parallele, bituminose, alternate a biosiltiti grigio chiaro o biancastre. Ambiente di scarpata e margine bacino con apporti torbiditici e frane sottomarine. *Serravalliano terminale - Messiniano inf.*

4.2. Profilo morfologico-strutturale

L'area indagata, situata ad una quota assoluta di circa 240 m. slm., ricade su una struttura complessa, con rilievi fortemente acclivi, dotati di giaciture non identificabili, nelle diverse unità e formazioni presenti, coperti da vegetazione sia arbustiva che arborea, in relazione alla litologia dei suoli.

Dalla cartografia geologica strutturale, si rileva, per la formazione di Monte Adone *(ADO2),* una giacitura ad andamento antiappenninico (NE-SO) con inclinazione variabili di 24°.

La morfologia dei versanti è prioritariamente controllata dalle caratteristiche litologiche e strutturali, soggette all'azione fisica e meccanica delle acque meteoriche.

In corrispondenza della formazione argillosa (FAA), sono ampiamente sviluppate profonde incisioni da erosione incanalata, con evidenza di pattern idrografico di tipo dendritico tipicamente legato a forme calanchive, con scarsa o assente vegetazione.
Queste forme erosive progrediscono, in modo irreversibile, interessando porzioni sempre più estese, ed elevate, dei versanti.
In queste zone sono segnalate dalla cartografia del dissesto dalla Regione Emilia Romagna (Tav.3 allegata) diverse tipologie di depositi legati ad alterazione e disgregazione dei versanti.

a1d - Deposito di frana attiva per colamento di fango

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple,temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.
Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto. Vengono inclusi in questa categoria anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno rimobilizzato).

a3 - Deposito di versante

Accumulo di detrito su versante sulla cui attribuzione genetica permane un grado di incertezza, mancando spesso i caratteri di forma tipici delle frane stesse. Generalmente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), solo localmente stratificato e/o cementato. La genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso.

a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili. Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti, alla data del rilevamento o dell'aggiornamento.
Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni.

Lateralmente, ove presenti formazioni arenitiche (ADO) o marnose (TER) o al contatto tra diverse formazioni, si rilevano depositi ed accumuli aventi caratteristiche diverse sia in termini di morfologia che di potenziale cinematismo.

a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante, di una massa di terra che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile di intensa deformazione a taglio.
Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche all'assetto dei luoghi.

a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.
Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto alla data dell'aggiornamento (indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi). Vengono inclusi in questa categoria anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno rimobilizzato) all'occhio del tecnico rilevatore. Sono altresì incluse anche frane con velocità recepibile solo attraverso strumenti di precisione (inclinometri, estensimetri, ecc.),qualora esistenti.

4.3. Caratteri idrogeologici

Il bacino idrografico superficiale locale, è costituito come già accennato da alcuni Rii provenienti dai versanti circostanti, i cui regimi idraulici dipendono esclusivamente dagli andamenti stagionali.

Considerando l'assetto stratigrafico e litologico è da ritenere del tutto plausibile che acque provenienti dai versanti, permeate nel sottosuolo, possano essere drenate lungo vie preferenziali a maggiore trasmissività, quali gli strati sabbiosi appartenenti alle formazioni in posto, alimentando il principale corso d'acqua.

Si segnala infine la presenza di un l'impluvio posto ad ovest delle aree in oggetto, ai piedi del monte Malgotto, in prossimità della formazione gessoso solfifera (GES), che farebbe pensare alla presenza di una dolina, inghiottitoio naturale, legato al carsismo dei gessi, in grado di ricevere le acque provenienti dai versanti circostanti, restituendole ad un livello freatico più profondo.

5. SISMICITA' DEL SITO

5.1. Rischio sismico dell'area

Il rischio sismico di un'area è definito dall'equazione:

Rischio Sismico = Pericolosità x Valore Esposto x Vulnerabilità

dove la Pericolosità (hazard) è la probabilità che ciascun sito ha di essere epicentro di un terremoto di magnitudo data in un certo intervallo di tempo (si veda capitolo 5.2 della presente relazione per quanto riguarda della pericolosità sismica di base del sito oggetto di studio), il Valore Esposto è il valore dell'insieme di persone e cose presenti nell'area e la Vulnerabilità indica la mancanza di resistenza delle strutture alle sollecitazioni sismiche. L'unica variabile delle tre ancora poco conosciuta è la vulnerabilità, che rappresenta l'elemento mancante per una stima affidabile del rischio sismico del territorio. Solo tramite valutazioni accurate della vulnerabilità è possibile mettere a punto una strategia efficace di difesa dai terremoti. Il primo dei due elementi fondamentali che caratterizzano la vulnerabilità è l'*instabilità dei suoli.*

Nel nostro caso in particolare il fattore in grado di influenzare la vulnerabilità sismica è rappresentato dai cosiddetti *effetti di sito*.

5.2. Pericolosità sismica di base

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base", chiamata d'ora in poi pericolosità sismica del sito. Essa viene espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g su suolo rigido orizzontale di riferimento e costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica di base per un qualsiasi sito considerato è la probabilità che in un certo intervallo di tempo chiamato periodo di riferimento V_R (espresso in anni) in detto sito si verifichi un evento sismico di intensità almeno pari ad una prefissata. La probabilità in questione è chiamata P_{VR}, probabilità di superamento o di eccedenza nel periodo di riferimento V_R.

La pericolosità sismica del sito in esame viene definita a partire dalle sue coordinate geografiche e da quelle relative ai 4 nodi del reticolo (reticolo di riferimento) all'interno del quale ricade l'area in studio (Coordinate WGS84 - Lat.44.470326; Lon.11.230976)

Di seguito si riportano le coordinate geografiche del sito in esame e quelle relative ai 4 nodi del reticolo all'interno dei quali ricade l'area in studio.

	ID	LAT (°)	LON(°)	Distanza (m)
Zola Predosa Via Don Minzoni	-	44.471267	11.231971	-
NODO 1	16950	44,4624	11,1793	4275.997
NODO 2	16951	44,4637	11,2493	1748.737
NODO 3	16729	44.5137	11,2474	4739.899
NODO 4	16728	44,5123	11,1774	6137.476

Tab. 1 - Coordinate geografiche del sito in esame e dei nodi di riferimento espresse in ED50.

Nella sottostante tabella si riportano i dati relativi alla vita nominale (V_N), alla classe d'uso e relativo coefficiente (C_U), ed al periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = V_N \times C_U$) considerati per l'opera di progetto. Lo

scrivente ha ipotizzato la classe d'uso: II

Tipologia opera	opera di sostegno	-
V_N	50	anni
Classe uso	II	-
C_U	1.0	-
V_R	50	anni

Tab. 2 - Vita nominale e carattere strategico dell'opera di progetto.

Di seguito vengono riportati i valori medi dei parametri sismici relativi al sito in esame (in riferimento ai 4 nodi di tab. 1), ottenuti mediante l'utilizzo del software GeoStru PS, con riferimento al carattere strategico dell'opera. L'azione sismica per il sito in esame è definita sulla base della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g per ciascun stato limite ultimo e di esercizio.

Stati limite		**P_{VR} (%)**	**T_R (anni)**	**a_g (g)**	**F_0 (adm)**	**Tc* (s)**
SLE	SLO	81	30	0,054	2,487	0,257
	SLD	63	50	0,066	2,491	0,270
SLU	SLV	10	475	0,164	2,3888	0,306
	SLC	5	975	0,207	2,413	0,315

Tab. 3 - Parametri sismici ottenuti considerando V_R = 50 anni (C_U = 1.0; Classe d'uso II)

Pv_R = probabilità di superamento nel periodo di riferimento;
T_R = periodo di ritorno dell'azione sismica;
a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di riferimento rigido orizzontale;
F_O = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
T_C* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

5.3. Risposta sismica locale (effetti di sito)

Per determinare gli effetti di sito e la risposta sismica locale mediante il parametro Vs, come da vigente normativa NTC 2018, è stata considerata una indagine geofisica realizzata in occasione di una precedente campagna di indagini, sull'area:

- N. 1 misura a stazione singola mediante tromografo digitale modello Tromino Engy con tecnica HVSR (si veda Tav.4 e report sismico in allegato).

5.3.1. Misura a stazione singola HVSR (H/V):

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico

è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei µm/s). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. E' stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione in genere compreso tra 10 e 20 minuti. La misura è stata poi ripetuta per controllo.

Sulla base dei dati ricavati dalle sopraccitate indagini di campagna è stato redatto per il sito di Via Don Minzoni, il seguente modello del profilo verticale di velocità delle onde di taglio S:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	80
3.50	2.50	170
6.00	2.50	230
16.00	10.00	300
36.00	20.00	430
86.00	50.00	600
176.00	90.00	800
inf	inf	1150

Tab. 6 - Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato con tecnica MASW e HVSR combinate

Sulla base dei dati ricavati dall'indagine sismica di campagna, la velocità media equivalente delle onde di taglio S nei primi 30 m sottosuolo, con riferimento alla profondità del substrato H>30m, come da Cap. C3.2.2 NTC 2018 e Circolare applicativa, risulta la seguente: **Vseq.= Vs30 =289 m/s**.

C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

Tab. 7 - Categorie di suolo di fondazione sulla base del valore Vs (tabella 3.2.II - NTC 2018)

categoria	caratteristiche della superficie topografica	S_T
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤ 30°	1.2

Tab. 8 – Coefficiente di amplificazione topografica.

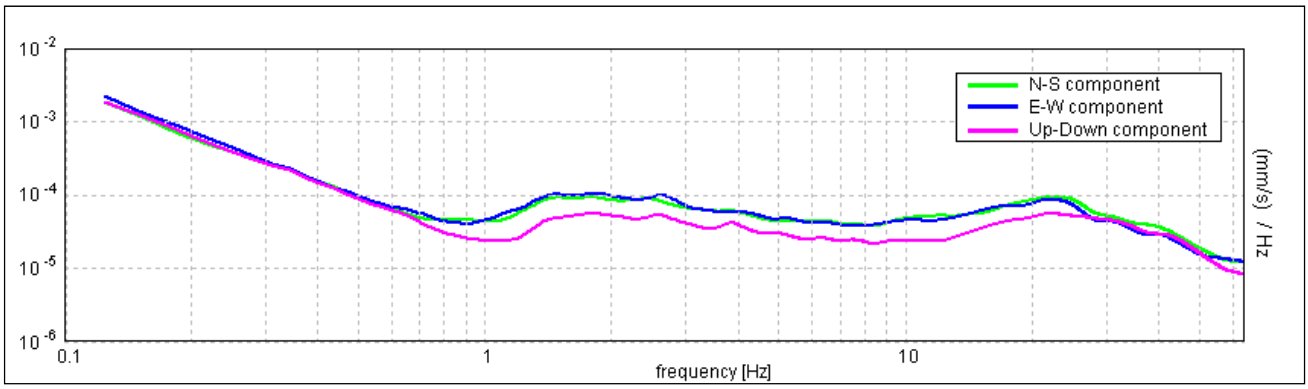
Pertanto, unicamente in riferimento ai valori di Vs ottenuti dal profilo sismico, **seguendo l'approccio semplificato di cui alle NTC 2018, è possibile collocare il sottosuolo in classe C.**

In fase di progettazione il valore di Vs dovrà essere calcolato dal piano di posa delle fondazioni.

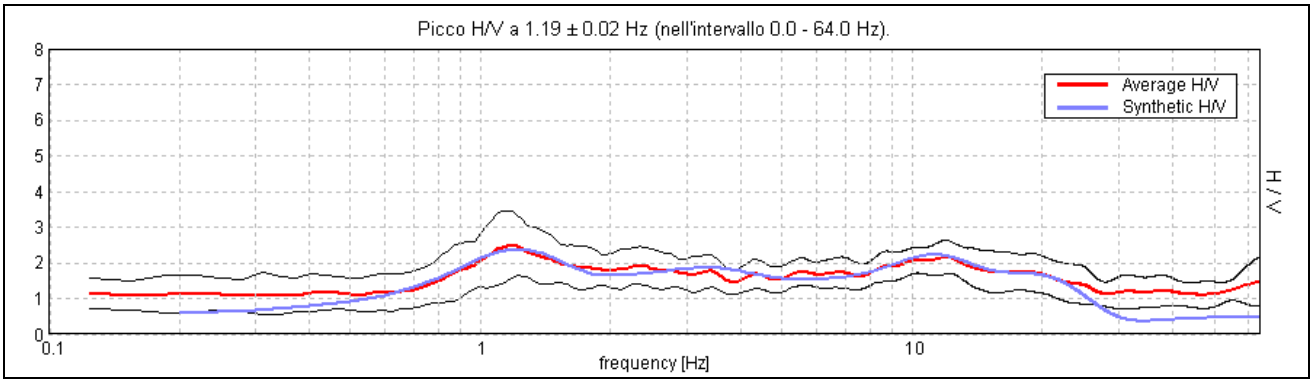
Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs)

caratteristici di terreni compatti e molto compatti, ad eccezioni del primo metro, metro e mezzo, caratterizzato invece da una rigidezza piuttosto scarsa.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



<u>La curva HVSR è caratterizzata da deboli e modeste amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica in tutto il range di frequenza analizzato (0.1-64 Hz). Il picco H/V è stato registrato a circa 1.2 Hz (contrasto d'impedenza medio).</u>

A questo punto sulla base dei dati riportati nelle precedenti pagine è possibile definire l'azione sismica per il sito in esame (tabella 9), con riferimento alla tipologia di opera che si intende realizzare (carattere strategico dell'opera), sulla base della pericolosità sismica di base (espressa in termini di accelerazione orizzontale massima a_g per ciascun stato limite ultimo e di esercizio) e delle amplificazioni stratigrafiche e topografiche dipendenti rispettivamente dalla categoria di suolo ottenuta e dalle caratteristiche della superficie topografica sulla quale si colloca l'area di studio.

Stati limite		Ss (-)	Cc (-)	S_T (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s^2)	Beta (-)
SLE	SLO	1.500	1.640	1.200	0.019	0.010	0.947	0.200
	SLD	1.500	1.620	1.200	0.024	0.012	1.173	0.200
SLU	**SLV**	**1.470**	**1.550**	**1.200**	**0.069**	**0.035**	**2.833**	**0.240**
	SLC	1.420	1.560	1.200	0.097	0.049	3.414	0.280

Tab. 9 - Coefficienti sismici considerando V_R = 50anni (C_U = 1; Classe d'uso II) – in evidenza i coefficienti relativi allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita

Dove:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Cc = coefficiente funzione della categoria di suolo

$S = S_S \times S_T$

Amax = accelerazione massima attesa nel sito

Beta = coefficiente di riduzione

Kh = coefficiente sismico orizzontale

Kv = coefficiente sismico verticale

6. INDAGINI GEOTECNICHE

Come accennato nelle premesse, oltre l'indagine geofisica già descritta, la campagna geognostica è consistita nell'esecuzione di:

- n.1 Prova Penetrometrica statica CPT;
- n.3 prelievi di campioni di terreno indisturbato, per analisi di laboratorio geotecnico

L'ubicazione delle prove è riportata nella TAV.4 allegata

6.1. Prova penetrometrica statica (CPT)

E' stato utilizzato un penetrometro statico *Deep Drill* modello SP100 SM da 100 kN di spinta munito di punta tipo Begemann con manicotto per la misura dell'attrito laterale locale *(Friction Jacket Cone).*
Ogni 20 cm di penetrazione dell'intera batteria di aste, il sistema di spinta consente la lettura dei valori della resistenza alla punta (Qc) e della resistenza alla punta sommata alla resistenza al manicotto laterale (Qlat), con una velocità di avanzamento di 20 mm/s.

Fig. 4 – Prova CPT con Penetrometro modello Deep Drill

I risultati della prova sono illustrati nei diagrammi allegati, in cui sono riportati, in funzione della profondità, i valori della resistenza alla punta qc (kg/cm^2) e la resistenza laterale fs (kg/cm^2).

L'analisi dei risultati della prova penetrometrica è stata eseguita impiegando le più comuni metodologie di valutazione riportate nella letteratura geotecnica.

6.1.1.Dati penetrometrici

La prova penetrometrica statica, eseguita a lato del dissesto, è stata protratta sino alla profondità massima di

12.00m. d.p.c. consentendo l'individuazione di una coltre superficiale di terreni limosi umidi ed in detensionamento (basse resistenze alla penetrazione) sovrastanti terreni argillosi appartenenti al locale substrato.

CPT1

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,138	0,0	1,8	Incoerente	Sabbie Sciolte
0,40	0,138	0,133	1,6	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
0,60	20,138	0,400	1,9	Incoerente	Sabbie
0,80	12,138	1,067	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1,20	39,207	0,467	1,9	Incoerente	Sabbie
1,40	20,276	0,933	2,0	Coesivo	Argilla inorganica compatta
1,60	42,276	1,200	2,1	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
1,80	18,276	1,200	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,60	14,879	1,200	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,80	19,173	1,444	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
4,20	32,621	1,534	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
8,80	39,836	2,852	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
9,20	38,311	1,800	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
9,40	43,380	4,667	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
9,80	54,380	3,067	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
11,80	43,7594	3,387	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

Tab. 10 – resistenze al manicotto del penetrometro e interpretazioni litologiche

Le letture di campagna, i grafici penetrometrici ed i dati geotecnici disaggregati vengono riportati integralmente tra gli allegati. Di seguito si riporta un riepilogo dei parametri geotecnici ottenuti, nel quale, per gli strati francamente coesivi (C) viene indicato il solo valore della coesione non drenata (Cu), per quelli incoerenti (I) il solo valore dell'angolo di attrito interno di picco (Fi), mentre per quelli con caratteristiche intermedie (CI) o con sottili e ripetute intercalazioni di materiali coerenti ed incoerenti vengono calcolati i valori sia dell'angolo d'attrito che della coesione.

Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
0,20	I	--	--	1,1	8,3	<0.5	0,0	0,0	<5	28,7	0,3
0,40	C	0,0	3,2	0,9	8,3	< 1	1,1	1,1	--	--	--
0,60	I	--	--	100,7	175,4	0,8	1,8	2,1	<5	38,9	50,3
0,80	C	0,9	450,5	47,0	128,7	> 6	1,9	2,0	--	--	--
1,20	I	--	--	117,6	263,5	0,8	1,9	2,2	<5	39,5	98,0
1,40	C	1,4	751,3	41,3	176,1	> 6	2,0	2,1	--	--	--
1,60	CI	3,0	1574,8	84,6	275,9	1,0	2,1	2,2	<5	38,3	105,7
1,80	C	1,3	673,3	45,5	165,3	= 6	2,0	2,0	--	--	--
2,60	C	1,0	542,3	48,4	145,8	= 6	1,9	2,0	--	--	--
3,80	C	1,3	696,0	43,8	170,2	= 6	2,0	2,0	--	--	--
4,20	CI	2,3	1194,2	65,2	235,5	<0.5	2,1	2,1	<5	33,1	81,6
8,80	C	2,8	1445,0	79,7	266,0	= 6	2,1	2,2	--	--	--
9,20	CI	2,6	1368,2	76,6	259,8	<0.5	2,1	2,2	<5	30,7	95,8
9,40	C	3,0	1555,9	86,8	280,2	= 6	2,1	2,2	--	--	--
9,80	CI	3,7	1966,1	108,8	321,7	<0.5	2,1	2,2	<5	32,3	136,0
11,80	C	3,0	1558,3	87,5	281,7	= 3	2,1	2,2	--	--	--

Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm²)

6.1.2. Dati freatimetrici

In sede di indagine, non è stata rilevata la presenza di livelli freatici, sino alle profondità indagate.

6.2. Prelievo di campioni di terreno

Il campionamento è stato effettuato ad infissione, mediante lo stesso penetrometro *Deep Drill* utilizzato per la prova CPT, opportunamente attrezzato con un campionatore a pareti sottili tipo Shelby di lunghezza pari a 70 cm e diametro 85 mm.

Sul terreno superficiale sottostante la massicciata stradale è stato prelevato:

- **C1** alla profondità compresa tra 1.50 – 1.60 m dal p.c.

sul corpo di frana è stato prelevato il seguente campione:

- **C2** alla profondità compresa tra 2.50 – 2.60 m dal p.c.

Nel punto di esecuzione della CPT1 è stato prelevato il seguente campione indisturbato:

- **CPT1-C1** alla profondità compresa tra 2.85 – 3.20 m dal p.c.;

7. ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

7.1. Analisi granulometrica

L'analisi granulometrica è stata eseguita ai sensi della norma CNR - UNI A. V n° 23, tramite setacciatura e tramite aerometria con il metodo del densimetro sulla frazione passante al setaccio 0.075 mm.

Campione	Profondità campione	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
C1	1.50 – 1.60 m	0.23	19.72	62.38	17.67
C2	2.50 – 2.60 m.	6.04	12.76	51.03	30.17

7.2. Limiti di Consistenza

Per la determinazione dei limiti di consistenza LL, LP (limiti di Atterberg) si è proceduto ai sensi della norma CNR-UNI 10004.

Campione	Profondità campione	LL %	LP%	IP %
C1	1.50 – 1.60 m	40	22.6	17.4
C2	2.50 – 2.60 m.	53.6	25.8	27.8

Essi forniscono una indicazione del comportamento delle terre e possono servire come mezzo di identificazione e classificazione.

7.3. Prova di taglio diretto in scatola di Casagrande

La prova di taglio diretto eseguita secondo la UNI CEN ISO/TS 17892-10 consiste nel sottoporre il campione di terreno, opportunamente preparato, a due forze poste su due piani ortogonali tra loro, una verticale (Pv) e l'altra orizzontale (Po). Questa prova permette di determinare le caratteristiche di resistenza al taglio di una terra in diverse condizioni che dipendono dal tipo di drenaggio imposto e dal tipo di consolidazione.

<u>Risultati prova di taglio:</u>

Campione	Profondità campione	Valori di picco		Valori critici		Valori residui	
		ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ_c' (°)	c_c' (kPa)	ϕ_r' (°)	c_r' (kPa)
C1	1.50 – 1.60 m	26.25	18.99	-	-	-	-
C2	2.50 – 2.60 m.	23.61	5.03	-	-	15.46	0.06
Cpt1-C1	2.85 – 3.20 m.	23.94	18.58	24.16	0.60		

Tab. 11a – parametri di resistenza al taglio (dove ϕ' = angolo di attrito interno del materiale; c' = coesione efficace)

8. ANALISI DEI DATI

Dalle prove eseguite in sito ed in laboratorio, è stato possibile ricostruire un modello stratigrafico del primo sottosuolo, che risulta così costituito:

- Terreno vegetale e suolo alterato dello spessore di circa 0.60-0.70 m.
- Limo sabbioso argilloso, dello spessore di circa 1.00 -1.10m. con parti litoidi e terreno di riporto, che costituisce anche il terreno di sottofondo del corpo stradale. A questo strato, avente un peso di volume (γ_n) stimato di 1800-1900 Kg/m^3, possono attribuirsi valori di angolo di attrito interno ϕ' = 26° ed un valore di coesione efficace c'= 0.19 Kg/cm^2. La resistenza non drenata c_u = 0.9 - 1.4 Kg/cm^2
- Terreno limoso argilloso, dello spessore di circa 2.00m., costituente lo strato movimentatosi ed attualmente detensionato. I valori di resistenza al taglio del campione prelevato sono risultati variabili da valori di Picco: ϕ' = 24°; c'= 0.05 ÷ 0.18 Kg/cm^2; a valori critici: ϕ' = 24°; c'= 0.006 Kg/cm^2; a valori residui: di ϕ' = 16°; c'= 0.0006 Kg/cm^2. La coesione non drenata dalla prova CPT è valutabile in c_u = 1.0 ÷ 1.3 Kg/cm^2. Il peso di volume γ_n = 1900 - 2000 Kg/m^3
- Argille limose compatte riconducibili alla parte più superficiale e alterata della formazione in posto, costituita delle Argille azzurre. Per questo strato si stima una coesione non drenata, ottenuta da prova CPT, pari a c_u = 2.3 ÷ 3.7 Kg/cm^2. Per quanto attiene i parametri efficaci, non essendo stato possibile prelevare campioni a questa profondità, e non ritenendo attendibili i valori di angolo di attrito ottenuti dalla interpretazione delle CPT, in quanto sovrastimati, sono stati considerati parametri efficaci intermedi tra i valori di picco e i valori critici dello strato immediatamente sovrastante. (ϕ' = 24°; c'= 0.09 Kg/cm^2)

8.1.1.Parametri caratteristici e modello geotecnico

Dai dati stratigrafici a disposizione e dai i parametri geomeccanici ottenuti, riportati nel dettaglio tra gli allegati, vengono qui schematizzati i parametri geotecnici caratteristici adottati per le verifiche seguenti.

Per quanto attiene lo strato movimentatosi ed attualmente in accumulo sul versante, sono stati considerati cautelativamente i valori "critici".

(CPT1)

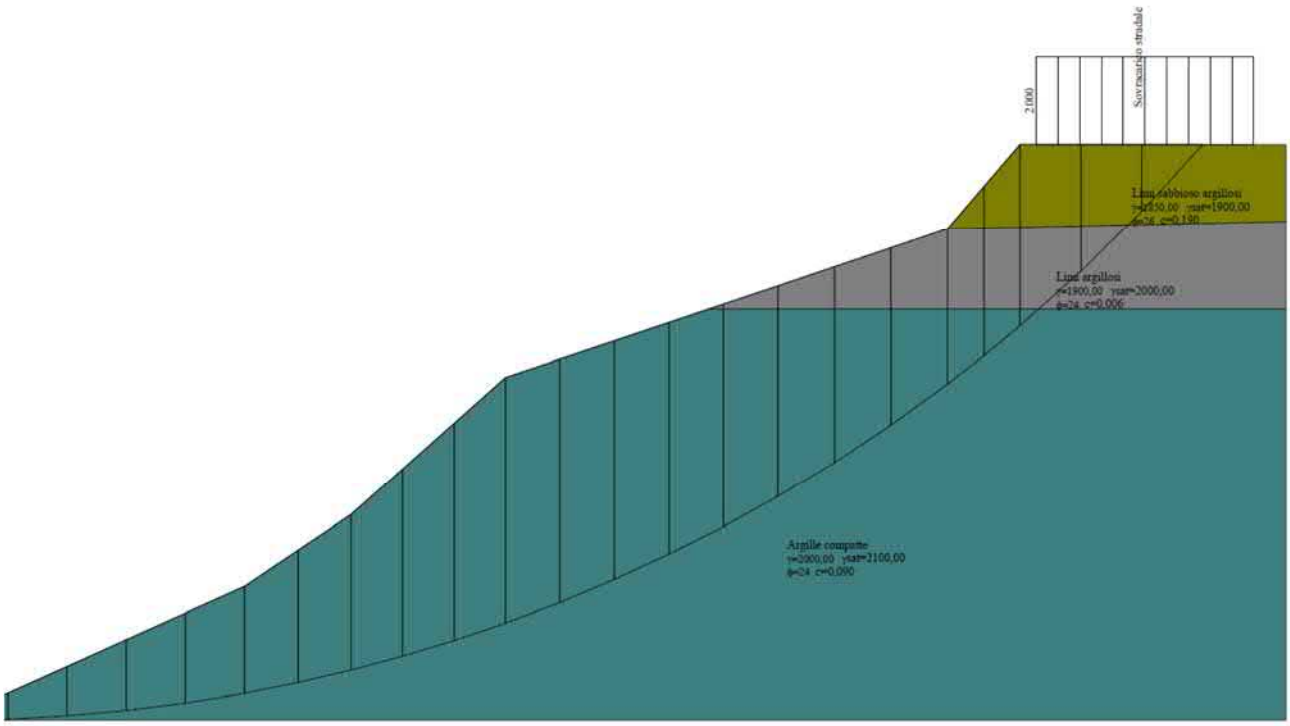
profondità (m.)	litologia	γ_{nk} (kg/cm²)	φ'_k (°)	c'_k (kg/cm²)	c_{uk} (kg/cm²)
0.00 - 0.70	Suolo alterato	-	-	-	-
0.70 – 1.70	Limi sabbioso argillosi	1850	26°	0.19	1.20
1.70 – 3.80	Limi argillosi	1950	24°	0.006	1.65
3.80 – 11.80	Argille molto compatte	2000	24°	0.09	2.50

9. VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE

Al fine di individuare un idoneo intervento di ripristino della zona dissestata a valle strada, si sono anzitutto verificate le attuali condizioni di stabilità del versante su cui andrebbero ad insistere eventuali opere.

Le verifiche, secondo quanto previsto dalle NTC 2018, sono state eseguite con metodi all'equilibrio limite, sia in condizioni statiche, che in condizioni sismiche, considerando sia le condizioni a breve che a lungo termine.

Per le verifiche si è ipotizzato un sovraccarico stradale di 2000 Kg/mq. uniformemente distribuito sulla larghezza della carreggiata.



Dagli esiti delle verifiche emergono i seguenti aspetti: sulle numerose superfici testate, le verifiche a breve termine (condizioni non drenate) risultano ampiamente cautelative, mostrando fattori di sicurezza superiori a quanto previsto dalle norme vigenti (FS>1.2).

Per quanto riguarda l'analisi a lungo termine, le verifiche non risultano soddisfatte, presentando superfici critiche di scorrimento, i cui fattori di sicurezza risultano inferiori ai minimi richiesti. (FS_{min} = 1.03 < 1.1 (condizione statica); 1.2 (condizione sismica).

Allo stato attuale il versante risulta stabile nelle sole condizioni di "breve termine", si dovrà quindi intervenire con opere che impediscano il progredire del dissesto, salvaguardando al tempo stesso l'integrità e la funzionalità della strada.

10. OPERE DI INTERVENTO

- In queste circostanze si rendono anzitutto **necessarie ed urgenti opere tese a contenere l'azione erosiva e di diffusione generalizzata delle acque sul versante.**

  Considerando che il dissesto in atto potrebbe essere stato innescato da una condotta di scarico danneggiata, i cui elementi sono visibili sul corpo di frana, si dovranno prevedere, nell'ambito del risanamento e del mantenimento dell'infrastruttura viaria, interventi di ripristino anche provvisorio della condotta, con rimodellazione fisico-morfologica dell'intorno, unitamente ad un riassetto della regimazione delle acque; opere finalizzate a mitigare localmente il fenomeno erosivo, ed a rallentarne la progressione.

  A tal fine potrebbe essere realizzata, a sostegno della strada, una gabbionata in pietrame; con sistema di drenaggio in parte interrato ed in parte a cielo aperto, con impermeabilizzazione del fondo delle trincee, per il recapito a valle di tutte le acque presso i più prossimi impluvi naturali. Sul terreno naturale risagomato sarà opportuno posare protezioni corticali (bistuoie o geogriglie) da idroseminare per un rapido attecchimento di piante locali. Questo intervento, a sostegno del corpo stradale, fornirebbe un contributo di stabilità alla parte più elevata del versante, a fronte di un trascurabile incremento di carico, e con tempi realizzativi piuttosto rapidi.

- **Contestualmente si dovrà procedere con interventi di carattere strutturale funzionali alla salvaguardia dell'operatività dell'infrastruttura viaria.**

  Analizzando il contesto sembrerebbe piuttosto complessa la realizzazione di una "paratia" a lato strada, in quanto comporterebbe, in caso di esecuzione di pali di grande diametro, una cantierizzazione ad elevata invasività sull'area; mentre qualora ciò avvenisse tramite la realizzazione di pali di piccolo diametro, si avrebbe la sostanziale impossibilità ad eseguire tiranti, per la presenza di fabbricati privati sul lato opposto.

  Sembrerebbe invece più percorribile la realizzazione di un intervento di consolidamento del corpo stradale, costituito da una doppia palificata con utilizzo di pali trivellati solidarizzati in testa tramite telaio di travi in c.c.a., longitudinali e trasversali, o soletta continua, da realizzare sotto la sovrastruttura.

  L'opera consentirebbe una diminuzione dei carichi agenti sui terreni più superficiali, particolarmente vulnerabili all'azione delle acque, interessando terreni più profondi costituenti il substrato locale, e la presenza dei pali di fondazione di medio diametro, innestati per diversi metri all'interno della Formazione delle Argille Azzurre, contrasterebbe l'azione di taglio esercitata dal terreno lungo le potenziali superfici di scorrimento.

  A tal proposito, si evidenzia che, lo strato di "Argille compatte" che caratterizza la maggior parte del versante, è stato in questa sede modellato considerando parametri indicativi, mentre una più corretta modellazione richiederebbe l'uso di parametri ottenuti su campione prelevato all'interno della Formazione delle Argille Azzurre, circostanza non percorribile se non attraverso l'esecuzione di un sondaggio geognostico profondo sul corpo di frana, attualmente non accessibile.

  Si ritiene pertanto opportuno procedere celermente con una campagna di indagine geognostica che preveda sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni profondi e analisi di laboratorio.

  I dati ottenuti consentiranno una valutazione puntuale dei caratteri geotecnici utili ai fini della progettazione delle nuove opere di fondazione profonda, oltre che per ulteriori valutazioni sulla stabilità del versante.

11. CONCLUSIONI

Nel territorio del comune di Zola Predosa (BO), presso Via Don Minzoni, a seguito del verificarsi di un evento di franoso che ha coinvolto una scarpata del versante su cui insiste la strada, sono state effettuate indagini geognostiche volte a ricostruire il modello geologico ed i caratteri geotecnici e sismici del sito, ai fini della progettazione di interventi di ripristino dell'area in dissesto a sostegno della strada.

L'esecuzione di n°1 prova penetrometrica statica ed il prelevamento di campioni di terreno, hanno consentito di individuare, sotto la coltre di suolo alterato, sedimenti limosi detensionati, dello spessore di circa 2.00-3.00 m., sovrastanti un rilevante strato di sedimenti argillosi e argilloso limosi, appartenenti al substrato locale riconducibile alla Formazione delle Argille Azzurre.

In sede di indagine sino alle profondità sondate non sono stati riscontrati livelli freatici o di falda.

L'indagine sismica ha permesso di ricostruire l'andamento delle onde di taglio S per oltre 30 m di profondità dal p.c. attuale, e di classificare il suolo di fondazione in categoria C (Vs = 289 m/s).

L'evento di dissesto sembrerebbe principalmente legato alla rottura di una condotta di scarico, che ha progressivamente imbibito gli strati di versante sottostante la strada, e che in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi, si sia innescato il movimento. Tuttavia le diffuse morfologie calanchive presenti nell'area, sono attualmente in continua evoluzione con il progressivo arretramento dei fronti e l'interessamento di terreni limitrofi. L'estensione e l'assetto giaciturale dei versanti non consentono di contrastare, ragionevolmente, ed in modo generalizzato, il fisiologico evolversi di queste forme di erosione.

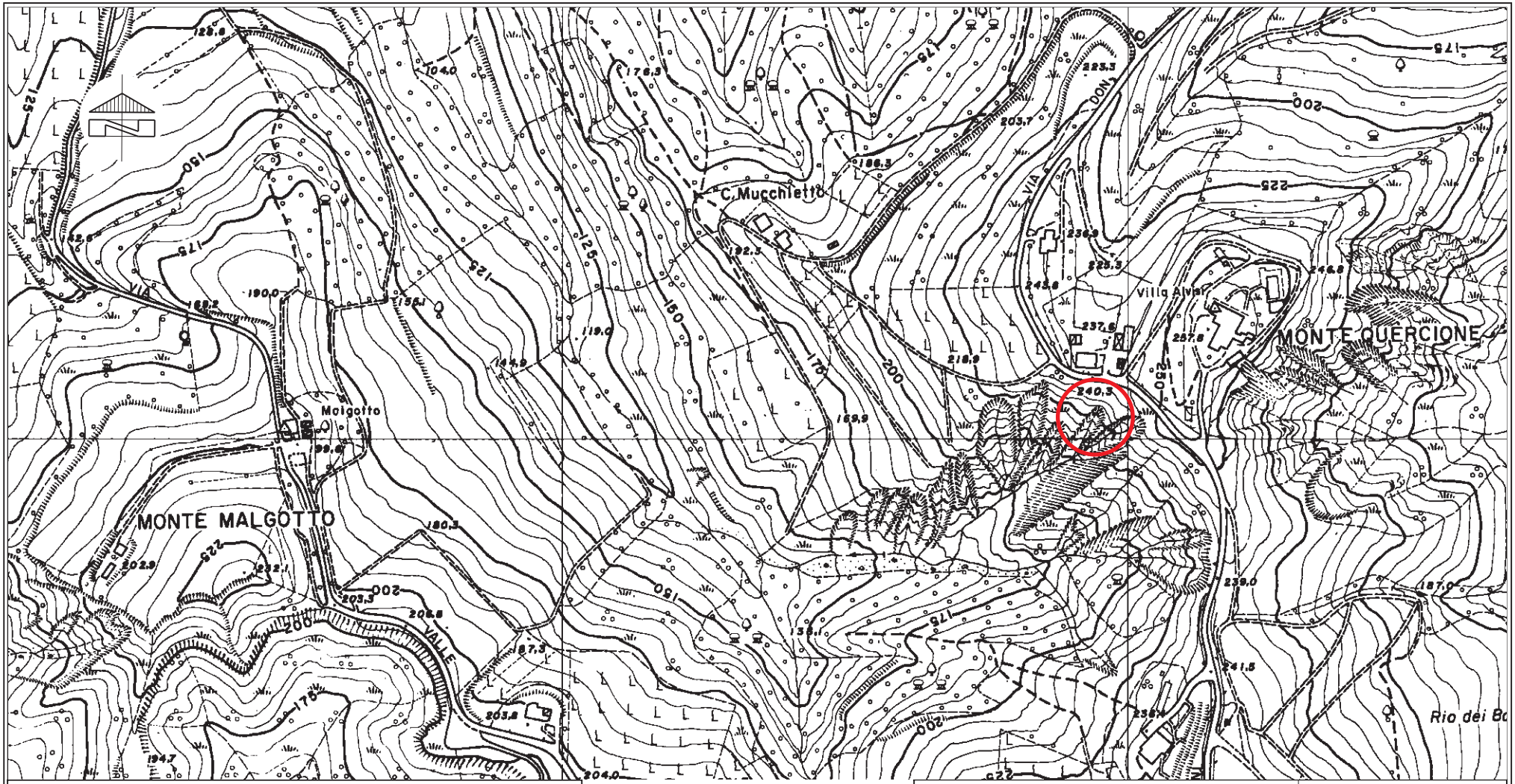
Dalla modellazione geotecnica del versante, tal quale, e dalle verifiche svolte, emerge la sostanziale instabilità del versante nelle condizioni di lungo termine, a fronte di fattori di sicurezza elevati (FS>1.2) nelle condizioni di breve termine.

Si dovranno quindi prevedere, nell'ambito del risanamento e del mantenimento dell'infrastruttura viaria, interventi oltre che di carattere strutturale, anche di rimodellazione fisico-morfologica dell'intorno, unitamente ad un riassetto della regimazione delle acque, finalizzate a mitigare localmente il fenomeno erosivo, ed a rallentarne la progressione.

Non sono state affrontate verifiche alla liquefazione, mancando la presenza dei principali elementi predisponenti tale fenomeno (depositi di sabbie pulite e presenza di falda).

San Lazzaro di Savena (BO), 25/05/2020

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. CLAUDIO CINTI
Emilia-Romagna
GEOLOGO
SEZ.A
N.1043 ALBO



Legenda:

Ubicazione aree di intervento

Scala 1:5.000

GEOTEA
Geologia Territorio Ambiente

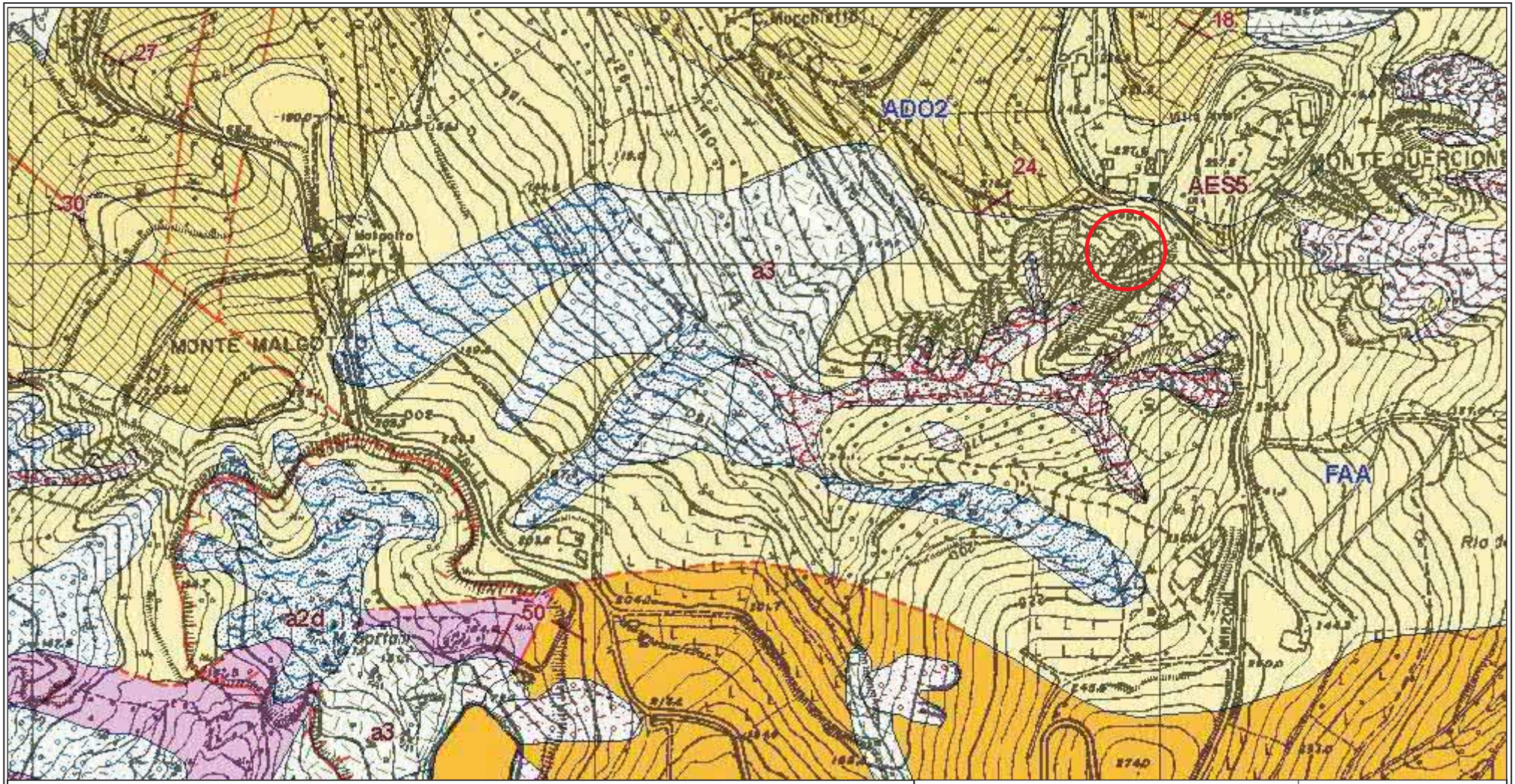
TAV. 1
Inquadramento cartografico

PR.: 19.212

Giugno 2019

Committente:
Comune di Zola Predosa

Estratto CTR
220112



Legenda:

AES5	Subsintema Torre Stagni (ghiaie passanti a sabbie e limi)
FAA	Argille Azzurre (argille, argille marnose, marne argillose)
ADO2	Formaz. Monte Adone - Membro delle Ganzole (areniti e peliti sabbiose)
GES	Formaz. Gessoso-Solfifera (banchi di gesso selenitico)
TER	Formaz. del Termina (marne argillose, siltose)

Ubicazione aree di intervento

GEOTEA
Geologia Territorio Ambiente

TAV. 2
Inquadramento geologico dell'area

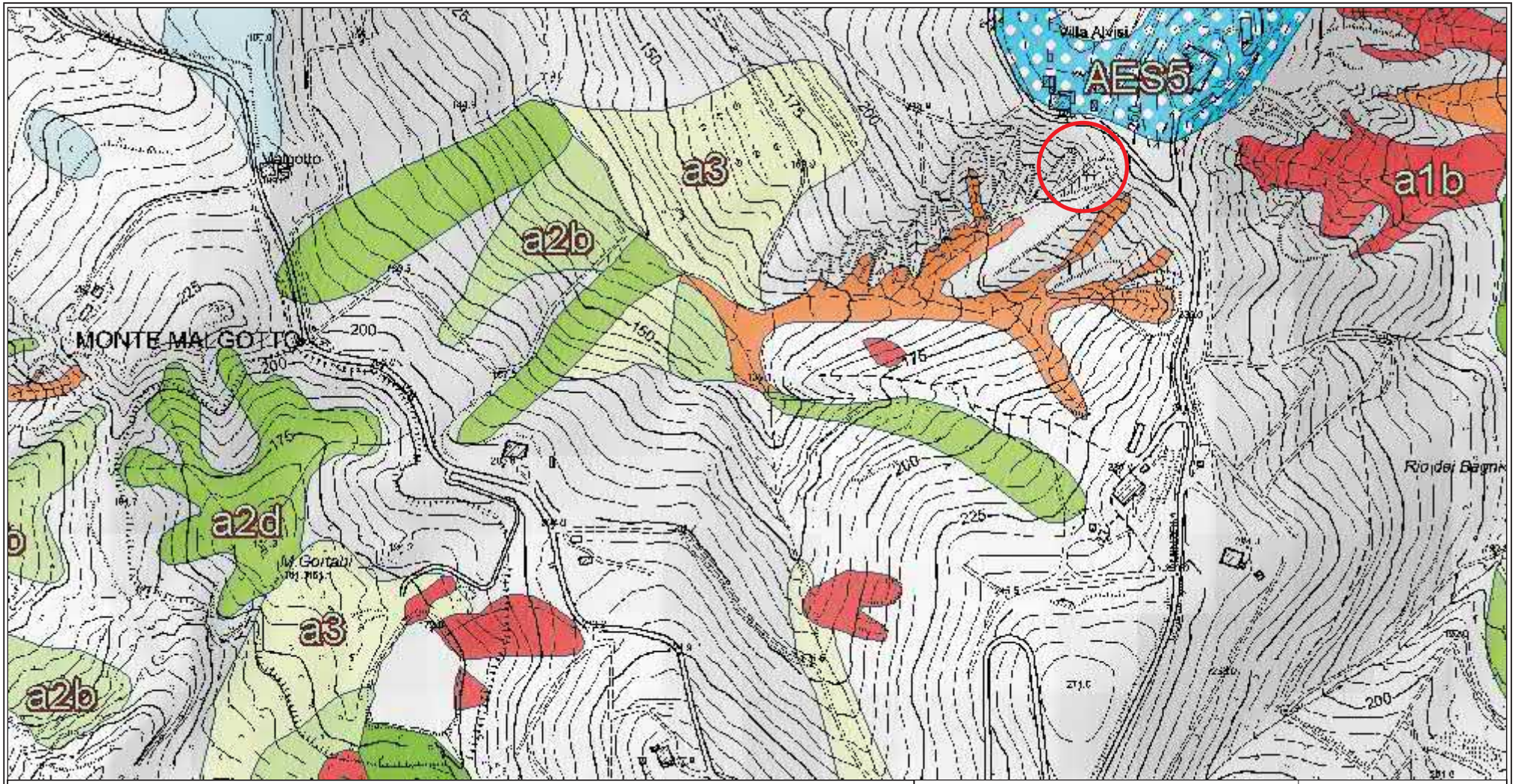
PR.: 19.212

Giugno 2019

Committente:
Comune di Zola Predosa

Estratto da: Carta Geologica dell'Emilia Romagna

Scala 1:5000



Legenda:

- a3 — Deposito di versante di origine gravitativa, da ruscellamento superficiale, da soliflusso.
- a2b — Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d — Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- a1b — Deposito di frana attiva per scivolamento
- a1d — Deposito di frana attiva per colamento di fango

GEOTEA
Geologia Territorio Ambiente

TAV. 3
Carta del dissesto

PR.: 19.212

Giugno 2019

Committente:
Comune di Zola Predosa

Estratto da: Carta Geologica dell'Emilia Romagna

Scala 1:5000

CPT — Prova penetrometrica statica

HVSR — Prospezione geofisica sismica

C — Prelievo campione Indisturbato

C1, C2 — Campioni ricostituiti

GEOTEA
Geologia Territorio Ambiente

TAV. 4
Ubicazione prove

PR.: 19.212

Giugno 2019

Committente:
Comune di Zola Predosa

Estratto
da Bing

PROVA PENETROMETRICA STATICA

(ASTM D3441-05; Racc. AGI 1977)

Committente: Comune di Zola Predosa
Cantiere: Via Don Minzoni
Località: Riale- Zola predosa

Caratteristiche Strumentali DEEP DRILL

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	20

OPERATORI
Claudio Cinti – Nicola Menna

RESPONSABILE
dott. Claudio Cinti

CPT 1

Committente: Comune di Zola Predosa
Strumento utilizzato: DEEP DRILL
Prova eseguita in data: 14/06/2019
Profondità prova: 12,00 mt
Località: Zola Predosa

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,00	0,14	0,00		0,0
0,40	0,00	0,00	0,14	0,13	1,038	96,4
0,60	10,00	11,00	20,14	0,40	50,345	2,0
0,80	6,00	9,00	12,14	1,07	11,376	8,8
1,00	18,00	26,00	36,14	0,40	90,345	1,1
1,20	21,00	24,00	42,28	0,53	79,317	1,3
1,40	10,00	14,00	20,28	0,93	21,732	4,6
1,60	21,00	28,00	42,28	1,20	35,23	2,8
1,80	9,00	18,00	18,28	1,20	15,23	6,6
2,00	7,00	16,00	14,28	1,07	13,38	7,5
2,20	7,00	15,00	14,41	1,07	13,509	7,4
2,40	8,00	16,00	16,41	1,20	13,678	7,3
2,60	7,00	16,00	14,41	1,47	9,825	10,2
2,80	9,00	20,00	18,41	1,47	12,552	8,0
3,00	10,00	21,00	20,41	1,73	11,78	8,5
3,20	9,00	22,00	18,55	1,47	12,646	7,9
3,40	9,00	20,00	18,55	1,33	13,917	7,2
3,60	9,00	19,00	18,55	1,33	13,917	7,2
3,80	10,00	20,00	20,55	1,33	15,418	6,5
4,00	16,00	26,00	32,55	1,47	22,19	4,5
4,20	16,00	27,00	32,69	1,60	20,431	4,9
4,40	18,00	30,00	36,69	2,00	18,345	5,5
4,60	15,00	30,00	30,69	2,00	15,345	6,5
4,80	16,00	31,00	32,69	2,27	14,42	6,9
5,00	17,00	34,00	34,69	2,53	13,695	7,3
5,20	17,00	36,00	34,83	2,67	13,059	7,7
5,40	15,00	35,00	30,83	2,53	12,171	8,2
5,60	16,00	35,00	32,83	2,67	12,309	8,1
5,80	16,00	36,00	32,83	2,40	13,678	7,3
6,00	16,00	34,00	32,83	2,40	13,678	7,3
6,20	16,00	34,00	32,97	2,40	13,736	7,3
6,40	12,00	30,00	24,97	2,27	11,013	9,1
6,60	18,00	35,00	36,97	2,00	18,483	5,4
6,80	21,00	36,00	42,97	2,53	16,962	5,9
7,00	21,00	40,00	42,97	3,33	12,891	7,8
7,20	20,00	45,00	41,10	3,33	12,332	8,1
7,40	21,00	46,00	43,10	3,07	14,054	7,1
7,60	22,00	45,00	45,10	3,33	13,533	7,4
7,80	23,00	48,00	47,10	3,33	14,133	7,1
8,00	25,00	50,00	51,10	4,40	11,615	8,6
8,20	27,00	60,00	55,24	3,73	14,798	6,8
8,40	27,00	55,00	55,24	3,87	14,285	7,0
8,60	26,00	55,00	53,24	3,73	14,263	7,0
8,80	22,00	50,00	45,24	2,80	16,158	6,2
9,00	19,00	40,00	39,24	1,87	21,019	4,8
9,20	18,00	32,00	37,38	1,73	21,57	4,6
9,40	21,00	34,00	43,38	4,67	9,295	10,8
9,60	25,00	60,00	51,38	2,93	17,518	5,7
9,80	28,00	50,00	57,38	3,20	17,931	5,6

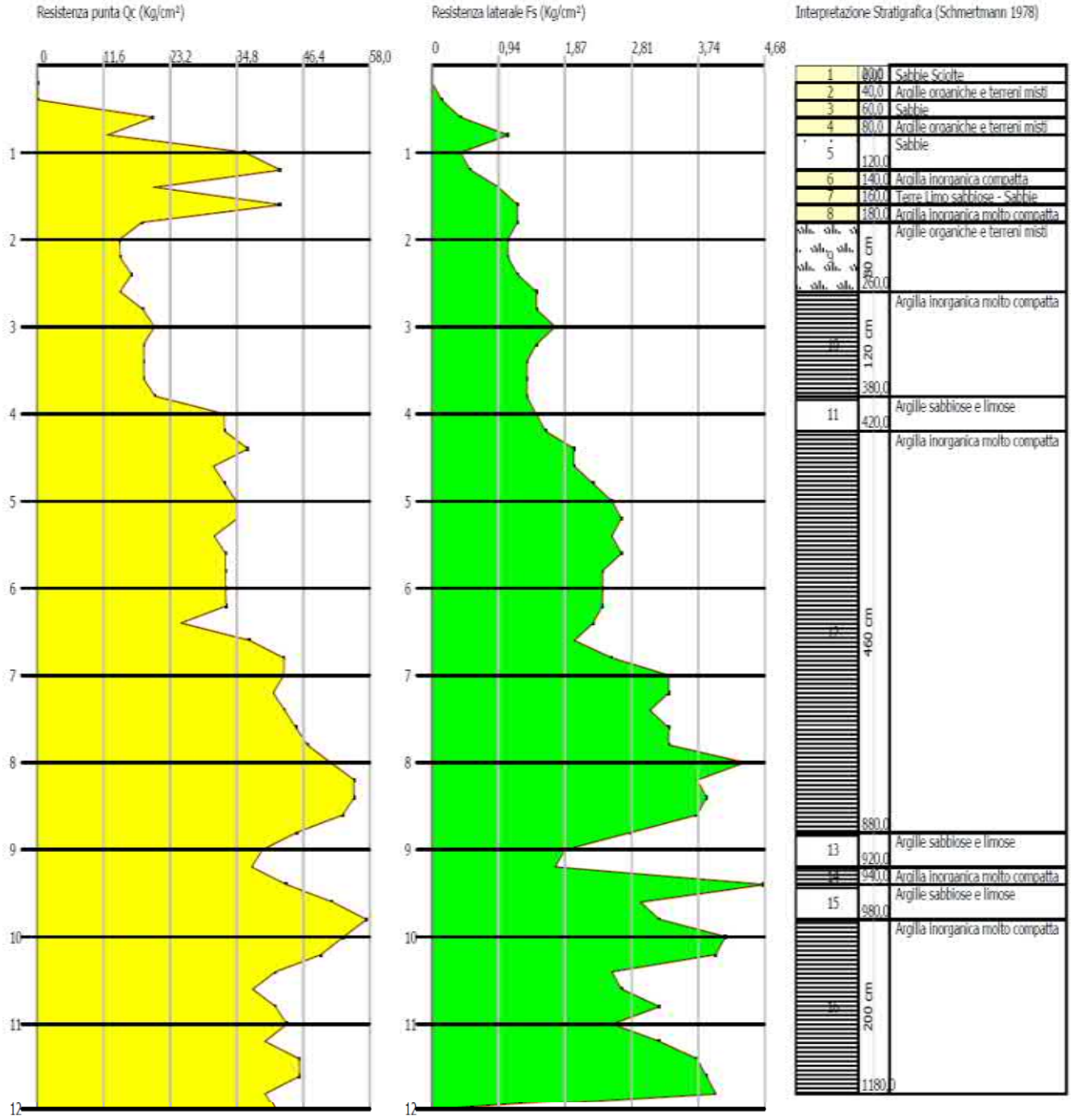
10,00	26,00	50,00	53,38	4,13	12,916	7,7
10,20	24,00	55,00	49,52	4,00	12,38	8,1
10,40	20,00	50,00	41,52	2,53	16,391	6,1
10,60	18,00	37,00	37,52	2,67	14,067	7,1
10,80	20,00	40,00	41,52	3,20	12,974	7,7
11,00	21,00	45,00	43,52	2,53	17,18	5,8
11,20	19,00	38,00	39,66	3,20	12,393	8,1
11,40	22,00	46,00	45,66	3,73	12,23	8,2
11,60	22,00	50,00	45,66	3,87	11,807	8,5
11,80	19,00	48,00	39,66	4,00	9,914	10,1
12,00	20,00	50,00	41,66	0,00		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	0,14	0,00	1,8	Incoerente	Sabbie Sciolte
0,40	0,14	0,13	1,6	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
0,60	20,14	0,40	1,9	Incoerente	Sabbie
0,80	12,14	1,07	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
1,20	39,21	0,47	1,9	Incoerente	Sabbie
1,40	20,28	0,93	2,0	Coesivo	Argilla inorganica compatta
1,60	42,28	1,20	2,1	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
1,80	18,28	1,20	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,60	14,88	1,20	1,9	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
3,80	19,17	1,44	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
4,20	32,62	1,53	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
8,80	39,84	2,85	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
9,20	38,31	1,80	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
9,40	43,38	4,67	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
9,80	54,38	3,07	2,1	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
11,80	43,76	3,39	2,1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato DEEP DRILL

Committente: Comune di Zola Predosa
Cantiere: Via Don Minzoni
Località: Zola Predosa

Data: 14/06/2019



CPT 1
STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Prof: Profondità strato (m)
Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu: Modulo di defomazione non drenato (Kg/cm²)
Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR: Grado di sovraconsolidazione
Puv: Peso unità di volume (t/m³)
PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr: Densità relativa (%)
Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey: Modulo di Young (Kg/cm²)

Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
0,20	I	--	--	1,1	8,3	<0.5	0,0	0,0	<5	28,7	0,3
0,40	C	0,0	3,2	0,9	8,3	OCR < 1	1,1	1,1	--	--	--
0,60	I	--	--	100,7	175,4	0,8	1,8	2,1	<5	38,9	50,3
0,80	C	0,9	450,5	47,0	128,7	OCR > 6	1,9	2,0	--	--	--
1,20	I	--	--	117,6	263,5	0,8	1,9	2,2	<5	39,5	98,0
1,40	C	1,4	751,3	41,3	176,1	OCR > 6	2,0	2,1	--	--	--
1,60	CI	3,0	1574,8	84,6	275,9	1,0	2,1	2,2	<5	38,3	105,7
1,80	C	1,3	673,3	45,5	165,3	OCR = 6	2,0	2,0	--	--	--
2,60	C	1,0	542,3	48,4	145,8	OCR = 6	1,9	2,0	--	--	--
3,80	C	1,3	696,0	43,8	170,2	OCR = 6	2,0	2,0	--	--	--
4,20	CI	2,3	1194,2	65,2	235,5	<0.5	2,1	2,1	<5	33,1	81,6
8,80	C	2,8	1445,0	79,7	266,0	OCR = 6	2,1	2,2	--	--	--
9,20	CI	2,6	1368,2	76,6	259,8	<0.5	2,1	2,2	<5	30,7	95,8
9,40	C	3,0	1555,9	86,8	280,2	OCR = 6	2,1	2,2	--	--	--
9,80	CI	3,7	1966,1	108,8	321,7	<0.5	2,1	2,2	<5	32,3	136,0
11,80	C	3,0	1558,3	87,5	281,7	OCR = 3	2,1	2,2	--	--	--

COMUNE DI ZOLA PREDOSA

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI BOLOGNA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (Vs_{30}) dei terreni costituenti le aree site in via Don Minzoni e via Valle.

GEOTEA SRL
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 – Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail geotea.srl@database.it

Committente: *COMUNE DI ZOLA PREDOSA*

Dott. Geol. Stefano Maggi

Data indagine 01/04/2014

Commessa 14.051

MOD PROD06 B REV01

SOMMARIO…….

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO 3

3 PREMESSE 4

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI 5

4.1 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata 5

5 Risultati indagine HVSR1 VIA DON MINZONI 6

5.1 TECNICA HVSR1 6

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO (VIA DON MINZONI – HVSR1) 8

7 Risultati indagine HVSR1 VIA VALLE 9

7.1 TECNICA HVSR2 9

8 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO (VIA VALLE – HVSR2) 11

9 CONCLUSIONI 12

2 IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

- Il presente documento viene identificato con il numero 14.051 rev. n° 0;
- Le indagini e il lavoro svolto sono stati coordinati dal Dott. Geol. Stefano Maggi;
- Il presente documento è stato redatto dal Dott. Geol. Stefano Maggi in data 09/04/2014;
- Il documento si compone di n° 12 fogli

3 PREMESSE

Presso le aree site in via Don Minzoni e via Valle, entrambe nel comune di Zola Predosa (BO), in data 01/04/2014 è stata effettuata un'indagine geofisica mediante misura a stazione singola con tecnica *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* al fine di ottenere la classificazione del tipo di suolo presente nel sito, sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio verticali (Vs) entro i primi 30 m di profondità, in ottemperanza a quanto riportato nel decreto del Ministero delle Infrastrutture, 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento ordinario n. 30).
La presente indagine geofisica è consistita nell'esecuzione di:

- N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR IN **VIA DON MINZONI (HVSR1)**;
- N. 1 misura a stazione singola con tecnica HVSR IN **VIA VALLE (HVSR2)**.

Le misure a stazione singola sono state eseguite con tromografo digitale modello Tromino® Engy, ciascuna in corrispondenza di una prova penetrometrica statica meccanica eseguita dagli stessi scriventi. Il profilo di resistenza ottenuto dalle prove penetrometriche è stato utilizzato come vincolo per l'interpretazione delle curve HVSR sperimentali.
Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è "GRILLA"© Release 2010 ver. 6.0 beta (All rights reserved).

4 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

4.1 Misura a stazione singola H/V: procedura e strumentazione utilizzata

Il metodo *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei µm/s). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 14-30 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (*Micromed S.p.A.*) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz. L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software *Grilla*.

5 RISULTATI INDAGINE HVSR1 - VIA DON MINZONI

5.1 TECNICA HVSR1

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 01/04/2014

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00''.

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

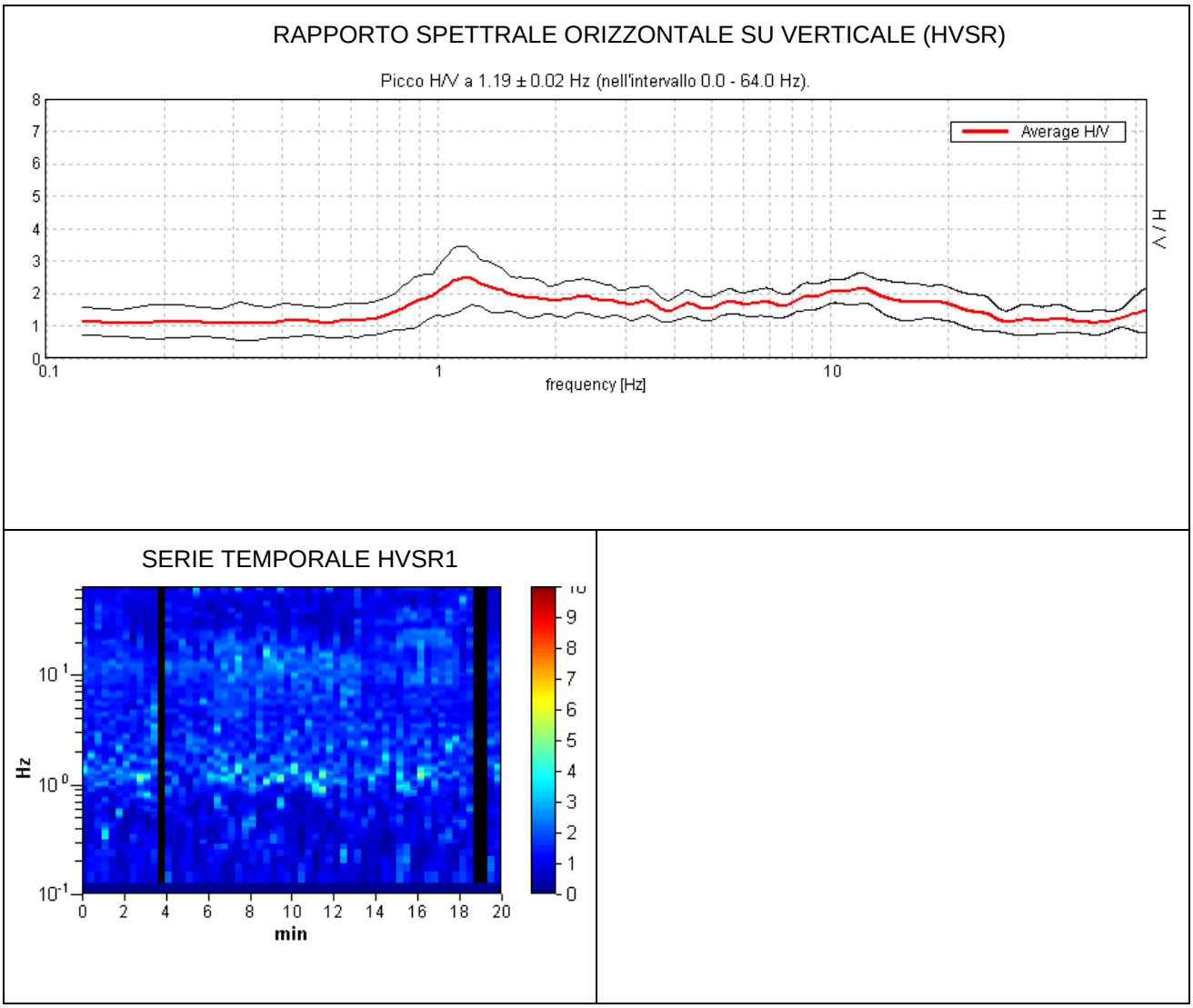


Figura 1 - Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

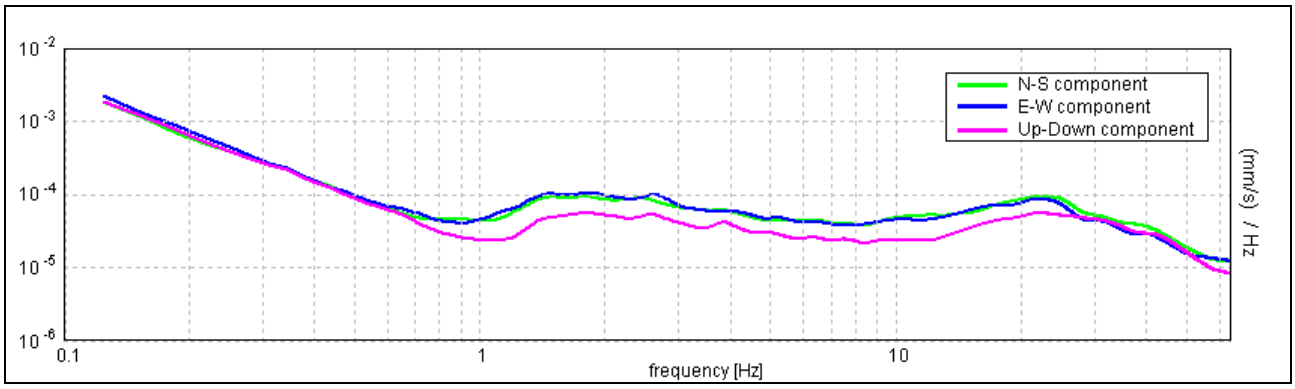


Figura 2 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

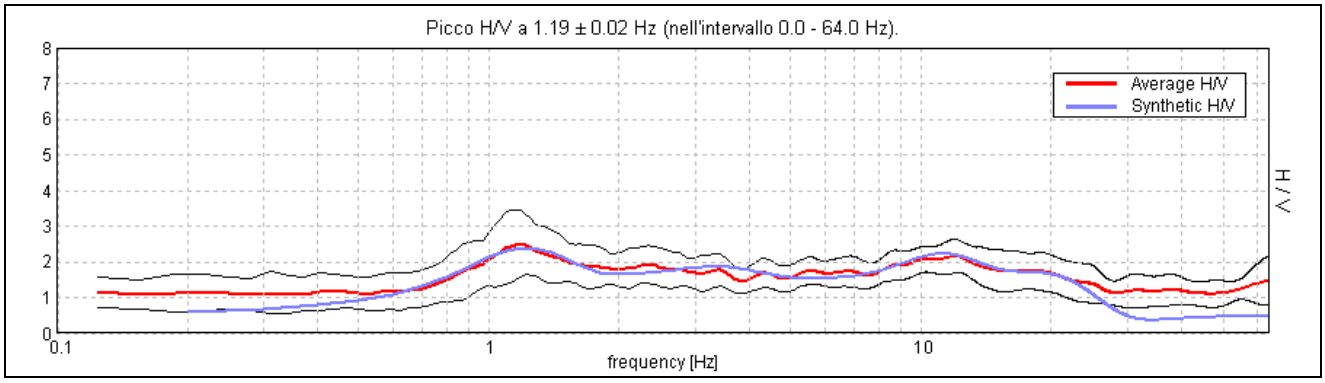


Figura 3 - confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO (VIA DON MINZONI – HVSR1)

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente:

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.00	1.00	80
3.50	2.50	170
6.00	2.50	230
16.00	10.00	300
36.00	20.00	430
86.00	50.00	600
176.00	90.00	800
inf.	inf.	1150

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

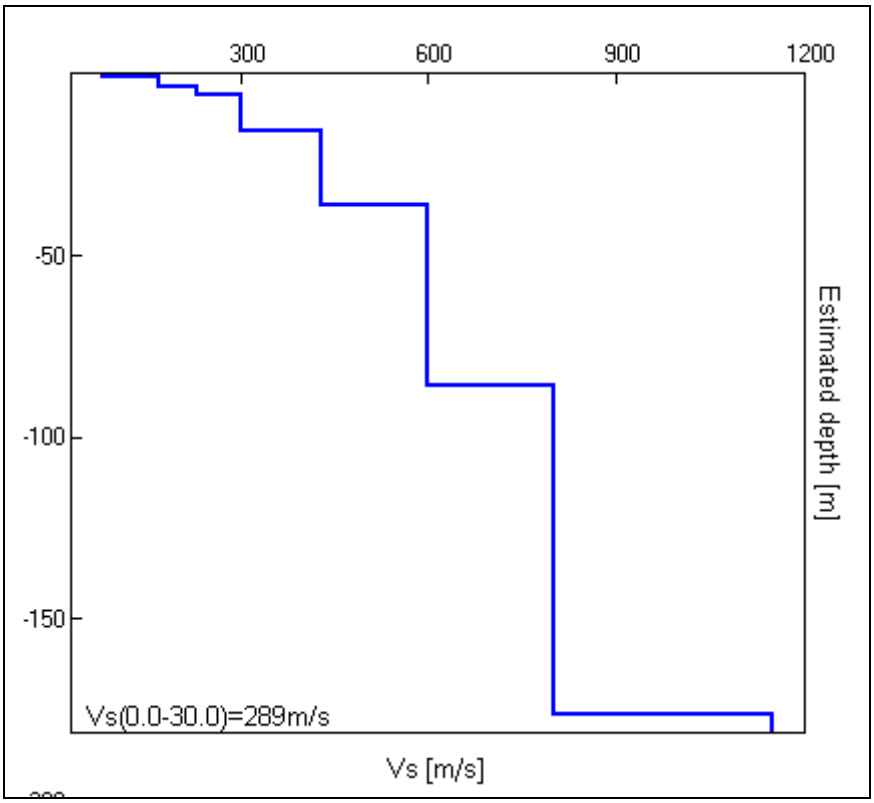


Figura 4 - Modello di velocità delle onde di taglio S

7 RISULTATI INDAGINE HVSR2 - VIA VALLE

7.1 TECNICA HVSR2

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 01/04/2014

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00''.

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

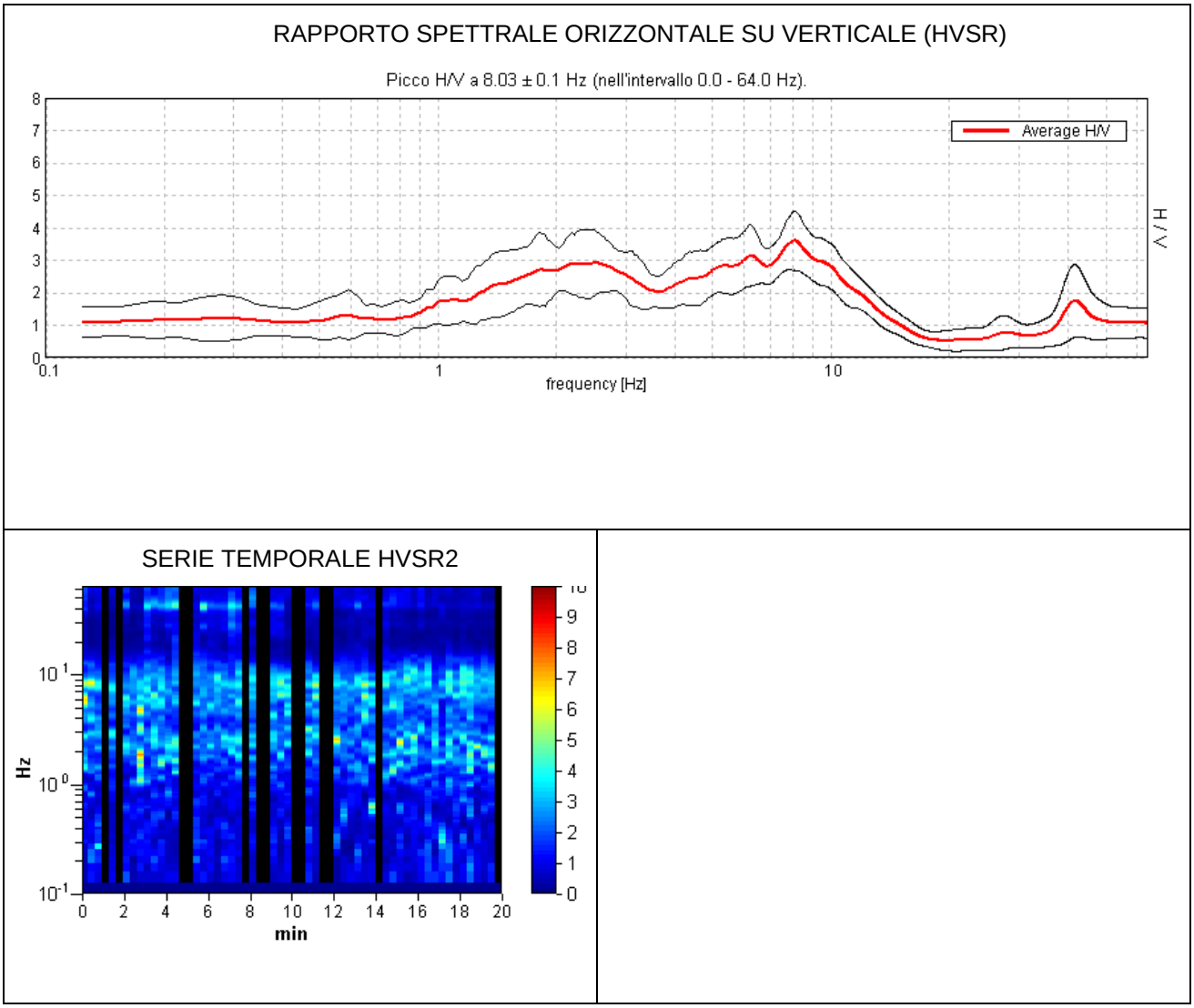


Figura 5 - Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2

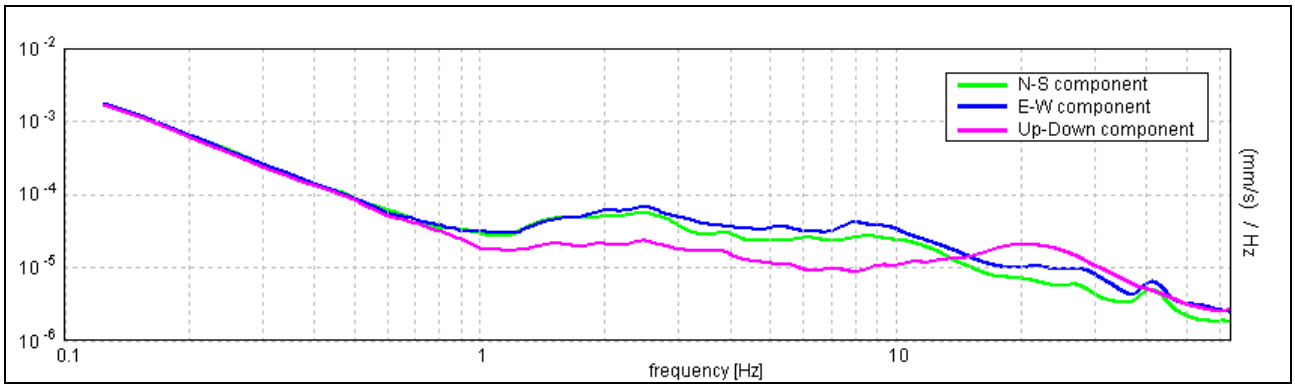


Figura 6 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

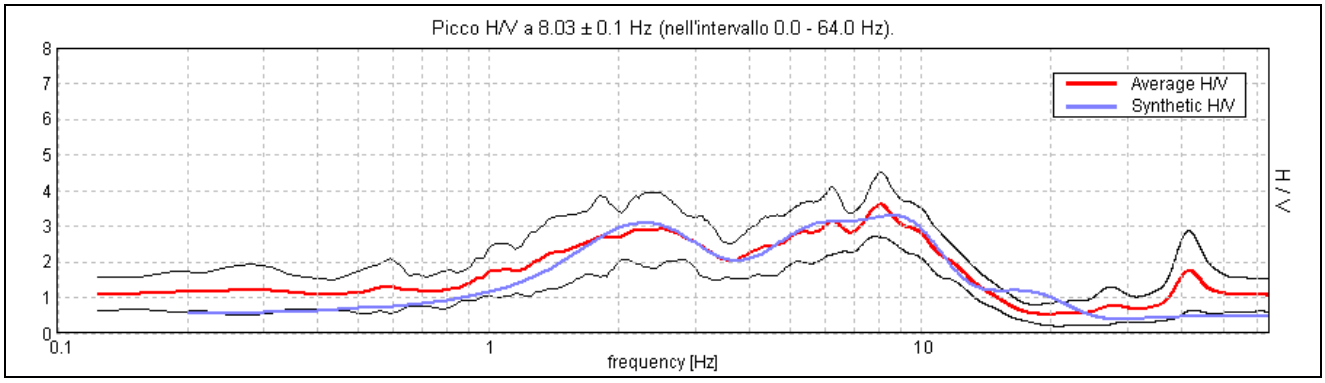


Figura 7 - confronto tra curva HVSR2 sperimentale registrata nel sito e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.

8 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO (VIA VALLE – HVSR2)

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di Vs, è il seguente:

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.50	1.50	100
6.00	4.50	200
16.00	10.00	365
26.00	10.00	470
66.00	40.00	620
146.00	80.00	1000
inf.	inf.	1200

Tabella 2 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

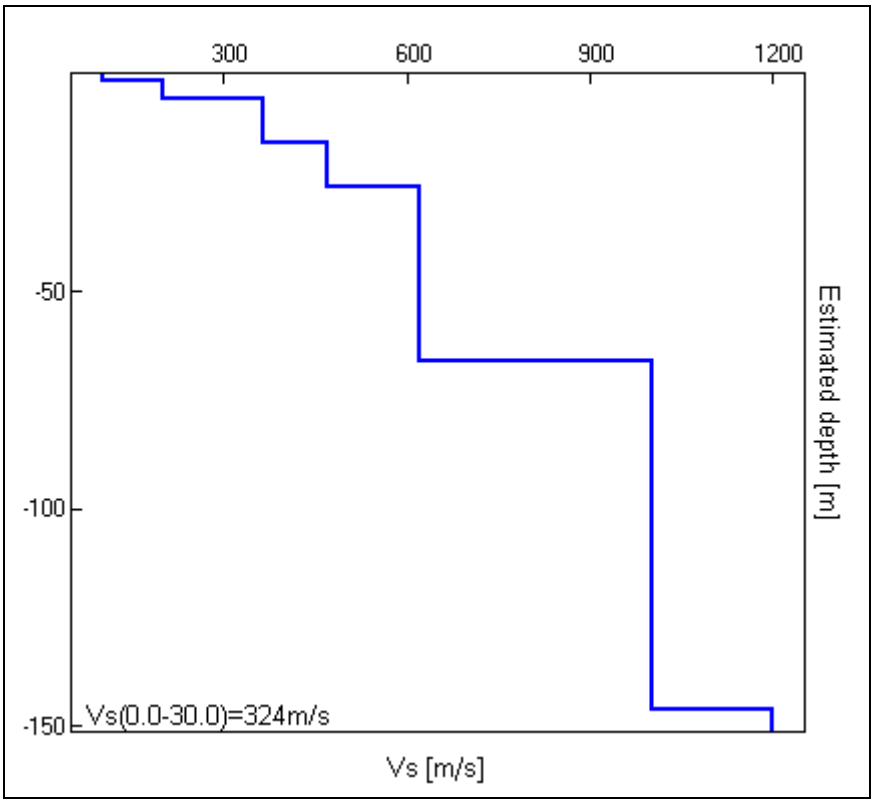


Figura 8 - Modello di velocità delle onde di taglio S

9 CONCLUSIONI

L'analisi delle curve HVSR, associate ai profili stratigrafici e di resistenza ottenuti dalle prove CPT eseguite dagli stessi scriventi, ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nei siti in esame, sia di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

VIA DON MINZONI: Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo…....……289

VIA VALLE: Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo….....……324

In entrambi i siti investigati, nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (Vs) caratteristici di terreni compatti e molto compatti, ad eccezioni del primo metro, metro e mezzo, caratterizzato invece da una rigidezza piuttosto scarsa.

La curva **HVSR1 (VIA DON MINZONI)** è caratterizzata da deboli e modeste amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica in tutto il range di frequenza analizzato (0.1-64 Hz). Il picco H/V è stato registrato a circa 1.2 Hz (contrasto d'impedenza medio).

La curva **HVSR2 (VIA VALLE)** è invece caratterizzata da significative amplificazioni locali del moto del suolo per risonanza stratigrafica nel range di 1.0-10 Hz circa. In particolare si individuano due zone di picco di amplificazione rispettivamente a circa 8 Hz (contrasto d'impedenza molto alto) e circa 2.5 Hz (contrasto d'impedenza alto).

La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 14 gennaio 2008.

San Lazzaro di Savena, 07/04/2014

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTICLE SIZE ANALYSIS

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report*	231I - 19.212 - 001
Verbale - *Acceptance report*	231I
Committente - *Commissioner*	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - *Locality*	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - *Site*	FRANA
Sondaggio - *Borehole*	-
Campione - *Sample*	**C1**
Profondità - *Depth*	**1.50 - 1.60 m**
Data - *date*	GIUGNO 2019

SETACCIATURA - *SIEVES TEST*

Massa campione (g) - *Specimen weight* 239.47

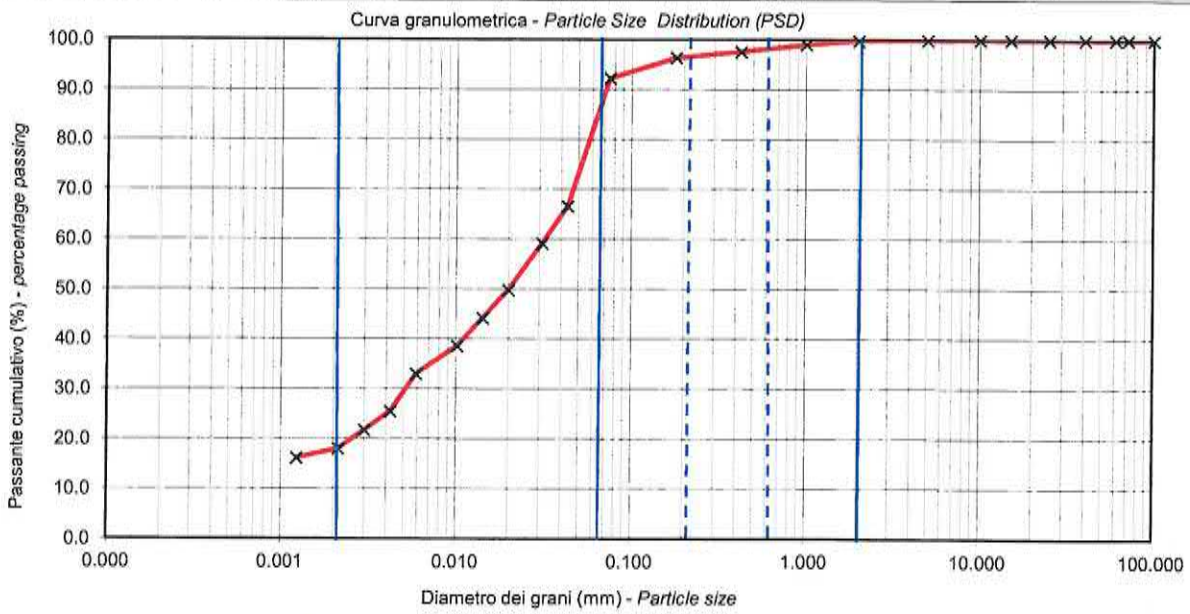
Setaccio (mm) *Sieve diameter*	Peso (g) *Mass retained*	Passante (%) *Percentage passing*
100	0.00	100.00
71	0.00	100.00
60	0.00	100.00
40	0.00	100.00
25	0.00	100.00
15	0.00	100.00
10	0.00	100.00
5	0.19	99.92
2	0.35	99.77
1	1.92	98.97
0.425	3.43	97.54
0.18	2.84	96.35
0.075	9.86	92.24

SEDIMENTAZIONE - *HYDROMETER TEST*

Massa campione (g) - *Specimen weight* 40.11

Diametro (mm) *Particle size*	Letture *Data*	Passante (%) *Percentage passing*
0.043	21.5	66.57
0.031	19.5	59.09
0.020	17.0	49.74
0.014	15.5	44.13
0.010	14.0	38.52
0.006	12.5	32.91
0.004	10.5	25.43
0.0030	9.5	21.69
0.0021	8.5	17.95
0.0012	8.0	16.08

Granulometria A.G.I. *PSD*	**Ghiaia (%)** *Gravel*	**0.23**	**Sabbia (%)** *Sand*	**19.72**	**Limo (%)** *Silt*	**62.38**	**Argilla (%)** *Clay*	**17.67**



D_{10} (mm) -

D_{60} (mm) 0.033

Agente disperdente - *dispersing agent*: Sodium hexametaphosphate

temperatura di prova (°)- *temperature* 21

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY
LABORATORIO ACCREDITATO DAL CONSIGLIO LAVORI PUBBLICI SETTORE TERRE

LIMITI DI ATTERBERG

ATTERBERG LIMITS

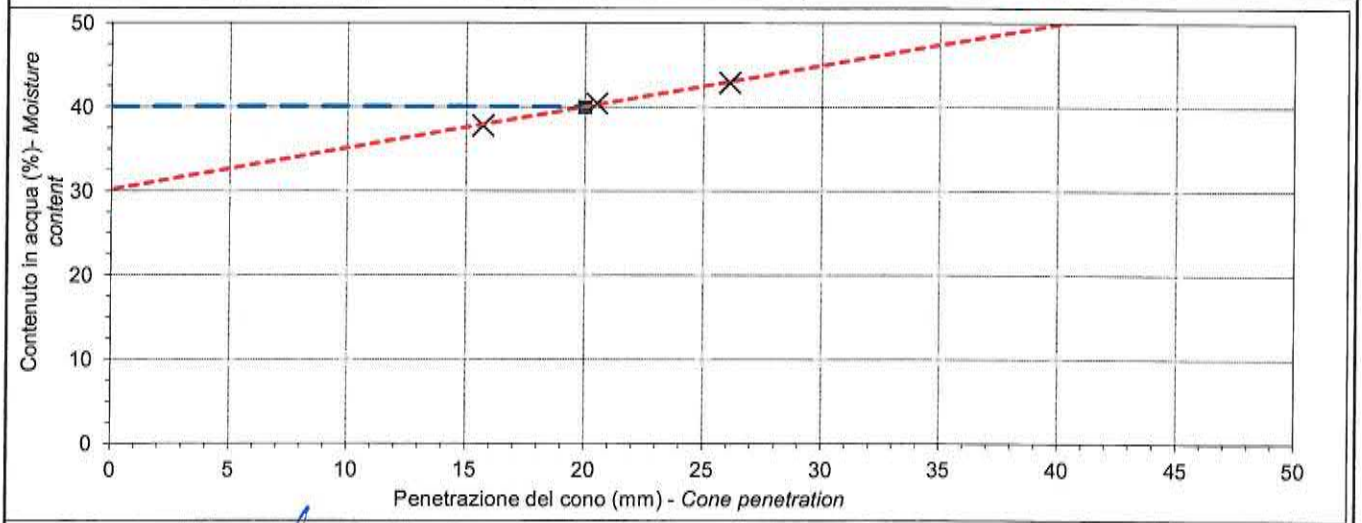
Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-12

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report*	231I - 19.212 - 002
Verbale - *Acceptance report*	231I
Committente - *Commissioner*	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - *Locality*	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - *Site*	FRANA
Sondaggio - *Borehole*	-
Campione - *Sample*	**C1**
Profondità - *Depth*	**1.50 - 1.60 m**
Data - *date*	GIUGNO 2019

	Provino 1 - *Specimen 1*	Provino 2 - *Specimen 2*	Provino 3 - *Specimen 3*
Penetrazione del cono (mm) - *Cone penetration*	15.70	20.50	26.10
Massa tara (g) - *Tara weight*	70.63	70.05	72.06
Massa campione umido + tara (g) *Moist specimen + tara*	95.32	87.76	97.37
Massa campione secco + tara (g) *Dried specimen + tara*	88.55	82.66	89.77
Contenuto in acqua (%) - *Moisture content*	37.78	40.44	42.91
Limite liquido (%) - *Liquid limit*		**40.0**	

Massa tara (g) - *Tara weight*	71.72	71.87	
Massa campione umido + tara (g)	77.85	78.71	
Massa campione secco + tara (g) *Dried specimen + tara*	76.72	77.45	
Limite plastico (%) - *Plastic limit*	22.60	22.58	differenza percentuale 0.09
Limite plastico (%) - *Plastic limit*	**22.6**		



Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

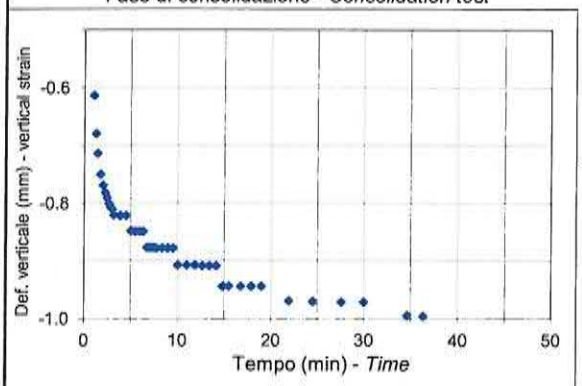
Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report*	231I - 19.212 - 003
Verbale - *Acceptance report*	231I
Committente - *Commissioner*	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - *Locality*	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - *Site*	FRANA
Sondaggio - *Borehole*	-
Campione - *Sample*	**C1**
Profondità - *Depth*	**1.50 - 1.60 m**
Data - *date*	GIUGNO 2019

Umidità iniziale - *Initial water content*	%	19.82		
Densità naturale iniziale - *Initial wet density*	kg/m^3	0.00		
Densità secca iniziale - *Initial dry density*	kg/m^3	0.00		
Provino - *Specimen id*	n°	1	2	3
Lato - *Specimen side*	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - *Initial specimen height*	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - *Strain rate*	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione *Consolidation pressure*	kPa	98.1	196.1	294.2
Umidità finale - *Final water content*	%	21.22	19.55	18.66

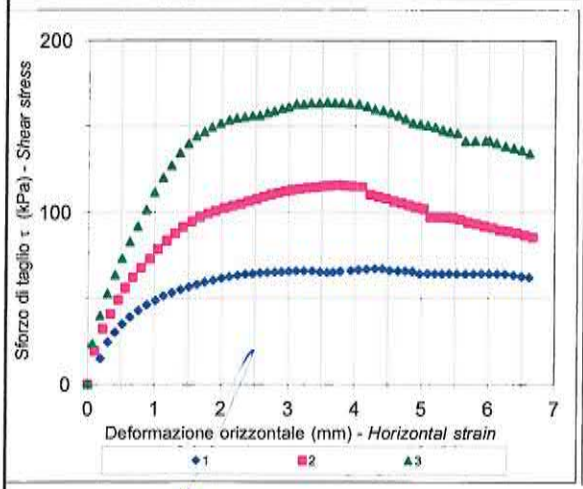
Fase di consolidazione - *Consolidation test*

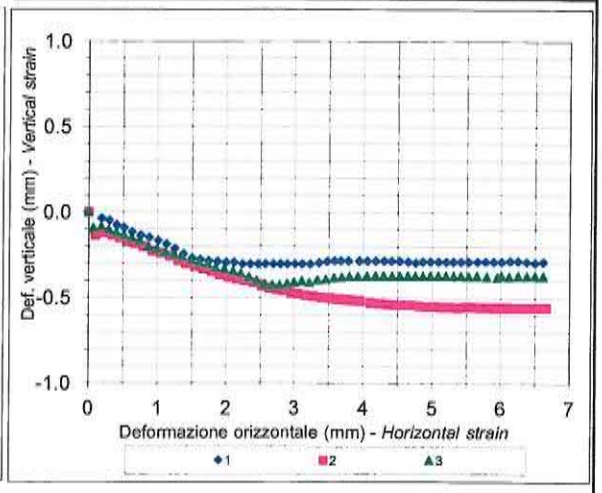


Note - *Remarks*

-

Pocket Penetrometer	-	kg/cm^2
Tor Vane	-	kg/cm^2





Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report* 231I - 19.212 - 003

Verbale - *Acceptance report* 231I

Consolidation test (0-100 kPa)	
time (s)	def. ↓ (mm)
1	
6	-0.06
12	-0.22
24	-0.40
30	-0.46
60	-0.61
90	-0.68
120	-0.71
180	-0.75
240	-0.77
300	-0.78
360	-0.79
420	-0.80
480	-0.81
540	-0.81
600	-0.82
900	-0.82
1200	-0.82
1500	-0.85
1800	-0.85
2100	-0.85
2400	-0.85
2700	-0.88
3000	-0.88
3300	-0.88
3600	-0.88
4200	-0.88
4800	-0.88
5400	-0.88
6000	-0.91
7200	-0.91
8400	-0.91
9600	-0.91
10800	-0.91
12000	-0.91
13200	-0.94
14400	-0.94
16800	-0.94
19200	-0.94
21600	-0.94
28800	-0.97
36000	-0.97
45600	-0.97
54000	-0.97
72000	-0.99
79200	-1.00
82800	-1.02
86400	-1.02

Provino 1 - Specimen 1		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.19	-0.04	14.80
0.30	-0.05	24.40
0.40	-0.07	30.25
0.51	-0.09	34.94
0.63	-0.11	38.92
0.75	-0.13	42.90
0.88	-0.15	46.17
1.01	-0.17	48.75
1.13	-0.19	51.32
1.25	-0.21	53.20
1.38	-0.24	55.07
1.51	-0.27	56.47
1.62	-0.28	58.11
1.74	-0.28	59.28
1.87	-0.29	60.45
2.00	-0.29	61.62
2.12	-0.29	62.56
2.23	-0.30	63.26
2.35	-0.30	63.96
2.46	-0.30	64.19
2.57	-0.30	64.66
2.68	-0.30	64.90
2.79	-0.30	65.13
2.89	-0.30	65.36
3.00	-0.30	65.60
3.11	-0.30	65.83
3.23	-0.30	65.83
3.35	-0.30	65.83
3.47	-0.29	65.36
3.58	-0.28	64.90
3.67	-0.28	65.13
3.78	-0.28	65.60
3.94	-0.28	66.07
4.06	-0.28	66.53
4.18	-0.28	66.77
4.30	-0.28	67.24
4.41	-0.28	67.24
4.52	-0.28	66.07
4.65	-0.29	65.83
4.76	-0.29	65.83
4.86	-0.29	65.60
4.97	-0.29	64.19
5.09	-0.29	64.43
5.20	-0.29	64.43
5.31	-0.29	64.19
5.42	-0.29	64.43
5.53	-0.29	64.19
5.66	-0.29	64.19
5.78	-0.29	64.19
5.90	-0.29	64.43
6.01	-0.29	64.19
6.13	-0.28	64.19
6.25	-0.28	63.96
6.38	-0.29	63.49
6.49	-0.29	62.79
6.61	-0.29	62.32
		0.28

Provino 2 - Specimen 2		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.10	-0.13	19.30
0.22	-0.12	32.41
0.34	-0.13	40.93
0.45	-0.15	49.12
0.56	-0.17	56.00
0.67	-0.18	62.23
0.79	-0.20	67.80
0.92	-0.22	73.04
1.04	-0.24	78.61
1.18	-0.26	83.52
1.30	-0.28	87.78
1.41	-0.30	91.38
1.55	-0.32	94.65
1.67	-0.33	97.27
1.79	-0.34	99.24
1.91	-0.36	100.87
2.04	-0.38	102.51
2.16	-0.39	103.82
2.28	-0.40	104.80
2.39	-0.41	106.44
2.52	-0.43	107.75
2.62	-0.44	109.06
2.73	-0.45	110.37
2.84	-0.46	111.35
2.95	-0.47	112.33
3.05	-0.48	112.99
3.16	-0.49	113.64
3.27	-0.49	114.30
3.39	-0.50	114.62
3.51	-0.50	115.28
3.64	-0.51	115.61
3.74	-0.51	115.93
3.84	-0.51	115.61
3.95	-0.52	115.28
4.10	-0.53	114.95
4.23	-0.53	110.37
4.35	-0.54	109.06
4.47	-0.54	108.08
4.58	-0.54	106.44
4.70	-0.54	105.46
4.81	-0.54	104.15
4.92	-0.55	103.17
5.03	-0.55	102.18
5.13	-0.55	97.27
5.25	-0.55	97.27
5.37	-0.56	97.27
5.47	-0.55	96.95
5.58	-0.55	95.96
5.69	-0.56	94.33
5.82	-0.56	93.35
5.94	-0.56	92.03
6.06	-0.56	91.05
6.17	-0.56	89.74
6.30	-0.56	89.09
6.42	-0.56	88.11
6.55	-0.56	86.79
6.66	-0.56	85.81

Provino 3 - Specimen 3		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.06	-0.09	23.69
0.18	-0.08	39.87
0.29	-0.10	52.60
0.40	-0.12	63.61
0.51	-0.13	73.23
0.62	-0.15	82.86
0.74	-0.17	91.80
0.87	-0.20	101.43
0.99	-0.21	111.40
1.12	-0.23	119.99
1.24	-0.24	127.21
1.36	-0.26	134.42
1.49	-0.28	139.92
1.61	-0.29	144.39
1.73	-0.30	146.79
1.84	-0.32	149.54
1.97	-0.33	151.60
2.10	-0.34	153.66
2.21	-0.36	154.69
2.33	-0.38	155.38
2.44	-0.40	156.07
2.56	-0.42	156.41
2.67	-0.43	157.78
2.77	-0.43	158.81
2.88	-0.42	160.19
2.99	-0.41	161.22
3.10	-0.40	162.93
3.21	-0.41	162.93
3.33	-0.39	163.62
3.45	-0.39	163.62
3.57	-0.38	163.96
3.68	-0.38	163.62
3.79	-0.37	163.62
3.91	-0.37	163.28
4.05	-0.37	162.93
4.17	-0.37	161.56
4.29	-0.37	159.84
4.41	-0.37	159.16
4.53	-0.37	157.78
4.64	-0.37	156.41
4.75	-0.37	154.35
4.86	-0.37	151.94
4.97	-0.37	151.26
5.08	-0.37	150.57
5.19	-0.37	149.54
5.31	-0.37	147.82
5.42	-0.37	146.79
5.53	-0.37	146.10
5.65	-0.37	141.64
5.79	-0.37	141.64
5.95	-0.38	141.64
6.01	-0.37	141.64
6.12	-0.37	140.26
6.25	-0.37	138.55
6.38	-0.37	137.52
6.49	-0.37	136.14
6.61	-0.37	134.42

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

TAGLIO DIRETTO

Committente:	COMUNE DI ZOLA PREDOSA	Sondaggio:	-
Località:	ZOLA PREDOSA (BO)	Campione:	C1
Cantiere:	FRANA	Profondità:	1.50 - 1.60 m

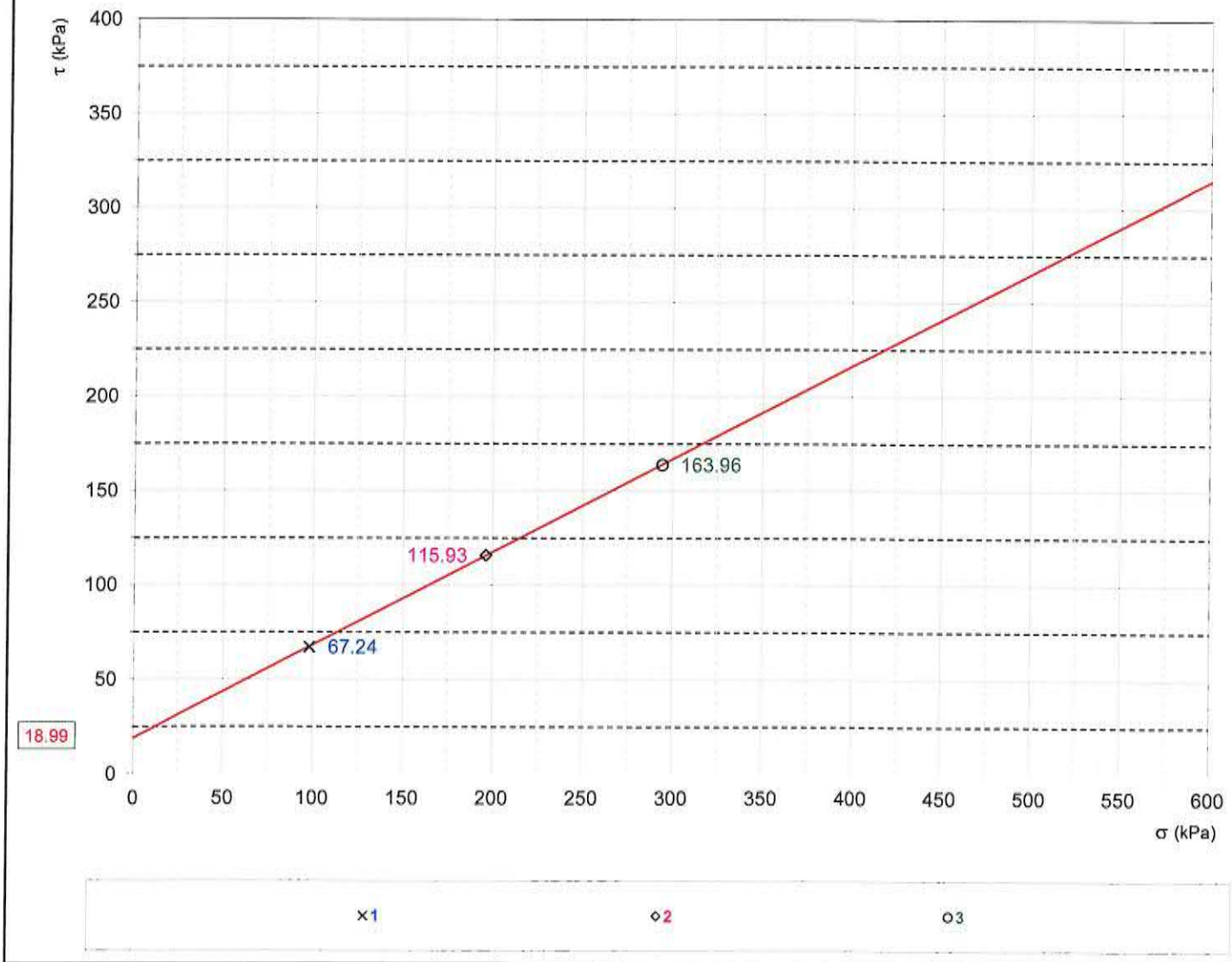
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

-

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	67.24	115.93	163.96
Intercetta C'	KPa	18.99		
ϕ'	° sess	26.25		

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTICLE SIZE ANALYSIS

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-4 CNR UNI A. V n° 23

Technical specification

Rapporto di prova - Test report	231I - 19.212 - 004
Verbale - Acceptance report	231I
Committente - Commissioner	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - Locality	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - Site	FRANA
Sondaggio - Borehole	-
Campione - Sample	**C2**
Profondità - Depth	**2.50 - 2.60 m**
Data - date	GIUGNO 2019

SETACCIATURA - *SIEVES TEST*

Massa campione (g) - *Specimen weight* 319.73

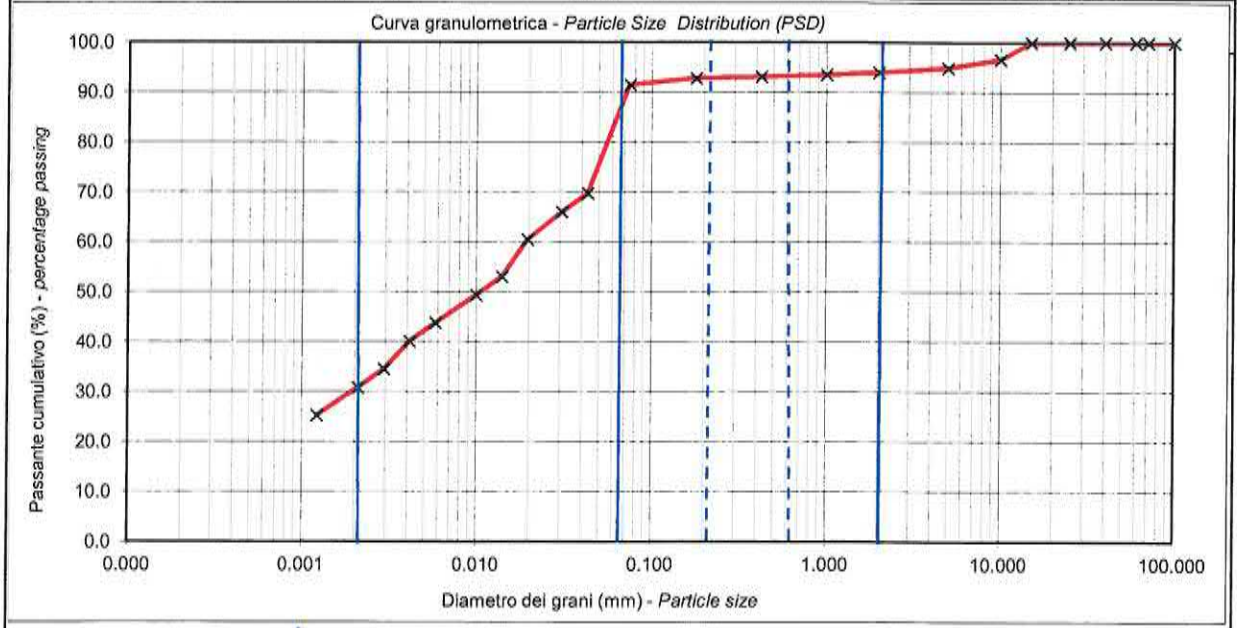
Setaccio (mm) *Sieve diameter*	Peso (g) *Mass retained*	Passante (%) *Percentage passing*
100	0.00	100.00
71	0.00	100.00
60	0.00	100.00
40	0.00	100.00
25	0.00	100.00
15	0.00	100.00
10	10.91	96.59
5	5.39	94.90
2	3.01	93.96
1	1.56	93.47
0.425	1.28	93.07
0.18	0.96	92.77
0.075	4.26	91.44

SEDIMENTAZIONE - *HYDROMETER TEST*

Massa campione (g) - *Specimen weight* 40.12

Diametro (mm) *Particle size*	Letture *Data*	Passante (%) *Percentage passing*
0.043	22.5	69.68
0.031	21.5	65.97
0.020	20.0	60.41
0.014	18.0	53.00
0.010	17.0	49.29
0.006	15.5	43.74
0.004	14.5	40.03
0.0029	13.0	34.47
0.0021	12.0	30.76
0.0012	10.5	25.20

Granulometria A.G.I. *PSD*	**Ghiaia (%)** *Gravel*	**6.04**	**Sabbia (%)** *Sand*	**12.76**	**Limo (%)** *Silt*	**51.03**	**Argilla (%)** *Clay*	**30.17**



D_{10} (mm) -

D_{60} (mm) 0.020

Agente disperdente - *dispersing agent*: Sodium hexametaphosphate

temperatura di prova (°)- *temperature* 21

Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY
LABORATORIO ACCREDITATO DAL CONSIGLIO LAVORI PUBBLICI: SETTORE TERRE

LIMITI DI ATTERBERG

ATTERBERG LIMITS

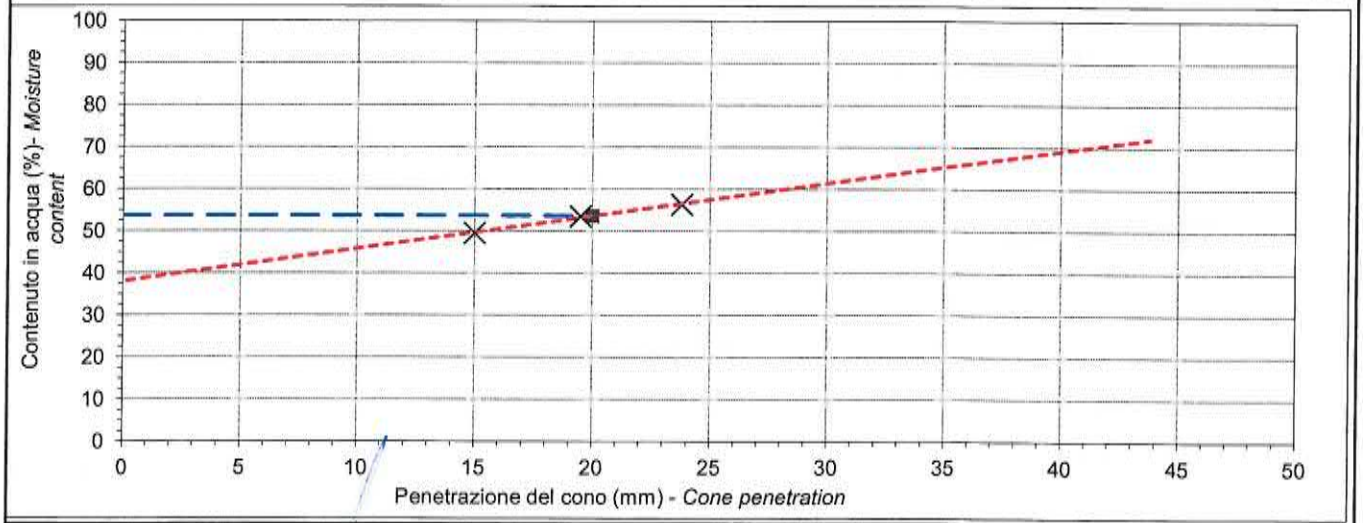
Normativa di riferimento: UNI EN ISO/TS 17892-12

Technical specification

Rapporto di prova - Test report	231I - 19.212 - 005
Verbale - Acceptance report	231I
Committente - Commissioner	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - Locality	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - Site	FRANA
Sondaggio - Borehole	-
Campione - Sample	**C2**
Profondità - Depth	**2.50 - 2.60 m**
Data - date	GIUGNO 2019

	Provino 1 - *Specimen 1*	Provino 2 - *Specimen 2*	Provino 3 - *Specimen 3*
Penetrazione del cono (mm) - *Cone penetration*	15.00	19.50	23.80
Massa tara (g) - *Tara weight*	71.96	70.68	71.09
Massa campione umido + tara (g) *Moist specimen + tara*	100.46	96.46	104.77
Massa campione secco + tara (g) *Dried specimen + tara*	91.02	87.47	92.63
Contenuto in acqua (%) - *Moisture content*	49.53	53.54	56.36
Limite liquido (%) - *Liquid limit*		**53.6**	

Massa tara (g) - *Tara weight*	70.62	70.56	
Massa campione umido + tara (g)	74.38	76.76	
Massa campione secco + tara (g) *Dried specimen + tara*	73.61	75.49	
Limite plastico (%) - *Plastic limit*	25.75	25.76	differenza percentuale 0.03
Limite plastico (%) - *Plastic limit*	**25.8**		



Note - *Remarks*

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

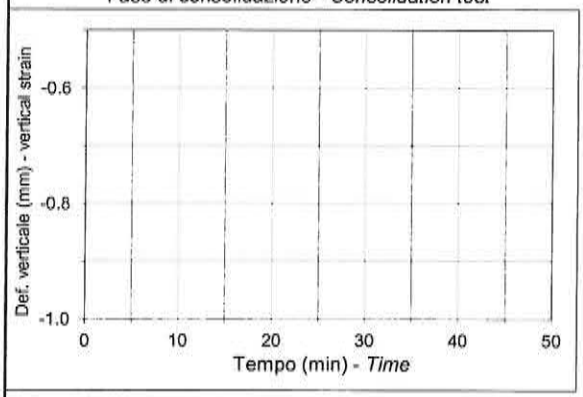
Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report*	231I - 19.212 - 006
Verbale - *Acceptance report*	231I
Committente - *Commissioner*	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - *Locality*	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - *Site*	FRANA
Sondaggio - *Borehole*	-
Campione - *Sample*	**C2**
Profondità - *Depth*	**2.50 - 2.60 m**
Data - *date*	GIUGNO 2019

Umidità iniziale - *Initial water content*	%	21.83		
Densità naturale iniziale - *Initial wet density*	kg/m^3	-		
Densità secca iniziale - *Initial dry density*	kg/m^3	-		
Provino - *Specimen id*	n°	1	2	3
Lato - *Specimen side*	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - *Initial specimen height*	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - *Strain rate*	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione *Consolidation pressure*	kPa	98.1	196.1	294.2
Umidità finale - *Final water content*	%	23.28	20.19	18.63

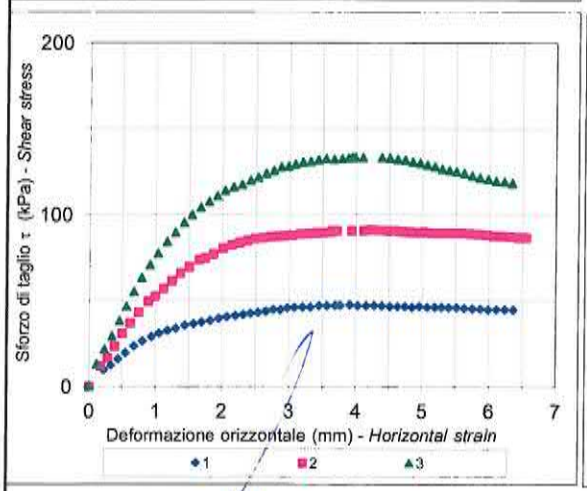
Fase di consolidazione - *Consolidation test*

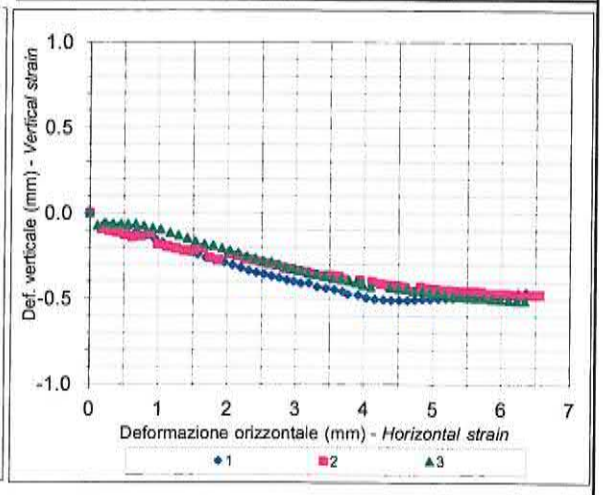


Note - *Remarks*

Limo argilloso con clasti centimetrici eliminati nella preparazione dei provini.

Pocket Penetrometer	-	kg/cm^2
Tor Vane	-	kg/cm^2





Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report* 231I - 19.212 - 006

Verbale - *Acceptance report* 231I

Consolidation test (0-100 kPa)	
time (s)	def. ↓ (mm)
1	-
6	-
12	-
24	-
30	-
60	-
90	-
120	-
180	-
240	-
300	-
360	-
420	-
480	-
540	-
600	-
900	-
1200	-
1500	-
1800	-
2100	-
2400	-
2700	-
3000	-
3300	-
3600	-
4200	-
4800	-
5400	-
6000	-
7200	-
8400	-
9600	-
10800	-
12000	-
13200	-
14400	-
16800	-
19200	-
21600	-
28800	-
36000	-
45600	-
54000	-
72000	-
79200	-
82800	-
86400	-

Provino 1 - Specimen 1		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.22	-0.06	9.62
0.33	-0.07	12.19
0.44	-0.07	16.06
0.55	-0.09	19.60
0.68	-0.11	23.46
0.81	-0.13	26.36
0.94	-0.15	28.93
1.05	-0.17	30.86
1.18	-0.19	32.47
1.30	-0.21	33.76
1.44	-0.22	35.37
1.57	-0.24	36.33
1.69	-0.26	37.30
1.82	-0.28	38.27
1.95	-0.29	39.55
2.07	-0.30	40.52
2.19	-0.32	41.16
2.31	-0.34	41.81
2.42	-0.35	42.45
2.53	-0.36	43.09
2.65	-0.37	43.74
2.76	-0.38	44.70
2.87	-0.39	44.70
2.97	-0.40	45.66
3.08	-0.41	45.99
3.20	-0.41	46.31
3.32	-0.43	46.31
3.44	-0.44	46.95
3.57	-0.45	46.95
3.69	-0.46	47.28
3.77	-0.47	47.28
3.91	-0.48	47.60
4.03	-0.49	46.95
4.16	-0.50	46.95
4.28	-0.51	47.28
4.39	-0.51	46.95
4.51	-0.51	46.63
4.63	-0.51	46.63
4.74	-0.51	46.63
4.85	-0.50	46.31
4.96	-0.50	46.63
5.08	-0.50	46.31
5.19	-0.49	46.31
5.29	-0.49	46.31
5.40	-0.49	45.99
5.52	-0.49	45.99
5.63	-0.49	45.66
5.75	-0.49	45.34
5.87	-0.48	45.34
5.99	-0.47	45.02
6.11	-0.47	45.02
6.24	-0.47	45.02
6.36	-0.46	44.70

Provino 2 - Specimen 2		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.17	-0.09	11.87
0.28	-0.10	16.70
0.39	-0.11	23.46
0.50	-0.13	30.86
0.62	-0.14	36.98
0.74	-0.13	43.09
0.89	-0.12	49.53
0.99	-0.18	52.42
1.12	-0.19	56.93
1.25	-0.21	61.43
1.37	-0.22	65.93
1.50	-0.22	69.47
1.65	-0.21	73.65
1.74	-0.26	74.62
1.87	-0.27	76.87
2.01	-0.24	80.41
2.14	-0.25	82.34
2.25	-0.26	83.63
2.37	-0.27	84.91
2.49	-0.28	86.20
2.60	-0.30	86.52
2.71	-0.30	87.16
2.82	-0.32	87.48
2.92	-0.33	87.80
3.04	-0.34	88.13
3.16	-0.34	88.77
3.27	-0.36	89.09
3.39	-0.36	89.41
3.52	-0.36	89.73
3.64	-0.37	90.05
3.64	-0.38	90.70
3.71	-0.39	90.70
3.94	-0.39	90.70
4.12	-0.40	90.70
4.23	-0.41	91.34
4.35	-0.42	91.02
4.47	-0.42	90.70
4.58	-0.43	90.70
4.70	-0.45	90.38
4.82	-0.43	90.05
4.92	-0.44	89.73
5.03	-0.44	90.05
5.14	-0.45	89.41
5.25	-0.45	89.41
5.36	-0.45	89.41
5.47	-0.45	89.41
5.59	-0.45	89.41
5.71	-0.46	89.09
5.83	-0.47	88.77
5.95	-0.47	88.45
6.07	-0.47	87.80
6.18	-0.47	87.80
6.31	-0.48	87.48
6.43	-0.47	86.84
6.56	-0.47	86.84

Provino 3 - Specimen 3		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.11	-0.07	13.03
0.23	-0.06	21.53
0.34	-0.06	29.32
0.45	-0.06	38.17
0.56	-0.06	46.66
0.67	-0.06	55.16
0.79	-0.07	63.30
0.91	-0.09	70.73
1.03	-0.09	77.45
1.17	-0.11	84.17
1.29	-0.13	89.48
1.42	-0.15	95.14
1.54	-0.17	99.73
1.67	-0.18	103.98
1.79	-0.19	107.51
1.92	-0.21	110.69
2.04	-0.22	113.88
2.16	-0.23	116.00
2.29	-0.25	117.41
2.41	-0.26	119.89
2.53	-0.28	121.66
2.64	-0.28	123.77
2.75	-0.30	125.54
2.87	-0.32	127.67
2.97	-0.33	128.02
3.08	-0.34	129.43
3.19	-0.35	130.49
3.31	-0.36	130.84
3.43	-0.37	131.91
3.54	-0.38	132.61
3.66	-0.39	132.26
3.78	-0.39	132.61
3.88	-0.41	132.97
3.93	-0.41	133.32
3.98	-0.42	133.32
4.10	-0.43	133.32
4.38	-0.43	133.32
4.50	-0.44	132.97
4.62	-0.45	132.26
4.73	-0.45	131.91
4.84	-0.45	130.84
4.96	-0.46	130.14
5.07	-0.47	129.08
5.18	-0.47	128.02
5.29	-0.48	126.60
5.39	-0.49	125.90
5.50	-0.49	125.19
5.62	-0.49	124.13
5.74	-0.49	122.71
5.86	-0.50	121.66
5.98	-0.50	120.60
6.10	-0.51	119.53
6.22	-0.51	119.18
6.34	-0.51	118.47

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

TAGLIO DIRETTO

Committente:	COMUNE DI ZOLA PREDOSA	Sondaggio:	-
Località:	ZOLA PREDOSA (BO)	Campione:	C2
Cantiere:	FRANA	Profondità:	2.50 - 2.60 m

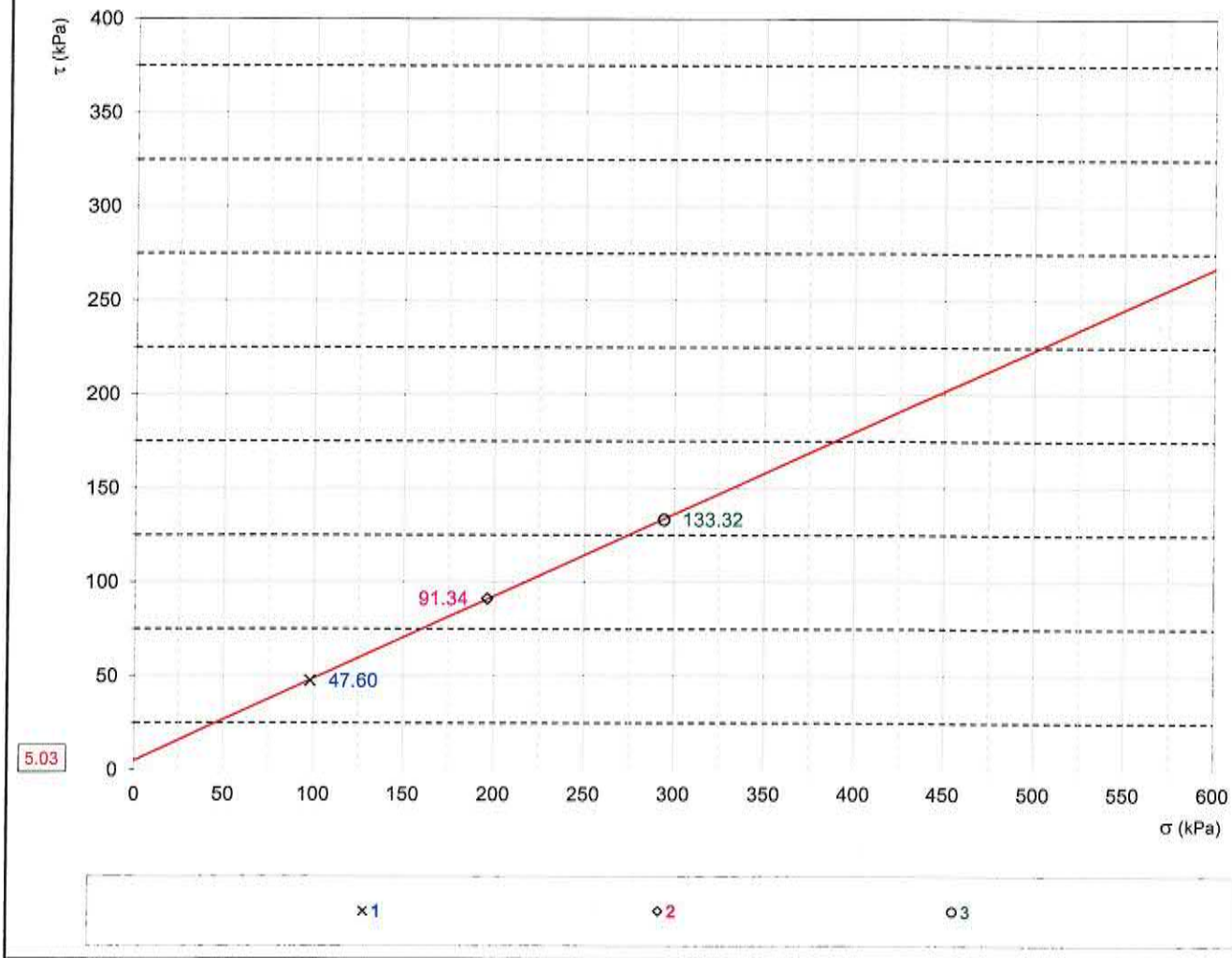
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Limo argilloso con clasti centimetrici eliminati nella preparazione dei provini.

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	47.60	91.34	133.32
Intercetta C'	KPa	5.03		
ϕ'	° sess	23.61		

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO RESIDUO

DIRECT SHEAR TEST

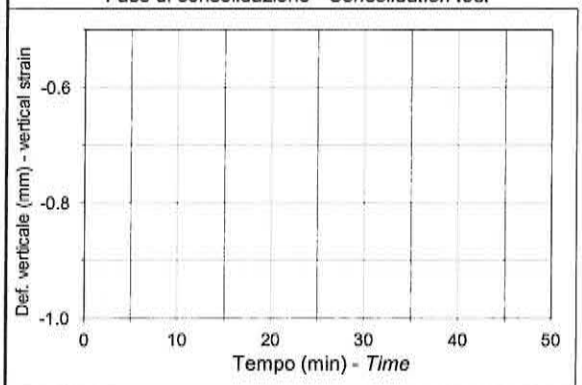
Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report*	231I - 19.212 - 007
Verbale - *Acceptance report*	231I
Committente - *Commissioner*	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - *Locality*	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - *Site*	FRANA
Sondaggio - *Borehole*	-
Campione - *Sample*	**C2**
Profondità - *Depth*	**2.50 - 2.60 m**
Data - *date*	GIUGNO 2019

Umidità iniziale - *Initial water content*	%	21.83		
Densità naturale iniziale - *Initial wet density*	kg/m^3	-		
Densità secca iniziale - *Initial dry density*	kg/m^3	-		
Provino - *Specimen id*	n°	1	2	3
Lato - *Specimen side*	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - *Initial specimen height*	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - *Strain rate*	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione *Consolidation pressure*	kPa	98.1	196.1	294.2
Umidità finale - *Final water content*	%	23.28	20.19	18.63

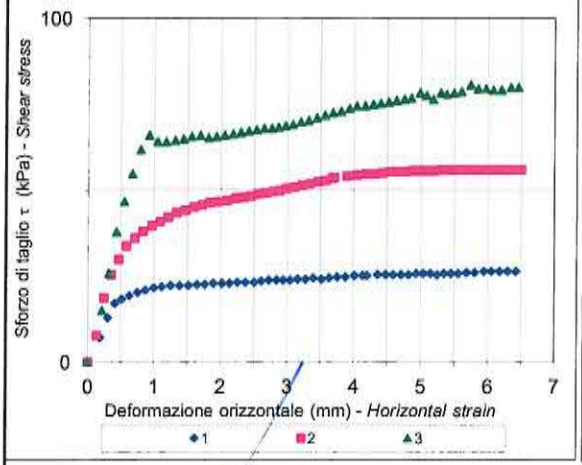
Fase di consolidazione - *Consolidation test*

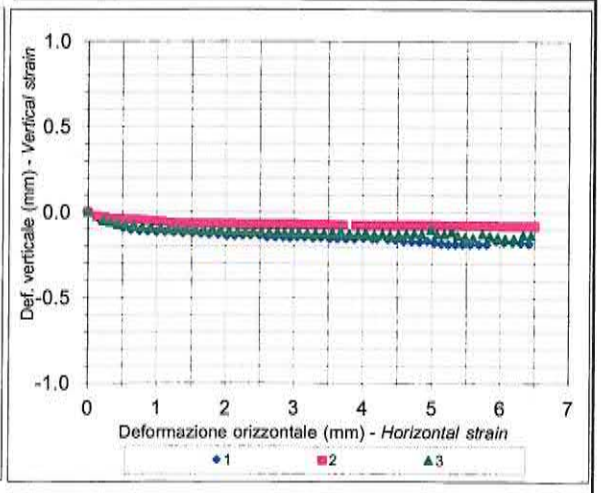


Note - *Remarks*

Limo argilloso con clasti centimetrici eliminati nella preparazione dei provini.

Pocket Penetrometer	-	kg/cm^2
Tor Vane	-	kg/cm^2





Direttore - *Manager*

Sperimentatore - *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO RESIDUO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report* 231I - 19.212 - 007

Verbale - *Acceptance report* 231I

Consolidation test (0-100 kPa)	
time (s)	def. ↓ (mm)
1	-
6	-
12	-
24	-
30	-
60	-
90	-
120	-
180	-
240	-
300	-
360	-
420	-
480	-
540	-
600	-
900	-
1200	-
1500	-
1800	-
2100	-
2400	-
2700	-
3000	-
3300	-
3600	-
4200	-
4800	-
5400	-
6000	-
7200	-
8400	-
9600	-
10800	-
12000	-
13200	-
14400	-
16800	-
19200	-
21600	-
28800	-
36000	-
45600	-
54000	-
72000	-
79200	-
82800	-
86400	-

Provino 1 - Specimen 1		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.19	-0.05	7.04
0.30	-0.06	12.84
0.41	-0.07	17.02
0.51	-0.09	18.31
0.62	-0.10	19.28
0.75	-0.11	20.24
0.87	-0.11	20.88
1.00	-0.11	21.53
1.12	-0.11	21.85
1.25	-0.12	22.17
1.38	-0.12	22.17
1.52	-0.12	22.17
1.64	-0.13	22.49
1.76	-0.13	22.49
1.89	-0.13	22.82
2.02	-0.14	22.82
2.13	-0.14	22.82
2.25	-0.13	23.14
2.37	-0.13	23.14
2.50	-0.13	23.14
2.61	-0.15	23.46
2.72	-0.15	23.78
2.84	-0.15	23.78
2.94	-0.15	23.78
3.04	-0.15	23.78
3.16	-0.15	24.10
3.27	-0.15	24.10
3.39	-0.15	24.43
3.52	-0.15	24.10
3.63	-0.15	24.43
3.75	-0.15	24.75
3.88	-0.15	24.75
4.01	-0.15	25.07
4.13	-0.15	25.07
4.20	-0.15	25.07
4.36	-0.16	25.39
4.48	-0.16	25.39
4.59	-0.17	25.39
4.71	-0.17	25.39
4.82	-0.17	25.39
4.93	-0.17	25.71
5.04	-0.18	25.71
5.14	-0.18	25.71
5.24	-0.19	25.39
5.34	-0.19	25.71
5.45	-0.19	25.71
5.56	-0.19	25.71
5.69	-0.19	26.04
5.81	-0.19	26.04
5.94	-0.17	26.36
6.05	-0.17	26.36
6.18	-0.17	26.36
6.30	-0.18	26.36
6.42	-0.18	

Provino 2 - Specimen 2		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.13	-0.02	7.68
0.25	-0.03	18.63
0.35	-0.04	25.39
0.47	-0.04	29.90
0.58	-0.04	33.76
0.71	-0.04	36.01
0.83	-0.05	37.94
0.96	-0.05	39.55
1.09	-0.06	40.84
1.21	-0.06	42.13
1.34	-0.07	43.41
1.47	-0.07	44.06
1.59	-0.07	45.02
1.72	-0.07	45.66
1.84	-0.07	46.31
1.96	-0.07	46.63
2.09	-0.07	46.95
2.22	-0.07	47.60
2.33	-0.07	47.92
2.44	-0.07	48.24
2.56	-0.07	48.88
2.67	-0.07	49.21
2.78	-0.07	49.53
2.88	-0.07	49.85
2.99	-0.07	50.49
3.10	-0.07	50.81
3.22	-0.07	51.46
3.34	-0.07	51.78
3.46	-0.07	52.42
3.58	-0.07	52.75
3.68	-0.07	53.39
3.71	-0.07	53.71
3.90	-0.07	54.03
4.04	-0.07	54.35
4.18	-0.07	54.68
4.31	-0.07	54.68
4.42	-0.07	55.00
4.54	-0.07	55.32
4.65	-0.07	55.32
4.77	-0.07	55.32
4.88	-0.07	55.64
4.99	-0.07	55.64
5.09	-0.07	55.64
5.21	-0.07	55.64
5.31	-0.07	55.96
5.42	-0.07	55.96
5.54	-0.07	55.96
5.65	-0.07	55.96
5.78	-0.07	55.96
5.90	-0.07	55.96
6.02	-0.08	55.96
6.14	-0.08	55.96
6.25	-0.08	55.96
6.38	-0.08	55.96
6.50	-0.08	55.96

Provino 3 - Specimen 3		
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.21	-0.05	14.96
0.32	-0.06	25.78
0.43	-0.07	37.75
0.55	-0.07	46.63
0.67	-0.08	54.74
0.79	-0.09	61.69
0.92	-0.09	65.93
1.04	-0.09	64.01
1.18	-0.10	64.01
1.31	-0.10	64.39
1.43	-0.11	64.78
1.56	-0.11	65.55
1.69	-0.11	65.93
1.81	-0.11	65.16
1.93	-0.11	65.55
2.05	-0.11	65.93
2.17	-0.11	66.32
2.29	-0.11	66.71
2.41	-0.11	67.09
2.53	-0.12	67.48
2.64	-0.11	67.87
2.75	-0.11	67.87
2.86	-0.12	68.25
2.96	-0.12	68.64
3.07	-0.12	69.02
3.19	-0.12	69.79
3.31	-0.12	70.18
3.44	-0.12	70.95
3.56	-0.12	71.73
3.68	-0.11	72.50
3.81	-0.12	72.88
3.93	-0.13	73.65
4.04	-0.12	74.43
4.16	-0.13	74.43
4.28	-0.13	74.81
4.39	-0.13	75.20
4.52	-0.13	75.59
4.63	-0.13	75.97
4.75	-0.12	76.36
4.85	-0.13	76.74
4.98	-0.10	78.29
5.08	-0.13	77.51
5.18	-0.13	76.36
5.29	-0.11	78.29
5.38	-0.13	77.90
5.48	-0.14	78.29
5.60	-0.15	78.67
5.74	-0.13	80.60
5.84	-0.14	79.44
5.96	-0.15	79.44
6.07	-0.15	79.06
6.20	-0.15	79.06
6.34	-0.13	79.83
6.45	-0.13	79.83

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

TAGLIO DIRETTO RESIDUO

Committente:	COMUNE DI ZOLA PREDOSA	Sondaggio:	-
Località:	ZOLA PREDOSA (BO)	Campione:	C2
Cantiere:	FRANA	Profondità:	2.50 - 2.60 m

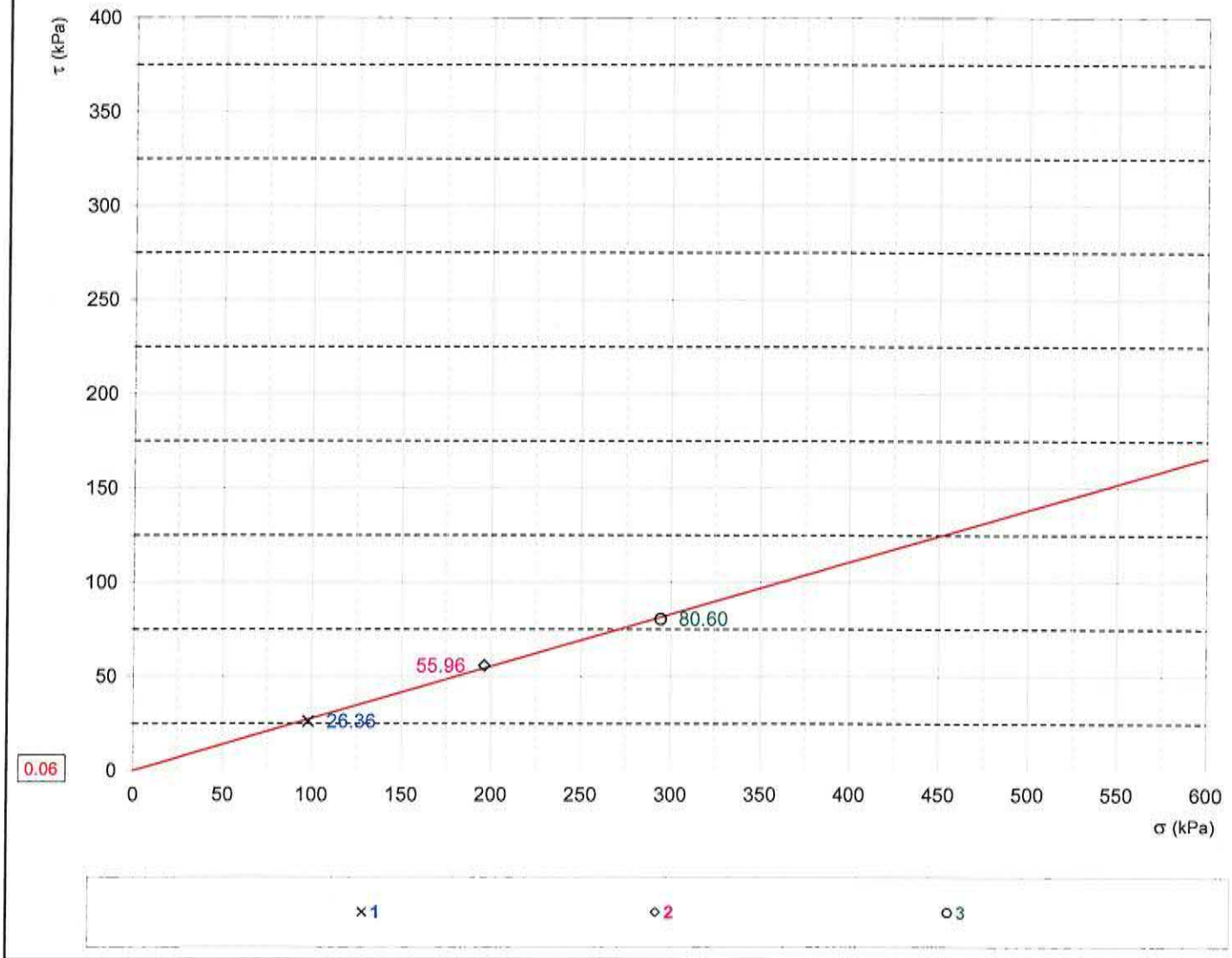
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO RESIDUO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Limo argilloso con clasti centimetrici eliminati nella preparazione dei provini.

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	26.36	55.96	80.60
Intercetta C'	KPa	0.06		
ϕ'	° sess	15.46		

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

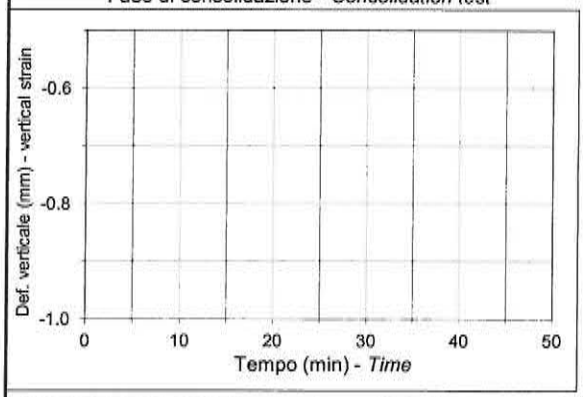
Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report*	232I - 19.212 - 001
Verbale - *Acceptance report*	232I
Committente - *Commissioner*	COMUNE DI ZOLA PREDOSA
Località - *Locality*	ZOLA PREDOSA (BO)
Cantiere - *Site*	FRANA
Sondaggio - *Borehole*	**CPT1**
Campione - *Sample*	**C1**
Profondità - *Depth*	**2.85 - 3.35 m**
Data - *date*	GIUGNO 2019

Umidità iniziale - *Initial water content*	%	17.21		
Densità naturale iniziale - *Initial wet density*	kg/m^3	1875.84		
Densità secca iniziale - *Initial dry density*	kg/m^3	1600.38		
Provino - *Specimen id*	n°	1	2	3
Lato - *Specimen side*	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - *Initial specimen height*	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - *Strain rate*	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione *Consolidation pressure*	kPa	98.1	196.1	294.2
Umidità finale - *Final water content*	%	19.58	18.23	16.91

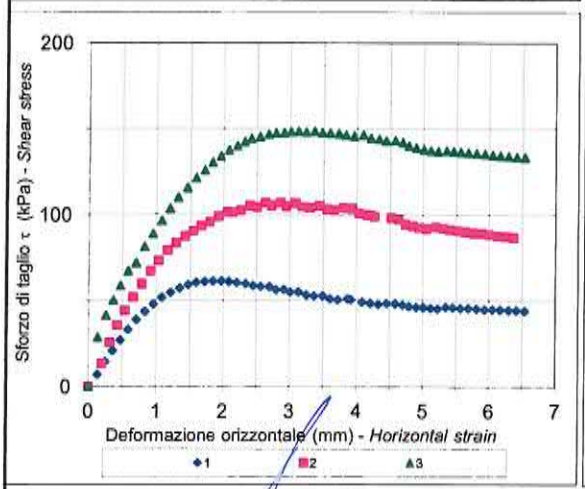
Fase di consolidazione - *Consolidation test*

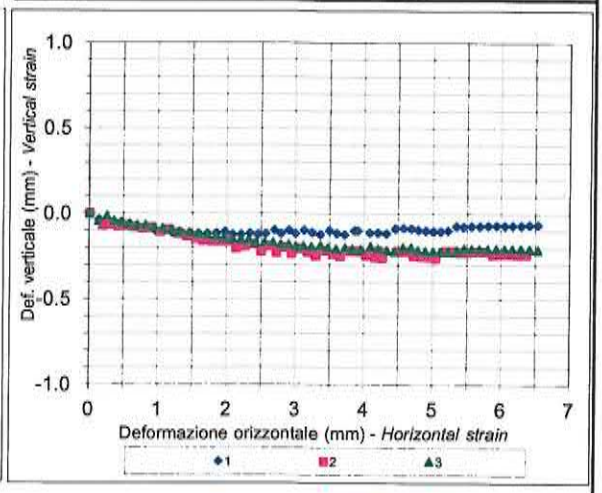


Note - *Remarks*

-

Pocket Penetrometer	-	kg/cm^2
Tor Vane	-	kg/cm^2





Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza: ± 0,13%

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

GEOTEA s.r.l.

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY

TAGLIO DIRETTO

DIRECT SHEAR TEST

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Technical specification

Rapporto di prova - *Test report* 232I - 19.212 - 001

Verbale - *Acceptance report* 232I

Consolidation test (0-100 kPa)

time (s)	def. ↓ (mm)
1	-
6	-
12	-
24	-
30	-
60	-
90	-
120	-
180	-
240	-
300	-
360	-
420	-
480	-
540	-
600	-
900	-
1200	-
1500	-
1800	-
2100	-
2400	-
2700	-
3000	-
3300	-
3600	-
4200	-
4800	-
5400	-
6000	-
7200	-
8400	-
9600	-
10800	-
12000	-
13200	-
14400	-
16800	-
19200	-
21600	-
28800	-
36000	-
45600	-
54000	-
72000	-
79200	-
82800	-
86400	-

Provino 1 - Specimen 1

def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.14	-0.04	7.04
0.25	-0.04	14.45
0.35	-0.05	20.88
0.47	-0.05	27.00
0.58	-0.06	33.12
0.70	-0.07	38.91
0.83	-0.09	43.74
0.95	-0.10	47.92
1.08	-0.10	51.78
1.21	-0.11	54.68
1.34	-0.11	57.25
1.47	-0.11	59.18
1.59	-0.12	60.47
1.71	-0.12	61.11
1.84	-0.11	61.43
1.97	-0.11	61.43
2.08	-0.12	61.11
2.20	-0.12	60.47
2.33	-0.11	59.82
2.45	-0.12	58.86
2.56	-0.12	58.21
2.69	-0.10	58.21
2.79	-0.12	56.28
2.91	-0.10	56.61
3.00	-0.12	55.00
3.13	-0.10	55.00
3.24	-0.11	53.39
3.36	-0.12	52.75
3.49	-0.10	52.75
3.60	-0.11	51.14
3.71	-0.12	50.49
3.86	-0.10	51.14
3.91	-0.10	50.81
4.08	-0.11	49.21
4.20	-0.11	48.56
4.32	-0.11	47.92
4.45	-0.09	48.56
4.57	-0.08	48.24
4.69	-0.09	47.60
4.79	-0.09	46.63
4.90	-0.10	46.31
5.00	-0.10	45.99
5.11	-0.10	45.66
5.22	-0.10	45.34
5.34	-0.07	46.31
5.45	-0.07	45.99
5.56	-0.07	45.66
5.69	-0.07	45.66
5.81	-0.07	45.34
5.93	-0.07	45.02
6.05	-0.07	45.02
6.17	-0.07	44.70
6.29	-0.07	44.38
6.41	-0.06	44.38
6.53	-0.06	44.06

Provino 2 - Specimen 2

def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.20	-0.07	13.46
0.31	-0.06	25.63
0.42	-0.07	35.77
0.53	-0.07	44.22
0.65	-0.08	51.99
0.78	-0.09	59.76
0.91	-0.08	67.19
1.03	-0.11	73.27
1.16	-0.09	79.35
1.29	-0.11	83.40
1.42	-0.13	87.45
1.55	-0.15	90.49
1.66	-0.16	93.53
1.79	-0.16	95.89
1.92	-0.16	98.93
2.05	-0.16	101.63
2.14	-0.20	101.29
2.26	-0.19	102.64
2.39	-0.18	105.34
2.50	-0.22	104.33
2.63	-0.19	107.03
2.72	-0.23	105.34
2.86	-0.20	107.03
2.94	-0.23	105.01
3.08	-0.21	106.69
3.18	-0.22	104.67
3.29	-0.24	103.99
3.44	-0.21	105.34
3.55	-0.23	103.32
3.65	-0.25	102.64
3.79	-0.22	103.99
3.92	-0.22	103.66
4.03	-0.24	100.95
4.15	-0.25	99.94
4.26	-0.26	98.93
4.21	-0.22	99.60
4.51	-0.22	98.26
4.62	-0.22	97.24
4.72	-0.24	94.54
4.83	-0.25	93.53
4.94	-0.25	92.52
5.04	-0.26	91.84
5.18	-0.22	92.85
5.29	-0.22	92.18
5.39	-0.22	91.50
5.51	-0.22	90.83
5.63	-0.22	90.15
5.76	-0.22	89.48
5.88	-0.24	89.14
5.99	-0.23	88.46
6.12	-0.23	87.79
6.24	-0.24	87.45
6.36	-0.24	86.78

Provino 3 - Specimen 3

def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)
0.13	-0.04	28.61
0.25	-0.02	41.35
0.36	-0.04	50.20
0.47	-0.06	58.70
0.58	-0.06	67.19
0.69	-0.07	71.79
0.82	-0.07	81.34
0.94	-0.08	88.77
1.07	-0.09	96.55
1.19	-0.09	103.62
1.31	-0.11	109.99
1.45	-0.11	115.64
1.58	-0.12	121.30
1.71	-0.13	125.90
1.83	-0.13	130.49
1.95	-0.14	134.03
2.08	-0.15	137.56
2.20	-0.15	140.03
2.31	-0.15	142.51
2.41	-0.17	144.28
2.54	-0.17	145.33
2.67	-0.17	146.75
2.78	-0.18	147.45
2.90	-0.18	147.81
3.00	-0.19	148.16
3.12	-0.19	148.51
3.23	-0.19	148.16
3.35	-0.19	148.51
3.47	-0.20	147.81
3.58	-0.21	147.45
3.71	-0.20	147.10
3.82	-0.21	146.39
3.95	-0.21	145.69
4.09	-0.19	146.39
4.20	-0.21	144.63
4.32	-0.21	143.92
4.43	-0.22	142.86
4.56	-0.20	143.22
4.68	-0.20	142.16
4.78	-0.21	140.03
4.88	-0.22	138.97
5.00	-0.22	137.91
5.10	-0.22	137.21
5.22	-0.22	136.85
5.35	-0.21	137.21
5.45	-0.20	136.85
5.56	-0.21	136.50
5.68	-0.21	136.15
5.80	-0.21	135.79
5.92	-0.21	135.44
6.04	-0.21	134.73
6.16	-0.21	134.38
6.28	-0.21	134.03
6.41	-0.21	133.67
6.53	-0.21	133.32

Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378
e-mail laboratorio.geotea@database.it
Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre

TAGLIO DIRETTO

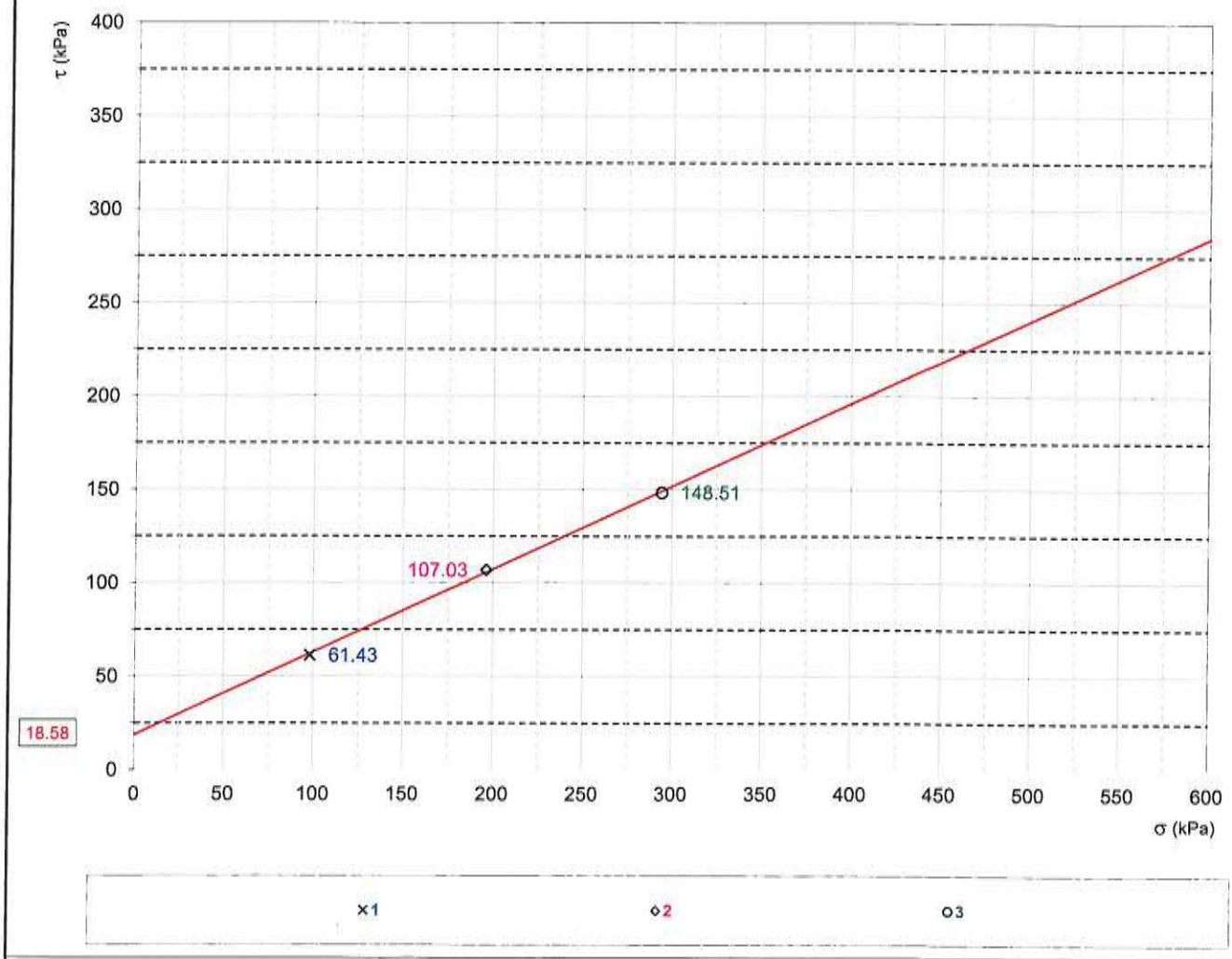
Committente:	COMUNE DI ZOLA PREDOSA	Sondaggio:	CPT1
Località:	ZOLA PREDOSA (BO)	Campione:	C1
Cantiere:	FRANA	Profondità:	2.85 - 3.35 m

REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	61.43	107.03	148.51
Intercetta C'	KPa	18.58		
ϕ'	° sess	23.94		

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.

TAGLIO DIRETTO

Committente:	COMUNE DI ZOLA PREDOSA	Sondaggio:	CPT1
Località:	ZOLA PREDOSA (BO)	Campione:	C1
Cantiere:	FRANA	Profondità:	2.85 - 3.35 m

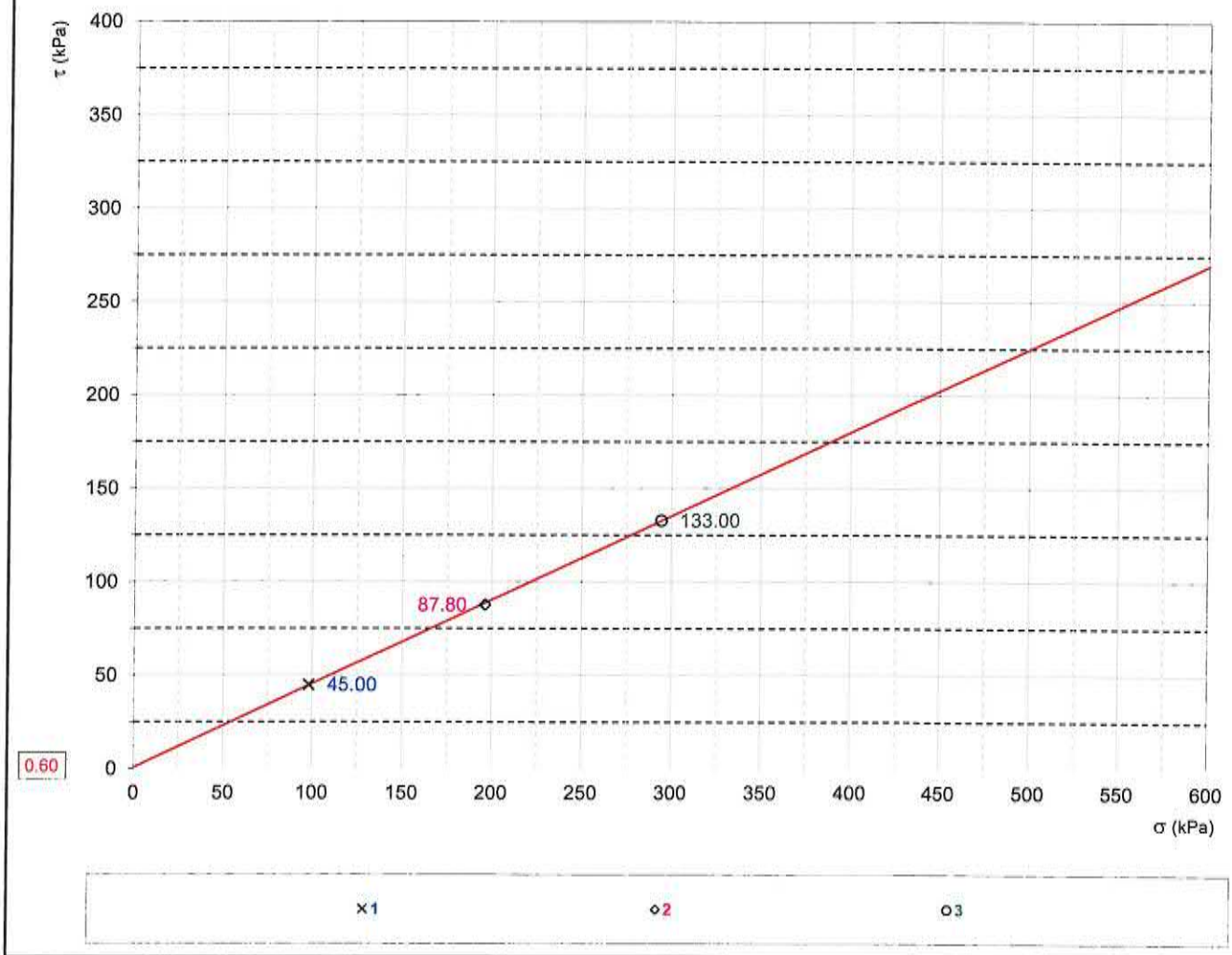
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO A 6 mm DI DEFORMAZIONE

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

-

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	45.00	87.80	133.00
Intercetta C'	KPa	0.60		
ϕ'	° sess	24.16		

Velocità di prova
0.006
mm/min



La coesione efficace e l'angolo di resistenza al taglio si riferiscono alla elaborazione della prova di taglio diretto eseguita mediante una semplice regressione lineare sui tre punti di sforzo massimo e per il campo tensionale nel quale i vari provini sono stati sottoposti a taglio.