



# STUDIO MATTIOLI

RG23004

Comune di Anzola dell'Emilia (BO)

## STUDIO GEOLOGICO DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO INTERESSATI DAL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI

Giugno 2023



VENTURI AMBIENTE s.r.l.

via Amedeo Zanini, 2

40011 Anzola dell'Emilia (BO)

Studio Mattioli s.r.l.  
Matteo Mattioli  


**STUDIO MATTIOLI S.R.L.**  
Ambiente · Ingegneria · Energia

Via Santo Stefano n. 30 - 40125 - Bologna - Italia  
Tel. (+39) 051 6449001 - (+39) 051 3395470  
Iscriz. Reg. Impr. BO - C.F. / P.IVA 02699221202  
Società a socio unico - Cap. Soc. € 10.000 i.v.  
[www.studiomattioli.com](http://www.studiomattioli.com) - [studio.mattioli@studiomattioli.com](mailto:studio.mattioli@studiomattioli.com)

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO.....</b>	<b>4</b>
1.1	<i>Normativa di riferimento.....</i>	4
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E CARTOGRAFICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>QUADRO DI RIFERIMENTO PROGRAMMATICO .....</b>	<b>7</b>
3.1	Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Provincia di Bologna.....	7
3.1.1	Riferimenti per l'area di studio .....	8
<b>4</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO .....</b>	<b>15</b>
4.1	Geomorfologia generale.....	15
4.2	Assetto geologico generale .....	16
4.3	Litologia di superficie .....	16
4.4	Idrografia.....	17
4.5	Idrogeologia .....	18
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>20</b>
5.1	Macro sismicità dell'area .....	21
<b>6</b>	<b>TIPOLOGIA DEL SITO ED INDICAZIONI PROGETTUALI .....</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>INDAGINI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>26</b>
7.1	Indagini di repertorio.....	26
7.1.1	Prove penetrometriche statiche (CPT).....	26
7.1.2	Indagine geofisica .....	27
7.2	Indagini geognostiche in sito.....	28
7.2.1	Indagine sismica MASW .....	28
7.2.2	Indagine sismica HVSR.....	28
7.2.3	Sondaggio a carotaggio continuo .....	30
7.2.4	Perforazione a distruzione di nucleo .....	32
7.2.5	Installazione piezometro tipo “Norton” in foro di sondaggio .....	32
<b>8</b>	<b>INDAGINI DI LABORATORIO GEOTECNICO.....</b>	<b>33</b>
8.1	Descrizione delle prove di laboratorio eseguite.....	33
8.2	Risultati indagini di laboratorio geotecnico.....	35
<b>9</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>36</b>
9.1	Caratterizzazione geotecnica .....	36
9.2	Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera.....	37
<b>10</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA (D.M. 17/01/2018) .....</b>	<b>38</b>
10.1	Pericolosità sismica di base.....	38
1.2	Azione sismica di progetto .....	38
10.2	Caratterizzazione dinamica.....	40
10.3	Condizioni topografiche .....	40
10.4	Amplificazione stratigrafica.....	41
10.5	Amplificazione topografica .....	42
10.6	Coefficienti sismici.....	43
10.7	Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale.....	43
10.8	Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale.....	45



<b>11 VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICO .....</b>	<b>47</b>
11.1 Esiti Secondo livello di approfondimento.....	47
<b>12 VERIFICHE NUMERICHE LIQUEFACIBILITÀ.....</b>	<b>49</b>
12.1 Risultati e commenti.....	52
<b>13 GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ .....</b>	<b>55</b>
<b>14 BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>56</b>
<b>15 ELENCO DELLE TAVOLE E DEGLI ALLEGATI A FINE TESTO.....</b>	<b>57</b>



## 1 Premessa e scopo del lavoro

A seguito dell'incarico ricevuto dalla ditta Venturi Ambiente s.r.l. con sede centrale in via Zanini, 2 nel comune di Anzola dell'Emilia (BO), si trasmette il presente studio geologico dei terreni del primo sottosuolo localizzati presso il territorio comunale di Anzola dell'Emilia ed interessati dal progetto di realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti.

Il presente studio è stato attuato secondo quanto previsto dal D.M 17/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”, sviluppando i punti seguenti:

- raccolta e analisi iniziale dei dati presenti nella letteratura tecnica;
- rilevamento geomorfologico ed idrologico, con descrizione della geologia generale, della stratigrafia, dell'idrogeologia e della litologia dell'area;
- campagna di indagini geognostiche in sito;
- elaborazione ed interpretazione dei dati acquisiti per la ricostruzione del modello lito-stratigrafico del sottosuolo dell'area;
- caratterizzazione geotecnica della successione stratigrafica;
- determinazione dell'eventuale presenza della falda idrica;
- implicazioni sismiche dell'area, ai sensi del D.M. 17.01.2018

Lo svolgimento delle attività suesposte ha permesso di descrivere lo stato dei luoghi, di valutare le condizioni di fattibilità e di fornire indicazioni preliminari per gli interventi in progetto.

### 1.1 Normativa di riferimento

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa del settore geotecnico e delle costruzioni ed in particolare modo si evidenziano:

- AGI: *raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*, giugno 1977.
- D.M. 21 gennaio 1981 – “*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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*”.
- Circ. Dir. Centr. Tecn. n. 97/81 – “*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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*”.
- ISRM *International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods*, 1981.





- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 - *“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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*.
- Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 – *“Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88”*.
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, settembre 1988.
- Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.
- D.M. 17.01.2018 - *“Norme tecniche per le costruzioni”*.
- D.R. 02/05/2007 n. 112 - *“Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico dell'art. 16, comma 1, della L.R. n. 20/2000, in merito a Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”*.
- D.G.R. 12/04/2021 n. 476 *Aggiornamento dell'“Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630.*



## 2 Inquadramento topografico e cartografico

Il sito, ubicato in via Zanini 2 nel comune di Anzola dell'Emilia, Provincia di Bologna, è rappresentato nelle seguenti Carte Tecniche della Regione Emilia Romagna:

- Tavola 220 NE: toponimo “*Bologna Nord Ovest*”, scala 1:25.000;
- Sezione 220070: toponimo “*Anzola dell'Emilia*”, scala 1:10.000;
- Elemento 220071 toponimo “*Lavino di Mezzano*”, scala 1:5.000.

L'area è censita al Foglio 42, mappale 232 del catasto terreni del Comune di Anzola dell'Emilia (BO).

Per l'inquadramento cartografico si rimanda alle *Tavole 1÷3* raccolte a fine testo.

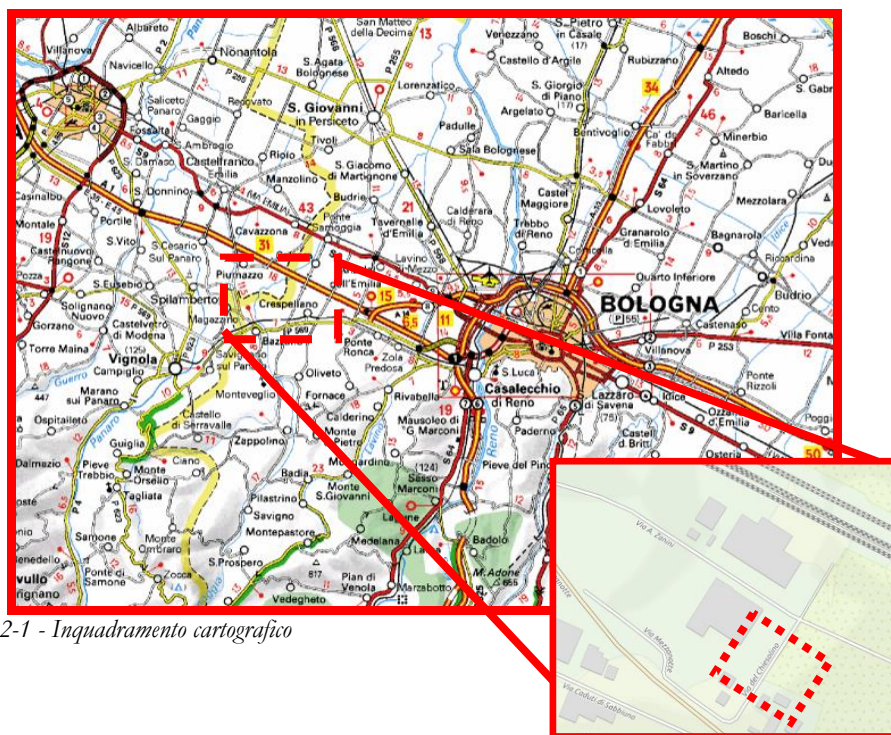


Figura 2-1 - Inquadramento cartografico

### 3 Quadro di riferimento programmatico

Il presente capitolo tratterà la verifica della conformità della proposta progettuale alle previsioni in materia urbanistica e ambientale che corrisponde a quello che, secondo la legislazione nazionale, viene definito “Quadro di riferimento Programmatico”.

In particolare si analizzerà la coerenza con il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP).

#### 3.1 *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Provincia di Bologna*

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Bologna, redatto in base all'articolo 20 del D.Lgs. 267/2000, all'articolo 57 del D.Lgs 112/1998 ed all'articolo 26 della L.R. 20/2000, è stato approvato dal Consiglio Provinciale con la Delibera n.9 del 30.3.2004. Questo documento, che costituisce atto di programmazione generale, consente di definire l'assetto del territorio, raccordare e verificare le politiche settoriali della Provincia e coordinare la pianificazione urbanistica comunale. Il PTCP attua le prescrizioni del Piano Territoriale Paesistico Regionale ed assume efficacia di piano territoriale con finalità di salvaguardia dei valori paesistici, ambientali e culturali del territorio, ai sensi dell'articolo 149 del D.Lgs. 490/1999. Il PTCP costituisce l'unico riferimento in materia di pianificazione paesaggistica, ai sensi dell'articolo 24 della L.R. 20/2000, sia per gli strumenti di pianificazione comunali, che per l'attività amministrativa attuativa. Con la medesima logica il PTCP, con i Titoli 4 e 6 delle Norme di Attuazione e con le Tavole n. 1 e n. 2, costituisce disciplina di coordinamento e di attuazione anche del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – PSAI (Delibera del C.I. n 1/1 del 6.12.2002) dei bacini del Fiume Reno e dei Torrenti Idice, Sillaro e Santerno (approvato con D.G.R. n. 567 del 7.4.2003); le prescrizioni degli articoli 4.11 punto 1 e 6.11 punto 2 hanno carattere immediatamente vincolante ai sensi dell'art. 17, comma 5, della Legge 183/89.

Gli elaborati costitutivi del PTCP sono:

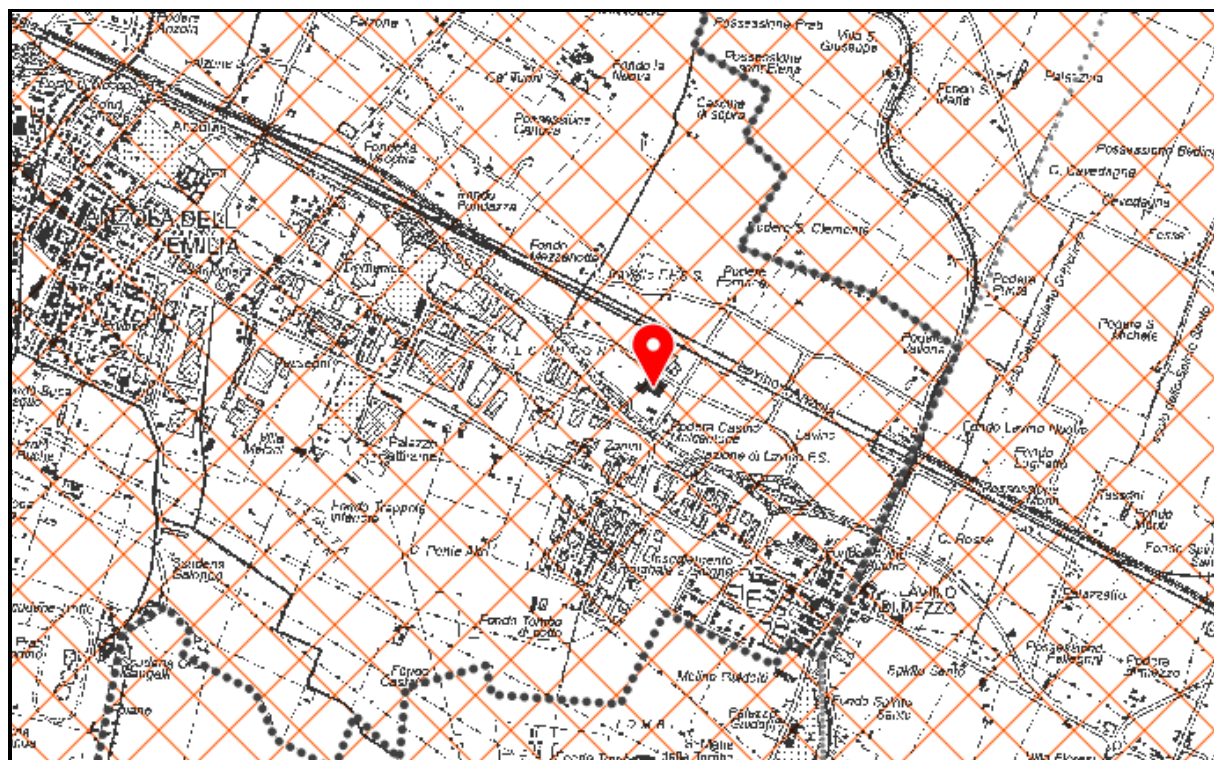
- Quadro conoscitivo;
- Norme di Attuazione;
- Elaborati grafici:
  - Tavola 1 “*Tutela dei sistemi ambientali e delle risorse naturali e storico culturali*”;
  - Tavola 2 “*Tutela idrogeologica*”;
  - Tavola 3 “*Assetto evolutivo degli insediamenti, delle reti ambientali e delle reti per la mobilità*”;
  - Tavola 4 “*Assetto strategico delle infrastrutture e dei servizi per la mobilità*”;
  - Tavola 5 “*Reti ecologiche*”.








L'area in esame ricade all'interno di ambiti di controllo degli apporti d'acqua in pianura (PTCP Art. 4.8 che recepisce ed integra i contenuti dell'art. 20 del PSAI, nonché le corrispondenti norme degli altri Piani Stralcio di Assetto idrogeologico di cui all'art. 1.4)




### Legenda


 Perimetro dei bacini montani (artt.4.8, 6.9 e 6.10)


 Alvei attivi e invasi dei bacini idrici (art.4.2)

 Terrazzi alluvionali (artt.5.2, 5.3 e 6.9)


### Gestione delle acque meteoriche


 Ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura (art.4.8)


 Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona A (art.4.8)

 Ambito di controllo degli apporti d'acqua in collina zona B (art.4.8)

### Rischio da frana e assetto dei versanti

 Limiti delle Unità Idromorfologiche Elementari (U.I.E.)  
Bacino del fiume Reno (art.6.1)

 Limiti delle Unità Idromorfologiche Elementari (U.I.E.)  
Bacino del fiume Po (art.6.1)

 Perimetrazione degli abitati da consolidare o trasferire (artt.6.12 e 6.14)

1 - Area in dissesto

2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto

4 - Aree da sottoporre a verifica

5 - Aree di influenza sull'evoluzione del dissesto

A - Zone a più elevata pericolosità

B - Zone di possibile ulteriore evoluzione dei fenomeni franosi

C - Zone individuate come frane antiche

NC - Zone non classificate secondo la Circolare Regionale

Figura 3-2 - PTCP Tav 2A "Rischio frana e assetto dei versanti"



- Tavola 2B “Tutela delle acque superficiali e sotterranee”

Il sito oggetto di studio non risulta essere sottoposto a tutele che riguardano le acque superficiali e sotterranee.



Figura 3-3 - PTCP Tav. 2B Tutela acque superficiali e sotterranee

- Tavola 2c “Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali”

La Tavola 2c del PTCP “Rischio Sismico - Carta provinciale degli effetti locali attesi” costituisce un primo livello di approfondimento, identificando scenari di pericolosità sismica locale dell’intero territorio provinciale. La Tavola 2c opera una prima distinzione delle aree sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico e, per ciascuna tipologia di esse, indica le indagini e/o analisi di approfondimento che devono essere effettuate dagli strumenti di pianificazione successivi, nonché indicazioni normative sugli interventi ammissibili nelle aree caratterizzate da pericolo sismico elevato, (Art. 6.14 “Norme di attuazione in materia di riduzione del rischio sismico”).

L’area oggetto di studio è classificata come area L1, *soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione* caratterizzata da sabbie prevalenti potenziali.

Per tali aree sono da prevedersi studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e verifica della presenza di caratteri predisponenti la liquefazione.





- D - Fascia soggetta ad amplificazione e potenziali cedimenti differenziali
  - FP - Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche
  - F - Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
  - QP - Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche
  - Q - Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
  - P50 - Area potenzialmente instabile per scarpate con acclività > 50°
  - L1 - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione
  - L2 - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione
  - G - Area potenzialmente instabile per presenza di cavità sotterranee
  - R - Aree incoerenti/incerte per caratteristiche litologiche e morfologiche
  - C - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti
  - AP - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche
  - A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche
  - P - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche topografiche con acclività 30°-50°
  - S - Area potenzialmente non soggetta ad effetti locali
- C** Perimetrazione degli abitati da consolidare o trasferire
- 1 - Area in dissesto
  - 2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto
  - 4 - Aree da sottoporre a verifica
  - 5 - Aree di influenza sull'evoluzione del dissesto
  - A - Zone a più elevata pericolosità
  - B - Zone di possibile ulteriore evoluzione dei fenomeni franosi
  - C - Zone individuate come frane antiche
  - NC - Zone non classificate secondo la Circolare Regionale
- N** Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate
- 1 - Aree in dissesto
  - 2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto
  - 3 - Aree di possibile influenza del dissesto
  - 4 - Aree da sottoporre a verifica
  - 5 - Aree di influenza sull'evoluzione del dissesto

Figura 3-4 - PTCP Tav. 2c "Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali"





- Tavola 3 “Assetto evolutivo degli insediamenti, delle reti ambientali e delle reti per la mobilità”

L'area analizzata non risulta perimetrata all'interno della tavola 3



Figura 3-5 - PTCP Tav. 3 Assetto evolutivo degli insediamenti, delle reti ambientali e delle reti per la mobilità

- Tavola 4A “Assetto strategico delle infrastrutture e dei servizi per la mobilità”

In data 31/03/2009, con Delibera del Consiglio Provinciale n. 29, è stata approvata la Variante al PTCP sul sistema della mobilità provinciale. Tale variante, denominata Piano della mobilità provinciale PMP, delinea l'assetto futuro delle infrastrutture e dei servizi di trasporto, nonché i necessari strumenti operativi per garantire l'accessibilità al territorio e la mobilità dei cittadini. Questo processo avviene salvaguardando la qualità ambientale, lo sviluppo economico e la coesione sociale, individuando le condizioni che concorrono ad una reale fattibilità degli interventi.

L'assetto infrastrutturale, come individuato nella Tavola 4a, ha valore vincolante per quanto riguarda il rango funzionale di ciascuna infrastruttura, mentre ha valore indicativo per quanto riguarda il preciso posizionamento ed andamento planimetrico dei tracciati. Allo stesso modo l'assetto infrastrutturale presenta una distinzione fra tronchi da consolidare o potenziare nella loro sede attuale e tronchi da realizzare in nuova sede; il posizionamento dei tracciati stradali potrà quindi essere precisato e modificato in sede di progettazione, fermo restando il rango funzionale.

Dalla Tavola 4a del Piano, che configura l'assetto strategico della rete viaria, non si evidenziano interferenze tra l'intervento in progetto e la pianificazione di infrastrutture.





Figura 3-6 - PTCP Tav. 4 Assetto strategico delle infrastrutture per la mobilità

- Tavola 5 "Reti ecologiche"

La rete ecologica di livello provinciale, che costituisce l'insieme di strategie d'intervento per la riqualificazione del territorio e dei processi naturali che lo caratterizzano, è strutturata nei seguenti elementi funzionali esistenti o di nuova previsione, come definiti all'art. 1.5 alla voce "rete ecologica":

- a) nodi ecologici semplici,
- b) nodi ecologici complessi,
- c) zone di rispetto dei nodi ecologici,
- d) corridoi ecologici,
- e) direzioni di collegamento ecologico,
- f) connettivo ecologico di particolare interesse naturalistico e paesaggistico,
- g) connettivo ecologico diffuso,
- h) connettivo ecologico diffuso periurbano,
- i) area di potenziamento della rete ecologica di area vasta,
- j) varchi ecologici.

Per ogni elemento della rete ecologica il PTCP definisce gli indirizzi per l'articolazione delle disposizioni da parte dei PSC.

L'area studio non risulta interferente con alcuna rete ecologica.

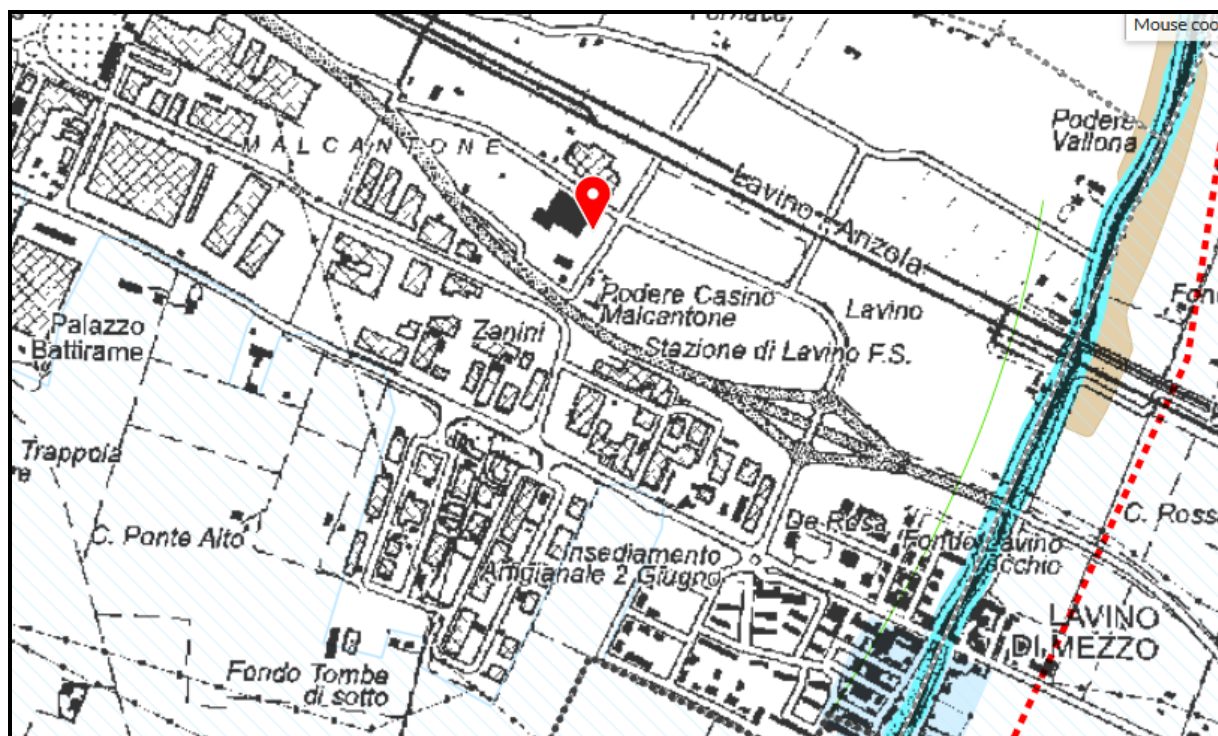


Figura 3-7 - PTCP Tav. 5 Reti ecologiche

## 4 Modello geologico

Nel presente capitolo verrà descritta l'area in esame da un punto di vista geologico-geomorfologico ed idrogeologico e contestualmente verrà illustrata la componente strutturale locale.

### 4.1 Geomorfologia generale

La pianura bolognese è caratterizzata da depositi alluvionali di origine continentale che si impilano sulle successioni marine, affioranti nelle aree collinari pedeappenniniche, ove si mostrano dislocate in profondità da un sistema di faglie, a direzione NO-SE grosso modo in corrispondenza del margine collinare.

Le formazioni marine si approfondiscono molto rapidamente raggiungendo profondità già di circa 300-400 m all'altezza del confine settentrionale del territorio del Comune di Bologna.

Le pendenze rilevabili lungo la pianura passano da un valore del 25 per mille nella parte dell'alta pianura ad un valore dell'1-2 per mille in quella della bassa pianura.

La geomorfologia di pianura risente sensibilmente della presenza dei conoidi dei fiumi principali, e grande rilevanza assume il conoide del Torrente Lavino che trova il suo sbocco in pianura all'esterno della parte orientale dell'area in esame, ma che appare molto marcata ed estesa. Qui sono visibili dorsali o dossi fluviali, testimonianza probabilmente, di paleoalvei alimentati dal Torrente Lavino.

Il Reno sviluppa invece un conoide molto stretto ed allungato in quanto il fiume è in erosione sul suo stesso terrazzo; testimonianza ne sono le scarpate visibili nella parte più prossima al margine collinare.

L'area in esame si sviluppa in un settore deposizionale caratterizzato da leggere ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord; pressoché pianeggiante si ubica ad una quota media di 40,00 m s.l.m.

La morfologia superficiale risente sia del costante intervento umano, volto a migliorarne l'efficienza dal punto di vista agricolo, sia della vicinanza degli scoli tributari del torrente Lavino, che in fase di tracimazione e di sedimentazione hanno depositato lenti alluvionali che si interdigitano tra di loro conferendo alla zona un andamento leggermente ondulato.



## 4.2 *Assetto geologico generale*

L'area oggetto di studio è la fascia dell'alta pianura bolognese, le cui unità costituenti il substrato dei depositi alluvionali sono note da sondaggi profondi per ricerche di idrocarburi. Il Quaternario marino, rappresentato dalle Sabbie di Asti o depositi sabbiosi costieri, ricopre con uno spessore di poco inferiore agli 800 m sedimenti pelitici di scarpata (Argille del Santerno). Il Pliocene è formato da torbiditi prevalentemente sabbiose e sciolte, appartenenti alla formazione di Porto Garibaldi (Pliocene medio-superiore) e da torbiditi con alternanze regolari di sabbie e argille della formazione di Porto Corsini (Pliocene inferiore). La coltre ligure si intercala a livello del Pleistocene medio-inferiore e giunge ad una distanza di circa 3 km dal bordo appenninico. La fascia di pianura è fortemente subsidente, raggiungendo nell'intervallo Pliocene-Recente, i 6000 m di depositi in corrispondenza della cosiddetta Sinclinale bolognese (Pieri & Groppi, 1981).

Il limite tra l'area collinare e quella di pianura coincide con un sistema sepolto di faglie inverse formante un importante elemento morfostrutturale e separante le due parti, una in sollevamento e l'altra subsidente.

## 4.3 *Litologia di superficie*

Dal punto di vista geolitologico l'area ricade in un settore di depositi alluvionali quaternari caratterizzati essenzialmente da materiali medio-grossolani (ghiaie e sabbie) appartenenti alla Successione Neogenico-Quaternaria del margine appenninico padano e nel dettaglio ricade tra i depositi continentali dell'Unità di Modena-AES8a di età post-romana.

La legenda riportata di seguito è riferita alla carta geologica proposta in *Figura 4-1*, che fa riferimento alla cartografia geologica e dei suoli della Regione Emilia-Romagna a scala 1:10000:





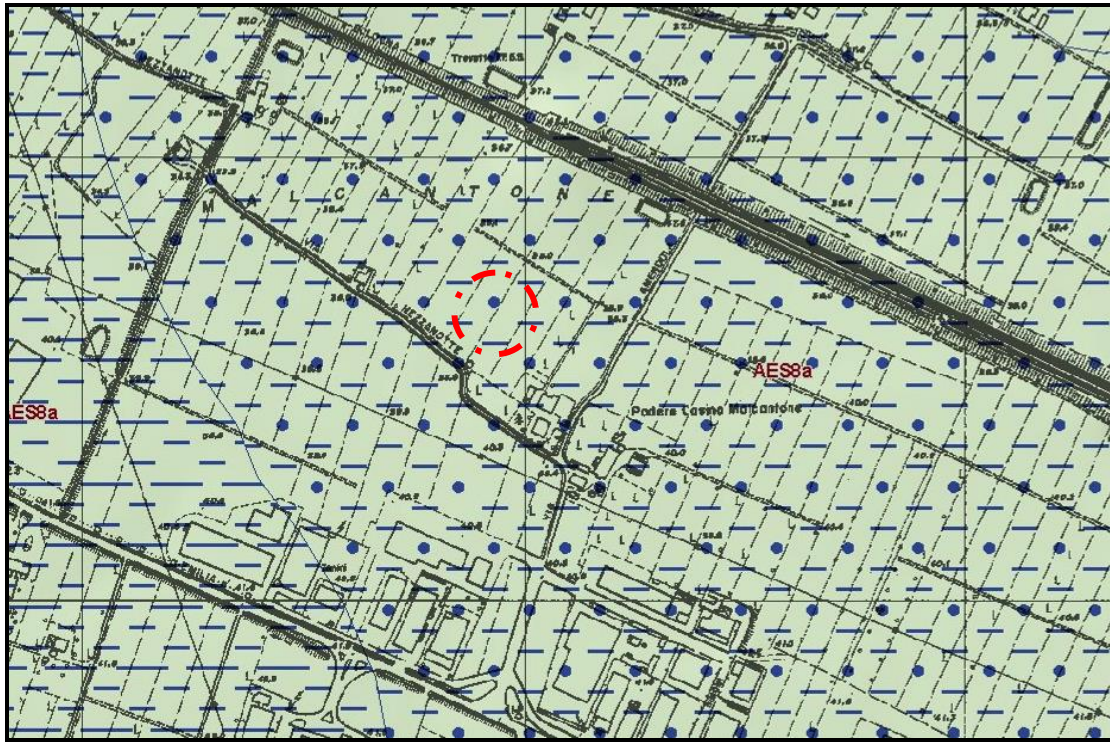


Figura 4-1 - Estratto dalla Cartografia geologica e dei suoli della RER. Scala 1:10000

- AES8a – Unità di Modena:

Nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intra. Spessore massimo in pianura 7 metri, nel sottosuolo circa 10m.

Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica).

#### 4.4 Idrografia

Il sito è ubicato a circa 750 m ad Est dallo Scolo Sanguinetta e circa 600 m ad Ovest dal torrente Lavino.

La naturale idrografia ed idrologia superficiale si è venuta completamente a modificare per la disposizione dei terreni circostanti adibiti ad uso industriale ed alla viabilità, gli originali fossi di scolo sono stati abbandonati o deviati per necessità legate alle opere di urbanizzazione, pertanto non si rilevano altri corsi d'acqua primari nell'area, mentre si evidenziano piccoli recettori bordanti le carreggiate stradali e /o le zone coltivate che raccolgono le acque di precipitazione eccessive per incanalarle verso i collettori principali.



## 4.5 Idrogeologia

Il sottosuolo caratterizzante la pianura bolognese è costituito da falde superficiali e profonde. La struttura delle unità superficiali sepolte è contraddistinta dalla alternanza verticale di corpi grossolani e fini; essa contiene un sistema acquifero multifalda composto, suddiviso in falde superficiali e profonde.

L'acquifero multifalda delle alluvioni bolognesi è definito da tre unità granulari (A, B e C) separate da depositi fini (*vd. Figura 4-2*).

Il ciclo C ha uno scarso interesse per la sua profondità, pertanto, in questa sede, sarà trascurato.

Il ciclo B è costituito da prevalenti ghiaie del sistema deposizionale del Fiume Reno, passanti, a Est, a sedimenti sempre più fini. Esso è localizzato tra 130 m e 300 m di profondità ed è oggetto di prelievo di acqua da pozzi ad uso prevalentemente civile.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE								
AFFIORANTI		SEPOLTE					GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO							
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI OLIVATELLO	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOL	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOL SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	ORIZZONTE DI FOSCOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	0.125	A	A1
															A2
	A3														
	A4														
QUATERNARIO MARINO	DILUVIUM p.p.	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOL	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOL INFERIORE	UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1							
								B2							
								B3							
								B4							
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE	C	C1							
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.							C2							
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTECICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.							C3							
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.							C4							
P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL PLOCCENE MEDIO-SUPERIORE	PLOCCENE MEDIO- SUPERIORE	~2.2	PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE	1.72	C5								
											~3.3-3.6	PLEISTOCENE INFERIORE	3.55		
											~3.9	PLEISTOCENE INFERIORE MIocene	ACQUEDOTTO BASILE		

Figura 4-2 - Unità idrostratigrafiche età in milioni di anni (Regione Emilia Romagna e AGIP, 1998 - modificata).

Il ciclo A, infine, è quello che ha maggior rilevanza, ai fini del presente studio, perché quello più utile sensibile agli interventi sul territorio.

Nel bolognese si riconoscono tre corpi, prevalentemente ghiaiosi e localmente sabbiosi, sede di altrettante falde acquifere, chiamate, rispettivamente dal basso verso l'alto, SUP1, SUP2 e SUP3, distinte per valori di soggiacenza ben definiti. Ulteriori livelli saturi alimentati dalla superficie e legati alle precipitazioni meteoriche, facenti parte della SUP4, sono contenuti nei depositi sabbiosi fini e siltoso-argillosi del primissimo sottosuolo.





Le falde SUP3 e SUP2 si presentano, nel settore del conoide del Fiume Reno coincidenti, in quanto l'acquitardo, che separa i corpi acquiferi che le contengono, si riduce di spessore e, localmente, si interrompe fino a scomparire e a “saldare” gli strati grossolani superiore ed inferiore in un unico orizzonte.

La SUP1 è contenuta in un corpo ghiaioso-sabbioso compreso, nell'area di studio, nei primi 45 m di profondità da piano campagna e delimitato alla base da uno strato prevalentemente argilloso.

L'acqua è in pressione nei settori laterali al conoide, mentre in quella centrale è in condizioni di falda libera. L'alimentazione è diretta dalla superficie ed in particolare dal Fiume Reno, principale agente di ricarica.



## 5 Inquadramento sismico

La normativa in materia di costruzioni vigente (D.M. 17/01/2018) asserisce che *“le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito interessato dalla costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale”*.

Come stabilisce l'allegato A delle NTC/18 *“la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC/18 e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporal?”*; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti: in termini di valori di accelerazione massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC/18, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopracitate, in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 Km) per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_r$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, estremi esclusi.

L'azione sismica così calcolata (azione sismica di base) è ulteriormente caratterizzata sulla base della risposta sismica locale, individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito.

L'INGV, attraverso un reticolo di riferimento con maglia di 10 Km e un periodo di ritorno ricadente in un intervallo di riferimento (30-2475 anni) ha definito la pericolosità di base sull'intero territorio nazionale. Per qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri ( $F_0$ ,  $a_g$  e  $T_c$ ) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici nella maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, secondo quanto riportato nell'Allegato A delle NTC/18. Le azioni di progetto si ricavano in funzione di:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima del sito;
- $F_0$ : 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.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali si valuta il rispetto dei vari stati limite considerati, vengono definite a partire dalla pericolosità sismica di base sito-specifica. La pericolosità sismica è figlia di stime probabilistiche che sfruttano un catalogo dei terremoti, una zonazione simogenetica del territorio e relazioni di attenuazione sismica. La pericolosità sismica rappresenta la probabilità di eccedenza di un determinato parametro descrittivo del moto del terreno (intensità macrosismica, picco di accelerazione, valori spettrali). Questo è generalmente rappresentato in termini di accelerazione orizzontale massima attesa (o  $PGA_0$ ) al substrato rigido ( $>800$  m/s) con topografia piana e condizione



di free-field, nonché di ordinate dello spettro elastico al bedrock. Questi valori sono riferiti a determinate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$  nel periodo di riferimento VR.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico, che rappresenta la massima accelerazione (o spostamento, o velocità) orizzontale o verticale a cui sarà sottoposto un oscillatore armonico con periodo proprio  $T$  ad un grado di libertà nel campo elastico. Il metodo semplificato previsto da normativa permette di ottenere lo spettro di risposta elastico in accelerazione (anche relativo alla superficie) della componente orizzontale tramite le espressioni di seguito riportate, le quali sono risolvibili a partire dai parametri di base ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C$ ), dalla categoria di suolo (A, B, C, D, E) e dalla categoria topografica ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ ), dalla Vita nominale (VN) e dalla Classe d'uso dell'Opera (CU).

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Ne consegue che, per una determinata area, ricostruendo lo spettro di risposta elastico sia in superficie che e al bedrock è possibile ottenere informazioni quantitative riguardanti l'amplificazione sismica del sito (stratigrafica e topografica). Il fenomeno di amplificazione sismica viene parametrizzato tramite i relativi Fattori di Amplificazione Sismica. In alternativa all'approccio semplificato, è possibile un approccio numerico deterministico, come previsto negli studi di Risposta Sismica Locale (RSL) e negli studi di Microzonazione Sismica di III livello. Questa pratica richiede l'utilizzo di una serie di accelerogrammi spettro-compatibili alla sismicità di base del sito, che vengono (nei codici 1D di RSL) ricondotti a un'onda S polarizzata sul piano orizzontale che oscilla in verticale dal bedrock alla superficie e viceversa e che, in caso di monostrato su bedrock, va in risonanza alle frequenze che sono i multipli dispari di  $f = VS/4 \cdot H$ .

### 5.1 Macro sismicità dell'area

La raccolta di dati storici relativi la macrosismicità dell'area consente una prima approssimazione delle caratteristiche tettono-sismiche di sito e consente di ottenere data, intensità macrosismica e magnitudo momento degli eventi indicativi relativi all'area in esame. Questi stessi eventi registrati, combinati con una schematizzazione delle sorgenti sismogenetiche e con leggi di attenuazione del moto sismico, sono la base per il calcolo probabilistico delle  $PGA_0$  relative il bedrock sismico.



Viene di seguito riportata la tabella degli eventi registrati che hanno interessato l'area e il relativo grafico-istogramma per il Comune di Anzola dell'Emilia. Gli eventi inclusi nell'archivio storico includono il periodo tra 1929 e il 2000 e hanno Magnitudo comprese tra 4.40 e 4.91.

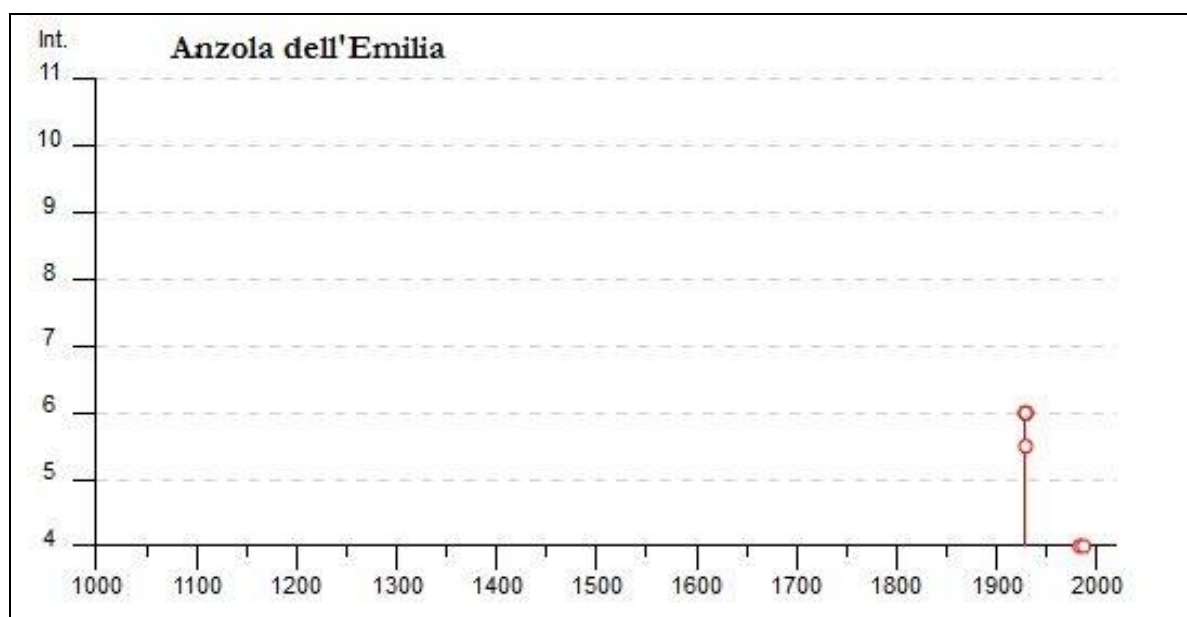


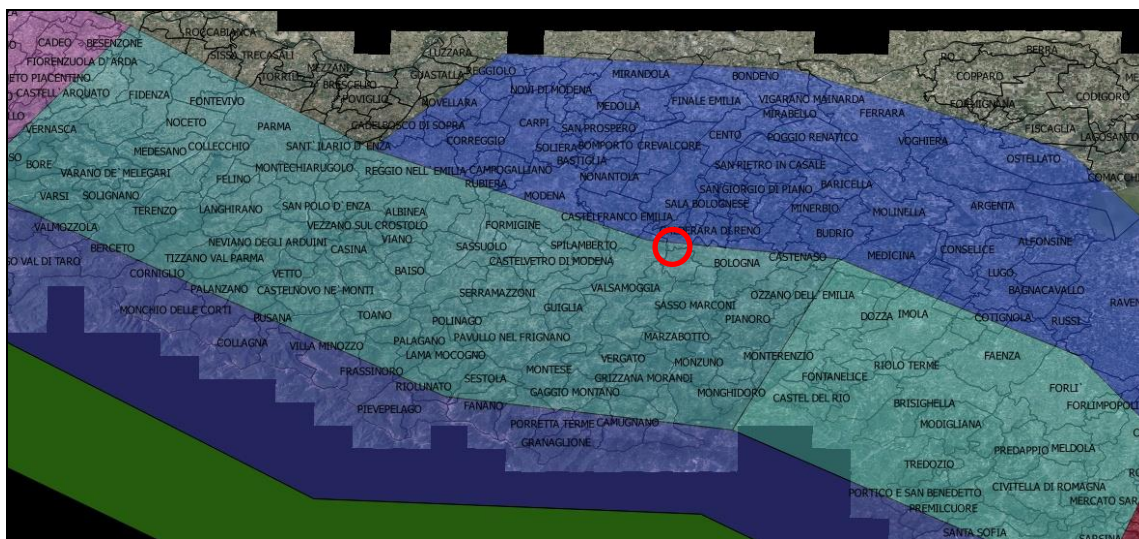
Figura 5-1 - Istogramma di intensità macrosimica di Anzola dell'Emilia (BO)

Effetti	In occasione del terremoto del												
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw			
NF	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160	6-7	4.91			
NF	1892	12	29	13	47	4	Castel del Rio	36	5-6	4.37			
6	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05			
6	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13			
6	1929	04	22	08	26		Bolognese	41	6-7	5.10			
6	1929	04	28	19	40		Bolognese	20	6	4.73			
5-6	1929	05	11	19	23		Bolognese	64	6-7	5.29			
3	1931	04	11	01	26		Faentino	19	4-5	4.81			
3	1931	06	10	17	02		Modenese	14	4	4.59			
NF	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44			
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04			
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43			
4	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71			
3-4	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11			
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40			

Figura 5-2 - Elenco di eventi sismici relativi l'area di studio.



Il territorio di Anzola dell'Emilia (BO) si trova all'interno della zona sismogenetica 913 (Meletti e Valensise 2004) come rappresentato in *Figura 5-3 - Zone sismogenetiche riguardanti l'Emilia Romagna*.



*Figura 5-3 - Zone sismogenetiche riguardanti l'Emilia Romagna (Meletti e Valensise 2004).*

Per una successiva schematizzazione della macro-sismicità: il territorio nazionale viene suddiviso in 4 differenti zone sismiche, ognuna contrassegnata da un diverso parametro  $a_g$  ( $PGA_0$ ), espresso come una frazione dell'accelerazione di gravità. Il territorio comunale di Anzola dell'Emilia (BO) è classificato come **Zona sismica 3**.

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

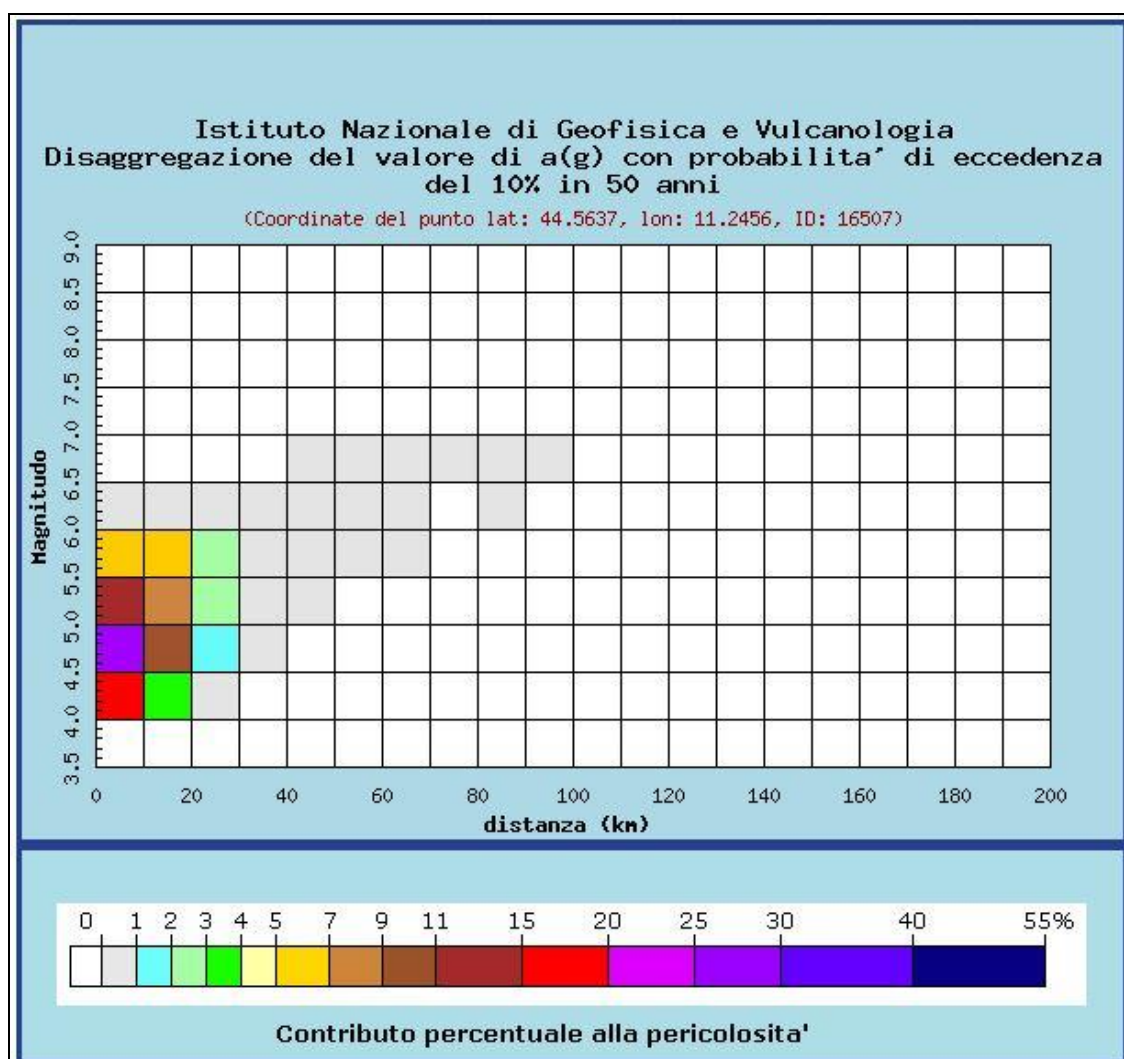
Sulla base dei dati precedentemente presentati: il metodo proposto in “*Indirizzi e criteri di microzonazione sismica*” (I.C.M.S. 2009) per la stima del valore di Magnitudo di progetto attesa al sito viene di seguito riportato:

- Si considera sempre la zonazione sismogenetica (ZS9), Secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una Magnitudo Momento massima  $M_{wmax}$ .
- Per i siti che ricadono all'interno di una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come  $M$  il valore di  $M_{wmax}$ .
- Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona si determinano le minime distanze ( $R$ ) dalle zone ( $j$ ) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo  $M_i$  della zona è inferiore alla Magnitudo fornita dalla relazione  $M_s = 1 + 3 \log(R)$ . Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria: si assume il valore di Magnitudo  $M_i$  più alto fra quelli per i quali la verifica risulta necessaria.





In alternativa è possibile il processo di disaggregazione della PGA. Questo processo permette di valutare, grazie alla mappatura delle zone sismogenetiche, il contributo di vari scenari Magnitudo-distanza epicentrale (M-R) alla determinazione della PGA0 di sito. In un certo senso si può considerare come il processo inverso a quello probabilistico per la costruzione della mappa di pericolosità sismica del territorio Italiano. Sulla base dei suddetti criteri, l'area oggetto di studio rientra entro la zona sismogenetica 913, per tanto la relativa Magnitudo Momento Massima attesa al sito è  $M_{wmax}=6.245$ . Mentre in *Figura 5-4 e 5-5* sono riportate le carte di disaggregazione delle PGA elaborate da INGV per il Comune di Anzola dell'Emilia, la quale evidenzia che i terremoti più probabili attesi nell'area hanno una Magnitudo Momento media  $M_{wmedia}=4.95$  e una Magnitudo Momento massima  $M_{wmax}=5.792$ .



*Figura 5-4 - Grafico di disaggregazione delle  $PGA_0$  (INGV).*



Distanza in km	Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.5637, lon: 11.2456, ID: 16507)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	16.400	28.600	14.600	6.030	0.509	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.490	9.500	8.250	5.060	0.482	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.068	1.010	2.120	2.010	0.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.015	0.394	0.774	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.017	0.183	0.046	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.026	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.950	9.110	0.842

Figura 5-5 - Tabella di disaggregazione delle  $PGA_0$  (INGV).



## 6 Tipologia del sito ed indicazioni progettuali

L'area, attualmente in locazione alla ditta Venturi Ambiente s.r.l., azienda operante nel settore dell'ecologia e che offre servizi di espurgo, si sviluppa su di una superficie di circa 14.000 m<sup>2</sup>, ed è principalmente occupata da un grande capannone ad uso industriale (avente sedime di circa 700 m<sup>2</sup>) e da un'ampia area cortiliva.

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un impianto di trattamento rifiuti.

## 7 Indagini di riferimento

Di seguito vengono illustrate le indagini geognostiche di riferimento finalizzate alla determinazione della natura litologica e delle caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo.

### 7.1 Indagini di repertorio

I dati di sottosuolo pregressi sono stati desunti la campagna d'indagini realizzata nel mese di Giugno 2003 dallo studio geologico-ambientale Arkigeo a supporto della realizzazione del capannone industriale presente nell'area e consistita nell'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte fino alla profondità di 15 m dal piano campagna.

Ad integrazione di tali indagini e al fine di valutare il parametro  $V_{seq}$  caratteristico dell'area, ovvero la media delle velocità delle onde sismiche superficiali nei primi 30,00 m di profondità dal piano campagna ricavata nell'ambito della progettazione per la posa delle cisterne interrato, è stata infine realizzata n. 1 indagine sismica HVSr (ovvero per mezzo di tomografo digitale "Tromino<sup>®</sup>").

#### 7.1.1 Prove penetrometriche statiche (CPT)

Il penetrometro statico utilizzato con cella di carico da 20 t, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm<sup>2</sup> per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (friction jacket) della superficie di 150 cm<sup>2</sup> per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo Begemann).

La punta tipo Begemann (*cfr. Figura 7-1*) ha un diametro di base pari a 35,7 mm. e angolo di apertura del cono pari a 60°, come da raccomandazioni AGI 1977 e indicazioni internazionali standardizzate. La batteria di aste è composta da una serie di spezzoni di aste cave di lunghezza pari a 1 m. e con diametro esterno di 36 mm. al cui interno è posta la batteria di astine che permette l'apertura della punta



meccanica. La penetrazione avviene ad una velocità costante pari a 2 cm/sec (con tolleranza  $\pm 0,5$  cm/sec), indipendentemente dalla resistenza opposta dal terreno.

Il dispositivo di spinta è solidale al terreno mediante un ancoraggio centrale in modo da non muoversi rispetto al piano di lavoro durante l'immissione. Esso agisce alternativamente sulla batteria di aste interne (consentendo l'avanzamento dapprima della punta e poi del manicotto laterale) e su quella di aste cave esterne (durante tale fase la punta si richiude e torna in posizione iniziale). Si ottengono in tal modo misure “discontinue”, poiché il ciclo di apertura-chiusura avviene ogni 20 cm, che consistono in:

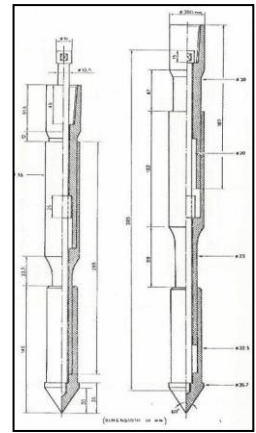
- $L_p$ : spinta necessaria per l'avanzamento della sola punta;
- $L_p + L_l$ : spinta per l'avanzamento della punta e del manicotto;

Tramite semplici formule di conversione si ottengono:

- $R_p$ : resistenza alla punta;
- $R_l$ : resistenza per attrito locale sul manicotto.

Ogni 20 cm di penetrazione dell'intera batteria di aste, il sistema di spinta, consente di spingere alternativamente nel terreno la punta e il manicotto, con una velocità di avanzamento di 20 mm/s, compiendo quindi una misura della resistenza di punta ed una misura dell'attrito laterale locale.

I risultati della penetrometria statica sono illustrati in forma diagrammatica in *Allegato 1*, dove sono riportati, in funzione della profondità, i valori della punta  $q_c$  (kg/cm<sup>2</sup>), il valore della resistenza dell'attrito laterale locale  $f_s$  (kg/cm<sup>2</sup>), ed il rapporto  $q_c/f_s$  che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati utilizzando l'interpretazione più attendibile e di più facile applicazione quella proposta da *Schmertmann J.H., 1978*.



### 7.1.2 Indagine geofisica

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.

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro  $V_{s_{eq}}$  è stato utilizzato un tomografo 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  $\sim 1.5$  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 pari a 20 minuti e l'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla (Micromed S.p.A.). Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto, è stato stimato un valore del parametro

$V_{seq}$  rispetto all'attuale piano campagna, pari a 209 m/s. Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018, unicamente sulla base del parametro  $V_{seq}$  relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade in **categoria C**.

## 7.2 *Indagini geognostiche in sito*

Durante la campagna d'indagini geognostiche effettuate in sito nel mese di maggio 2023, finalizzata alla determinazione della natura litologica e delle caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo, sono state eseguite un'indagine geofisica integrata Masw + Hvsr, n.1 sondaggio a carotaggio continuo e n.2 perforazioni a distruzione di nucleo con successiva installazione di piezometri atti a monitorare l'andamento del livello freaticometrico.

### 7.2.1 *Indagine sismica MASW*

Per ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno indagato e quindi al fine di valutare il parametro  $V_{seq}$  caratteristico dell'area, l'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 1 prospezione sismica per mezzo della tecnica MASW.

Si sono utilizzati n. 24 geofoni, allineati a spaziatura regolare (2,00 m) con l'obiettivo di derivare la curva velocità onde S – profondità, la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare (per maggiori dettagli riguardo i mezzi utilizzati, l'ubicazione dei profili e le attività eseguite, si rimanda agli elaborati di proposti in Allegato 3).

Come si evince dai profili delle velocità ricostruiti, il valore del parametro  $V_{seq}$  relativo alle linee sismiche è stato stimato pari a 205 m/s. Il suolo di interesse è pertanto classificabile come suolo di **classe C**.

### 7.2.2 *Indagine sismica HVSR*

Per ottenere informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno indagato e quindi al fine di valutare il parametro  $V_{seq}$  caratteristico dell'area, ovvero la media delle velocità delle onde sismiche superficiali nei primi 30,00 m di profondità dal piano campagna, si è realizzata n. 1 indagine sismica HVSR per mezzo di tromografo digitale.

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  $\mu\text{m/s}$ ). 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).



Esiste un consenso generale sull'efficacia del metodo HVSR nel fornire stime sulla frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, almeno nel caso di un modello semplice unidimensionale con strato soffice al di sopra di uno strato rigido (Lachet and Bard, 1994). In questo caso semplice, tale frequenza  $f_0$  è legata allo spessore  $h$  e alla velocità delle onde di taglio  $V_s$  dello strato soffice attraverso la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4 \cdot H} \text{ Hz}$$

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve H/V sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve H/V sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio  $S$  nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali 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.



da

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro  $V_{seq}$  è stato utilizzato un tromografo digitale, “Tromino Engy” (Micromed S.p.A., vd. Figura a lato) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a  $\sim 1.5$  mm/s); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz.

È stata acquisita una misura di rumore sismico per un tempo di registrazione pari a 20 minuti e l'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla (Micromed S.p.A.).

Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto, è stato stimato un valore del parametro  $V_{seq}$  rispetto all'attuale piano campagna, pari a 205 m/s. Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 14/01/2008, unicamente sulla base del parametro  $V_{seq}$  relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade in **categoria C**.

Per maggiori dettagli a riguardo della prospezione sismica svolta, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti in Allegato 4.

PROVA	DATA ESECUZIONE	$V_{seq}$ [m/s]
HVSR	24/05/2023	205



### 7.2.3 Sondaggio a carotaggio continuo

L'indagine ha previsto la realizzazione di n. 1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità di -30,00 m da p.c.

I mezzi utilizzati in fase di sondaggio vengono elencati e descritti di seguito.

#### Attrezzature di perforazione

È stata utilizzata una attrezzatura di perforazione adeguata alle caratteristiche dei terreni da attraversare ed agli scopi del sondaggio e costituita da:

1. sonda a rotazione (testa idraulica) con i requisiti minimi sotto indicati;

VELOCITÀ DI ROTAZIONE	0 ÷ 500	rpm
COPPIA MASSIMA	≥ 400	kgm
CORSA CONTINUA	≥ 150	cm
SPINTA	≥ 3000	kg
TIRO	≥ 3000	kg
PRESSIONE POMPA (GRUPPO ENERGIA AUTONOMO)	≥ 70	bar
ARGANO A FUNE	presente	

2. pompa con circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro;
3. impianto per la preparazione ed il recupero dei fanghi impiegati;
4. accessori e utensili necessari per l'esecuzione del lavoro a norma di specifica.

#### Utensili di perforazione

Sono stati utilizzati i seguenti strumenti di perforazione:

- carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice:  
Diametro nominale  $\varnothing_{est} = 101$  mm;  
Lunghezza utile  $l = 150 \div 300$  cm.
- corone di perforazione in widia e diamante del tipo adatto ai terreni incontrati;
- aste di perforazione con filettatura tronco-conica:  
Diametro esterno  $\varnothing_{est} = 60 \div 76$  mm.

#### Utensili di pulizia fondo foro

Per la pulizia di fondo foro si sono utilizzati:

- carotiere semplice,  $l = 80$  cm;
- attrezzo a fori radiali, impiegati con circolazione di fluido (acqua) uscente dall'utensile con inclinazione di  $90^\circ$  rispetto alla verticale;



### Rivestimento provvisorio

In relazione alle caratteristiche dei terreni incontrati al fine di evitare il rischio di franamenti delle pareti del foro è stato utilizzato un rivestimento provvisorio in acciaio avente le seguenti caratteristiche:

- spessore tubo  $s=10$  mm;
- diametro interno  $\phi_{\text{int}}=127$  mm;
- lunghezza spezzoni  $l=150\div 200$  cm.

### Strumenti di controllo e prova

Fanno parte del corredo della sonda i seguenti strumenti:

- scandaglio a filo graduato, per misura della quota reale di fondo foro;
- sondina piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile, fondo scala  $\geq 5$  kg/cm<sup>2</sup>.

Le attività eseguite in cantiere ed in fase di sondaggio sono riportate di seguito.

### Rilievo stratigrafico

Il tecnico responsabile delle attività di cantiere ha provveduto alla compilazione della scheda stratigrafica relativa a ciascun sondaggio, completandola con i seguenti elementi:

- cantiere;
- numero ed ubicazione del sondaggio;
- date di perforazione (inizio e fine);
- metodo di perforazione;
- attrezzatura impiegata;
- utensile di perforazione;
- diametro di perforazione;
- diametro del rivestimento;
- tipo di terreno;
- consistenza;
- litologia;
- colore o colore prevalente;
- profondità e n. colpi prova SPT;
- quota prelievo e numero progressivo dei campioni;
- eventuali note.

In *Allegato 5* viene proposta la stratigrafia relativa il sondaggio effettuato e le relative fotografie delle cassette catalogatrici.

#### 7.2.4 Perforazione a distruzione di nucleo

L'indagine ha previsto la realizzazione di n. 2 sondaggi a distruzione di nucleo, spinti sino alla profondità di -30,00 m da p.c.

Questo tipo di perforazione è stata eseguita per l'installazione di piezometro tipo "Norton" atto ad indagare le condizioni idrogeologiche dei livelli permeabili superficiali intercettati in corso di perforazione.

Il foro è stato eseguito con martello rotopercussore, facendo ricorso ad acqua utilizzata come fluido di circolazione, immessa nel foro in circolazione diretta, attraverso la batteria di aste. Nel corso dell'avanzamento il foro è stato sostenuto da tubo di rivestimento con diametro interno pari a 127 mm.

#### 7.2.5 Installazione piezometro tipo "Norton" in foro di sondaggio

Al termine della perforazione si è proceduto all'installazione di piezometro a tubo microfessurato (open-stand-pipe) ovvero alla posa di una batteria di tubi in PVC rigido di spessore pari a 2 mm e diametro 3", forniti in spezzoni ciechi o fessurati di lunghezza non superiore a 3 m con giunti filettati sigillanti.

L'installazione ha seguito le seguenti fasi:

- a. posa di uno strato di spessore 0.5 m di sabbia grossa pulita ( $\varnothing = 1 - 4$  mm);
- b. discesa a quota del piezometro assemblato secondo la sequenza di tratti ciechi (0-3 m) e fenestrati (3-14 m). si è proceduto alla protezione del tratto fenestrato con geosintetico (tessuto non tessuto) e l'estremità inferiore del tubo è stata chiusa con apposito tappo di fondo.
- c. posa di sabbia grossa ( $\varnothing = 1 \div 4$  mm) pulita attorno al tubo fino a risalire di 1 m dall' estremità superiore del tratto fenestrato, ritirando man mano la colonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione
- d. posa del tappo impermeabile superiore, costituito da palline di bentonite preconfezionate ( $\varnothing = 1 \div 2$  cm) in strati di 20 cm alternate a straterelli di ghiaietto di  $2 \div 3$  cm, per lo spessore complessivo di 1 m, ritirando man mano i rivestimenti (senza l'ausilio della rotazione) e costipando sui livelli di ghiaietto;
- e. riempimento del foro al di sopra del tappo impermeabile superiore fino alla sommità mediante miscela terreno-bentonite
- f. sistemazione e protezione del piezometro con installazione di idoneo chiusino carrabile in ghisa spurgo, collaudo del piezometro ed esecuzione della prima lettura significativa, per mezzo di sonda freaticometrica (scandaglio elettrico).





## 8 Indagini di laboratorio geotecnico

Per quanto concerne le determinazioni geotecniche di laboratorio, n. 2 campioni indisturbati sono stati prelevati nel corso del sondaggio a carotaggio continuo e conferiti al laboratorio incaricato (Geotea s.r.l., con sede a San Lazzaro di Savena (BO)), il quale ha provveduto alla realizzazione delle indagini riportate nella seguente Tabella.

CAMPIONE		PROFONDITÀ (m)	w	$\gamma$	CD
S3	C1	4,20 – 4,70	X	X	X
	C2	12,00 – 12,50	X	X	X

Legenda:

w – contenuto d'acqua;

$\gamma$  – peso di volume;

CD - prova di taglio diretto, consolidata drenata, con determinazione congiunta dei parametri di resistenza al taglio di picco e residua;

In Allegato 7 sono riportati i certificati di prova relativi alle indagini di laboratorio eseguite.

### 8.1 Descrizione delle prove di laboratorio eseguite

#### Determinazione del contenuto naturale d'acqua

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua di terreni, rocce e materiali simili. La determinazione del contenuto naturale d'acqua è stato ottenuto per differenza tra peso del campione umido e peso del campione essiccato in forno termostato a 105° ed espresso in percentuale rispetto al peso del campione essiccato.

#### Determinazione della massa volumetrica apparente

La prova consiste nella determinazione della massa volumica apparente di un terreno, ottenuto come rapporto tra la massa di un provino e il suo volume. La prova è stata effettuata unicamente su provini indisturbati, avendo cura di non alterare in alcun modo le caratteristiche del campione durante il confezionamento del provino. Per il confezionamento dei provini è stato impiegato un apposito tornietto da laboratorio, al fine di minimizzare il disturbo al campione; l'uso del tornietto è stato evitato per terreni a bassa consistenza, per i quali è stata possibile l'infissione a pressione di una fustella tarata mediante l'impiego di un idoneo campionatore.



Prova di taglio diretto consolidata drenata (CD)

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza in condizioni drenate di campioni di terreno sottoposti a sollecitazioni di taglio. La prova è stata eseguita su tre provini a sezione quadrata di lato non inferiore a 50 mm preparati con apposito tornietto campionatore a partire da campioni indisturbati. La prova si è articolata in due distinte fasi di consolidazione e di taglio. Nella fase di consolidazione è stato gradualmente incrementato il carico assiale applicato al provino, fino al raggiungimento della pressione di consolidazione indicata per ciascun provino. Durante la fase di consolidazione, sono state monitorate le deformazioni assiali in funzione del tempo, in modo da poter stabilire la fine della fase di consolidazione primaria, prima di ciascun incremento di carico. I valori delle deformazioni assiali in funzione del tempo relativi all'ultimo gradino di carico sono stati registrati e diagrammati in funzione della radice quadrata del tempo per la determinazione del  $t_{100}$  di fine consolidazione assunto come parametro base per il calcolo della velocità di rottura. Nella fase di rottura è stato invece gradualmente incrementato il carico orizzontale fino a ottenere deformazioni orizzontali superiori al 20% del diametro iniziale del provino. Durante la fase di rottura sono stati monitorati e registrati a opportuni intervalli temporali i valori di spostamento orizzontale, deformazione verticale e resistenza al taglio. Al termine della fase di rottura si è proceduto alla determinazione della resistenza residua, effettuando almeno cinque cicli completi di andata e ritorno della scatola di taglio fino a fondo corsa alla medesima velocità di scorrimento adottata per la determinazione della resistenza di picco (procedura completa), controllando in ogni caso che si sia raggiunta la completa stabilizzazione della curva resistenza al taglio-scorrimento orizzontale.

## 8.2 Risultati indagini di laboratorio geotecnico

Durante le operazioni di carotaggio sono stati prelevati e deposti entro sacchetti opportunamente sigillati, n. 2 campioni di terreno.

In Allegato 7 è presente copia dei certificati di prova relativi alle indagini di laboratorio realizzate e nella seguente Tabella sono riassunti i risultati scaturiti dalle analisi eseguite su ciascun campione.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Contenuto d'acqua (%)	Peso di volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	Peso specifico dei grani	CD
S3C1	4,20 – 4,70	28.82	1.48	2.67	$c' = 13.46 \text{ KPa}$ $\phi' = 25.63^\circ$
S3C2	12,00 – 12,50	24.33	1.57	2.69	$c' = 7.29 \text{ KPa}$ $\phi' = 30.56^\circ$



## 9 Caratterizzazione e modellazione geotecnica

L'assetto litostratigrafico dell'area è stato ricostruito partendo dall'analisi comparata di sondaggi, prove penetrometriche ed analisi di laboratorio effettuate sui campioni di terreno.

Ove possibile si sono poi confrontati sondaggi e prove vicine “tarando” in tal modo un modello interpretativo congiunto valido anche per le zone ove esistono o solo prove o solo sondaggi. In tal senso sono risultate molto utili le determinazioni analitiche di laboratorio.

Analizzando la sezione litostratigrafica elaborata, tenendo conto della inevitabile eterogeneità delle caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'area, si evidenzia una struttura del sottosuolo pressoché tabulare costituita da 3 diverse unità distinguibili per le loro differenti caratteristiche fisico-meccaniche:

- **UNITÀ A – Terreni di riporto**

Rappresentata dal livello di terreno più superficiale di spessore massimo pari a 1,40 m caratterizzato essenzialmente da materiali di riporto di natura sabbioso - ghiaioso.

- **UNITÀ B – Facies limo - argillosa**

Rappresentata da corpi limo-argillosi rinvenuti a partire dalla base terreni di riporto, fino alla profondità di - 6,20 m da p.c.

- **UNITÀ C – Facies argillosa**

Costituita in prevalenza da argille limose rinvenute a partire dalla base del livello limo argilloso, fino alla profondità massima indagata.

Al termine delle prove penetrometriche realizzate, è stata riscontrata la presenza di circolazione idrica superficiale con livello piezometrico attestato a profondità di - 2.5 m da p.c.

### 9.1 Caratterizzazione geotecnica

I parametri geotecnici di seguito indicati, scaturiscono da prove SPT eseguite in corso di sondaggio.

I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati, Angolo attrito, Modulo edometrico e Modulo di Young, dai quali si sono ricavati i valori caratteristici terreni assunti in modo moderatamente cautelativo, sulla base degli interventi in progetto e dell'esperienza professionale maturata su terreni analoghi (Circolare Esplicativa NTC 2018 - C.6.2.2).

La parametrizzazione caratteristica dei terreni è esaminata nel seguito per ciascuna delle unità litologiche individuate.



<i>UNITÀ</i>	<i>DESCRIZIONE</i>	$\gamma$ ( <i>kN/m<sup>3</sup></i> )	$c_u$ ( <i>kPa</i> )	$N_{SPT}$	$E_d$ ( <i>MPa</i> )	$E$ ( <i>MPa</i> )
B	Limo argilloso, debolmente sabbioso	17.26	30.4	5	2.25	4.9
C	Argilla limosa	19.71	102.9	15	7.02	15.29

## 9.2 Modello idrogeologico e possibili interferenze con l'opera

Il livello piezometrico nell'area d'interesse è stata misurata all'interno dei fori di sondaggio in due momenti separati, il primo durante l'esecuzione dei sondaggi ed il secondo tempo dopo l'installazione dei piezometri all'interno dei fori, atto a garantire una stabilizzazione del livello piezometrico.

Nella tabella di seguito vengono riassunti i livelli piezometrici misurati.

<i>Sondaggio</i>	<i>Data</i>	<i>Livello Piezometrico</i> <i>[m da p.c.]</i>
S1	25/05/2023	-2.50
	23/06/2023	-1.90
S2	25/05/2023	-2.50
	23/06/2023	-1.87
S3	24-25/05/2023	-2.50
	23/06/2023	-1.64

Stante il quadro idrogeologico descritto e visti gli esiti delle campagne di indagine, le piezometriche di riferimento per il sito oggetto di studio, si collocano a quote comprese tra - 2.5 m e -1.64 m dal p.c.

Particolare attenzione dovrà pertanto essere posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua anche in occasione di eventi meteorici intensi ed in corso d'opera dovrà essere valutata l'opportunità di realizzare interventi di impermeabilizzazione all'interno degli scavi o di sistemi drenanti atti all'aggottamento e allontanamento delle acque.





## 10 Caratterizzazione sismica (D.M. 17/01/2018)

### 10.1 Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/sec), viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”. Pertanto, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (Tab. 1 All. B del D.M. 14/01/08).

<i>Sito in esame</i>	<i>Coordinate ED50</i>	
	<b>Lat. 44.540519</b>	<b>Long. 11.221673</b>
<i>Tipo di opera</i>	<b>2</b> Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di dimensioni normali	
<i>Vita nominale</i> $V_N$	<b><math>\geq 50</math></b>	
<i>Classe d'uso</i>	<b>II</b> Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti	
<i>Coefficiente d'uso</i> $C_U$	<b>1</b>	
<i>Vita di riferimento</i> $V_R = V_N \cdot C_U$	<b>50</b>	

### 1.2 Azione sismica di progetto

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e



orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella seguente tabella:

<i>Stati limite</i>		<i>P<sub>VR</sub>: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V<sub>R</sub></i>
<i>Stati Limite di Esercizio (SLE)</i>	<i>SLO</i>	81%
	<i>SLD</i>	63%
<i>Stati Limite Ultimi (SLU)</i>	<i>SLV</i>	10%
	<i>SLC</i>	5%

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito.

In riferimento all'ubicazione dell'intervento e sulla base delle caratteristiche progettuali scelte, i parametri sismici calcolati risultano i seguenti:

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
<i>SLO</i>	30	0.051	2.485	0.258
<i>SLD</i>	50	0.063	2.502	0.272
<i>SLV</i>	475	0.163	2.403	0.303
<i>SLC</i>	975	0.212	2.420	0.307



## 10.2 Caratterizzazione dinamica

Per la caratterizzazione dinamica del sito è possibile utilizzare la classificazione riportata nella seguente tabella, in cui la suddivisione in classi di sottosuolo avviene (ove possibile) in funzione dei valori delle  $V_{seq}$  e subordinatamente, in base ai valori di  $N_{spt}$  per terreni granulari e  $c_u$  per terreni coesivi.

	<i>Descrizione del profilo stratigrafico</i>	<i>Parametri</i>		
		$V_s$ (m/s)	$N_{spt}$ (colpi/30cm)	$c_u$ (kPa)
<b>A</b>	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	>800	-	-
<b>B</b>	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica $NSPT > 50$ e $c_u > 250$ kPa	360 800	>50	>250
<b>C</b>	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ e $70 < c_u < 250$ kPa)	180 360	15-50	70-250
<b>D</b>	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s,30} < 180$ m/s ( $NSPT < 15$ , $c_u < 70$ kPa)	<180	<15	<70
<b>E</b>	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di $V_{s,30}$ simili a quelli dei tipi C o D e spessore tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s,30} > 800$ m/s			

I risultati delle indagini geofisiche realizzate hanno evidenziato un valore del parametro  $V_{seq}$  pari a 209 m/s per le indagini pregresse e 205 m/s per le indagini in sito; dunque, si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della **categoria C**.

## 10.3 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media $> 30^\circ$



Dal rilievo morfologico effettuato e a seguito del rilievo topografico realizzato, si può considerare l'area oggetto dell'intervento di Categoria Topografica T1.

#### 10.4 Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T^*_C$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente tabella, nelle quali  $g$  è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

<b><i>Categoria stratigrafica</i></b>	<b><math>S_s</math></b>	<b><math>C_c</math></b>
<b><i>A</i></b>	1,00	1,00
<b><i>B</i></b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_C)^{-0,20}$
<b><i>C</i></b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$
<b><i>D</i></b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_C)^{-0,50}$
<b><i>E</i></b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_C)^{-0,40}$

Nel caso in esame:

<b><i>Stati Limite</i></b>	<b><i>SLO</i></b>	<b><i>SLD</i></b>	<b><i>SLV</i></b>	<b><i>SLC</i></b>
<b><math>S_s</math></b>	1,50	1,50	1,46	1,39
<b><math>C_c</math></b>	1,64	1,61	1,56	1,55



### 10.5 Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella tabella di seguito proposta, in funzione della categoria topografica definita e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

<i>Categoria topografica</i>	<i>Ubicazione dell'opera o dell'intervento</i>	$S_T$
<b><i>T1</i></b>	--	1,0
<b><i>T2</i></b>	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
<b><i>T3</i></b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
<b><i>T4</i></b>	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove  $S_T$  assume valore unitario. Nel caso in esame, il sito ricade in **categoria topografica T1**, pertanto:

<i>Stati Limite</i>	$S_T$
<b><i>SLO</i></b>	1,00
<b><i>SLD</i></b>	1,00
<b><i>SLV</i></b>	1,00
<b><i>SLC</i></b>	1,00





### 10.6 Coefficienti sismici

Alla luce dei dati implementati, il calcolo dei coefficienti sismici ha portato alla definizione dei parametri illustrati nelle tabelle di seguito proposte:

<b>COEFFICIENTI SISMICI PER STABILITÀ DEI PENDII E FONDAZIONI</b>				
<i>COEFFICIENTI</i>	<i>SLO</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>	<i>SLC</i>
$k_h$	0.015	0.019	0.057	0.082
$k_v$	0.008	0.010	0.029	0.041
$a_{max} [m/s^2]$	0.756	0.934	2.339	2.886
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

<b>COEFFICIENTI SISMICI PER FRONTI SCAVO E RILEVATI</b>				
<i>COEFFICIENTI</i>	<i>SLO</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>	<i>SLC</i>
$k_h$	0.000	0.045	0.091	0.000
$k_v$	--	0.022	0.046	--
$a_{max} [m/s^2]$	0.758	0.936	2.350	2.871
Beta	--	0.470	0.380	--

### 10.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante:

- la sola accelerazione massima attesa in superficie;
- l'intero spettro di risposta;
- storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi).

Qualora la costruzione sia di dimensioni limitate o le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti, si può assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione. Altrimenti si deve tener conto della variabilità spaziale del moto.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%.

Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione  $T \leq 4$  s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B \quad S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0
 \end{aligned}$$



$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

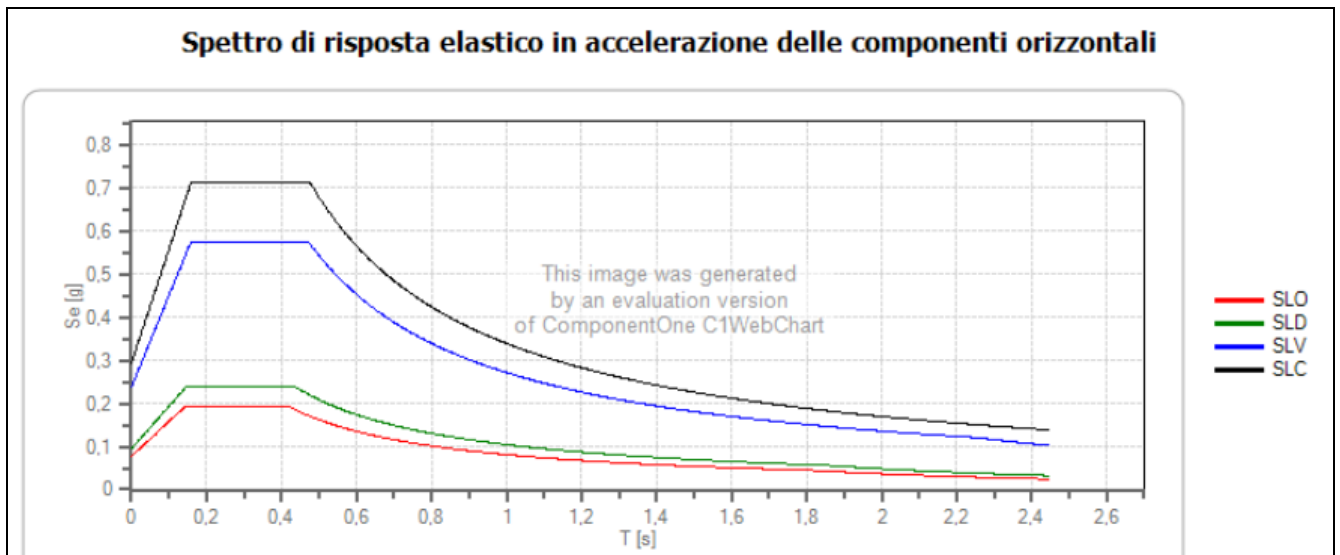
$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali  $T$  ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

- $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_s \cdot S_T$  essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed  $S_T$  il coefficiente amplificazione topografica;
- $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\times$  diversi dal 5%, mediante la relazione:  $\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)^3}} \geq 0,55$  dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$  è il fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:  $T_C = C_C \cdot T^*_C$  dove  $T^*_C$  (Tratto Spettrale a Periodo Costante per un Periodo di Ritorno determinato) e  $C_C$  è il coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, utilizzato per definire il periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico;
- $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,  $T_B = \frac{T_C}{3}$ ;
- $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione  $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$

	$cu$	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	$S_s$ [-]	$C_C$ [-]	$S_T$ [-]	$S$ [-]	$\eta$ [-]	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
SLO	1.0	0.051	2.485	0.258	1.500	1.640	1.000	1.500	1.000	0.141	0.423	1.806
SLD	1.0	0.063	2.502	0.272	1.500	1.610	1.000	1.500	1.000	0.146	0.437	1.854
SLV	1.0	0.163	2.403	0.303	1.460	1.560	1.000	1.460	1.000	0.158	0.473	2.253
SLC	1.0	0.212	2.420	0.307	1.390	1.550	1.000	1.390	1.000	0.159	0.476	2.447





### 10.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito invece dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali  $T$  e  $S_{ve}$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

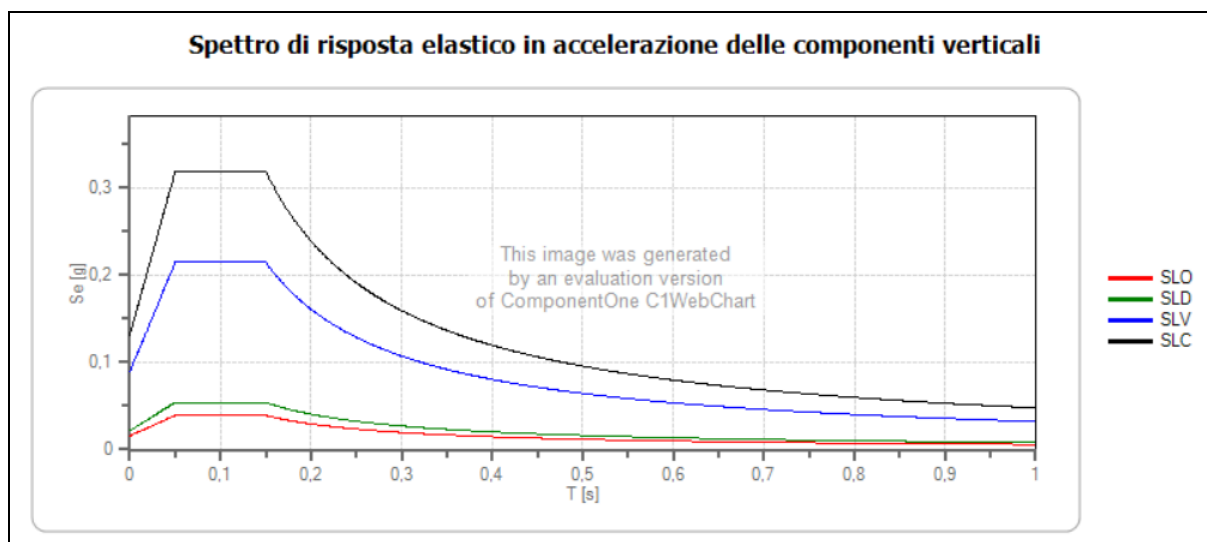
I valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $S$ ,  $\eta$  sono gli stessi definiti per le componenti orizzontali; i valori di  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguente tabella:

<i>Categoria Di Sottosuolo</i>	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
<b>A, B, C, D, E</b>	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$ .



	$cu$	$ag$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]	$S_s$ [-]	$C_c$ [-]	$S_t$ [-]	$S$ [-]	$\eta$ [-]	$TB$ [s]	$TC$ [s]	$TD$ [s]
SLO	1.0	0.051	2.485	0.258	1	1.640	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000
SLD	1.0	0.063	2.502	0.272	1	1.610	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000
SLV	1.0	0.163	2.403	0.303	1	1.560	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000
SLC	1.0	0.212	2.420	0.307	1	1.550	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000



## 11 Valutazione del coefficiente di amplificazione litologico

Per la quantificazione della risposta sismica locale, il D.G.R. n. 476 del 12/04/2021 propone la definizione semi quantitativa degli effetti di amplificazione locale semplificata (secondo livello di approfondimento) per le zone comprese “nelle aree pianeggianti o sub-pianeggianti”. L'amplificazione è quantificata secondo i seguenti parametri FA riferiti alla superficie:

- FA PGA → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza  $f$ . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento  $D$  e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.
- FA SA → indicatore della pericolosità sismica è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito; si determinano i fattori di amplificazione per quattro intervalli di frequenze, rispettivamente da  $0.1 < T < 0.5$  s (SA1), da  $0.4 < T < 0.8$  s (SA2), da  $0.7 < T < 1.1$  s (SA3) e da  $0.5 < T < 1.5$  s (SA4).
- FA SI - Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo-velocità; si determinano i fattori di amplificazione per tre intervalli di frequenze, rispettivamente da  $0.1 < T < 0.5$  s (SI1), da  $0.5 < T < 1.0$  s (SI2), da  $0.5 < T < 1.5$  s (SI3).

I fattori di amplificazione sopra descritti, sono desunti dagli abachi riportati nella D.G.R. 476/2021 (Allegato A2), riferiti a situazioni morfologico-stratigrafiche, che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono state, pertanto, la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico.

### 11.1 Esiti Secondo livello di approfondimento

A supporto della caratterizzazione di risposta sismica sono state eseguite indagini geofisiche di superficie per mezzo di tecnica attiva e passiva in grado di determinare l'andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) nel sottosuolo risultata essere pari a 205 m/s.

In ottemperanza all'analisi semplificata proposta dal DGR 476/2021, i dati di sottosuolo scaturiti dalle indagini in sito effettuate, permettono di attribuire agli ambiti di intervento individuati il macro contesto geologico “PIANURA 1” indicato in Allegato A2 alla DGR. Trattasi di un settore di pianura





con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità indicativa di  $100 \pm 20$  m da p.c.

Fattori di amplificazione per la P.G.A.

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5

Fattori di amplificazione SA1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SA2 ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) e SA4 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
SA3	3,2	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2
SA4	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di amplificazione SI1 ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), SI2 ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), SI3 ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5
SI2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
SI3	3,4	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0

Come si evince dalle tabelle sopra riportate, per una velocità delle onde s di 205 m/s (si considera la classe 200 m/s), il fattore di amplificazione per la P.G.A. risulta essere pari a 1.7; per l'intensità spettrale SA1, SA2, SA3 e SA4 i fattori sono rispettivamente 1.8, 2.5, 3.2 e 3.0; per l'intensità spettrale SI1, SI2 e SI3 i fattori sono rispettivamente 1.9, 2.9 e 3.2.



## 12 Verifiche numeriche liquefacibilità

L'analisi della liquefacibilità dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica.

In particolare, occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente,  $M > 5.5$ ) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni “non drenate” durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma, durata dello scuotimento, ecc.) e la sua energia (magnitudo, accelerazioni, ecc.);
- alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico, densità relativa, coesione, limiti di consistenza, ecc.);
- alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilizzate per l'equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di “riordino” dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi.

Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni postsisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento “non drenato”). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine “cyclic softening” (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Fenomeni di liquefazione si sono chiaramente manifestati con gli eventi sismici emiliani del maggio 2012, tuttavia non si sono riscontrati fenomeni più critici riconducibili a fluidificazione (con perdita della capacità portante del terreno dei sedimenti al di sotto delle costruzioni) e neppure scorrimenti significativi nelle scarpate degli argini; anche i cedimenti rilevati degli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni. Per ulteriori aspetti teorici, si rimanda alla vasta letteratura scientifica ed in particolare ai rapporti tecnici elaborati a seguito del sisma emiliano del maggio 2012 (consultabili anche on line nel sito del SGSS).



Le verifiche della suscettibilità al fenomeno della liquefazione sismica sono eseguite secondo il metodo empirico proposto da Andrus & Stokoe (1977), che si basa sulla conoscenza della velocità di propagazione delle onde S con la profondità.

I metodi di valutazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni considerano il rapporto tra la resistenza al taglio ciclica del terreno e lo stress ciclico indotto dal sisma e si basano generalmente su prove eseguite in sito. La resistenza del deposito alla liquefazione è quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

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

Dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Seed e Idriss (1971) per poter determinare gli sforzi di taglio indotti dal sisma propongono una semplice procedura basata sull'ipotesi di terreno omogeneo. Essi ipotizzano la propagazione verticale di onde sismiche di taglio, una colonna di terreno di altezza  $z$  si muove rigidamente in direzione orizzontale e pertanto lo sforzo di taglio massimo alla profondità  $z$  è dato da:

$$\tau_{max} = \frac{a_g}{g} \cdot \gamma z$$

dove  $a_g$  è l'accelerazione massima in superficie,  $g$  l'accelerazione di gravità e  $\gamma$  il peso di volume secco del terreno. Poiché nella realtà il terreno è deformabile, lo sforzo di taglio è minore che nell'ipotesi di corpo rigido e quindi bisogna introdurre un coefficiente riduttivo  $r_d$ . Normalizzando con la pressione verticale effettiva e riferendosi ad un valore medio  $\tau_{av}$  anziché ad un valore massimo  $\tau_{max}$  si ottiene:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{v0}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

espressione valida per sismi di magnitudo 7.5. Per magnitudo diverse bisogna dividere per il fattore correttivo MSF (Magnitudo Scaling Factor).

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

Il metodo di Andrus e Stokoe è basato su dati provenienti da prove sismiche a rifrazione ( $V_s$ ). La velocità delle onde di taglio è corretta con la formula (Robertson et al., 1992):

$$v_{s1} = v_s \left( \frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,25}$$

La resistenza alla liquefazione è valutata mediante la formula di Andrus e Stokoe (1998):

$$CRR = 0,03 \left( \frac{v_{s1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[ \frac{1}{(v_{s1})_{CS} - v_{s1}} - \frac{1}{(v_{s1})_{CS}} \right]$$

dove la presenza di fini FC (%) è tenuta in conto mediante la seguente procedura:

$$\begin{aligned} (v_{s1})_{CS} &= 220 && \text{per FC} < 5\% \\ 220 < (v_{s1})_{CS} < 200 && \text{per } 5\% < \text{FC} < 35\% \\ (v_{s1})_{CS} &= 200 && \text{per FC} > 35\% \end{aligned}$$

In ottemperanza alla DGR 630/2019, nel presente studio la valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei terreni è stata eseguita, a fronte degli studi di RSL, anche mediante la stima dell'Indice di Liquefazione IL per ciascuna indagine sismica integrativa realizzata.

Attraverso la definizione del parametro IL è possibile discriminare le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

- IL = 0 → non liquefacibile
- 0 < IL ≤ 2 → potenziale basso
- 2 < IL ≤ 5 → potenziale moderato
- 5 < IL ≤ 15 → potenziale alto
- IL > 15 → potenziale molto alto

L'indice di liquefazione, IL, è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

Dove

$$w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left( 1 - \frac{z}{z_{crit}} \right)$$

z<sub>crit</sub> è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assuma pari a 20 m.

La variabile F(z) vale (Sonmez, 2003):

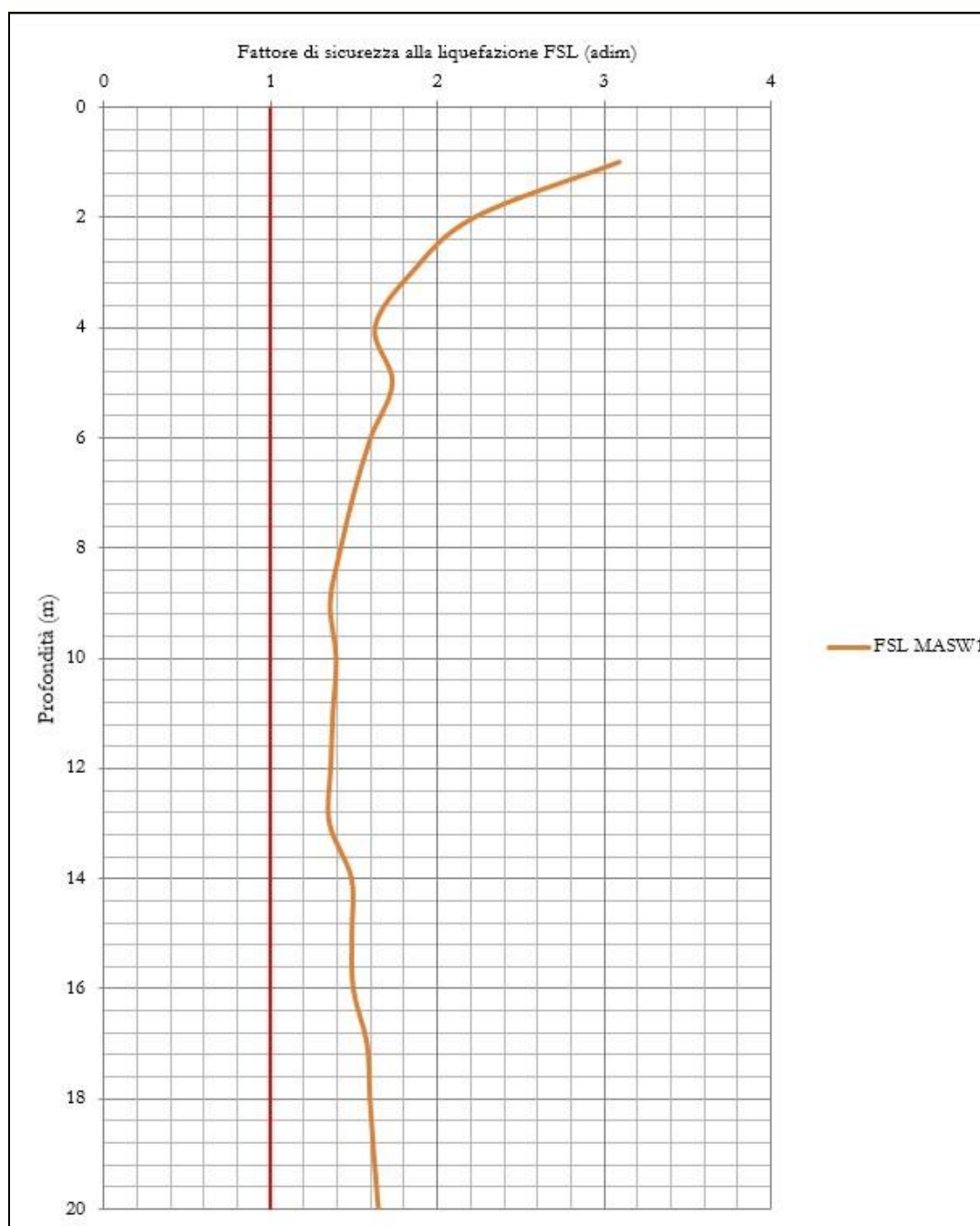
$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per FL} \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-18.427 \cdot \text{FL}) && \text{per } 1.2 > \text{FL} \geq 0.95 \\ F(z) &= 1 - \text{FL} && \text{per FL} \leq 0.95 \end{aligned}$$



### 12.1 Risultati e commenti

Nel presente paragrafo vengono riassunti gli esiti delle verifiche alla liquefazione mediante il calcolo del fattore di sicurezza e la stima del parametro IL (Indice di Liquefazione) per ciascuna prova sismica realizzata a supporto dello studio.

Le valutazioni della suscettibilità a liquefazione effettuate hanno permesso il calcolo del fattore di sicurezza (FSL) al fenomeno, del quale è di seguito riportata una diagrafia. La profondità massima analizzata è di 20 m da p.c. come previsto da normativa.





Profondità	PGA (g)	MASW	
		V <sub>seq</sub> (m/s)	FS
1	0.163	205	3.1
2	0.163	205	2.2
3	0.163	205	1.8
4	0.163	205	1.6
5	0.163	205	1.7
6	0.163	205	1.6
7	0.163	205	1.5
8	0.163	205	1.4
9	0.163	205	1.4
10	0.163	205	1.4
11	0.163	205	1.4
12	0.163	205	1.4
13	0.163	205	1.3
14	0.163	205	1.5
15	0.163	205	1.5
16	0.163	205	1.5
17	0.163	205	1.6
18	0.163	205	1.6
19	0.163	205	1.6
20	0.163	205	1.6



Nella seguente tabella, invece, vengono riassunti gli esiti della stima del parametro IL (Indice di Liquefazione) secondo DGR 476/2021.

PROVE	IL
MASW	0.0


Stante i risultati conseguiti nel corso delle indagini e delle verifiche numeriche effettuate, si evidenziano fattori di sicurezza sempre superiori all'unità e valori di IL sempre nulli che permettono di escludere l'occorrenza di fenomeni di liquefazione dei terreni all'aumentare delle sollecitazioni di taglio (es. escursioni di falda o puntuali condizioni litologiche sfavorevoli).

È pertanto possibile escludere la valutazione degli effetti sismici in termini di cedimenti permanenti post-sismici (DGR 476/2021 – Allegato A3).

### 13 Giudizio di fattibilità

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, della natura e delle caratteristiche degli interventi, i lavori in progetto risultano compatibili con la situazione geologica e morfologica dei luoghi e tali da non influire negativamente sulla stabilità dell'area.

Bologna, 30 Giugno 2023

  
STUDIO MATTIOLI s.r.l.  
Dot. Geol. Matteo Mattioli



## 14 Bibliografia e documentazione di riferimento

AMOROSI ET AL., 1996. *Genetically related alluvial deposits across active fault zones.- an example of alluvial fan-terrace correlation from the upper Quaternary of the southern Po basin, Italy*, Sedimentary Geology 102:275.

CASTELLARO S. AND MULARGIA F., 2009. *The effect of velocity inversions on H/V*. Pure Appl. Geophys. (accepted).

COLOMBO P. & COLLESELLI F., 1996 – *Elementi di geotecnica*. Zanichelli editore, Bologna.

FÄH D., KIND F. AND GIARDINI D., 2001. *A theoretical investigation of average H/V ratios*. Geophys. J. Int. 145, 535-549.

IBS-VON SEHT M. AND WOHLBERG J., 1999. *Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments*. Bull. Seismol. Soc. Am. 89, 250-259.

LACHET C. AND BARD P. Y., 1994. *Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique*, J. Phys. Earth 42, 377-397.

LERMO J. AND CHAVEZ-GARCIA F. J., 1994. *Are microtremors useful in site response evaluation?*. Bull. Seismol. Soc. Am. 84, 1350-1364.

MULARGIA F., CASTELLARO S., ROSSI P.L., 2007. *Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica*. Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno VII-2007 N.25 - Nuova serie.

NAKAMURA Y., 1989. *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*. QR of RTI, 30, 25-33.

NOGOSHI M. E IGARASHI T., 1970. *On the propagation characteristics of microtremors*. J. Seism. Soc. Japa, 23, 264-280.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI - AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna*.

RICCI LUCCHI ET AL., 1982. *Evoluzione sedimentaria e paleogeografica del margine appenninico*. In: G. Cremonini and F. Ricci Lucchi, eds., Guida alla Geologia del margine appenninico-padano. Guida Geol. Reg., Soc. Geol. It.: 17-46.



## 15 Elenco delle tavole e degli allegati a fine testo

Tavola 1 - Area di indagine. Estratto dalla Tavola 220 NE “Bologna Nord-Ovest” della Carta Tecnica della Regione Emilia Romagna .....	58
Tavola 2 - Area di indagine. Estratto dall’Elemento 220071 “Lavino di Mezzo” della Carta Tecnica della Regione Emilia Romagna .....	59
Tavola 3 - Foto Aerea .....	60
<b>ALLEGATI</b> .....	61
<b>ALLEGATO 1 - Prove Penetrometriche Statiche (pregresse)</b> .....	62
<b>ALLEGATO 2 - Indagine HVSR (pregresse)</b> .....	63
<b>ALLEGATO 3 – Indagine MASW (in sito)</b> .....	66
<b>ALLEGATO 4 – Indagine HVSR (in sito)</b> .....	68
<b>ALLEGATO 5 – Sondaggio a carotaggio continuo (in sito)</b> .....	71
<b>ALLEGATO 6 – Sondaggio a distruzione di nucleo (in sito)</b> .....	72
<b>ALLEGATO 7 – Prove di laboratorio</b> .....	73





TAVOLA 1 - AREA DI INDAGINE. ESTRATTO DALLA TAVOLA 220 NE "BOLOGNA NORD-OVEST" DELLA CARTA TECNICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

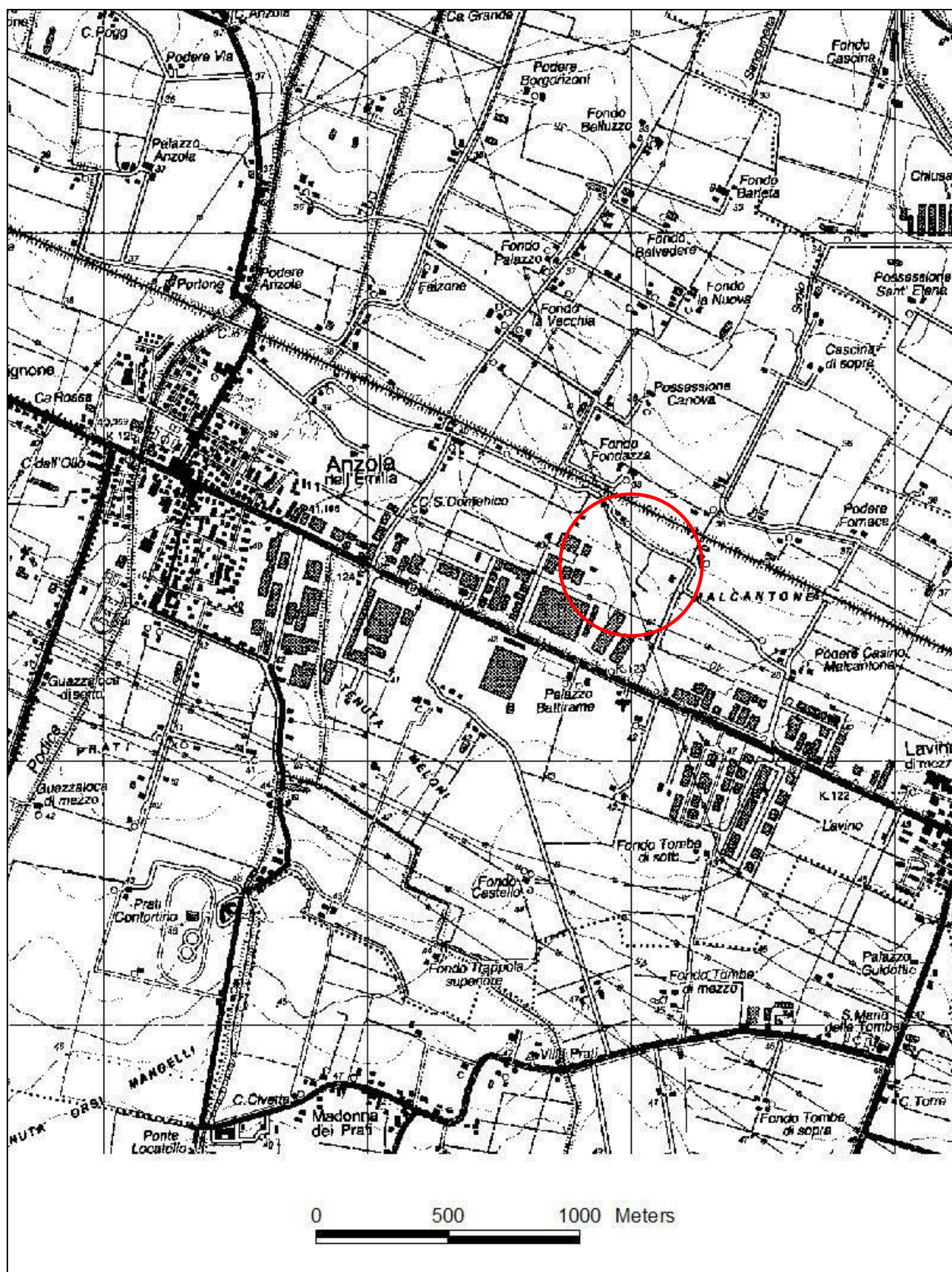




TAVOLA 2 - AREA DI INDAGINE. ESTRATTO DALL'ELEMENTO 220071 "LAVINO DI MEZZO" DELLA CARTA TECNICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

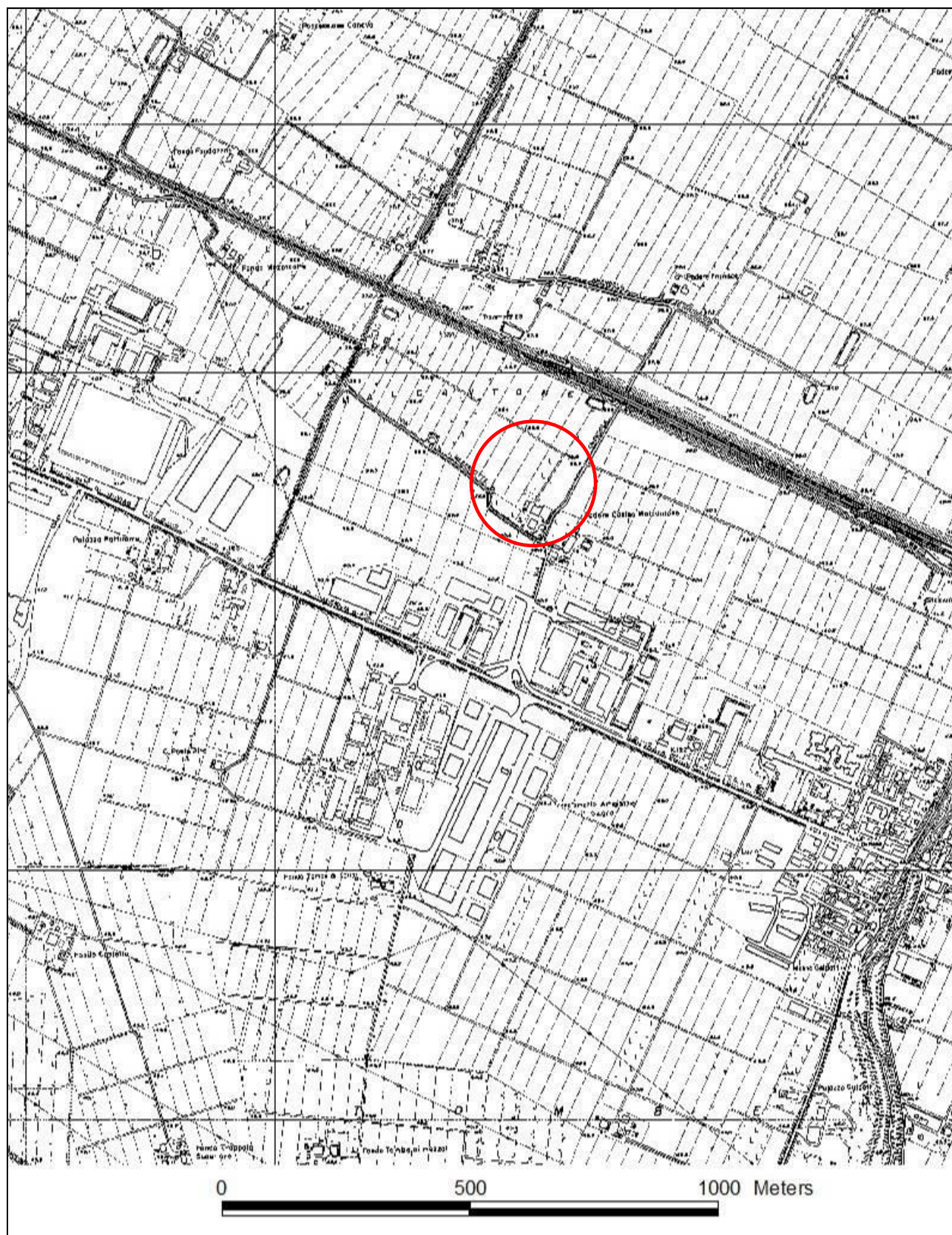




TAVOLA 3 - FOTO AEREA



## ***ALLEGATI***



## **ALLEGATO 1 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (PREGRESSE)**



## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (R_p / R_L)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = R_p / R_L$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $R_p$  e di  $FR = (R_L / R_p) \% :$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi.

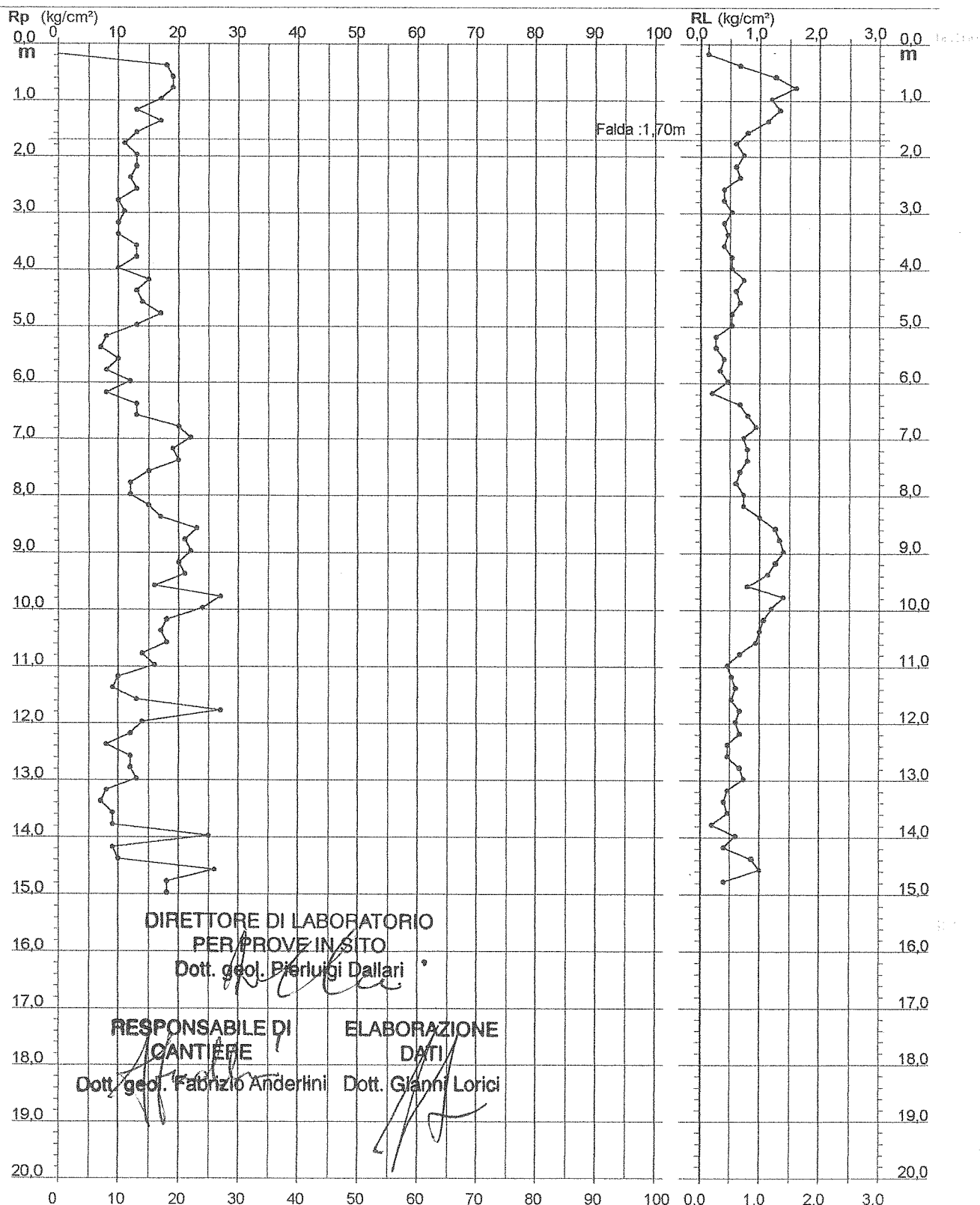
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

**CPT 1**

3.010496-043

- committente: Litografica Bodoniana srl  
- lavoro:  
- località: Anzola E. (BO)  
- resp. cantiere: Dott. Fabrizio Anderlini  
- assist. cantiere: Dott. Francesco Dettori

- data prova : 05/06/2003  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio  
- scala vert. : 1 : 100  
- data emiss. : 09/06/2003  
- pagina n°: 2/3





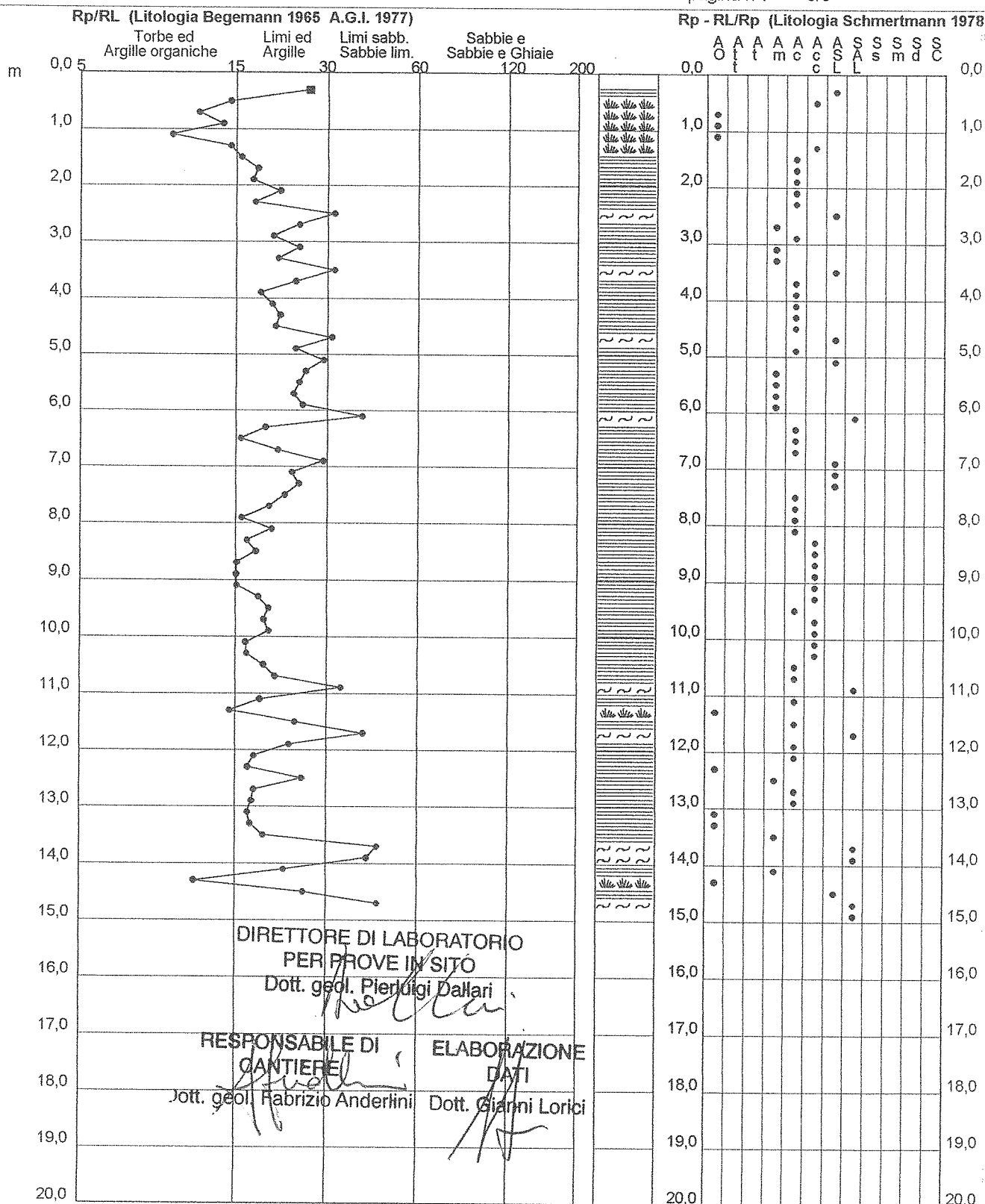
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 1**

3.010496-043

- committente: Litografica Bodoniana srl  
- lavoro:  
- località: Anzola E. (BO)  
- resp. cantiere: Dott. Fabrizio Anderlini  
- assist. cantiere: Dott. Francesco Dettori

- data prova : 05/06/2003  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,70 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100  
- data emiss. : 09/06/2003  
- pagina n°: 3/3



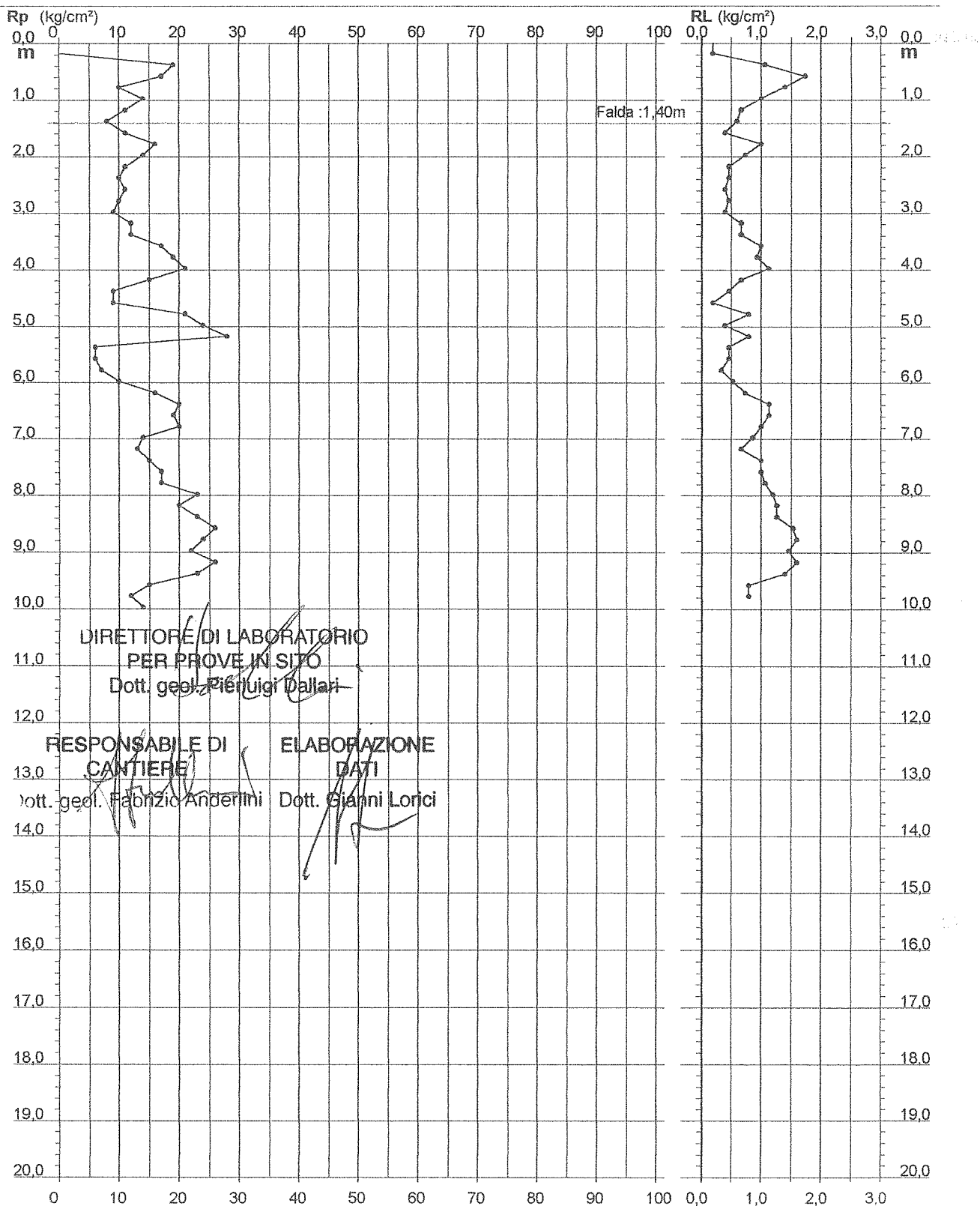
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

**CPT 2**

3.010496-043

- committente: Litografica Bodoniana srl  
- lavoro:  
- località: Anzola E. (BO)  
- resp. cantiere: Dott. Fabrizio Anderlini  
- assist. cantiere: Dott. Francesco Dettori

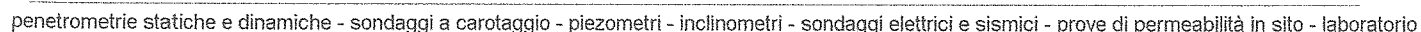
- data prova : 05/06/2003  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio  
- scala vert. : 1 : 100  
- data emiss. : 09/06/2003  
- pagina n°: 2/3



## CPT 2

3.010496-043

- data prova : 05/06/2003
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 1,40 m da quota inizio
- scala vert.: 1°: 100
- data emiss.: 09/06/2003
- pagina n°: 3/3



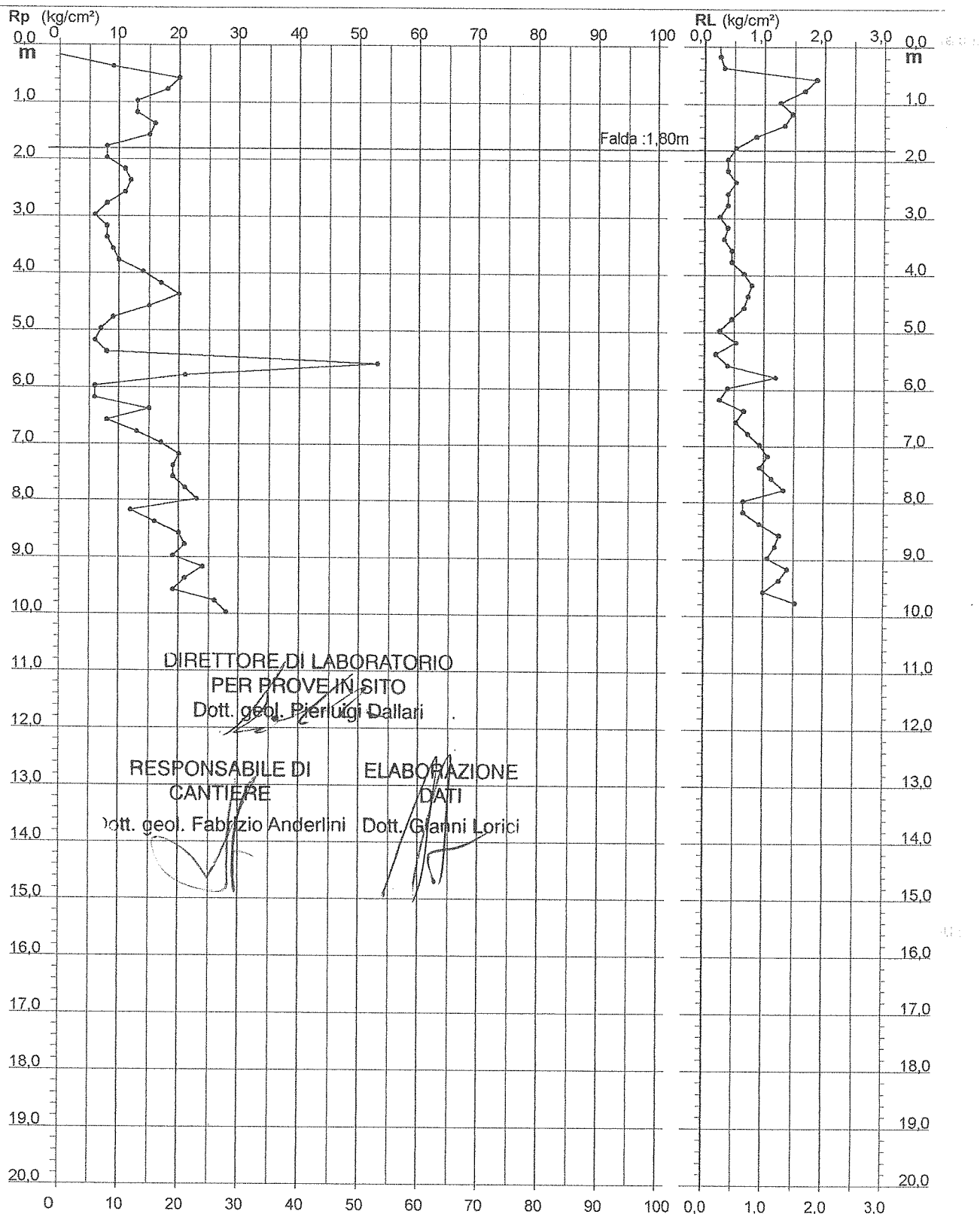
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

**CPT 3**

3.010496-043

- committente: Litografica Bodoniana srl  
- lavoro:  
- località: Anzola E. (BO)  
- resp. cantiere: Dott. Fabrizio Anderlini  
- assist. cantiere: Dott. Francesco Dettori

- data prova : 05/06/2003  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,80 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100  
- data emiss. : 18/06/2003  
- pagina n°: 2/3



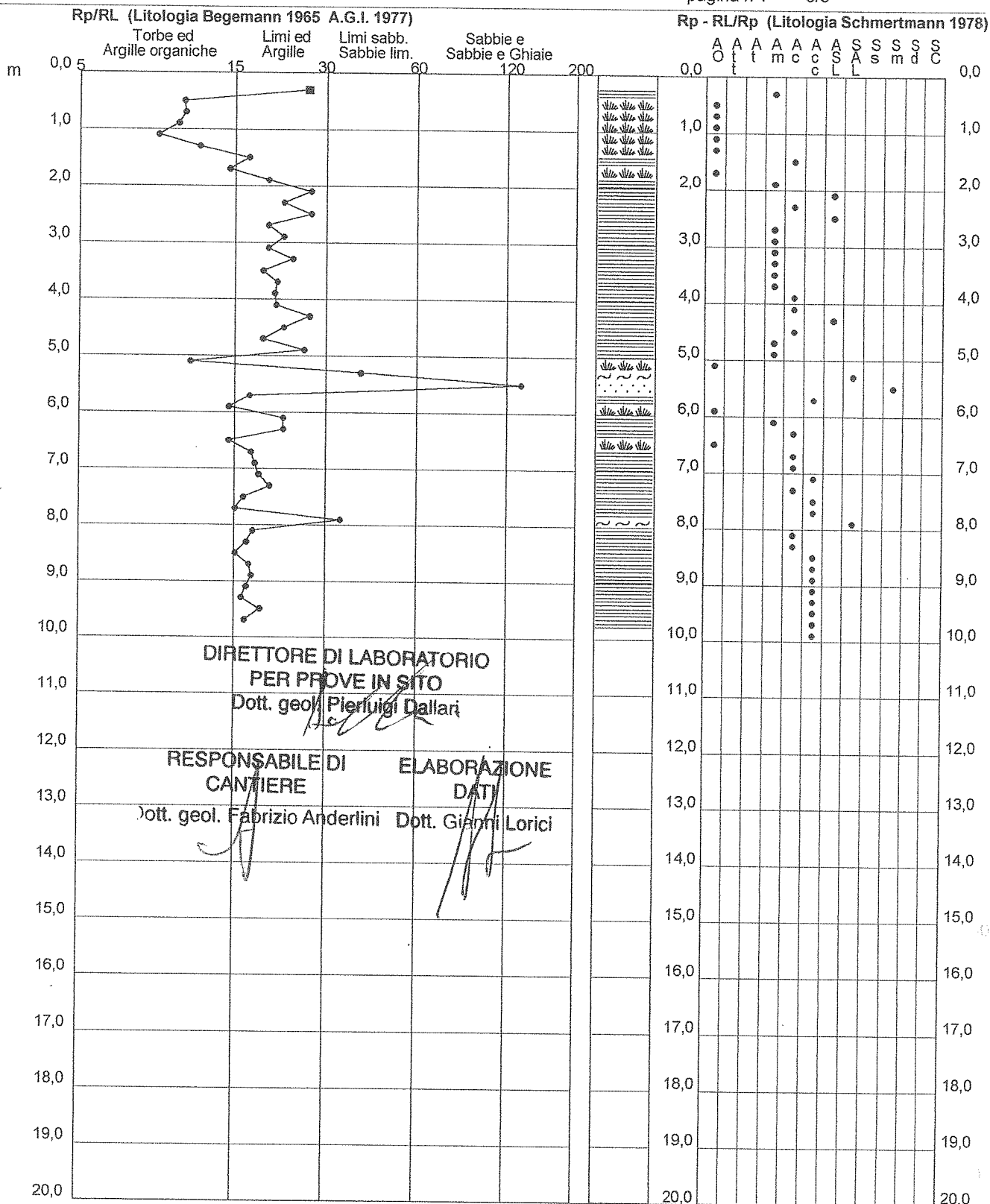
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 3**

3.010496-043

- committente: Litografica Bodoniana srl  
- lavoro:  
- località: Anzola E. (BO)  
- resp. cantiere: Dott. Fabrizio Anderlini  
- assist. cantiere: Dott. Francesco Dettori

- data prova : 05/06/2003  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,80 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100  
- data emiss. : 18/06/2003  
- pagina n°: 3/3



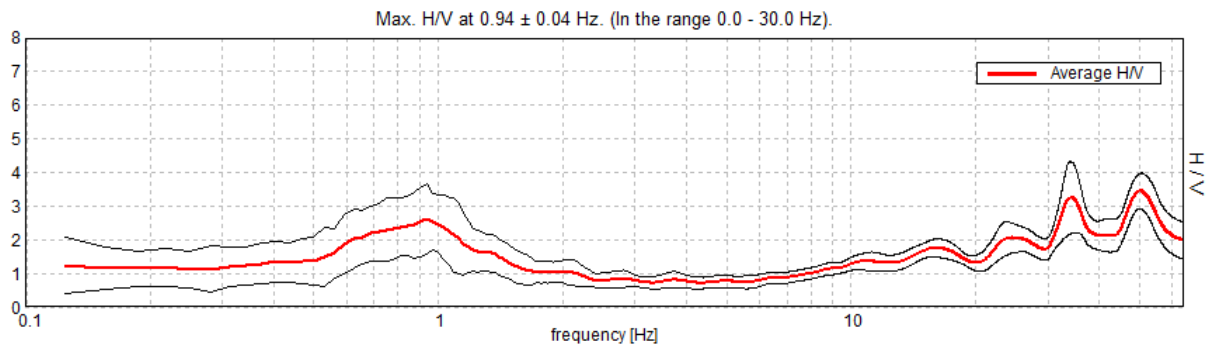
## **ALLEGATO 2 - INDAGINE HVSR (PREGRESSE)**



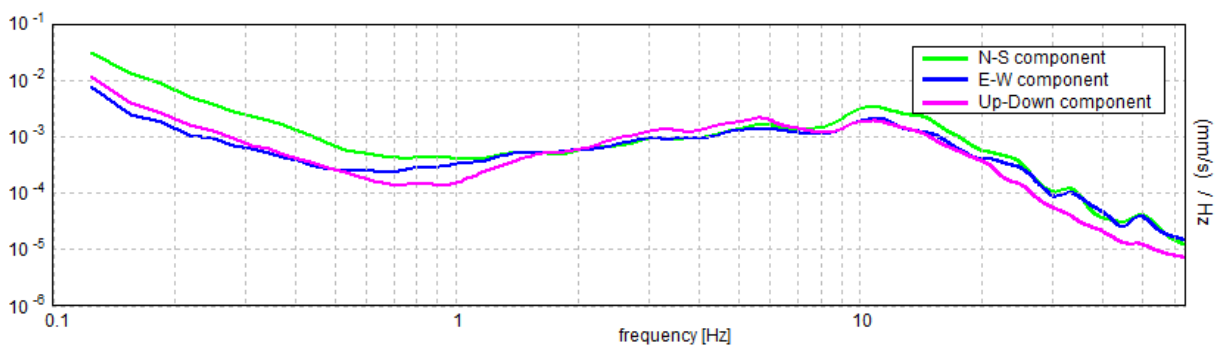


## Spettri

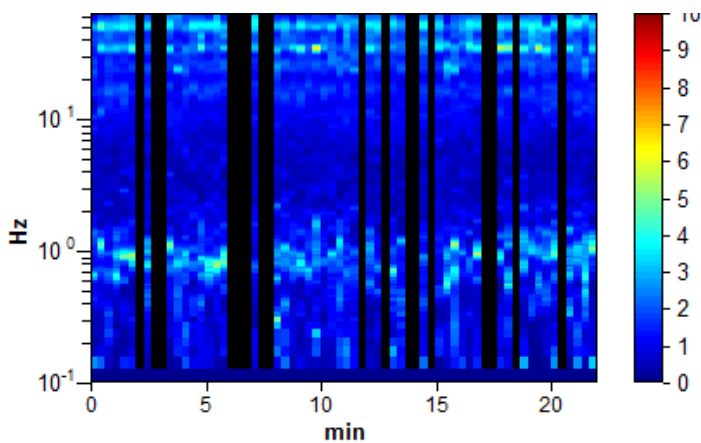
**A**



**B**

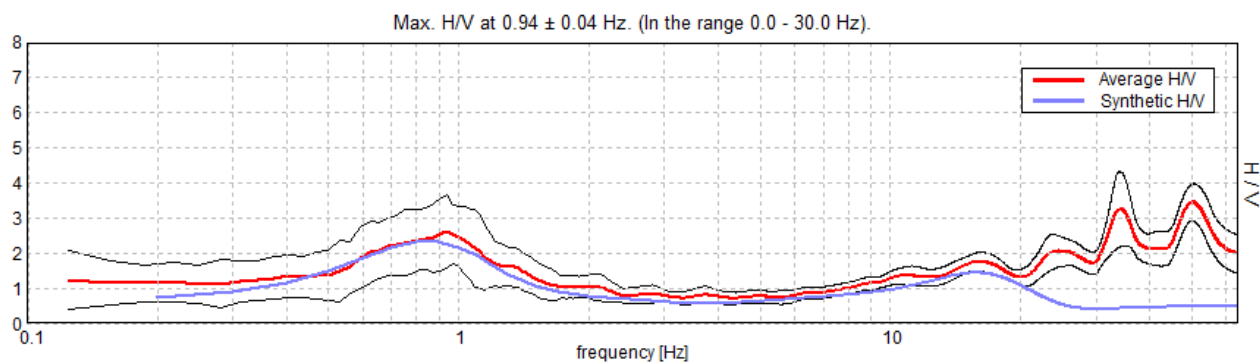


**C**

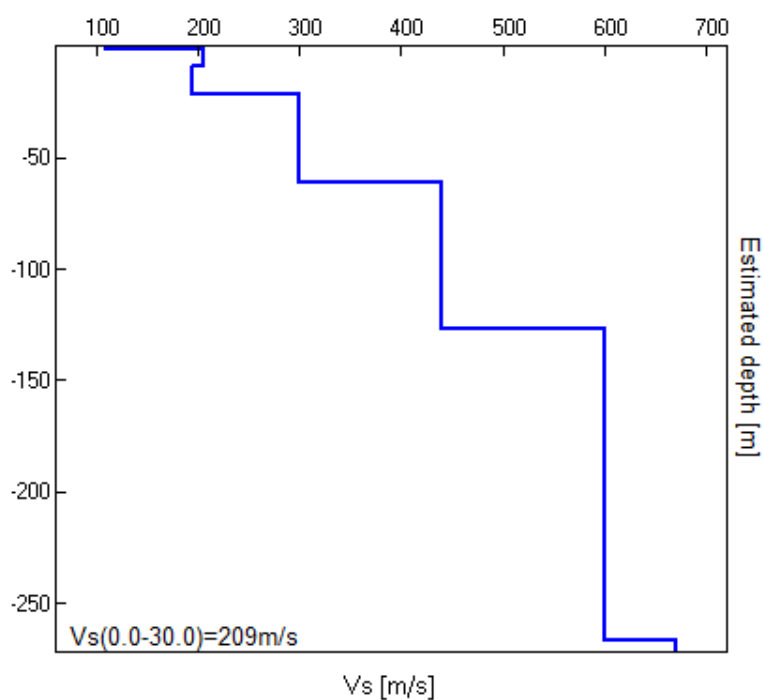


**A:** Curva H/V; **B:** Andamento componenti velocimetriche (N-S, Up-Down); **C:** Soria temporale H/V (le bande di colore nero corrispondono alle finestre di registrazione eliminate)



**Modello Vs da curva H/V****A****B**

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
1.60	1.60	110
8.60	7.00	205
21.60	13.00	195
61.60	40.00	300
126.60	65.00	440
266.60	140.00	600
inf.	inf.	670

**C**

**A:** Confronto tra curva  $H/V$  sperimentale (rossa) e teorica (azzurra) ottenuta per il sito in oggetto; **B:** Tabella dei valori di profondità, spessore, velocità  $V_s$ ; **C:** Modello delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in funzione della profondità.

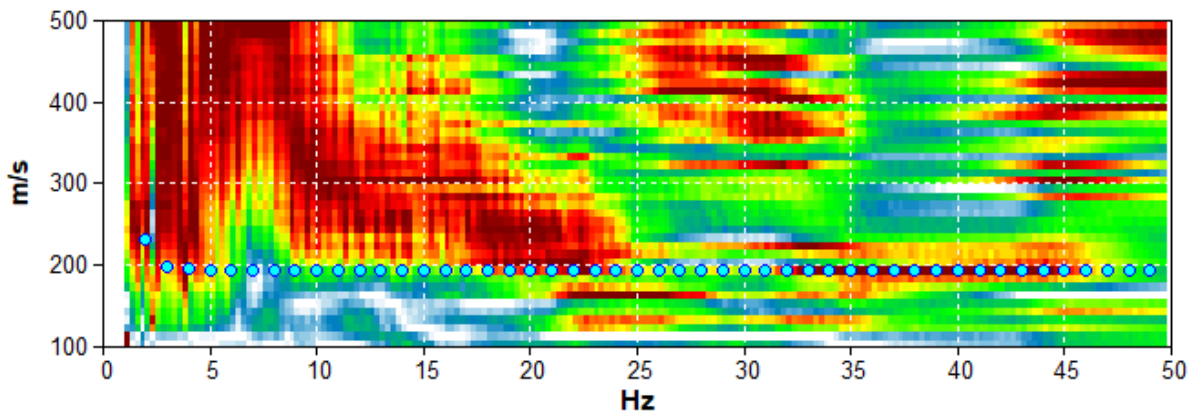


### **ALLEGATO 3 – INDAGINE MASW (IN SITO)**



## Modello Vs da curva di dispersione MASW

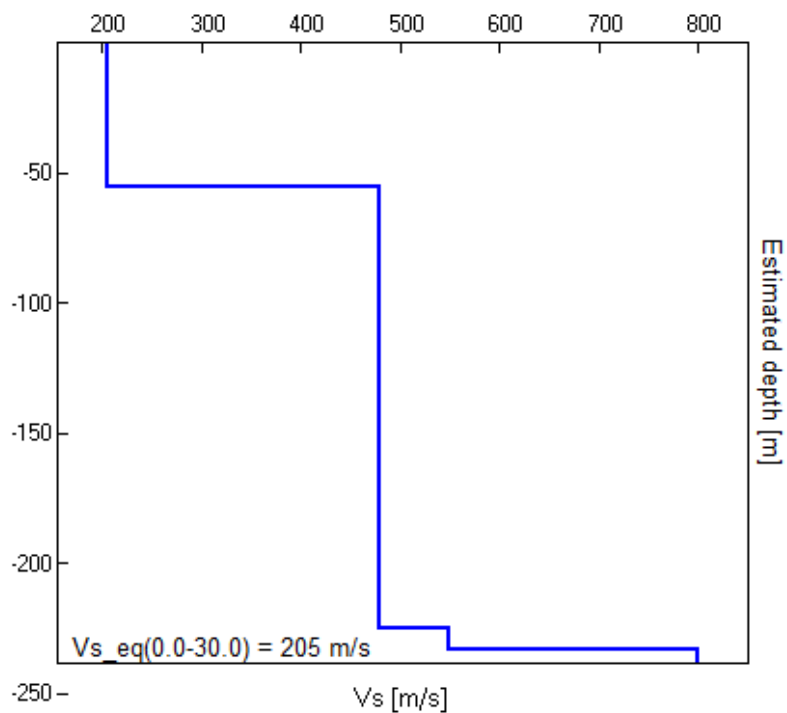
**A**



**B**

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
55.00	55.00	205
225.00	170.00	480
233.00	8.00	550
Inf.	Inf.	800

**C**



**A:** Curva di dispersione MASW; **B:** Tabella dei valori di profondità, spessore, velocità  $V_s$ ; **C:** Modello delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in funzione della profondità.

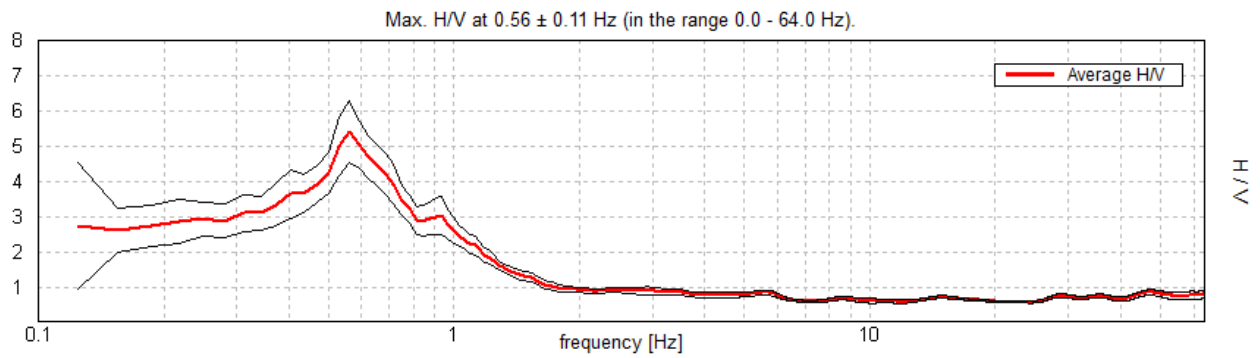


## **ALLEGATO 4 – INDAGINE HVSR (IN SITO)**

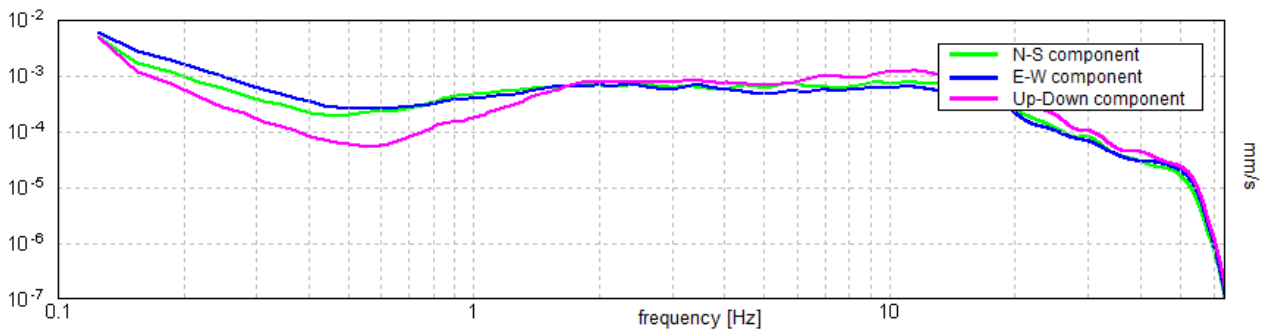


## Spettri

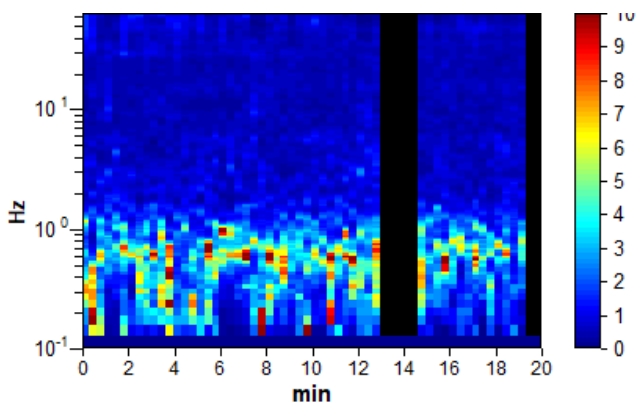
**A**



**B**



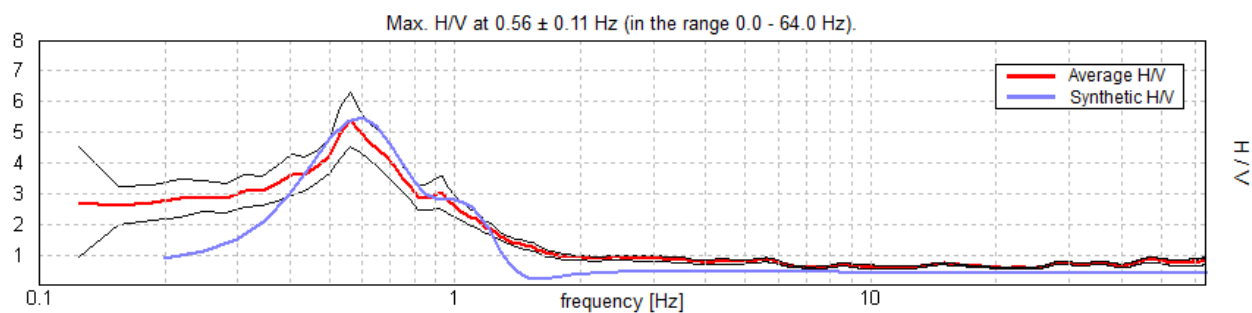
**C**



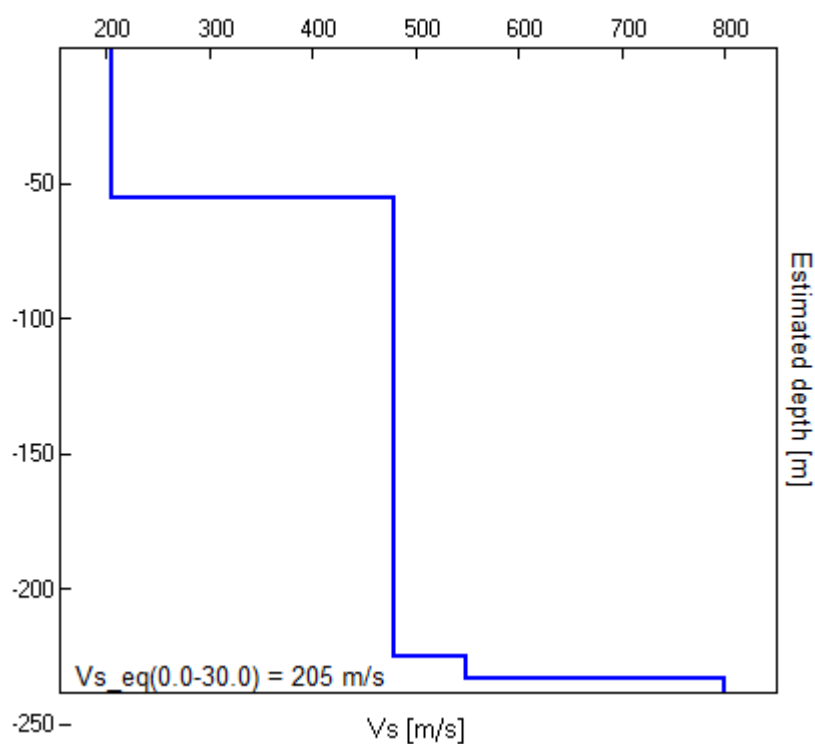
**A:** Curva H/V; **B:** Andamento componenti velocimetriche (N-S, Up-Down); **C:** Soria temporale H/V (le bande di colore nero corrispondono alle finestre di registrazione eliminate)





**Modello Vs da curva H/V****A****B**

Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
55.00	55.00	205
225.00	170.00	480
233.00	8.00	550
Inf.	Inf.	800


**C**

**A:** Confronto tra curva H/V sperimentale (rossa) e teorica (azzurra) ottenuta per il sito in oggetto; **B:** Tabella dei valori di profondità, spessore, velocità  $V_s$ ; **C:** Modello delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) in funzione della profondità.



## **ALLEGATO 5 – SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO (IN SITO)**



<div><div><b>SOGEO<sup>®</sup></b> S.R.L.</div><div>INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010</div></div>		COMMITTENTE: Venturi Ambiente		SOND.N°: S.3		PROF.(m): 30.00	
		CANTIERE: Anzola dell'Emilia (BO)		QUOTA (m): p.d.c.			
		PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR		LATITUDINE (°):			
		METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo		LONGITUDINE (°):			
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm				DATA INIZ-FINE: 24/05/2023-24/05/2023	
PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø 3" a -30.00 m dal p.d.c. (fessurato da -3.0 a -30.0 m)						SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 129-22	CERTIFICATO N°: C23-045-3	RAPPORTO N°: -----		DATA DI EMISSIONE: 26/05/2023		PAGINA N°: 1 di 1	

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Straigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1			0.20		Asfalto					
2			1.40		Materiale di riporto sabbioso ghiaioso di colore grigio-marrone					
3	0.7	0.30			Limo sabbioso, debolmente argilloso, di colore marrone-grigio					
4	0.6	0.30								
5	0.9	0.50								
6	1.3	0.60	4.10		Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore grigio-verde con zonature marroni e con tracce scure di sostanza organica	4.20				
7	2.4	1.20	4.20			C.I.1				
8	1.4	0.90	4.70		Campione indisturbato					
9	1.0	0.40			Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore grigio-verde con zonature marroni e con tracce scure di sostanza organica					
10	1.4	0.80	6.20							
11	1.4	0.70								
12	1.9	1.10			Argilla limosa passante ad argilla con limo, di colore grigio-verde, con zonature marroni e saltuari calcinelli					
13	1.5	0.70								
14	2.3	1.10								
15	1.5	0.70								
16	1.2	0.60								
17	1.6	0.80			Alternanza di livelli decimetrici di argilla limosa e di livelli di sabbia limosa, di colore grigio-marro-ne					
18	1.1	0.60	11.70			12.00				
19			12.00		Campione indisturbato	C.I.2				
20			12.50		Alternanza di livelli decimetrici di argilla limosa e di livelli di sabbia limosa, di colore grigio-marro-ne	12.50				
21										
22										
23	1.6	0.80	14.90		Argilla limosa passante a limo e argilla, debolmente sabbioso, di colore grigio					
24	0.5	0.20								
25	1.1	0.80								
26	1.0	0.60								
27	1.0	0.70								
28	1.3		18.00		Argilla limosa passante ad argilla debolmente limosa, di colore grigio, con scarsi e saltuari calcinelli					
29	1.7	0.80								
30	2.6	1.40								
31	1.7	0.80								
32	2.0	0.80								
33	2.4	1.20								
34	1.8	0.90								
35	1.7	0.80								
36	1.7	0.80								
37	1.7	0.70								
38	1.8	1.10			Argilla limosa passante ad argilla con limo, con intercalati livelli centimetrici sabbiosi-limosi. Co-lore grigio con zonature marroni					
39	1.0	1.40								
40	1.7	0.60								
41	1.8	0.70								
42	3.0	1.30								
43	4.1	1.80								
44	2.5	1.30								
45	2.3	1.20								
46	2.4	1.20								
47	2.2	1.00								
48	2.0	0.90								
49	2.1	0.90	29.40							
50	2.4	1.40	30.00							

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

**SOGEO**<sup>®</sup>  
S.R.L.INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI  
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)  
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: [sogeo@sogeo-srl.com](mailto:sogeo@sogeo-srl.com)  
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C  
Decr. n. 005754 del 05/07/2010

# SCHEMA INSTALLAZIONE STRUMENTI

**Piezometro "Norton" (Norm. rif. A.G.I. 1977)**

COMMITTENTE: Venturi Ambiente

SONDAGGIO N°: S.3

CANTIERE: Anzola dell' Emilia (BO)

RIF. PREV. N: 129-22

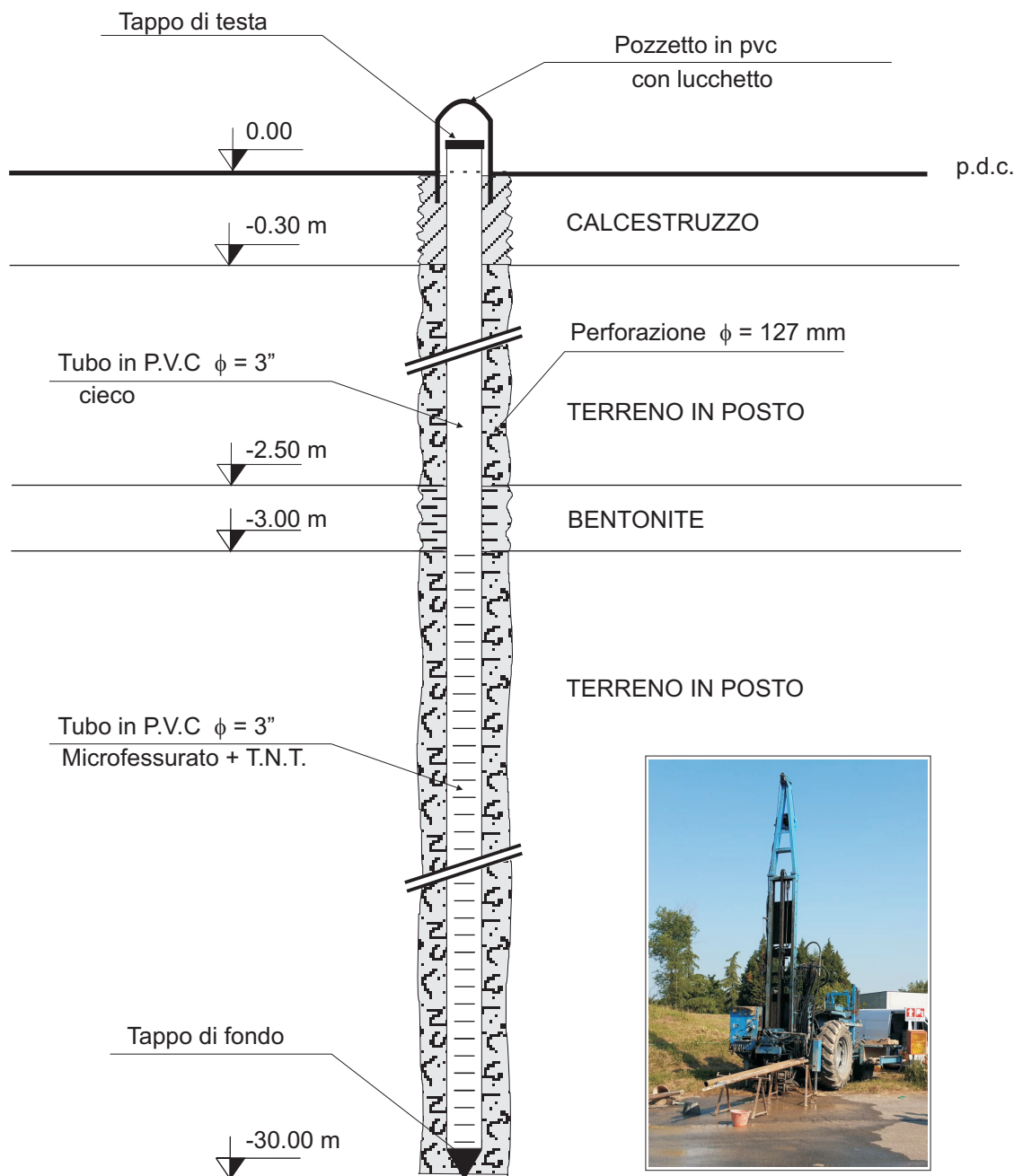
LOCALITA': Anzola dell' Emilia (BO)

DATA DI ESECUZIONE: 24/05/2023

N° CERTIFICATO: C23-045-3

N° RAPPORTO: -----

DATA DI EMISSIONE: 26/05/2023



N.B: SCHEMA NON IN SCALA

Lo Sperimentatore	Note ed osservazioni: Eseguito lo spurgo del piezometro a fine installazione. Livello acqua rilevato a -2.50 m dal p.d.c. (In risalita).	Il Direttore del Laboratorio





**SOGEO** s.r.l.  
INGEGNERIA GEOLOGICA E AMBIENTALE  
V.le S. Ruffino n. 43 - 48022 S. Ruffino di Lujo (RA)  
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

**COMMITTENTE:** Venturi Ambiente  
**RIF. N° :** 129-22

**LOCALITA':** Anzola dell'Emilia (BO)  
**ALLEGATO A:** C23-045-3

**SONDAGGIO N:S.3**  
**DATA:** 24/05/2023



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m





**SOGEO** s.r.l.  
INDAGNI GEOTECNICHE ED AMBIENTALI  
Via S. Pietro n. 43 - 48022 S. Pietro di Lupo (RA)  
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: [sogeo@sogeo-srl.com](mailto:sogeo@sogeo-srl.com)

**COMMITTENTE:** Venturi Ambiente  
**RIF. N° :** 129-22

**LOCALITA':** Anzola dell'Emilia (BO)  
**ALLEGATO A:** C23-045-3

**SONDAGGIO N:** S.3  
**DATA:** 24/05/2023



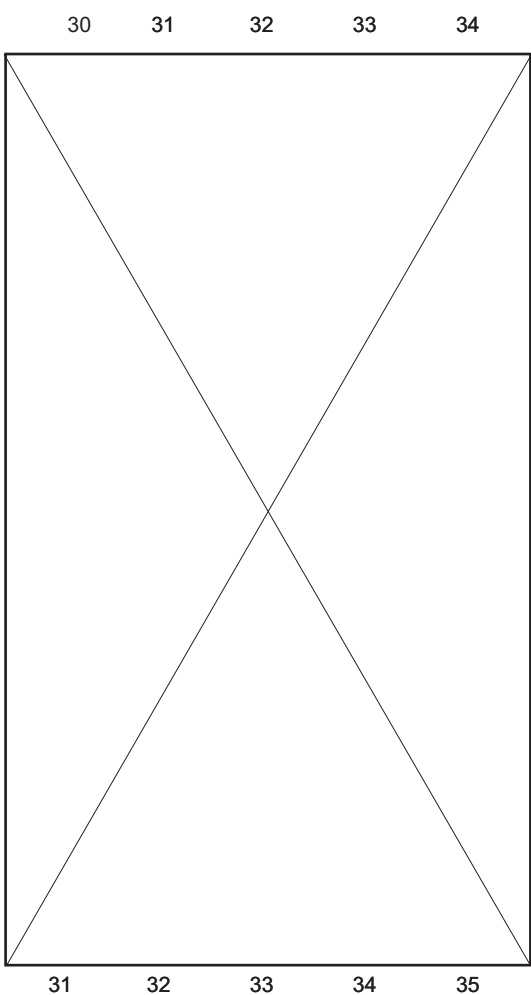
Cassa 6 da -25.0 a -30.0 m



Posizionamento



Cassa 5 da -20.0 a -25.0 m




Cassa 7 da -30.0 a -35.0 m



## **ALLEGATO 6 – SONDAGGIO A DISTRUZIONE DI NUCLEO (IN SITO)**



 <div><b>SOGEO</b><sup>®</sup> S.R.L. <small>INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010</small></div>	COMMITTENTE: Venturi Ambiente			SOND.N°: S.1	PROF.(m): 30.00
	CANTIERE: Anzola dell'Emilia (BO)			QUOTA (m): p.d.c.	
	PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR			LATITUDINE (°):	
	METODO PERFORAZ.: Distruzione di nucleo			LONGITUDINE (°):	
	RIVESTIMENTO: Ø 127 mm			ATTREZZO PERFORAZ.: Trilama	
PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø 3" a -30.00 m dal p.d.c. (fessurato da -3.0 a -30.0 m)				SCALA: 1:100	
RIF.PREV.N°: 129-22		CERTIFICATO N°: C23-045-1	RAPPORTO N°: -----	DATA DI EMISSIONE: 26/05/2023	PAGINA N°: 1 di 1

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15					Perforazione a distruzione di nucleo					
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30			30.00							

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

**SOGEO**<sup>S.R.L.</sup>

INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI  
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)  
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: [sogeo@sogeo-srl.com](mailto:sogeo@sogeo-srl.com)  
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C  
Decr. n. 005754 del 05/07/2010

# SCHEMA INSTALLAZIONE STRUMENTI

**Piezometro "Norton" (Norm. rif. A.G.I. 1977)**

COMMITTENTE: Venturi Ambiente

SONDAGGIO N°: S.1

CANTIERE: Anzola dell' Emilia (BO)

RIF. PREV. N: 129-22

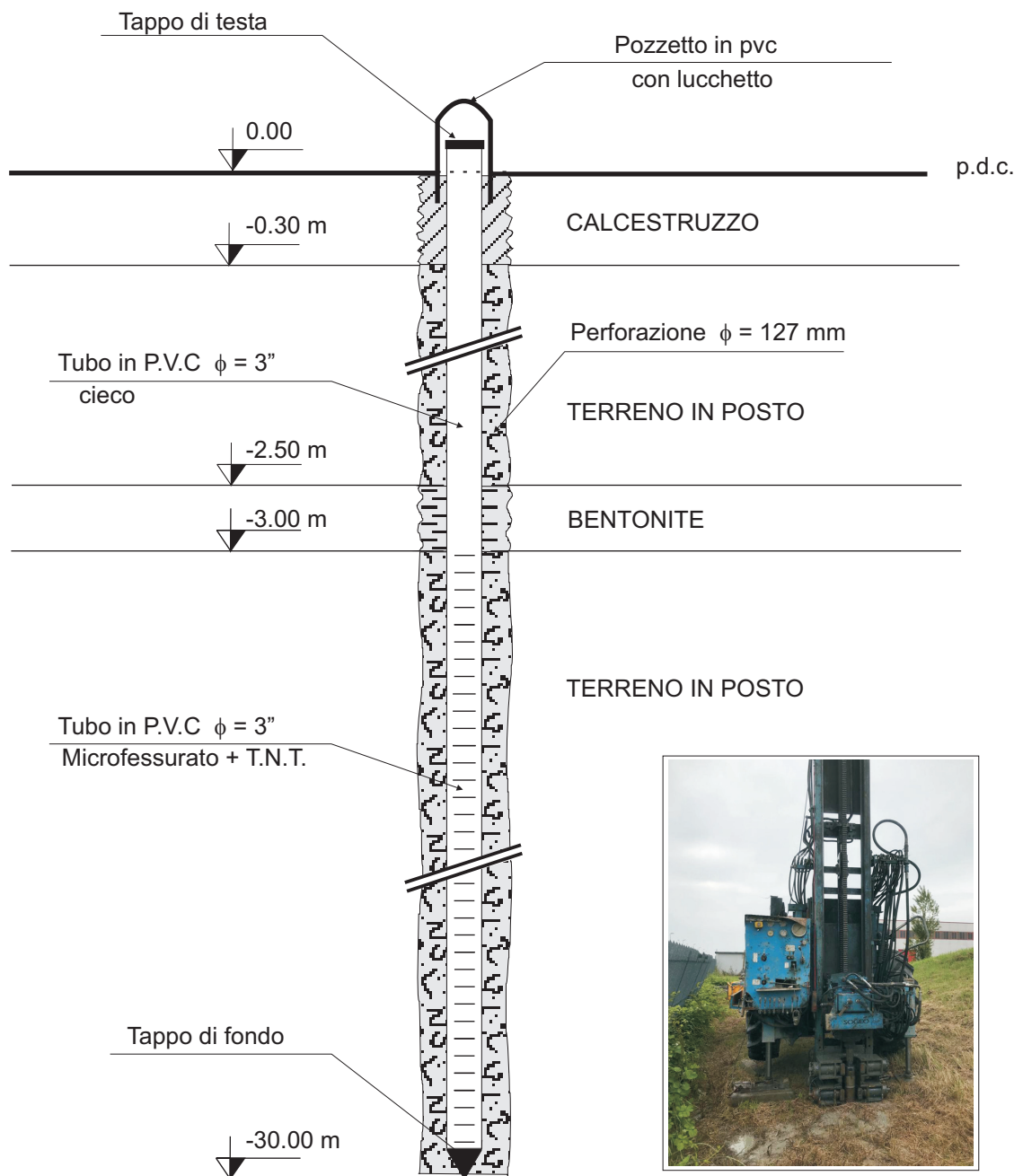
LOCALITA': Anzola dell' Emilia (BO)

DATA DI ESECUZIONE: 25/05/2023

N° CERTIFICATO: C23-045-1


N° RAPPORTO: -----

DATA DI EMISSIONE: 26/05/2023



N.B: SCHEMA NON IN SCALA

Lo Sperimentatore	Note ed osservazioni: Eseguito lo spurgo del piezometro a fine installazione. Livello acqua rilevato a -2.50 m dal p.d.c. (In risalita).	Il Direttore del Laboratorio

<div><div><b>SOGEO</b><sup>®</sup> <small>S.R.L.</small> INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA) Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: <a href="mailto:sogeo@sogeo-srl.com">sogeo@sogeo-srl.com</a> Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C Decr. n. 005754 del 05/07/2010</div></div>		COMMITTENTE: Venturi Ambiente		SOND.N°: S.2		PROF.(m): 30.00			
		CANTIERE: Anzola dell'Emilia (BO)		QUOTA (m): p.d.c.					
		PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR		LATITUDINE (°):					
		METODO PERFORAZ.: Distruzione di nucleo		LONGITUDINE (°):					
		RIVESTIMENTO: Ø 127 mm		ATTREZZO PERFORAZ.: Trilama		DATA INIZ-FINE: 25/05/2023-25/05/2023			
PIEZOMETRO: Installato piezometro Norton Ø 3" a -30.00 m dal p.d.c. (fessurato da -3.0 a -30.0 m)						SCALA: 1:100			
RIF.PREV.N°: 129-22		CERTIFICATO N°: C23-045-2		RAPPORTO N°: -----		DATA DI EMISSIONE: 26/05/2023		PAGINA N°: 1 di 1	

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15					Perforazione a distruzione di nucleo					
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30			30.00							

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

**SOGEO**<sup>®</sup>  
S.R.L.INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI  
Via S. Potito n. 43 - 48022 S. Potito di LUGO (RA)  
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: [sogeo@sogeo-srl.com](mailto:sogeo@sogeo-srl.com)  
Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C  
Decr. n. 005754 del 05/07/2010

# SCHEMA INSTALLAZIONE STRUMENTI

**Piezometro "Norton" (Norm. rif. A.G.I. 1977)**

COMMITTENTE: Venturi Ambiente

SONDAGGIO N°: S.2

CANTIERE: Anzola dell' Emilia (BO)

RIF. PREV. N: 129-22

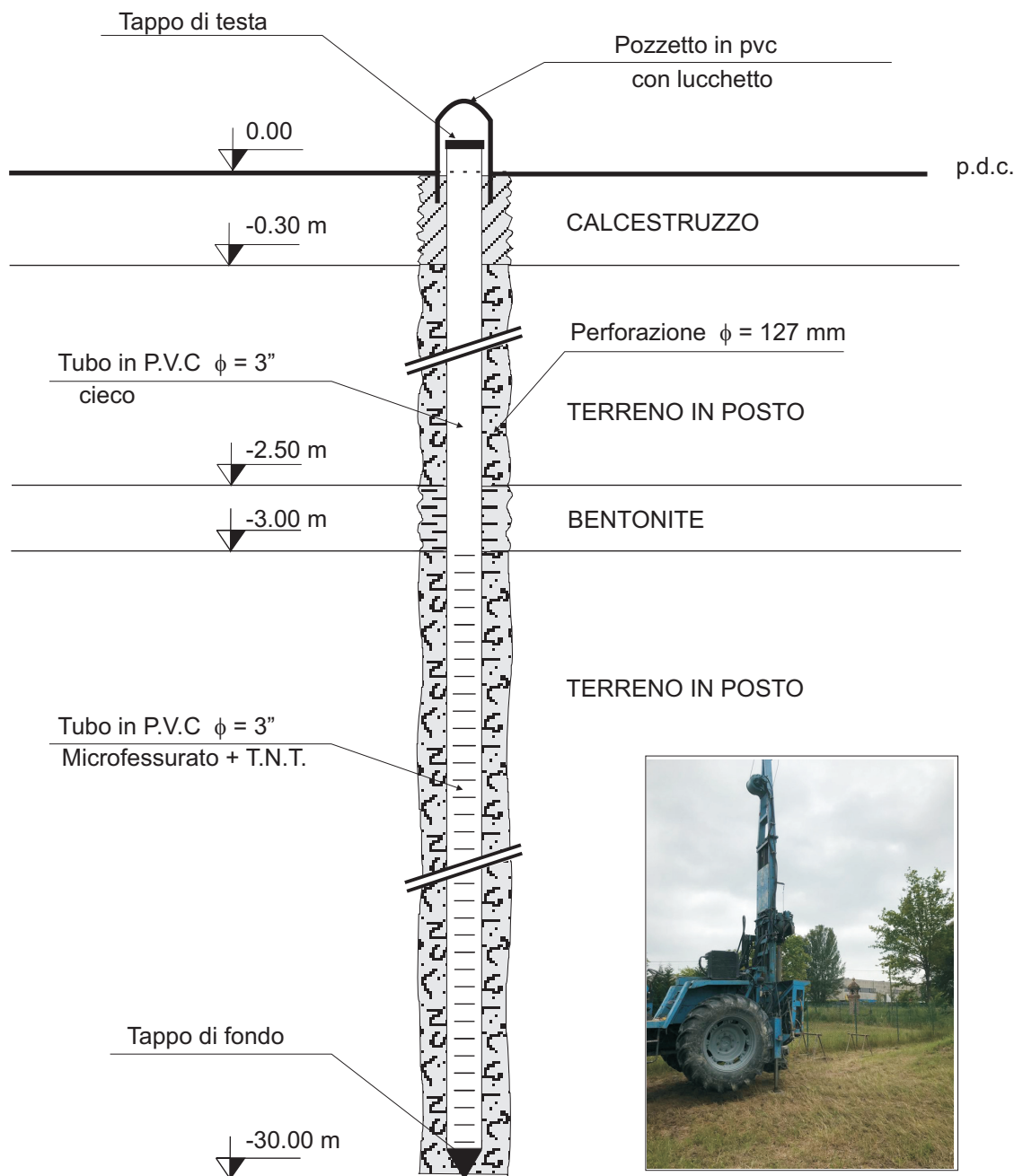
LOCALITA': Anzola dell' Emilia (BO)

DATA DI ESECUZIONE: 25/05/2023

N° CERTIFICATO: C23-045-2

N° RAPPORTO: -----

DATA DI EMISSIONE: 26/05/2023





N.B: SCHEMA NON IN SCALA



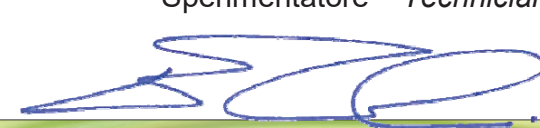

Lo Sperimentatore	Note ed osservazioni: Eseguito lo spurgo del piezometro a fine installazione. Livello acqua rilevato a -2.50 m dal p.d.c. (In risalita).	Il Direttore del Laboratorio





## **ALLEGATO 7 – PROVE DI LABORATORIO**





<div><div><div>GEOTEAS.r.l.</div><div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div></div>	CERTIFICATO DI PROVA TEST REPORT		2639	23.984	000
	pagine del documento - document pages				
	9				
Verbale - Acceptance report Committente - Commissioner Località - Locality Cantiere - Investigation site	2639 SOGEO SRL ANZOLA DELL'EMILIA (BO) VENTURI				
DATI IDENTIFICATIVI DEI CAMPIONI E PROVE ESEGUITE Samples identification and performed tests					
Sondaggio Borehole	Campione Sample	Profondità Depth	Prove eseguite - Performed tests		
S3	C1	4.20- 4.70m	Peso di volume ed umidità naturale, peso specifico dei grani, taglio diretto, CD, in scatola di Casagrande.		
S3	C2	12.00- 12.50m	Peso di volume ed umidità naturale, peso specifico dei grani, taglio diretto, CD, in scatola di Casagrande.		
Note - Remarks:					
<p>Il nostro laboratorio esegue le prove commissionate secondo le norme di riferimento riportate su ogni certificato; il laboratorio segue inoltre le raccomandazioni contenute nella norma UNI EN 17025 "Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura". Questi risultati sono per uso esclusivo del cliente per il quale sono stati ottenuti. Essi sono applicabili solamente ai campioni testati e non sono indicativi di campioni apparentemente simili. These results are for the exclusive use of the client for whom they were obtained. They apply only to the tested samples and are not</p>					
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					

<div><div><div>GEOTEAs.r.l.</div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div>	<div>PESO DI VOLUME CON FUSTELLA TARATA</div> <div>Determination of bulk and dry density of fine-grained soil with sampling tube</div> <div>Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2</div> <div>Technical specification</div>	
	<div>Certificato - Test report</div> <div>Verbale - Acceptance report</div> <div>Committente - Commissioner</div> <div>Località - Locality</div> <div>Cantiere - Site</div> <div>Sondaggio - Borehole</div> <div>Campione - Sample</div> <div>Profondità - Depth</div> <div>Data ricevimento - Receiving date</div> <div>Data inizio prove - Test starting date</div> <div>Data fine prove - Test ending date</div> <div>Data certificazione - Report date</div> <div>Data apertura campione - Sample opening date</div> <div>Classe campione - Sample quality</div>	<div>2639- 23.984- 001</div> <div>2639</div> <div>SOGEO SRL</div> <div>ANZOLA DELL'EMILIA (BO)</div> <div>VENTURI</div> <div>S3</div> <div>C1</div> <div>4.20- 4.70m</div> <div>01/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>09/06/2023</div> <div>12/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>Q4</div>
	<div>Massa tara (g) - Tara weight</div> <div>Massa campione umido + tara (g)</div> <div>Moist specimen + tara</div> <div>Massa campione secco + tara (g)</div> <div>Dried specimen + tara</div> <div>Volume fustella tarata (cm³)</div> <div>Sampling tube volume</div>	<div>71.67</div> <div>100.10</div> <div></div> <div>93.74</div> <div></div> <div>14.88</div>
	<div>Umidità naturale (%) - Water content</div> <div>Massa volumica umida (kg/m³) - Bulk density</div> <div>Massa volumica secca (kg/m³) - Dry density</div>	<div>28.82</div> <div>1910.10</div> <div>1482.80</div>
<div>Note - Remarks</div>		
<div>Direttore</div> <div>Manager</div> <div></div>	<div>Sperimentatore</div> <div>Technician</div> <div></div>	
<div>Via della Tecnica 17/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)</div> <div>Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378</div> <div>e-mail laboratorio.geotea@database.it</div> <div>Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici</div> <div>Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre</div>		
<div>IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B6 REV2</div>		

<div><div><div>GEOTEA s.r.l.</div><div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div></div>	<div>PESO SPECIFICO DEI GRANI</div> <div>PARTICLE DENSITY - PYCNOMETER METHOD</div> <div>Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-3</div> <div>Technical specification</div>	
	<div>Certificato - Test report</div> <div>Verbale - Acceptance report</div> <div>Committente - Commissioner</div> <div>Località - Locality</div> <div>Cantiere - Site</div> <div>Sondaggio - Borehole</div> <div>Campione - Sample</div> <div>Profondità - Depth</div> <div>Data ricevimento - Receiving date</div> <div>Data inizio prove - Test starting date</div> <div>Data fine prove - Test ending date</div> <div>Data certificazione - Report date</div> <div>Data apertura campione - Sample opening date</div> <div>Classe campione - Sample quality</div>	<div>2639- 23.984- 002</div> <div>2639</div> <div>SOGEO SRL</div> <div>ANZOLA DELL'EMILIA (BO)</div> <div>VENTURI</div> <div>S3</div> <div>C1</div> <div>4.20- 4.70m</div> <div>01/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>09/06/2023</div> <div>12/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>Q4</div>
	<div>Massa tara (g) - Tara weight</div> <div>Massa campione umido + tara (g)</div> <div>Moist specimen + tara</div> <div>Massa campione secco + tara (g)</div> <div>Dried specimen + tara</div> <div>Massa picnometro + campione (g) Pycnometer weight + dried specimen</div> <div>Massa picnometro + tappo + acqua (g)</div> <div>Pycnometer weight + plug + water</div> <div>Massa picn. + tappo + acqua + camp. (g)</div> <div>Pycnometer weight + plug + water + spec.</div> <div>Contentuto in acqua (%) - Water content</div> <div>Massa volumica umida kg/m³ - Bulk density</div> <div>Massa volumica secca (kg/m³)</div> <div>Dried bulk density</div> <div>Massa specifica dei grani (kg/m³)</div> <div>Particle density</div> <div>Indice dei vuoti - Void index</div> <div>Porosità (%) - Porosity</div> <div>Umidità di saturazione (%)</div> <div>Water saturation content</div> <div>Grado di saturazione (%) - Saturation degree</div>	<div>71.67</div> <div>100.10</div> <div>93.74</div> <div>123.45</div> <div>194.99</div> <div>232.54</div> <div>28.82</div> <div>1910.10</div> <div>1482.80</div> <div>2667.98</div> <div>0.80</div> <div>44.42</div> <div>29.96</div> <div>96.19</div>
	<div>Note - Remarks</div>	
<div>Direttore / Manager</div> <div></div>	<div>Sperimentatore / Technician</div> <div></div>	
<div>Via della Tecnica 5/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)</div> <div>Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378</div> <div>e-mail laboratorio.geotea@database.it</div> <div>Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici</div> <div>Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre</div>		
<div>IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B25 REV2</div>		



# GEOTE 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

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe del campione - *Sample quality*

2639- 23.984- 003

2639

SOGEO SRL

ANZOLA DELL'EMILIA (BO)

VENTURI

**S3**

**C1**

**4.20- 4.70m**

01/06/2023

01/06/2023

09/06/2023

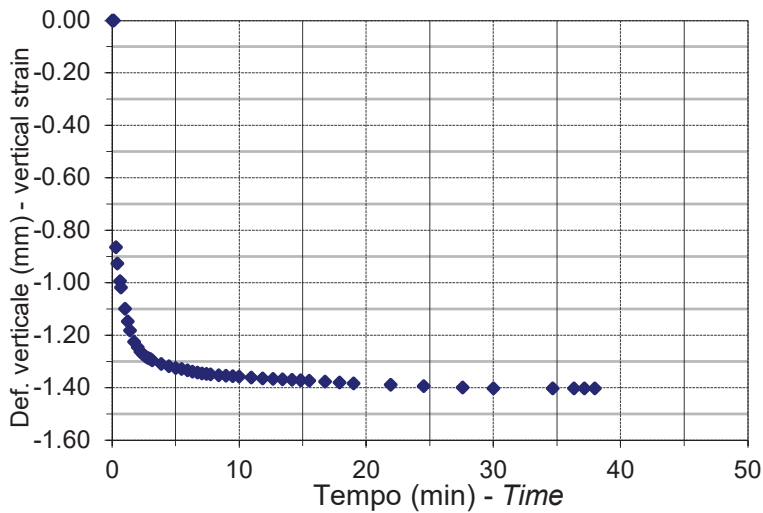
12/06/2023

01/06/2023

Q4

Umidità iniziale - <i>Initial water content</i>	%	28.82		
Densità naturale iniziale - <i>Initial wet density</i>	kg/m <sup>3</sup>	1910.10		
Densità secca iniziale - <i>Initial dry density</i>	kg/m <sup>3</sup>	1482.80		
Provino - <i>Specimen id</i>	n°	1	2	3
Lato - <i>Specimen side</i>	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - <i>Initial specimen height</i>	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - <i>Strain rate</i>	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione <i>Consolidation pressure</i>	kPa	98.1	196.1	294.2
Umidità finale - <i>Final water content</i>	%	29.15	29.00	29.00

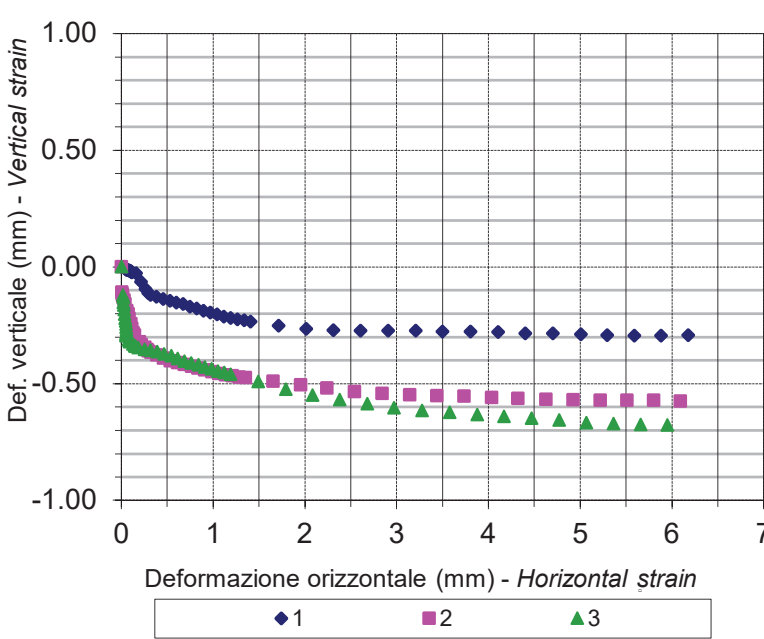
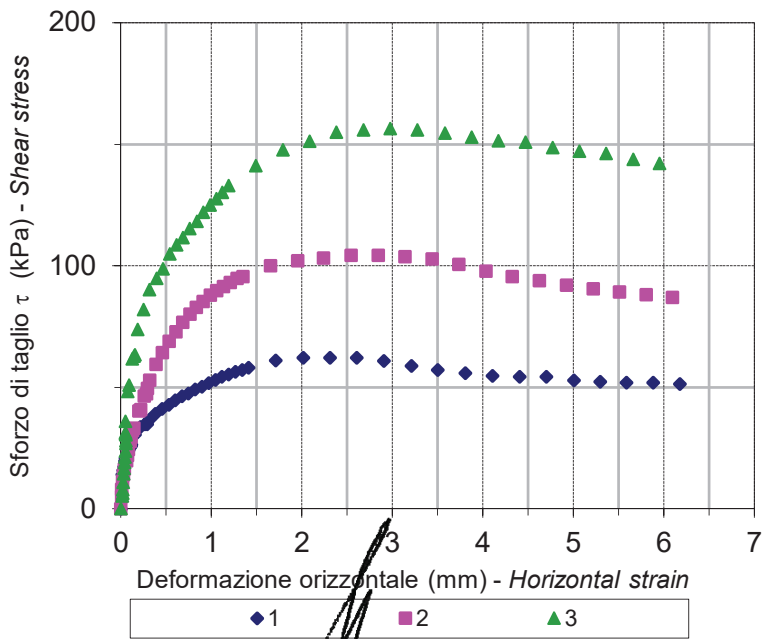
#### Fase di consolidazione - *Consolidation test*



#### Note - *Remarks*

Limo argilloso sabbioso. Colore marrone oliva. Consistente.

Pocket Penetrometer 1.3- 1.5- 1.8 kg/cm<sup>2</sup>  
Tor Vane 0.6- 0.8- 0.8 kg/cm<sup>2</sup>





Direttore *Manager*



Sperimentatore *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza:  $\pm 0,15\%$





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



<div><div><div>GEOTEAs.r.l.</div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div>	TAGLIO DIRETTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	DIRECT SHEAR TEST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Technical specification																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Certificato - Test report Verbale - Acceptance report	2639- 23.984- 003 2639																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
<table><thead><tr><th colspan="2">Consolidation test (0-100 kPa)</th></tr><tr><th>time (s)</th><th>def. ↓ (mm)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0.00</td></tr><tr><td>6</td><td>-0.86</td></tr><tr><td>10</td><td>-0.93</td></tr><tr><td>24</td><td>-0.99</td></tr><tr><td>30</td><td>-1.02</td></tr><tr><td>60</td><td>-1.10</td></tr><tr><td>90</td><td>-1.15</td></tr><tr><td>120</td><td>-1.18</td></tr><tr><td>180</td><td>-1.23</td></tr><tr><td>240</td><td>-1.25</td></tr><tr><td>300</td><td>-1.26</td></tr><tr><td>360</td><td>-1.27</td></tr><tr><td>420</td><td>-1.28</td></tr><tr><td>480</td><td>-1.29</td></tr><tr><td>540</td><td>-1.29</td></tr><tr><td>600</td><td>-1.30</td></tr><tr><td>900</td><td>-1.31</td></tr><tr><td>1200</td><td>-1.32</td></tr><tr><td>1500</td><td>-1.33</td></tr><tr><td>1800</td><td>-1.33</td></tr><tr><td>2100</td><td>-1.33</td></tr><tr><td>2400</td><td>-1.34</td></tr><tr><td>2700</td><td>-1.34</td></tr><tr><td>3000</td><td>-1.35</td></tr><tr><td>3300</td><td>-1.35</td></tr><tr><td>3600</td><td>-1.35</td></tr><tr><td>4200</td><td>-1.35</td></tr><tr><td>4800</td><td>-1.36</td></tr><tr><td>5400</td><td>-1.36</td></tr><tr><td>6000</td><td>-1.36</td></tr><tr><td>7200</td><td>-1.36</td></tr><tr><td>8400</td><td>-1.36</td></tr><tr><td>9600</td><td>-1.37</td></tr><tr><td>10800</td><td>-1.37</td></tr><tr><td>12000</td><td>-1.37</td></tr><tr><td>13200</td><td>-1.37</td></tr><tr><td>14400</td><td>-1.37</td></tr><tr><td>16800</td><td>-1.38</td></tr><tr><td>19200</td><td>-1.38</td></tr><tr><td>21600</td><td>-1.38</td></tr><tr><td>28800</td><td>-1.39</td></tr><tr><td>36000</td><td>-1.39</td></tr><tr><td>45600</td><td>-1.40</td></tr><tr><td>54000</td><td>-1.40</td></tr><tr><td>72000</td><td>-1.40</td></tr><tr><td>79200</td><td>-1.40</td></tr><tr><td>82800</td><td>-1.40</td></tr><tr><td>86400</td><td>-1.40</td></tr></tbody></table>	Consolidation test (0-100 kPa)		time (s)	def. ↓ (mm)	1	0.00	6	-0.86	10	-0.93	24	-0.99	30	-1.02	60	-1.10	90	-1.15	120	-1.18	180	-1.23	240	-1.25	300	-1.26	360	-1.27	420	-1.28	480	-1.29	540	-1.29	600	-1.30	900	-1.31	1200	-1.32	1500	-1.33	1800	-1.33	2100	-1.33	2400	-1.34	2700	-1.34	3000	-1.35	3300	-1.35	3600	-1.35	4200	-1.35	4800	-1.36	5400	-1.36	6000	-1.36	7200	-1.36	8400	-1.36	9600	-1.37	10800	-1.37	12000	-1.37	13200	-1.37	14400	-1.37	16800	-1.38	19200	-1.38	21600	-1.38	28800	-1.39	36000	-1.39	45600	-1.40	54000	-1.40	72000	-1.40	79200	-1.40	82800	-1.40	86400	-1.40	<table><thead><tr><th colspan="3">Provino 1 - Specimen 1</th></tr><tr><th>def. → (mm)</th><th>def. ↓ (mm)</th><th>shear stress (kPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.02</td><td>0.00</td><td>14.17</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.00</td><td>15.83</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.00</td><td>17.22</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.00</td><td>18.61</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.01</td><td>19.72</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.01</td><td>20.83</td></tr><tr><td>0.06</td><td>0.01</td><td>21.67</td></tr><tr><td>0.07</td><td>0.01</td><td>22.78</td></tr><tr><td>0.08</td><td>0.02</td><td>23.61</td></tr><tr><td>0.09</td><td>0.02</td><td>24.17</td></tr><tr><td>0.09</td><td>0.02</td><td>25.00</td></tr><tr><td>0.10</td><td>0.02</td><td>25.28</td></tr><tr><td>0.10</td><td>0.02</td><td>25.56</td></tr><tr><td>0.11</td><td>0.02</td><td>25.83</td></tr><tr><td>0.11</td><td>0.02</td><td>26.11</td></tr><tr><td>0.12</td><td>0.02</td><td>26.39</td></tr><tr><td>0.16</td><td>0.03</td><td>30.56</td></tr><tr><td>0.21</td><td>0.06</td><td>33.61</td></tr><tr><td>0.27</td><td>0.09</td><td>34.72</td></tr><tr><td>0.29</td><td>0.11</td><td>34.72</td></tr><tr><td>0.32</td><td>0.12</td><td>36.67</td></tr><tr><td>0.38</td><td>0.13</td><td>39.17</td></tr><tr><td>0.45</td><td>0.14</td><td>41.11</td></tr><tr><td>0.53</td><td>0.15</td><td>42.78</td></tr><tr><td>0.60</td><td>0.15</td><td>44.72</td></tr><tr><td>0.67</td><td>0.16</td><td>46.39</td></tr><tr><td>0.75</td><td>0.17</td><td>47.50</td></tr><tr><td>0.82</td><td>0.18</td><td>49.17</td></tr><tr><td>0.90</td><td>0.19</td><td>50.28</td></tr><tr><td>0.97</td><td>0.20</td><td>51.67</td></tr><tr><td>1.04</td><td>0.20</td><td>53.06</td></tr><tr><td>1.12</td><td>0.21</td><td>54.44</td></tr><tr><td>1.19</td><td>0.22</td><td>55.28</td></tr><tr><td>1.27</td><td>0.22</td><td>56.39</td></tr><tr><td>1.34</td><td>0.23</td><td>57.22</td></tr><tr><td>1.41</td><td>0.23</td><td>58.06</td></tr><tr><td>1.71</td><td>0.25</td><td>61.11</td></tr><tr><td>2.02</td><td>0.27</td><td>62.22</td></tr><tr><td>2.31</td><td>0.27</td><td>62.22</td></tr><tr><td>2.61</td><td>0.27</td><td>62.22</td></tr><tr><td>2.91</td><td>0.27</td><td>60.83</td></tr><tr><td>3.21</td><td>0.27</td><td>58.89</td></tr><tr><td>3.50</td><td>0.28</td><td>57.22</td></tr><tr><td>3.81</td><td>0.28</td><td>55.83</td></tr><tr><td>4.10</td><td>0.28</td><td>54.72</td></tr><tr><td>4.40</td><td>0.28</td><td>54.44</td></tr><tr><td>4.70</td><td>0.28</td><td>54.44</td></tr><tr><td>5.01</td><td>0.29</td><td>52.78</td></tr><tr><td>5.30</td><td>0.29</td><td>52.22</td></tr><tr><td>5.59</td><td>0.29</td><td>51.94</td></tr><tr><td>5.88</td><td>0.30</td><td>51.94</td></tr><tr><td>6.18</td><td>0.29</td><td>51.39</td></tr></tbody></table>	Provino 1 - Specimen 1			def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	0.02	0.00	14.17	0.03	0.00	15.83	0.04	0.00	17.22	0.04	0.00	18.61	0.05	0.01	19.72	0.05	0.01	20.83	0.06	0.01	21.67	0.07	0.01	22.78	0.08	0.02	23.61	0.09	0.02	24.17	0.09	0.02	25.00	0.10	0.02	25.28	0.10	0.02	25.56	0.11	0.02	25.83	0.11	0.02	26.11	0.12	0.02	26.39	0.16	0.03	30.56	0.21	0.06	33.61	0.27	0.09	34.72	0.29	0.11	34.72	0.32	0.12	36.67	0.38	0.13	39.17	0.45	0.14	41.11	0.53	0.15	42.78	0.60	0.15	44.72	0.67	0.16	46.39	0.75	0.17	47.50	0.82	0.18	49.17	0.90	0.19	50.28	0.97	0.20	51.67	1.04	0.20	53.06	1.12	0.21	54.44	1.19	0.22	55.28	1.27	0.22	56.39	1.34	0.23	57.22	1.41	0.23	58.06	1.71	0.25	61.11	2.02	0.27	62.22	2.31	0.27	62.22	2.61	0.27	62.22	2.91	0.27	60.83	3.21	0.27	58.89	3.50	0.28	57.22	3.81	0.28	55.83	4.10	0.28	54.72	4.40	0.28	54.44	4.70	0.28	54.44	5.01	0.29	52.78	5.30	0.29	52.22	5.59	0.29	51.94	5.88	0.30	51.94	6.18	0.29	51.39	<table><thead><tr><th colspan="3">Provino 2 - Specimen 2</th></tr><tr><th>def. → (mm)</th><th>def. ↓ (mm)</th><th>shear stress (kPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.01</td><td>0.11</td><td>5.00</td></tr><tr><td>0.01</td><td>0.12</td><td>8.06</td></tr><tr><td>0.02</td><td>0.13</td><td>11.39</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.14</td><td>13.89</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.16</td><td>16.39</td></tr><tr><td>0.06</td><td>0.19</td><td>19.72</td></tr><tr><td>0.08</td><td>0.20</td><td>21.94</td></tr><tr><td>0.09</td><td>0.22</td><td>24.44</td></tr><tr><td>0.10</td><td>0.24</td><td>27.78</td></tr><tr><td>0.12</td><td>0.26</td><td>29.44</td></tr><tr><td>0.13</td><td>0.28</td><td>32.22</td></tr><tr><td>0.14</td><td>0.29</td><td>33.06</td></tr><tr><td>0.20</td><td>0.32</td><td>40.28</td></tr><tr><td>0.22</td><td>0.33</td><td>40.83</td></tr><tr><td>0.26</td><td>0.35</td><td>46.39</td></tr><tr><td>0.28</td><td>0.36</td><td>47.22</td></tr><tr><td>0.29</td><td>0.36</td><td>49.44</td></tr><tr><td>0.32</td><td>0.37</td><td>52.78</td></tr><tr><td>0.39</td><td>0.38</td><td>59.44</td></tr><tr><td>0.46</td><td>0.39</td><td>64.17</td></tr><tr><td>0.53</td><td>0.40</td><td>68.89</td></tr><tr><td>0.61</td><td>0.41</td><td>72.78</td></tr><tr><td>0.69</td><td>0.42</td><td>76.67</td></tr><tr><td>0.77</td><td>0.43</td><td>80.00</td></tr><tr><td>0.84</td><td>0.43</td><td>82.78</td></tr><tr><td>0.91</td><td>0.44</td><td>85.28</td></tr><tr><td>0.99</td><td>0.45</td><td>87.78</td></tr><tr><td>1.06</td><td>0.46</td><td>89.72</td></tr><tr><td>1.14</td><td>0.46</td><td>91.39</td></tr><tr><td>1.21</td><td>0.47</td><td>93.06</td></tr><tr><td>1.29</td><td>0.47</td><td>94.72</td></tr><tr><td>1.35</td><td>0.48</td><td>95.56</td></tr><tr><td>1.65</td><td>0.49</td><td>100.00</td></tr><tr><td>1.95</td><td>0.51</td><td>101.94</td></tr><tr><td>2.24</td><td>0.52</td><td>103.06</td></tr><tr><td>2.54</td><td>0.54</td><td>104.17</td></tr><tr><td>2.84</td><td>0.54</td><td>104.17</td></tr><tr><td>3.14</td><td>0.55</td><td>103.61</td></tr><tr><td>3.44</td><td>0.55</td><td>102.78</td></tr><tr><td>3.74</td><td>0.56</td><td>100.56</td></tr><tr><td>4.04</td><td>0.56</td><td>97.78</td></tr><tr><td>4.32</td><td>0.56</td><td>95.56</td></tr><tr><td>4.63</td><td>0.57</td><td>93.89</td></tr><tr><td>4.93</td><td>0.57</td><td>91.94</td></tr><tr><td>5.22</td><td>0.57</td><td>90.56</td></tr><tr><td>5.51</td><td>0.57</td><td>89.17</td></tr><tr><td>5.80</td><td>0.57</td><td>88.06</td></tr><tr><td>6.10</td><td>0.58</td><td>86.94</td></tr></tbody></table>	Provino 2 - Specimen 2			def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	0.01	0.11	5.00	0.01	0.12	8.06	0.02	0.13	11.39	0.03	0.14	13.89	0.04	0.16	16.39	0.06	0.19	19.72	0.08	0.20	21.94	0.09	0.22	24.44	0.10	0.24	27.78	0.12	0.26	29.44	0.13	0.28	32.22	0.14	0.29	33.06	0.20	0.32	40.28	0.22	0.33	40.83	0.26	0.35	46.39	0.28	0.36	47.22	0.29	0.36	49.44	0.32	0.37	52.78	0.39	0.38	59.44	0.46	0.39	64.17	0.53	0.40	68.89	0.61	0.41	72.78	0.69	0.42	76.67	0.77	0.43	80.00	0.84	0.43	82.78	0.91	0.44	85.28	0.99	0.45	87.78	1.06	0.46	89.72	1.14	0.46	91.39	1.21	0.47	93.06	1.29	0.47	94.72	1.35	0.48	95.56	1.65	0.49	100.00	1.95	0.51	101.94	2.24	0.52	103.06	2.54	0.54	104.17	2.84	0.54	104.17	3.14	0.55	103.61	3.44	0.55	102.78	3.74	0.56	100.56	4.04	0.56	97.78	4.32	0.56	95.56	4.63	0.57	93.89	4.93	0.57	91.94	5.22	0.57	90.56	5.51	0.57	89.17	5.80	0.57	88.06	6.10	0.58	86.94	<table><thead><tr><th colspan="3">Provino 3 - Specimen 3</th></tr><tr><th>def. → (mm)</th><th>def. ↓ (mm)</th><th>shear stress (kPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.02</td><td>0.12</td><td>5.25</td></tr><tr><td>0.02</td><td>0.13</td><td>6.42</td></tr><tr><td>0.02</td><td>0.15</td><td>7.88</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.17</td><td>10.79</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.18</td><td>14.29</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.20</td><td>16.63</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.22</td><td>18.96</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.23</td><td>21.29</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.25</td><td>23.63</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.26</td><td>26.83</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.27</td><td>28.00</td></tr><tr><td>0.06</td><td>0.28</td><td>30.33</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.29</td><td>30.63</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.29</td><td>31.21</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.30</td><td>35.88</td></tr><tr><td>0.07</td><td>0.31</td><td>48.13</td></tr><tr><td>0.09</td><td>0.32</td><td>50.75</td></tr><tr><td>0.13</td><td>0.33</td><td>61.54</td></tr><tr><td>0.15</td><td>0.34</td><td>62.71</td></tr><tr><td>0.15</td><td>0.34</td><td>63.29</td></tr><tr><td>0.19</td><td>0.35</td><td>73.79</td></tr><tr><td>0.25</td><td>0.35</td><td>81.96</td></tr><tr><td>0.32</td><td>0.36</td><td>90.13</td></tr><tr><td>0.39</td><td>0.36</td><td>94.79</td></tr><tr><td>0.47</td><td>0.37</td><td>98.58</td></tr><tr><td>0.54</td><td>0.38</td><td>104.71</td></tr><tr><td>0.61</td><td>0.39</td><td>108.50</td></tr><tr><td>0.69</td><td>0.40</td><td>111.42</td></tr><tr><td>0.76</td><td>0.41</td><td>115.21</td></tr><tr><td>0.84</td><td>0.42</td><td>118.13</td></tr><tr><td>0.91</td><td>0.43</td><td>121.92</td></tr><tr><td>0.98</td><td>0.44</td><td>124.83</td></tr><tr><td>1.05</td><td>0.45</td><td>127.46</td></tr><tr><td>1.12</td><td>0.45</td><td>130.08</td></tr><tr><td>1.19</td><td>0.46</td><td>133.00</td></tr><tr><td>1.49</td><td>0.49</td><td>141.17</td></tr><tr><td>1.79</td><td>0.53</td><td>147.58</td></tr><tr><td>2.09</td><td>0.55</td><td>151.08</td></tr><tr><td>2.38</td><td>0.57</td><td>154.88</td></tr><tr><td>2.68</td><td>0.59</td><td>155.75</td></tr><tr><td>2.97</td><td>0.61</td><td>156.33</td></tr><tr><td>3.28</td><td>0.62</td><td>155.75</td></tr><tr><td>3.58</td><td>0.62</td><td>154.58</td></tr><tr><td>3.88</td><td>0.63</td><td>152.83</td></tr><tr><td>4.17</td><td>0.64</td><td>151.38</td></tr><tr><td>4.47</td><td>0.65</td><td>150.79</td></tr><tr><td>4.77</td><td>0.66</td><td>148.46</td></tr><tr><td>5.07</td><td>0.67</td><td>147.00</td></tr><tr><td>5.36</td><td>0.67</td><td>146.13</td></tr><tr><td>5.66</td><td>0.68</td><td>143.79</td></tr><tr><td>5.95</td><td>0.68</td><td>142.04</td></tr></tbody></table>	Provino 3 - Specimen 3			def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	0.02	0.12	5.25	0.02	0.13	6.42	0.02	0.15	7.88	0.03	0.17	10.79	0.03	0.18	14.29	0.03	0.20	16.63	0.04	0.22	18.96	0.05	0.23	21.29	0.05	0.25	23.63	0.05	0.26	26.83	0.05	0.27	28.00	0.06	0.28	30.33	0.05	0.29	30.63	0.05	0.29	31.21	0.05	0.30	35.88	0.07	0.31	48.13	0.09	0.32	50.75	0.13	0.33	61.54	0.15	0.34	62.71	0.15	0.34	63.29	0.19	0.35	73.79	0.25	0.35	81.96	0.32	0.36	90.13	0.39	0.36	94.79	0.47	0.37	98.58	0.54	0.38	104.71	0.61	0.39	108.50	0.69	0.40	111.42	0.76	0.41	115.21	0.84	0.42	118.13	0.91	0.43	121.92	0.98	0.44	124.83	1.05	0.45	127.46	1.12	0.45	130.08	1.19	0.46	133.00	1.49	0.49	141.17	1.79	0.53	147.58	2.09	0.55	151.08	2.38	0.57	154.88	2.68	0.59	155.75	2.97	0.61	156.33	3.28	0.62	155.75	3.58	0.62	154.58	3.88	0.63	152.83	4.17	0.64	151.38	4.47	0.65	150.79	4.77	0.66	148.46	5.07	0.67	147.00	5.36	0.67	146.13	5.66	0.68	143.79	5.95	0.68	142.04
Consolidation test (0-100 kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
time (s)	def. ↓ (mm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
6	-0.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10	-0.93																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
24	-0.99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
30	-1.02																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
60	-1.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
90	-1.15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
120	-1.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
180	-1.23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
240	-1.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
300	-1.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
360	-1.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
420	-1.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
480	-1.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
540	-1.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
600	-1.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
900	-1.31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1200	-1.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1500	-1.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1800	-1.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2100	-1.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2400	-1.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
2700	-1.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3000	-1.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3300	-1.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
3600	-1.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4200	-1.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
4800	-1.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
5400	-1.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
6000	-1.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
7200	-1.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
8400	-1.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
9600	-1.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
10800	-1.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
12000	-1.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
13200	-1.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
14400	-1.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
16800	-1.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
19200	-1.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
21600	-1.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
28800	-1.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
36000	-1.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
45600	-1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
54000	-1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
72000	-1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
79200	-1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
82800	-1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
86400	-1.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Provino 1 - Specimen 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.02	0.00	14.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.03	0.00	15.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.04	0.00	17.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.04	0.00	18.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.01	19.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.01	20.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.06	0.01	21.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.07	0.01	22.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.08	0.02	23.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.09	0.02	24.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.09	0.02	25.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.10	0.02	25.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.10	0.02	25.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.11	0.02	25.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.11	0.02	26.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.12	0.02	26.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.16	0.03	30.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.21	0.06	33.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.27	0.09	34.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.29	0.11	34.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.32	0.12	36.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.38	0.13	39.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.45	0.14	41.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.53	0.15	42.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.60	0.15	44.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.67	0.16	46.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.75	0.17	47.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.82	0.18	49.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.90	0.19	50.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.97	0.20	51.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.04	0.20	53.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.12	0.21	54.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.19	0.22	55.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.27	0.22	56.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.34	0.23	57.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.41	0.23	58.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.71	0.25	61.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.02	0.27	62.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.31	0.27	62.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.61	0.27	62.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.91	0.27	60.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.21	0.27	58.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.50	0.28	57.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.81	0.28	55.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.10	0.28	54.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.40	0.28	54.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.70	0.28	54.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.01	0.29	52.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.30	0.29	52.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.59	0.29	51.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.88	0.30	51.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
6.18	0.29	51.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Provino 2 - Specimen 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.01	0.11	5.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.01	0.12	8.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.02	0.13	11.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.03	0.14	13.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.04	0.16	16.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.06	0.19	19.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.08	0.20	21.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.09	0.22	24.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.10	0.24	27.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.12	0.26	29.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.13	0.28	32.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.14	0.29	33.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.20	0.32	40.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.22	0.33	40.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.26	0.35	46.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.28	0.36	47.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.29	0.36	49.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.32	0.37	52.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.39	0.38	59.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.46	0.39	64.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.53	0.40	68.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.61	0.41	72.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.69	0.42	76.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.77	0.43	80.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.84	0.43	82.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.91	0.44	85.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.99	0.45	87.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.06	0.46	89.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.14	0.46	91.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.21	0.47	93.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.29	0.47	94.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.35	0.48	95.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.65	0.49	100.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.95	0.51	101.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.24	0.52	103.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.54	0.54	104.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.84	0.54	104.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.14	0.55	103.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.44	0.55	102.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.74	0.56	100.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.04	0.56	97.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.32	0.56	95.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.63	0.57	93.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.93	0.57	91.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.22	0.57	90.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.51	0.57	89.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.80	0.57	88.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
6.10	0.58	86.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Provino 3 - Specimen 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.02	0.12	5.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.02	0.13	6.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.02	0.15	7.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.03	0.17	10.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.03	0.18	14.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.03	0.20	16.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.04	0.22	18.96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.23	21.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.25	23.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.26	26.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.27	28.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.06	0.28	30.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.29	30.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.29	31.21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.05	0.30	35.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.07	0.31	48.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.09	0.32	50.75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.13	0.33	61.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.15	0.34	62.71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.15	0.34	63.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.19	0.35	73.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.25	0.35	81.96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.32	0.36	90.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.39	0.36	94.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.47	0.37	98.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.54	0.38	104.71																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.61	0.39	108.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.69	0.40	111.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.76	0.41	115.21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.84	0.42	118.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.91	0.43	121.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
0.98	0.44	124.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.05	0.45	127.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.12	0.45	130.08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.19	0.46	133.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.49	0.49	141.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1.79	0.53	147.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.09	0.55	151.08																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.38	0.57	154.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.68	0.59	155.75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2.97	0.61	156.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.28	0.62	155.75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.58	0.62	154.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3.88	0.63	152.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.17	0.64	151.38																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.47	0.65	150.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4.77	0.66	148.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.07	0.67	147.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.36	0.67	146.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.66	0.68	143.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
5.95	0.68	142.04																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B31 REV2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

<div><div><div>GEOTEAS.r.l.</div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div>	<div>PESO DI VOLUME CON FUSTELLA TARATA</div> <div>Determination of bulk and dry density of fine-grained soil with sampling tube</div> <div>Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2</div> <div>Technical specification</div>	
	<div>Certificato - Test report</div> <div>Verbale - Acceptance report</div> <div>Committente - Commissioner</div> <div>Località - Locality</div> <div>Cantiere - Site</div> <div>Sondaggio - Borehole</div> <div>Campione - Sample</div> <div>Profondità - Depth</div> <div>Data ricevimento - Receiving date</div> <div>Data inizio prove - Test starting date</div> <div>Data fine prove - Test ending date</div> <div>Data certificazione - Report date</div> <div>Data apertura campione - Sample opening date</div> <div>Classe campione - Sample quality</div>	<div>2639- 23.984- 004</div> <div>2639</div> <div>SOGEO SRL</div> <div>ANZOLA DELL'EMILIA (BO)</div> <div>VENTURI</div> <div>S3</div> <div>C2</div> <div>12.00- 12.50m</div> <div>01/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>09/06/2023</div> <div>12/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>Q4</div>
	<div>Massa tara (g) - Tara weight</div> <div>Massa campione umido + tara (g)</div> <div>Moist specimen + tara</div> <div>Massa campione secco + tara (g)</div> <div>Dried specimen + tara</div> <div>Volume fustella tarata (cm³)</div> <div>Sampling tube volume</div>	<div>70.66</div> <div>99.74</div> <div>94.05</div> <div>14.88</div>
	<div>Umidità naturale (%) - Water content</div> <div>Massa volumica umida (kg/m³) - Bulk density</div> <div>Massa volumica secca (kg/m³) - Dry density</div>	<div>24.33</div> <div>1953.78</div> <div>1571.49</div>
<div>Note - Remarks</div>		
<div>Direttore</div> <div>Manager</div>	<div>Sperimentatore</div> <div>Technician</div>	
<div>Via della Tecnica 17/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)</div> <div>Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378</div> <div>e-mail laboratorio.geotea@database.it</div> <div>Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici</div> <div>Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre</div>		
<div>IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B6 REV2</div>		



<div><div><div>GEOTEA s.r.l.</div><div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div></div>	<div>PESO SPECIFICO DEI GRANI</div> <div>PARTICLE DENSITY - PYCNOMETER METHOD</div> <div>Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-3</div> <div>Technical specification</div>	
	<div>Certificato - Test report</div> <div>Verbale - Acceptance report</div> <div>Committente - Commissioner</div> <div>Località - Locality</div> <div>Cantiere - Site</div> <div>Sondaggio - Borehole</div> <div>Campione - Sample</div> <div>Profondità - Depth</div> <div>Data ricevimento - Receiving date</div> <div>Data inizio prove - Test starting date</div> <div>Data fine prove - Test ending date</div> <div>Data certificazione - Report date</div> <div>Data apertura campione - Sample opening date</div> <div>Classe campione - Sample quality</div>	<div>2639- 23.984- 005</div> <div>2639</div> <div>SOGEO SRL</div> <div>ANZOLA DELL'EMILIA (BO)</div> <div>VENTURI</div> <div>S3</div> <div>C2</div> <div>12.00- 12.50m</div> <div>01/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>09/06/2023</div> <div>12/06/2023</div> <div>01/06/2023</div> <div>Q4</div>
	<div>Massa tara (g) - Tara weight</div> <div>Massa campione umido + tara (g)</div> <div>Moist specimen + tara</div> <div>Massa campione secco + tara (g)</div> <div>Dried specimen + tara</div> <div>Massa picnometro + campione (g) Pycnometer weight + dried specimen</div> <div>Massa picnometro + tappo + acqua (g)</div> <div>Pycnometer weight + plug + water</div> <div>Massa picn. + tappo + acqua + camp. (g)</div> <div>Pycnometer weight + plug + water + spec.</div> <div>Contentuto in acqua (%) - Water content</div> <div>Massa volumica umida kg/m³ - Bulk density</div> <div>Massa volumica secca (kg/m³)</div> <div>Dried bulk density</div> <div>Massa specifica dei grani (kg/m³)</div> <div>Particle density</div> <div>Indice dei vuoti - Void index</div> <div>Porosità (%) - Porosity</div> <div>Umidità di saturazione (%)</div> <div>Water saturation content</div> <div>Grado di saturazione (%) - Saturation degree</div>	<div>70.66</div> <div>99.74</div> <div>94.05</div> <div>128.06</div> <div>193.63</div> <div>234.40</div> <div>24.33</div> <div>1953.78</div> <div>1571.49</div> <div>2693.98</div> <div>0.71</div> <div>41.67</div> <div>26.51</div> <div>91.75</div>
	<div>Note - Remarks</div>	
<div>Direttore / Manager</div> <div></div>	<div>Sperimentatore / Technician</div> <div></div>	
<div>Via della Tecnica 5/A - 40068 San Lazzaro di Savena (BO)</div> <div>Tel. +39 051 6255377; fax +39 051 4998378</div> <div>e-mail laboratorio.geotea@database.it</div> <div>Autorizzazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici</div> <div>Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore Terre</div>		
<div>IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B25 REV2</div>		



# GEOTECA s.r.l.

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

## TAGLIO DIRETTO

### DIRECT SHEAR TEST

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

### Technical specification

Certificato - *Test report*

Verbale - *Acceptance report*

Committente - *Commissioner*

Località - *Locality*

Cantiere - *Site*

Sondaggio - *Borehole*

Campione - *Sample*

Profondità - *Depth*

Data ricevimento - *Receiving date*

Data inizio prove - *Test starting date*

Data fine prove - *Test ending date*

Data certificazione - *Report date*

Data apertura campione - *Sample opening date*

Classe del campione - *Sample quality*

2639- 23.984- 006

2639

SOGEO SRL

ANZOLA DELL'EMILIA (BO)

VENTURI

**S3**

**C2**

**12.00- 12.50m**

01/06/2023

01/06/2023

09/06/2023

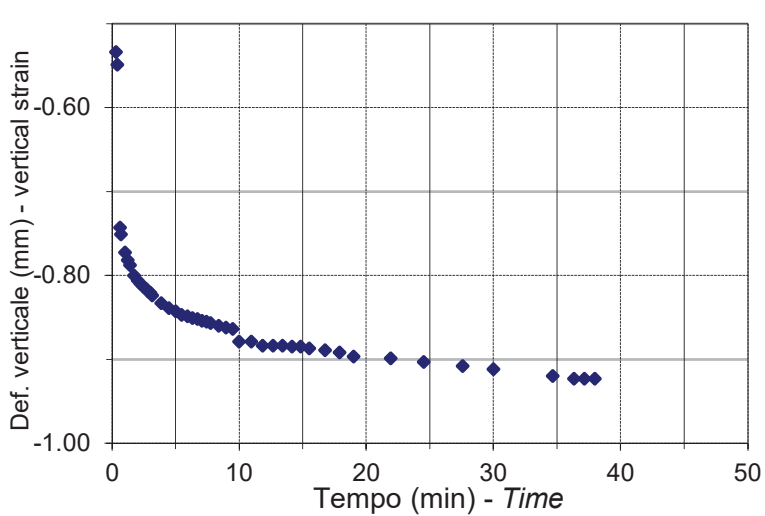
12/06/2023

01/06/2023

Q4

Umidità iniziale - <i>Initial water content</i>	%	24.33		
Densità naturale iniziale - <i>Initial wet density</i>	kg/m <sup>3</sup>	1953.78		
Densità secca iniziale - <i>Initial dry density</i>	kg/m <sup>3</sup>	1571.49		
Provino - <i>Specimen id</i>	n°	1	2	3
Lato - <i>Specimen side</i>	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale - <i>Initial specimen height</i>	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata - <i>Strain rate</i>	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. di consolidazione <i>Consolidation pressure</i>	kPa	196.1	294.2	392.3
Umidità finale - <i>Final water content</i>	%	23.00	22.56	22.42

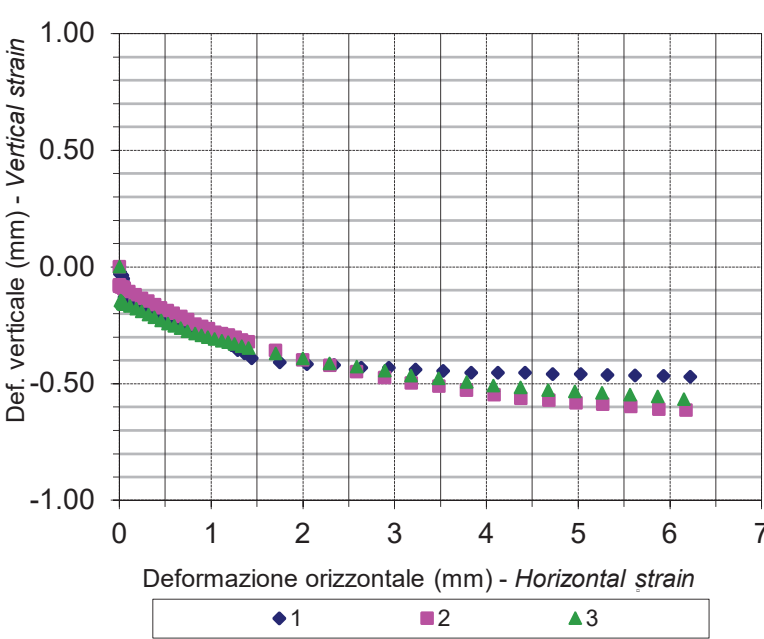
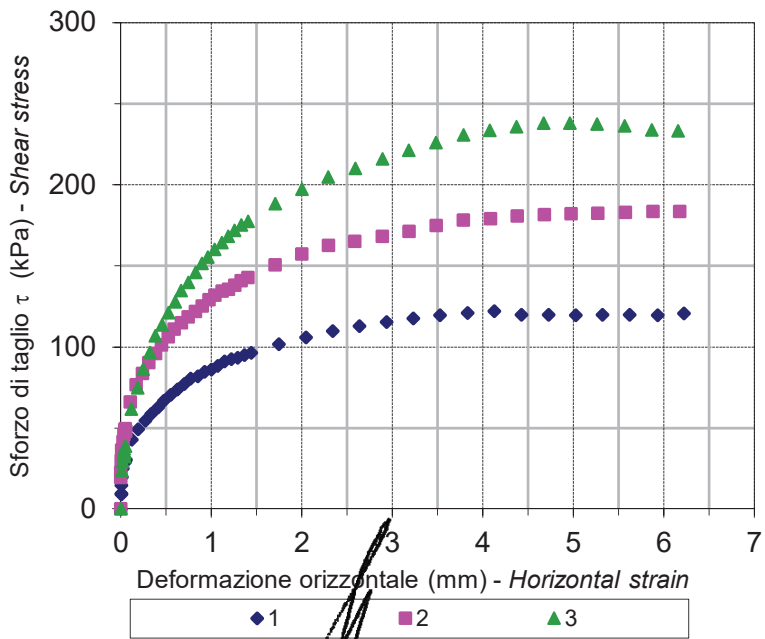
### Fase di consolidazione - *Consolidation test*



### Note - *Remarks*

Limo sabbioso argilloso. Colore grigio.

Pocket Penetrometer	0.7- 0.7	kg/cm <sup>2</sup>
Tor Vane	0.4- 0.4	kg/cm <sup>2</sup>





Direttore *Manager*

Sperimentatore *Technician*

Grado di incertezza delle misure degli strumenti di forza:  $\pm 0,15\%$

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

<div><div><div>GEOTEAs.r.l.</div><div>AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 CERTIFICATO DA CERTIQUALITY</div></div></div>	TAGLIO DIRETTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	DIRECT SHEAR TEST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Technical specification																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Certificato - Test report Verbale - Acceptance report	2639- 23.984- 006 2639																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
<div>Consolidation test (0-100 kPa)</div> <table><thead><tr><th>time (s)</th><th>def. ↓ (mm)</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>0.00</td></tr><tr><td>6</td><td>-0.53</td></tr><tr><td>10</td><td>-0.55</td></tr><tr><td>24</td><td>-0.74</td></tr><tr><td>30</td><td>-0.75</td></tr><tr><td>60</td><td>-0.77</td></tr><tr><td>90</td><td>-0.78</td></tr><tr><td>120</td><td>-0.79</td></tr><tr><td>180</td><td>-0.80</td></tr><tr><td>240</td><td>-0.81</td></tr><tr><td>300</td><td>-0.81</td></tr><tr><td>360</td><td>-0.81</td></tr><tr><td>420</td><td>-0.82</td></tr><tr><td>480</td><td>-0.82</td></tr><tr><td>540</td><td>-0.82</td></tr><tr><td>600</td><td>-0.82</td></tr><tr><td>900</td><td>-0.83</td></tr><tr><td>1200</td><td>-0.84</td></tr><tr><td>1500</td><td>-0.84</td></tr><tr><td>1800</td><td>-0.85</td></tr><tr><td>2100</td><td>-0.85</td></tr><tr><td>2400</td><td>-0.85</td></tr><tr><td>2700</td><td>-0.85</td></tr><tr><td>3000</td><td>-0.85</td></tr><tr><td>3300</td><td>-0.86</td></tr><tr><td>3600</td><td>-0.86</td></tr><tr><td>4200</td><td>-0.86</td></tr><tr><td>4800</td><td>-0.86</td></tr><tr><td>5400</td><td>-0.86</td></tr><tr><td>6000</td><td>-0.88</td></tr><tr><td>7200</td><td>-0.88</td></tr><tr><td>8400</td><td>-0.88</td></tr><tr><td>9600</td><td>-0.88</td></tr><tr><td>10800</td><td>-0.88</td></tr><tr><td>12000</td><td>-0.89</td></tr><tr><td>13200</td><td>-0.89</td></tr><tr><td>14400</td><td>-0.89</td></tr><tr><td>16800</td><td>-0.89</td></tr><tr><td>19200</td><td>-0.89</td></tr><tr><td>21600</td><td>-0.90</td></tr><tr><td>28800</td><td>-0.90</td></tr><tr><td>36000</td><td>-0.90</td></tr><tr><td>45600</td><td>-0.91</td></tr><tr><td>54000</td><td>-0.91</td></tr><tr><td>72000</td><td>-0.92</td></tr><tr><td>79200</td><td>-0.92</td></tr><tr><td>82800</td><td>-0.92</td></tr><tr><td>86400</td><td>-0.92</td></tr></tbody></table>	time (s)	def. ↓ (mm)	1	0.00	6	-0.53	10	-0.55	24	-0.74	30	-0.75	60	-0.77	90	-0.78	120	-0.79	180	-0.80	240	-0.81	300	-0.81	360	-0.81	420	-0.82	480	-0.82	540	-0.82	600	-0.82	900	-0.83	1200	-0.84	1500	-0.84	1800	-0.85	2100	-0.85	2400	-0.85	2700	-0.85	3000	-0.85	3300	-0.86	3600	-0.86	4200	-0.86	4800	-0.86	5400	-0.86	6000	-0.88	7200	-0.88	8400	-0.88	9600	-0.88	10800	-0.88	12000	-0.89	13200	-0.89	14400	-0.89	16800	-0.89	19200	-0.89	21600	-0.90	28800	-0.90	36000	-0.90	45600	-0.91	54000	-0.91	72000	-0.92	79200	-0.92	82800	-0.92	86400	-0.92	<div>Provino 1 - Specimen 1</div> <table><thead><tr><th>def. → (mm)</th><th>def. ↓ (mm)</th><th>shear stress (kPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.00</td><td>0.02</td><td>8.99</td></tr><tr><td>0.00</td><td>0.02</td><td>9.52</td></tr><tr><td>0.01</td><td>0.03</td><td>14.55</td></tr><tr><td>0.01</td><td>0.03</td><td>19.58</td></tr><tr><td>0.02</td><td>0.03</td><td>24.87</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.04</td><td>28.31</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.05</td><td>30.95</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.06</td><td>28.84</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.08</td><td>30.42</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.10</td><td>29.63</td></tr><tr><td>0.06</td><td>0.13</td><td>30.42</td></tr><tr><td>0.12</td><td>0.15</td><td>42.59</td></tr><tr><td>0.19</td><td>0.16</td><td>49.21</td></tr><tr><td>0.27</td><td>0.18</td><td>54.50</td></tr><tr><td>0.33</td><td>0.20</td><td>58.73</td></tr><tr><td>0.41</td><td>0.22</td><td>62.43</td></tr><tr><td>0.47</td><td>0.23</td><td>66.67</td></tr><tr><td>0.55</td><td>0.24</td><td>70.37</td></tr><tr><td>0.62</td><td>0.25</td><td>73.81</td></tr><tr><td>0.70</td><td>0.26</td><td>76.98</td></tr><tr><td>0.77</td><td>0.27</td><td>80.42</td></tr><tr><td>0.85</td><td>0.28</td><td>81.75</td></tr><tr><td>0.93</td><td>0.29</td><td>84.66</td></tr><tr><td>1.00</td><td>0.29</td><td>85.98</td></tr><tr><td>1.07</td><td>0.30</td><td>88.36</td></tr><tr><td>1.15</td><td>0.31</td><td>91.01</td></tr><tr><td>1.22</td><td>0.34</td><td>92.33</td></tr><tr><td>1.29</td><td>0.36</td><td>93.39</td></tr><tr><td>1.36</td><td>0.37</td><td>94.97</td></tr><tr><td>1.44</td><td>0.39</td><td>96.30</td></tr><tr><td>1.75</td><td>0.41</td><td>101.59</td></tr><tr><td>2.05</td><td>0.42</td><td>105.82</td></tr><tr><td>2.34</td><td>0.42</td><td>109.79</td></tr><tr><td>2.64</td><td>0.43</td><td>112.70</td></tr><tr><td>2.93</td><td>0.43</td><td>115.34</td></tr><tr><td>3.23</td><td>0.44</td><td>117.46</td></tr><tr><td>3.53</td><td>0.45</td><td>119.58</td></tr><tr><td>3.83</td><td>0.45</td><td>120.90</td></tr><tr><td>4.13</td><td>0.45</td><td>121.96</td></tr><tr><td>4.42</td><td>0.45</td><td>119.84</td></tr><tr><td>4.72</td><td>0.46</td><td>119.84</td></tr><tr><td>5.03</td><td>0.46</td><td>119.58</td></tr><tr><td>5.32</td><td>0.46</td><td>119.84</td></tr><tr><td>5.62</td><td>0.46</td><td>119.84</td></tr><tr><td>5.93</td><td>0.47</td><td>119.58</td></tr><tr><td>6.22</td><td>0.47</td><td>120.63</td></tr></tbody></table>	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	0.00	0.02	8.99	0.00	0.02	9.52	0.01	0.03	14.55	0.01	0.03	19.58	0.02	0.03	24.87	0.03	0.04	28.31	0.04	0.05	30.95	0.04	0.06	28.84	0.05	0.08	30.42	0.05	0.10	29.63	0.06	0.13	30.42	0.12	0.15	42.59	0.19	0.16	49.21	0.27	0.18	54.50	0.33	0.20	58.73	0.41	0.22	62.43	0.47	0.23	66.67	0.55	0.24	70.37	0.62	0.25	73.81	0.70	0.26	76.98	0.77	0.27	80.42	0.85	0.28	81.75	0.93	0.29	84.66	1.00	0.29	85.98	1.07	0.30	88.36	1.15	0.31	91.01	1.22	0.34	92.33	1.29	0.36	93.39	1.36	0.37	94.97	1.44	0.39	96.30	1.75	0.41	101.59	2.05	0.42	105.82	2.34	0.42	109.79	2.64	0.43	112.70	2.93	0.43	115.34	3.23	0.44	117.46	3.53	0.45	119.58	3.83	0.45	120.90	4.13	0.45	121.96	4.42	0.45	119.84	4.72	0.46	119.84	5.03	0.46	119.58	5.32	0.46	119.84	5.62	0.46	119.84	5.93	0.47	119.58	6.22	0.47	120.63	<div>Provino 2 - Specimen 2</div> <table><thead><tr><th>def. → (mm)</th><th>def. ↓ (mm)</th><th>shear stress (kPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.00</td><td>0.08</td><td>19.17</td></tr><tr><td>0.00</td><td>0.08</td><td>22.50</td></tr><tr><td>0.01</td><td>0.08</td><td>29.72</td></tr><tr><td>0.01</td><td>0.08</td><td>36.39</td></tr><tr><td>0.02</td><td>0.09</td><td>41.67</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.09</td><td>45.83</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.09</td><td>48.89</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.09</td><td>49.44</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.09</td><td>47.78</td></tr><tr><td>0.06</td><td>0.10</td><td>48.06</td></tr><tr><td>0.10</td><td>0.11</td><td>65.83</td></tr><tr><td>0.17</td><td>0.12</td><td>76.39</td></tr><tr><td>0.24</td><td>0.14</td><td>83.61</td></tr><tr><td>0.31</td><td>0.15</td><td>90.28</td></tr><tr><td>0.38</td><td>0.16</td><td>95.83</td></tr><tr><td>0.45</td><td>0.18</td><td>101.11</td></tr><tr><td>0.52</td><td>0.19</td><td>106.11</td></tr><tr><td>0.59</td><td>0.20</td><td>110.83</td></tr><tr><td>0.67</td><td>0.21</td><td>114.72</td></tr><tr><td>0.75</td><td>0.23</td><td>118.33</td></tr><tr><td>0.82</td><td>0.25</td><td>121.67</td></tr><tr><td>0.90</td><td>0.26</td><td>125.00</td></tr><tr><td>0.97</td><td>0.27</td><td>128.89</td></tr><tr><td>1.04</td><td>0.28</td><td>131.67</td></tr><tr><td>1.12</td><td>0.29</td><td>134.17</td></tr><tr><td>1.19</td><td>0.29</td><td>135.56</td></tr><tr><td>1.26</td><td>0.30</td><td>138.06</td></tr><tr><td>1.33</td><td>0.31</td><td>140.83</td></tr><tr><td>1.41</td><td>0.32</td><td>142.78</td></tr><tr><td>1.70</td><td>0.36</td><td>150.56</td></tr><tr><td>2.00</td><td>0.40</td><td>157.22</td></tr><tr><td>2.29</td><td>0.42</td><td>162.50</td></tr><tr><td>2.59</td><td>0.45</td><td>165.00</td></tr><tr><td>2.89</td><td>0.47</td><td>168.06</td></tr><tr><td>3.18</td><td>0.50</td><td>171.11</td></tr><tr><td>3.49</td><td>0.51</td><td>174.72</td></tr><tr><td>3.79</td><td>0.53</td><td>178.06</td></tr><tr><td>4.09</td><td>0.55</td><td>178.89</td></tr><tr><td>4.38</td><td>0.56</td><td>180.56</td></tr><tr><td>4.68</td><td>0.57</td><td>181.39</td></tr><tr><td>4.98</td><td>0.58</td><td>181.94</td></tr><tr><td>5.27</td><td>0.59</td><td>182.22</td></tr><tr><td>5.58</td><td>0.60</td><td>182.78</td></tr><tr><td>5.88</td><td>0.61</td><td>183.33</td></tr><tr><td>6.18</td><td>0.62</td><td>183.33</td></tr></tbody></table>	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	0.00	0.08	19.17	0.00	0.08	22.50	0.01	0.08	29.72	0.01	0.08	36.39	0.02	0.09	41.67	0.04	0.09	45.83	0.05	0.09	48.89	0.05	0.09	49.44	0.05	0.09	47.78	0.06	0.10	48.06	0.10	0.11	65.83	0.17	0.12	76.39	0.24	0.14	83.61	0.31	0.15	90.28	0.38	0.16	95.83	0.45	0.18	101.11	0.52	0.19	106.11	0.59	0.20	110.83	0.67	0.21	114.72	0.75	0.23	118.33	0.82	0.25	121.67	0.90	0.26	125.00	0.97	0.27	128.89	1.04	0.28	131.67	1.12	0.29	134.17	1.19	0.29	135.56	1.26	0.30	138.06	1.33	0.31	140.83	1.41	0.32	142.78	1.70	0.36	150.56	2.00	0.40	157.22	2.29	0.42	162.50	2.59	0.45	165.00	2.89	0.47	168.06	3.18	0.50	171.11	3.49	0.51	174.72	3.79	0.53	178.06	4.09	0.55	178.89	4.38	0.56	180.56	4.68	0.57	181.39	4.98	0.58	181.94	5.27	0.59	182.22	5.58	0.60	182.78	5.88	0.61	183.33	6.18	0.62	183.33	<div>Provino 3 - Specimen 3</div> <table><thead><tr><th>def. → (mm)</th><th>def. ↓ (mm)</th><th>shear stress (kPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.01</td><td>0.15</td><td>23.33</td></tr><tr><td>0.02</td><td>0.15</td><td>29.17</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.15</td><td>33.61</td></tr><tr><td>0.03</td><td>0.15</td><td>36.94</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.16</td><td>34.17</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.16</td><td>34.72</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.16</td><td>32.22</td></tr><tr><td>0.05</td><td>0.16</td><td>38.61</td></tr><tr><td>0.11</td><td>0.17</td><td>61.39</td></tr><tr><td>0.18</td><td>0.18</td><td>74.44</td></tr><tr><td>0.24</td><td>0.19</td><td>86.11</td></tr><tr><td>0.32</td><td>0.21</td><td>96.39</td></tr><tr><td>0.38</td><td>0.22</td><td>106.67</td></tr><tr><td>0.46</td><td>0.23</td><td>113.33</td></tr><tr><td>0.53</td><td>0.24</td><td>120.83</td></tr><tr><td>0.60</td><td>0.25</td><td>127.50</td></tr><tr><td>0.67</td><td>0.26</td><td>134.44</td></tr><tr><td>0.74</td><td>0.28</td><td>139.72</td></tr><tr><td>0.82</td><td>0.29</td><td>145.83</td></tr><tr><td>0.89</td><td>0.29</td><td>151.39</td></tr><tr><td>0.96</td><td>0.30</td><td>155.28</td></tr><tr><td>1.04</td><td>0.31</td><td>160.00</td></tr><tr><td>1.12</td><td>0.32</td><td>164.17</td></tr><tr><td>1.19</td><td>0.32</td><td>168.06</td></tr><tr><td>1.26</td><td>0.33</td><td>171.67</td></tr><tr><td>1.33</td><td>0.34</td><td>175.00</td></tr><tr><td>1.41</td><td>0.35</td><td>177.22</td></tr><tr><td>1.70</td><td>0.37</td><td>188.06</td></tr><tr><td>2.00</td><td>0.39</td><td>197.22</td></tr><tr><td>2.29</td><td>0.41</td><td>204.72</td></tr><tr><td>2.59</td><td>0.43</td><td>210.00</td></tr><tr><td>2.89</td><td>0.45</td><td>215.83</td></tr><tr><td>3.18</td><td>0.47</td><td>221.11</td></tr><tr><td>3.48</td><td>0.48</td><td>225.83</td></tr><tr><td>3.79</td><td>0.50</td><td>230.56</td></tr><tr><td>4.08</td><td>0.51</td><td>233.33</td></tr><tr><td>4.37</td><td>0.52</td><td>235.56</td></tr><tr><td>4.67</td><td>0.53</td><td>237.78</td></tr><tr><td>4.96</td><td>0.53</td><td>237.78</td></tr><tr><td>5.26</td><td>0.54</td><td>237.22</td></tr><tr><td>5.56</td><td>0.55</td><td>236.11</td></tr><tr><td>5.87</td><td>0.56</td><td>233.61</td></tr><tr><td>6.15</td><td>0.57</td><td>233.06</td></tr></tbody></table>	def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)	0.01	0.15	23.33	0.02	0.15	29.17	0.03	0.15	33.61	0.03	0.15	36.94	0.04	0.16	34.17	0.04	0.16	34.72	0.04	0.16	32.22	0.05	0.16	38.61	0.11	0.17	61.39	0.18	0.18	74.44	0.24	0.19	86.11	0.32	0.21	96.39	0.38	0.22	106.67	0.46	0.23	113.33	0.53	0.24	120.83	0.60	0.25	127.50	0.67	0.26	134.44	0.74	0.28	139.72	0.82	0.29	145.83	0.89	0.29	151.39	0.96	0.30	155.28	1.04	0.31	160.00	1.12	0.32	164.17	1.19	0.32	168.06	1.26	0.33	171.67	1.33	0.34	175.00	1.41	0.35	177.22	1.70	0.37	188.06	2.00	0.39	197.22	2.29	0.41	204.72	2.59	0.43	210.00	2.89	0.45	215.83	3.18	0.47	221.11	3.48	0.48	225.83	3.79	0.50	230.56	4.08	0.51	233.33	4.37	0.52	235.56	4.67	0.53	237.78	4.96	0.53	237.78	5.26	0.54	237.22	5.56	0.55	236.11	5.87	0.56	233.61	6.15	0.57	233.06
time (s)	def. ↓ (mm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
6	-0.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
10	-0.55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
24	-0.74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
30	-0.75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
60	-0.77																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
90	-0.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
120	-0.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
180	-0.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
240	-0.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
300	-0.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
360	-0.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
420	-0.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
480	-0.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
540	-0.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
600	-0.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
900	-0.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1200	-0.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1500	-0.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1800	-0.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2100	-0.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2400	-0.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2700	-0.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3000	-0.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3300	-0.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3600	-0.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4200	-0.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
4800	-0.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
5400	-0.86																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
6000	-0.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
7200	-0.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
8400	-0.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
9600	-0.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
10800	-0.88																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
12000	-0.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
13200	-0.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
14400	-0.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
16800	-0.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
19200	-0.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
21600	-0.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
28800	-0.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
36000	-0.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
45600	-0.91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
54000	-0.91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
72000	-0.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
79200	-0.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
82800	-0.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
86400	-0.92																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.00	0.02	8.99																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.00	0.02	9.52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.01	0.03	14.55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.01	0.03	19.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.02	0.03	24.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.03	0.04	28.31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.04	0.05	30.95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.04	0.06	28.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.05	0.08	30.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.05	0.10	29.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.06	0.13	30.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.12	0.15	42.59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.19	0.16	49.21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.27	0.18	54.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.33	0.20	58.73																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.41	0.22	62.43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.47	0.23	66.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.55	0.24	70.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.62	0.25	73.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.70	0.26	76.98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.77	0.27	80.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.85	0.28	81.75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.93	0.29	84.66																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.00	0.29	85.98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.07	0.30	88.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.15	0.31	91.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.22	0.34	92.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.29	0.36	93.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.36	0.37	94.97																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.44	0.39	96.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.75	0.41	101.59																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.05	0.42	105.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.34	0.42	109.79																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.64	0.43	112.70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.93	0.43	115.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.23	0.44	117.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.53	0.45	119.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.83	0.45	120.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.13	0.45	121.96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.42	0.45	119.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.72	0.46	119.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.03	0.46	119.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.32	0.46	119.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.62	0.46	119.84																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.93	0.47	119.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
6.22	0.47	120.63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.00	0.08	19.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.00	0.08	22.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.01	0.08	29.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.01	0.08	36.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.02	0.09	41.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.04	0.09	45.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.05	0.09	48.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.05	0.09	49.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.05	0.09	47.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.06	0.10	48.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.10	0.11	65.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.17	0.12	76.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.24	0.14	83.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.31	0.15	90.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.38	0.16	95.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.45	0.18	101.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.52	0.19	106.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.59	0.20	110.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.67	0.21	114.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.75	0.23	118.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.82	0.25	121.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.90	0.26	125.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.97	0.27	128.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.04	0.28	131.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.12	0.29	134.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.19	0.29	135.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.26	0.30	138.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.33	0.31	140.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.41	0.32	142.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.70	0.36	150.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.00	0.40	157.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.29	0.42	162.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.59	0.45	165.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.89	0.47	168.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.18	0.50	171.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.49	0.51	174.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.79	0.53	178.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.09	0.55	178.89																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.38	0.56	180.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.68	0.57	181.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.98	0.58	181.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.27	0.59	182.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.58	0.60	182.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.88	0.61	183.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
6.18	0.62	183.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
def. → (mm)	def. ↓ (mm)	shear stress (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.01	0.15	23.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.02	0.15	29.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.03	0.15	33.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.03	0.15	36.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.04	0.16	34.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.04	0.16	34.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.04	0.16	32.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.05	0.16	38.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.11	0.17	61.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.18	0.18	74.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.24	0.19	86.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.32	0.21	96.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.38	0.22	106.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.46	0.23	113.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.53	0.24	120.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.60	0.25	127.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.67	0.26	134.44																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.74	0.28	139.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.82	0.29	145.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.89	0.29	151.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0.96	0.30	155.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.04	0.31	160.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.12	0.32	164.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.19	0.32	168.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.26	0.33	171.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.33	0.34	175.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.41	0.35	177.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1.70	0.37	188.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.00	0.39	197.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.29	0.41	204.72																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.59	0.43	210.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
2.89	0.45	215.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.18	0.47	221.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.48	0.48	225.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
3.79	0.50	230.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.08	0.51	233.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.37	0.52	235.56																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.67	0.53	237.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4.96	0.53	237.78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.26	0.54	237.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.56	0.55	236.11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
5.87	0.56	233.61																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
6.15	0.57	233.06																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
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																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B31 REV2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

TAGLIO DIRETTO

Committente: SOGEO SRL  
Località: ANZOLA DELL'EMILIA (BO)  
Cantiere: VENTURI

Sondaggio: S3  
Campione: C1  
Profondità: 4.20- 4.70m

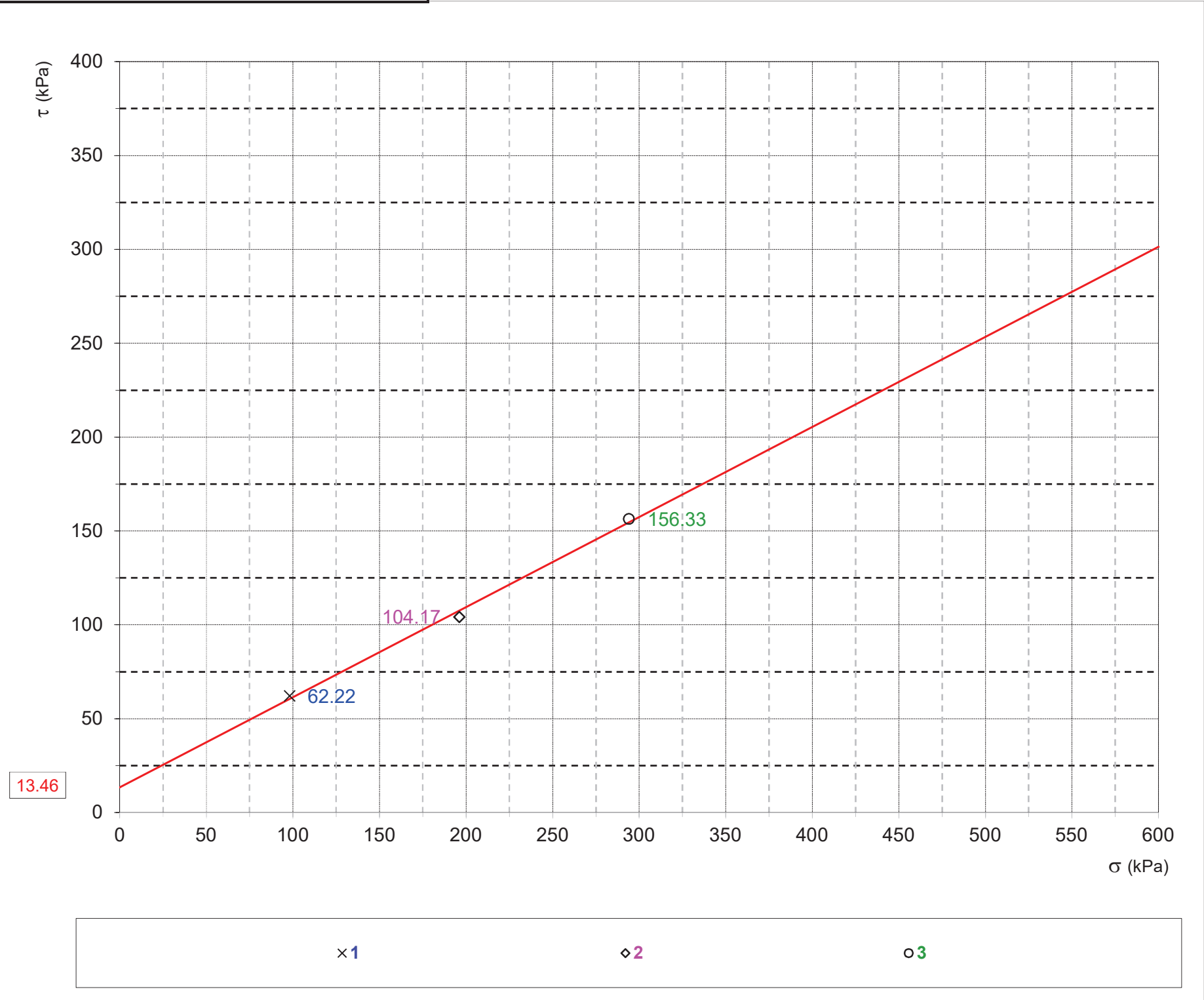
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Limo argilloso sabbioso. Colore marrone oliva.  
Consistente.

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	62.22	104.17	156.33
Intercetta C'	KPa	13.46		
$\phi'$	° sess	25.63		

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: SOGEO SRL  
Località: ANZOLA DELL'EMILIA (BO)  
Cantiere: VENTURI

Sondaggio: S3  
Campione: C2  
Profondità: 12.00- 12.50m

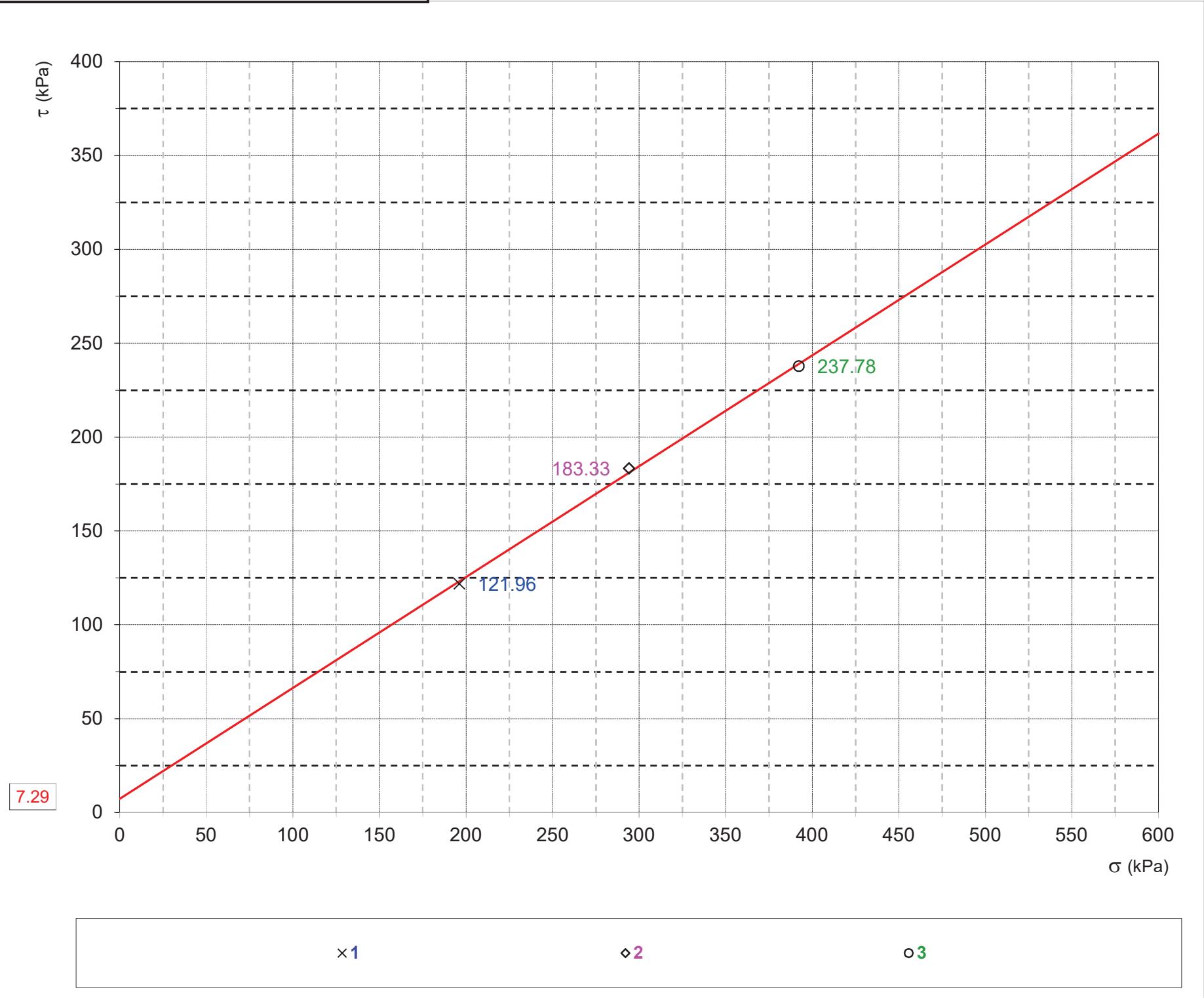
REGRESSIONE LINEARE DEI TRE VALORI DI SFORZO MASSIMO

Lato provino	60.00	mm
Altezza iniziale	20.00	mm

Limo sabbioso argilloso. Colore grigio.

Valori dei provini a rottura				
Provino	n°	1	2	3
Sforzo a rottura	kPa	121.96	183.33	237.78
Intercetta C'	KPa	7.29		
$\phi'$	° sess	30.56		

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.