

# Comune di Granarolo dell'Emilia

## Città Metropolitana di Bologna

Progetto per realizzazione di un Centro di  
trattamento rifiuti edili  
in Via San Donato 152/F



### Relazione geologica

#### *Caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni*

Consulente tecnico:  
Dott. Geol Beniamino Costantini

Committente:  
Franchini Antonio & Figli srl

Marzo 2024

*Indice*

<i>1 - Normativa di riferimento.....</i>	<i>2</i>
<i>2 - Premessa .....</i>	<i>3</i>
<i>3 – Condizioni geologiche e morfologiche.....</i>	<i>4</i>
<i>4 - Analisi delle cartografie tematiche (PTM) .....</i>	<i>5</i>
<i>5. Acque superficiali e sotterranee.....</i>	<i>6</i>
<i>5.1 Idrologia superficiale .....</i>	<i>6</i>
<i>5.2 Idrogeologia del sottosuolo .....</i>	<i>6</i>
<i>6 – Caratteri del primo sottosuolo .....</i>	<i>7</i>
<i>6. 1 – Successione stratigrafica.....</i>	<i>8</i>
<i>7 - Modellazione geotecnica.....</i>	<i>8</i>
<i>8. Risposta sismica locale .....</i>	<i>9</i>
<i>8.1 Sismicità storica .....</i>	<i>9</i>
<i>8.2 – Caratterizzazione sismica del sito e categoria del suolo di fondazione .....</i>	<i>10</i>
<i>8.3 - Condizioni topografiche.....</i>	<i>10</i>
<i>8.4 - Pericolosità sismica .....</i>	<i>10</i>
<i>9 -Liquefazione dei terreni.....</i>	<i>11</i>
<i>10 – Fattibilità dell'intervento .....</i>	<i>12</i>

*In allegato:*

*Report misure microtremori ambientali*

*Riscontri penetrometrici*

*Prove di laboratorio*

## **1 - Normativa di riferimento**

**Decreto Ministeriale 17.01.2018 - Testo Unitario** - Norme Tecniche per le Costruzioni

**Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici** - Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. - Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

**Eurocodice 8 (1998)** - Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

**Eurocodice 7.1 (1997)** - Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

**Eurocodice 7.2 (2002)** - Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

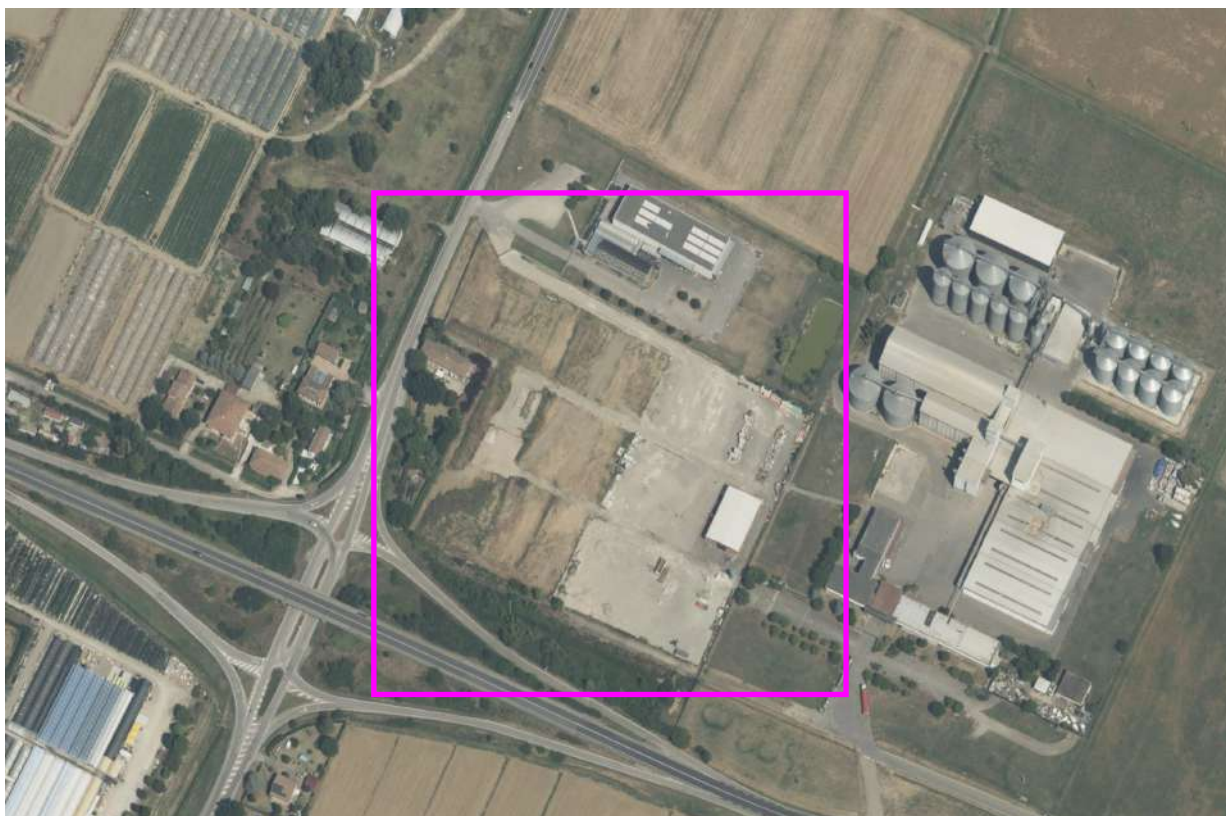
**Eurocodice 7.3 (2002)** - Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

**PSC Comune di Granarolo dell'Emilia** – Tavole e relazione

**PTM Città Metropolitana di Bologna** – Tavole e relazione

## 2 - Premessa

Vengono di seguito esposte le risultanze di uno studio geologico-geotecnico e sismico atto a caratterizzare i terreni di sedime degli interventi contenuti all'interno del progetto per la realizzazione di un Centro di trattamento rifiuti edili in Via San Donato 152/F nel territorio comunale di Granarolo dell'Emilia (**Fig. 1**).



Alla caratterizzazione del primo sottosuolo, sotto i profili stratigrafico, idrologico e geomeccanico si è risolti eseguendo 1 prova penetrometrica statica, l'installazione di 5 piezometri e consultando i riscontri penetrometrici e le stratigrafie di sondaggi della banca dati RER.

Per la caratterizzazione sismica del sito è stata effettuata un'indagine geofisica, mediante tecnica dei microtremori (Re.Mi.): la consultazione del sito della Ditta Geostru Software ha permesso l'individuazione dei vari coefficienti e parametri sismici adottando il metodo semplificato.

Nel corso dell'indagine si è proceduto al prelievo di 2 campioni indisturbati riferibile al terreno del litotipo più superficiali da inviare in laboratorio per la determinazione della permeabilità a carico variabile in cella edometrica

Le condizioni morfologiche e la litologia di superficie sono state definite a seguito sopralluoghi.

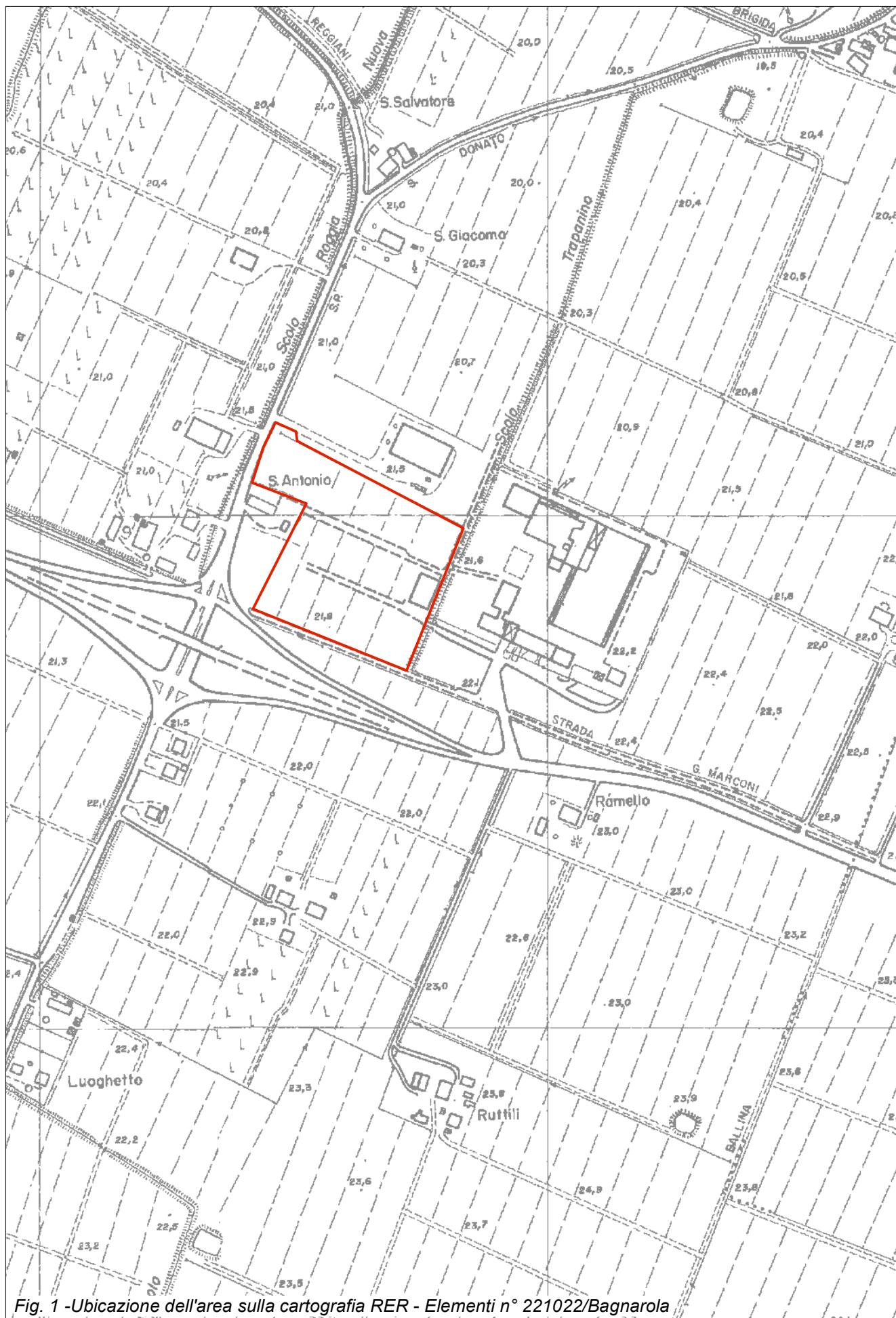


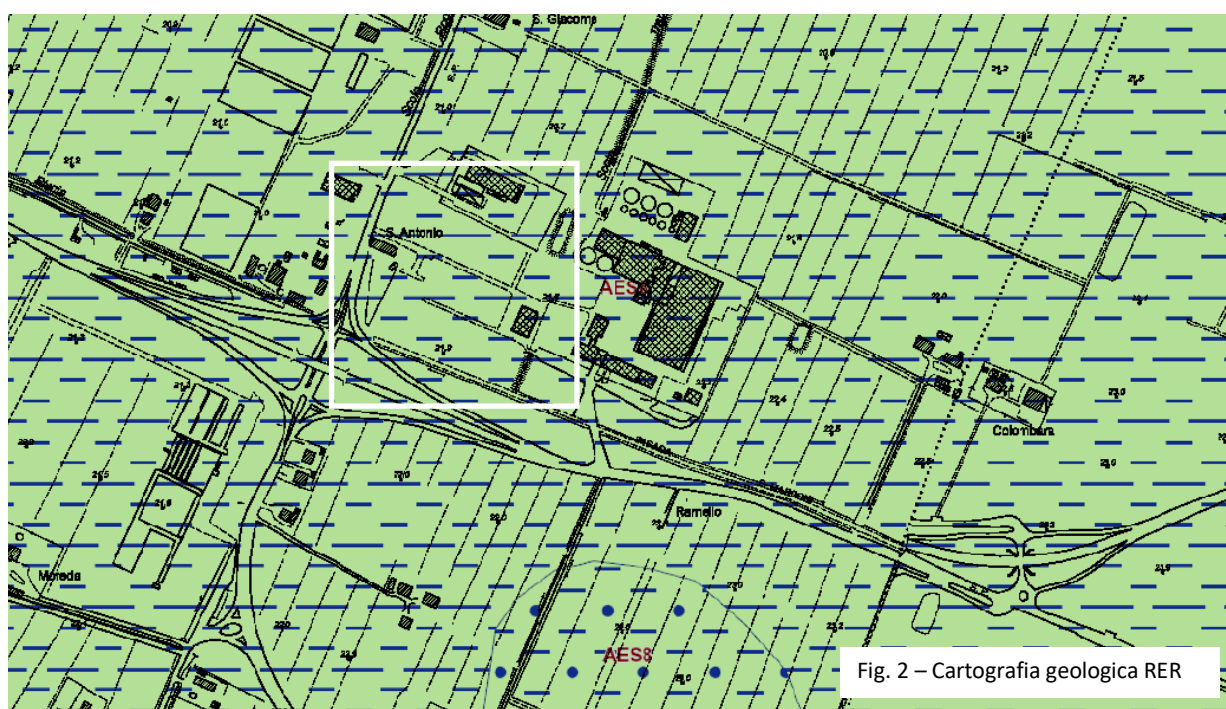
Fig. 1 -Ubicazione dell'area sulla cartografia RER - Elementi n° 221022/Bagnarola

### 3 – Condizioni geologiche e morfologiche

L'area in esame si colloca nel dominio della media pianura bolognese ove sono presenti materiali alluvionali, di deposizione fluviale, riconducibili a depositi di piana alluvionale del Fiume Reno.

Da un punto di vista litologico siamo in presenza di limi, argille, sabbie, e ghiaie con tutti questi termini tra loro combinati secondo rapporti diversi da punto a punto. Non si deve dimenticare infatti che una caratteristica specifica di questi depositi è quella di presentare sostanziali variazioni strutturali e tessiturali in virtù dei processi che hanno regolato la loro messa in posto.

Più precisamente trova spazio nel deposito alluvionale del Subsistema di Ravenna (AES8) (**Fig. 2**) costituito in questo caso da limo argilloso di piana alluvionale.

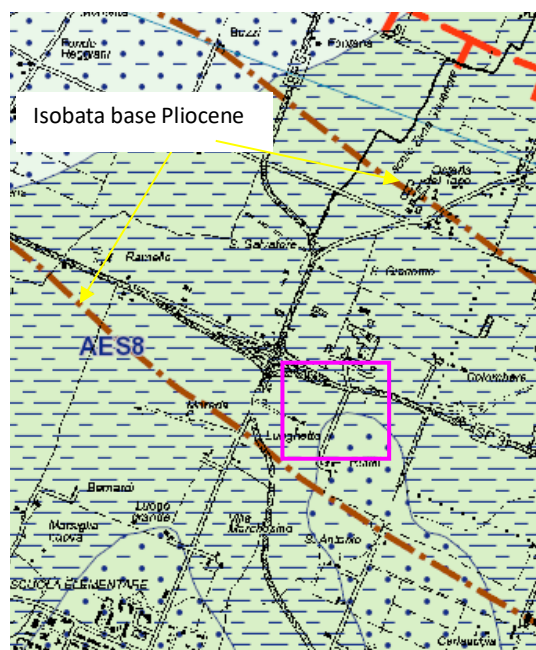


Le acque superficiali raccolte dalle superfici impermeabilizzate convergono nella fitta rete di canali di scolo presenti nell'area ed in parte vengono assorbite dal terreno naturale.

Sotto il profilo geologico-strutturale va segnalato che l'area fa parte del cosiddetto Appennino sepolto caratterizzato da una serie di faglie e sovrascorrimenti profondi a valenza regionale.

Come si evince dallo stralcio di cartografia RER (vedi Figura a lato) l'area è ubicata tra una serie di sovrascorrimenti profondi post-tortoniani e faglie profonde dirette con isobata della base del Pliocene posta tra -5.000 e -4.500 m.

L'esame morfologico effettuato in un contesto di area utilizzata prevalentemente a scopi agronomici, al di fuori di centri abitati, riferisce di un piazzale utilizzato a ricovero mezzi e deposito materiale edile di proprietà con piano campagna ad andamento pianeggiante (quota ≈ 20,5 m slm):



#### 4 - Analisi delle cartografie tematiche (PTM)

##### Piano Territoriale Metropolitano (PTM)

La **Tavola 2 – “Carta degli ecosistemi”** (vedi stralcio a lato) riporta il lotto inserito all'interno di aree agricole della pianura alluvionale (art. 16-18) in una zona di tutela della struttura centuriata (art. 18-47).



La **Tavola 3 – “Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti”** (vedi stralcio a lato) riporta la zona inserita all'interno di un ambito di controllo degli apporti d'acqua in pianura (retinato rosso) e di scenari P1, P2 e P3 derivati dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo Secondario di pianura-RP+RSP (art. 30) come riportati nel PRGA (Piano di Gestione Rischio Alluvioni).



La tavola 4 “**Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali**” (vedi stralcio a lato) mostra che il lotto oggetto dell’intervento si trova all’interno di una area C –*Sedimenti prevalentemente fini di pianura. L’isobata da p.c. del bedrock sismico è posizionato a – 160 m.*

## 5. Acque superficiali e sotterranee

### 5.1 Idrologia superficiale

Il comparto in esame è idraulicamente connesso con il bacino imbrifero del “Fiume Reno” *normato dall Art.20 del PSAI.* (vedi **Figura 3 a lato**).

Le acque superficiali raccolte dalle superfici impermeabilizzate convergono nella fitta rete di canali di scolo, a gestione consortile (Bonifica Renana) presenti nell’area ed in parte vengono assorbite dal terreno naturale. Proprio a confine dell’area (Lato Est) scorre confinato in uno scatolare, lo scolo Trapanino con piano di scorrimento delle acque posto circa a -2 m dal pdc attuale.

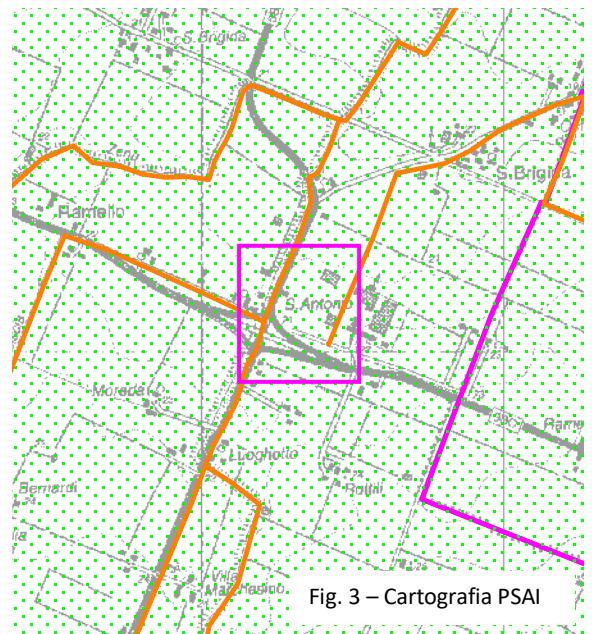


Fig. 3 – Cartografia PSAI

### 5.2 Idrogeologia del sottosuolo

I dati idrogeologici noti per questo territorio indicano la presenza di più falde acquifere superficiali, separate da terreni a bassa permeabilità, lateralmente interconnesse a formare un unico acquifero multifalda. In quest’area le acque sotterranee più superficiali sono insediate all’interno di un insieme di acquiferi variamente comunicanti costituiti, in gran parte, da limi sabbiosi organizzati in lenti a blanda continuità laterale: in fase di posizionamento dei piezometri, installati per il controllo della qualità delle acque, si è osservato che questi lenti di tipo granulare, in cui si articola una falda di tipo saliente, sono a profondità variabili ma sempre superiori a -2 m dal pdc: le misure effettuate nei fori riportano la presenza di una falda con pelo libero posto ad una profondità media di -1 m dal pdc. Ciò lascia presupporre una falda leggermente in pressione alimentata principalmente dalle dispersioni sdi dubalveo dei canali limitrofi

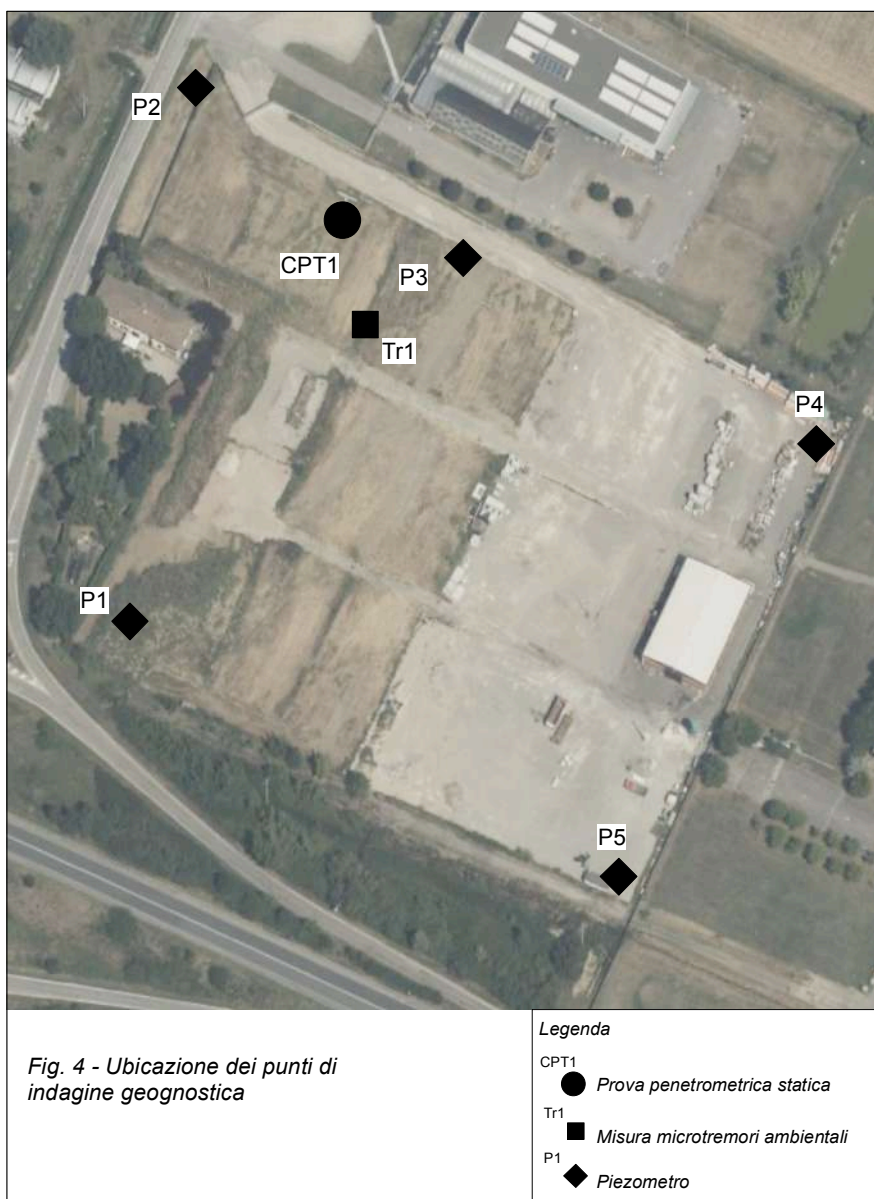
e dalle precipitazioni efficaci che avvengono a monte dell'areale in esame: dalla consultazione delle Tavole contenute nel Quadro conoscitivo del PSC si può ipotizzare una direzione del flusso di falda con direzione SSO-NNE.

## 6 – Caratteri del primo sottosuolo

Come da premessa tali caratteri sono stati desunti tramite 1 penetrometria statica effettuata dalla Ditta Saverio Tabanelli di Faenza (RA), ubicata in corrispondenza dell'area di futura pesa, dall'osservazione dei saggi per il posizionamento dei piezometri e dal prelievo di 2 campioni di terreno da inviare in laboratorio per la determinazione della permeabilità a carico variabile in cella edometrica. (fig. 4).

Per eseguire la prova penetrometrica è stato impiegato un penetrometro statico Pagani tipo GOUDA da 20 t munito di punta a 3 stadi del Begemann. I grafici penetrometrici allegati in calce riportano in forma diagrammatica le variazioni con la profondità della resistenza di punta  $R_p$  e dell'attrito laterale  $R_l$ , espresse in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , unitamente ad una classificazione su basi litologiche dei terreni attraversati ricavata sulla scorta delle indicazioni enunciate da Begemann e da Schmertmann.

La prova è stata spinta fino ad una profondità max di  $-10$  m rispetto al p.d.c attuale mentre i piezometri hanno raggiunto una profondità massima di  $-3$  m dal pdc. I campioni di terreno prelevati durante l'installazione dei piezometri sono stati prelevati nell'intervallo compreso tra  $0,4 \div 0,8$  m dal pdc.



## 6. 1 – Successione stratigrafica

Nel primo sottosuolo investigato sono presenti terreni alluvionali fini sottoforma di limi argillosi e argille limose a vario grado di consistenza: la presenza della sabbia è soprattutto in forma diffusa ma anche organizzata in soottili lenti a blanda continuità laterale

In base ai riscontri penetrometrici viene schematizzata la seguente stratigrafia di riferimento:

Unità Litostratigrafica	Profondità	Litologia	Rp (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>A</b>	Da 1 a 3,4m	Argille limose a scarso tenore in sabbia	12÷23
<b>B</b>	Da 3,4 a 3,8 m	Limi sabbiosi e/o sabbie limose	26÷53
<b>C</b>	Da 3,8 a 6,4 m	Limi argillosi e/o argille limose a discreta consistenza a scarso contenuto in sabbia	11÷27
<b>D</b>	Da 6,4 a 10 m	Limi argillosi e/o argille limose consistenti a vario contenuto in sabbia sia in forma diffusa che sottoforma di livelli dm	19÷48

## 7 - Modellazione geotecnica

Sulla scorta delle indagini svolte e delle informazioni acquisite nonché delle correlazioni disponibili in letteratura si riportano i valori caratteristici dei principali parametri geotecnici attribuiti ai litotipi individuati.

Unità litostratigrafica	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$Cu_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$C'_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'_k$ (°)	$Mo$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$Eu \div E'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	1,8	0,5	0,05	21	50	100
B	1,85		-	32	120	98
C	1,85	0,6	0,06	24	60	330
D	1,85	0,8	0,08	21	75	550

Sono stati prelevati 2 campioni tramite campionatore Shelby in corrispondenza dei piezometri P2 e P5 ad una profondità compresa tra 0,4 e 0,80 m dal pdc attuale (litotipo A): i. campioni sono stati portati presso il laboratorio geotecnico Geotea srl di San Lazzaro di Savenail per la determinazione della permeabilità a carico variabile in cella edometrica.

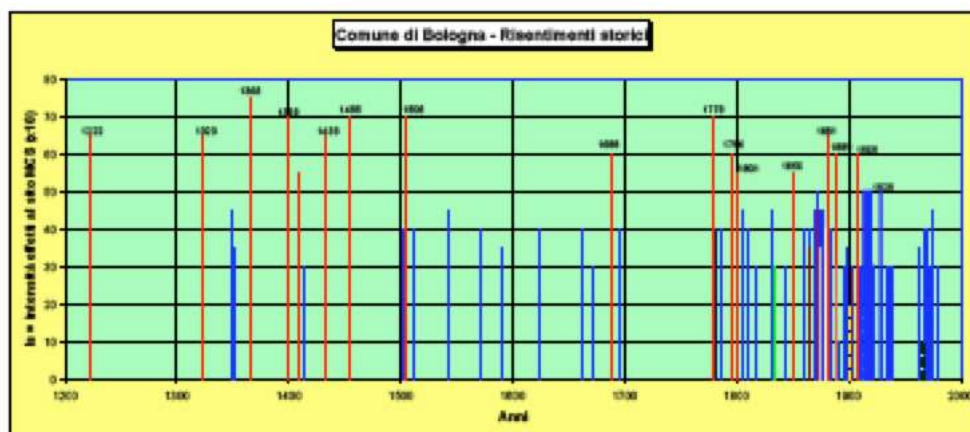
Come si evince dai risultati riportati nel report allegato, si sono ottenuti valori compresi tra 5.33E-06 e 8.37E-07 cm/sec: si tratta di valori che indicano gradi di permeabilità da molto basso a praticamente impermeabile che offrono un ottimo ostacolo per la trasmissione di sostanze inquinanti in profondità. La presenza di questo livello superficiale (spessore minimo 1,5), a basso grado di permeabilità e di trasmissività, rende alquanto remota ed improbabile la possibilità che una pluma di inquinante derivante

da attività che si svolgono in superficie possano provocare un deterioramento delle proprietà intrinseche della falda presente.

## 8. Risposta sismica locale

### 8.1 Sismicità storica

In base alla riclassificazione sismica della Regione Emilia Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 Aprile 2006, n° 3519, il Comune di Granarolo dell'Emilia rientra in Zona 3. A tale zona risulta assegnato un



valore di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a  $a_g$  del capoluogo ( $T_r = 475$  anni) = 0,170.

Tra gli episodi più significativi avvenuti nel territorio comunale di Bologna occorre ricordare quelli avvenuti tra il dicembre 1504 ed il gennaio 1505 con una serie di scosse che hanno raggiunto un'intensità massima riconducibile al VII grado MCS, si tratta di un fenomeno interessante in quanto la zona di origine risulta essere proprio l'area pedeappenninica bolognese. Analoga localizzazione e massima intensità caratterizzarono i terremoti bolognesi registrati tra il giugno 1779 e il settembre 1780.

Nel maggio 2012 la Pianura Padana è stata interessata da una sequenza sismica che ha coinvolto una vasta porzione di territorio tra le Province di Reggio Emilia, Modena, Mantova, Bologna e Ferrara riattivando sorgenti sismogeniche comprese nelle zone complesse ITCS051 e ITCS050. La prima forte scossa, di magnitudo locale  $M_L = 5.9$ , è avvenuta il 20 maggio ed ha avuto epicentro tra Mirandola e Finale Emilia, seguita da altre forti scosse, di cui ben sette risultate di  $M_L > 5.0$ ; in particolare il forte sisma del 29 maggio ( $M_L = 5.8$ ) con epicentro tra Mirandola e Medolla e prossima alla sorgente ITIS107 "Mirandola". Il territorio di Granarolo dell'Emilia non ha subito effetti sismici significativi a seguito di tali eventi sismici.

L'area studiata ricade nell'ampia zona 912 che rappresenta la fascia più esterna dell'arco appenninico settentrionale: in quest'ultima la sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14

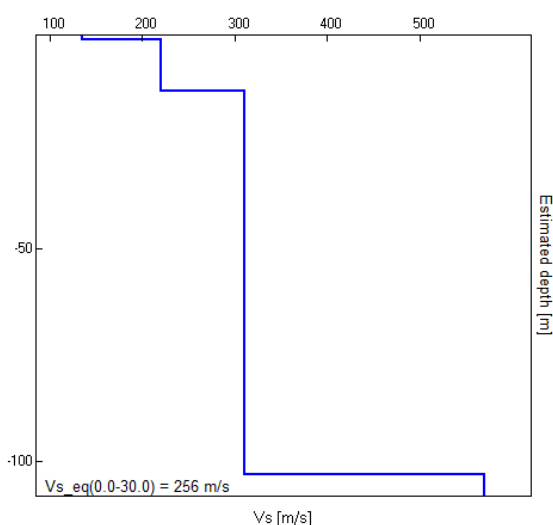
marginale appenninico sepolto più avanzato che giunge fino all'attuale Po. Il territorio comunale di Granarolo dell'Emilia non risulta interessato storicamente da epicentri sismici di intensità significativa e si può considerare la pericolosità sismica generale "media".

La magnitudo momento (MW) da applicare alle verifiche alla liquefazione è pertanto 6,14.

## 8.2 – Caratterizzazione sismica del sito e categoria del suolo di fondazione

Per la determinazione della categoria del suolo di fondazione si fa riferimento ad un'analisi sismica condotta mediante un tromografo digitale portatile (TROMINO), progettato specificamente per la registrazione del rumore sismico ambientale, effettuata dal sottoscritto (vedi Fig. 4).

Alla luce della situazione litostratigrafica dell'area e dei dati sismici acquisiti è possibile associare i picchi della curva H/V a discontinuità di cui è nota la profondità, ottenendo una stima delle velocità delle onde di taglio e quindi il parametro Vs30 richiesto dalle norme che è risultato di 256 m/s. Per cui la categoria di suolo di fondazione è la C: *Depositi di terreni a*



*grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s come definita nella Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo delle NTC 2018.*

## 8.3 - Condizioni topografiche

Per quanto riguarda gli effetti topografici, consultando la tabella 3.2.III delle NTC, all'area di progetto va attribuita la categoria T1.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

## 8.4 - Pericolosità sismica

I parametri di pericolosità sismica di seguito riportati sono stati ricavati sul sito : *Geostru software* - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

**Tipo di elaborazione:** Fondazioni

**Sito in esame:** latitudine: 44,569018      longitudine: 11,460173

**Classe:** 2      **Vita nominale:** 50

**Siti di riferimento**

Sito 1	ID: 16510	Lat: 44,5675	Lon: 11,4559	Distanza: 379,546
Sito 2	ID: 16511	Lat: 44,5686	Lon: 11,5260	Distanza: 5215,532
Sito 3	ID: 16289	Lat: 44,6186	Lon: 11,5244	Distanza: 7501,491
Sito 4	ID: 16288	Lat: 44,6174	Lon: 11,4542	Distanza: 5404,944

**Parametri sismici**

**Categoria sottosuolo:** C      **Categoria topografica:** T1

**Periodo di riferimento:** 50 anni      **Coefficiente cu:** 1

	Probabilità di superamento	Tr:	ag:	Fo:	Tc*:
<b>Operatività SLO:</b>	81%	30 [anni]	0,051g	2,470	0,259 [s]
<b>Danno SLD:</b>	63%	50 [anni]	0,063 g	2,490	0,273 [s]
<b>Salvaguardia della vita SLV</b>	10%	475 [anni]	0,170 g	2,457	0,287 [s]
<b>Prevenzione al collasso SLC</b>	5%	975 [anni]	0,221 g	2,457	0,289 [s]

Dove

Tr: tempi di ritorno      ag: accelerazione orizzontale massima di sito

Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

Tc\*: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

**Coefficienti Sismici**

	Ss:	Cc:	St:	Kh:	Kv:	Amax (m/s²):	Beta:
<b>SLO:</b>	1,500	1,640	1,000	0,015	0,008	0,749	0,200
<b>SLD:</b>	1,500	1,610	1,000	0,019	0,009	0,928	0,200
<b>SLV</b>	1,450	1,580	1,000	0,059	0,030	2,412	0,240
<b>SLC</b>	1,380	1,580	1,000	0,085	0,043	2,981	0,280

Dove:

Ss: Amplificazione stratigrafica

Cc: Coeff. funz. Categoria

St: Amplificazione topografica

Kh: Coefficiente sismico orizzontale

Kv: Coefficiente sismico verticale

**9 -Liquefazione dei terreni**

Le caratteristiche fisiche dei litotipi investigati (assenza di terreni suscettibili di liquefazione in falda) lasciano presupporre, in occasione di eventi sismici, il non verificarsi di processi di liquefazione che

possano dar luogo a fenomeni di cedimento non controllato anche differenziale: occorre anche dire che il progetto non contempla la realizzazione di strutture che possano avere problematiche nell'accadimento di questo fenomeno dissestivo.

## 10 – Fattibilità dell'intervento

Il progetto per la realizzazione di un centro di raccolta e di trattamento rifiuti edili consiste nell'approntamento di aree e strutture atte a recepire il loro conferimento ed il loro smistamento in differenti classi di rifiuto e la loro successiva trasformazione in materiale da riciclare.

La realizzazione dell'intervento (vedi planimetria Fig. 5) sostanzialmente consta di:



Fig. 5 – Planimetria di progetto

- Posa in opera di un impianto di pesatura con relativo manufatto;
- Realizzazione di percorsi per il raggiungimento dei vari cumuli di materiali
- Realizzazione di un sistema di raccolta acque superficiali con relativa vasca di laminazione
- Formazione di cumuli di rifiuti edili, terre e di materiale riciclato

Le indagini effettuate e le successive elaborazioni dei dati hanno permesso di individuare i caratteri geologici e geomorfologici generali del sito, anche in riferimento alla circolazione d'acqua, superficiale e sotterranea, valutandone l'idoneità alla realizzazione dell'intervento in progetto; è stata inoltre verificata l'assenza di fenomeni di dissesto, in atto o potenziali.

Nel primo sottosuolo investigato sono presenti terreni alluvionali fini sottoforma di limi argillosi e argille limose a vario grado di consistenza: la presenza della sabbia è soprattutto in forma diffusa ma anche organizzata in sottili lenti a blanda continuità laterale

In quest'area le acque sotterranee più superficiali sono insediate all'interno di un insieme di acquiferi variamente comunicanti costituiti, in gran parte, da limi sabbiosi organizzati in lenti a blanda continuità laterale: in fase di posizionamento dei piezometri, installati per il controllo della qualità delle acque, si è osservato che questi lenti di tipo granulare, in cui si articola una falda di tipo saliente, sono a profondità variabili ma sempre superiori a -2 m dal pdc: le misure effettuate nei fori riportano la presenza di una falda con pelo libero posto ad una profondità media di -1 m dal pdc. Ciò lascia presupporre una falda leggermente in pressione alimentata principalmente dalle dispersioni subalveo dei canali limitrofi e dalle precipitazioni efficaci che avvengono a monte dell'areale in esame: dalla consultazione delle Tavole contenute nel Quadro conoscitivo del PSC si può ipotizzare una direzione del flusso di falda con direzione SSO-NNE.

Gli scavi a sezione obbligata (< 1,2 m) previsti per la posa dei collettori per la raccolta delle acque superficiali non provocano alcun problema da un punto di vista di stabilità delle scarpate così come lo sbancamento (1,7 m) per la vasca di laminazione: in quest'ultimo caso occorre che il fondo venga impermeabilizzato con telo bentonitico in modo da evitare un contatto diretto con le acque sotterranee.

La presenza di una coltre di terreni argillosi, dotati di scarsa permeabilità, negli strati superficiali dell'area di intervento rende alquanto remota ed improbabile la possibilità che una pluma di inquinante derivante dalla lisciviazione di materiali edili accumulati possa provocare un deterioramento delle proprietà intrinseche della falda presente: la tessitura argillosa-limosa della coltre superficiale offre, per il suo basso grado di permeabilità e di trasmissività, un ottimo ostacolo per la trasmissione di sostanze inquinanti in profondità.

Bologna, marzo 2024

dott. geol. Beniamino Costantini

Ordine Geologi Abruzzo

n° 132



**Allegato**

**Report misura microtremori**

## Ubicazione : Granarolo Dell'Emilia – Via San Donato 25

Strumento: TZ3-0045/02-17

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 07/03/2023 11:34:22

Fine registrazione: 07/03/2023 11:54:22

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

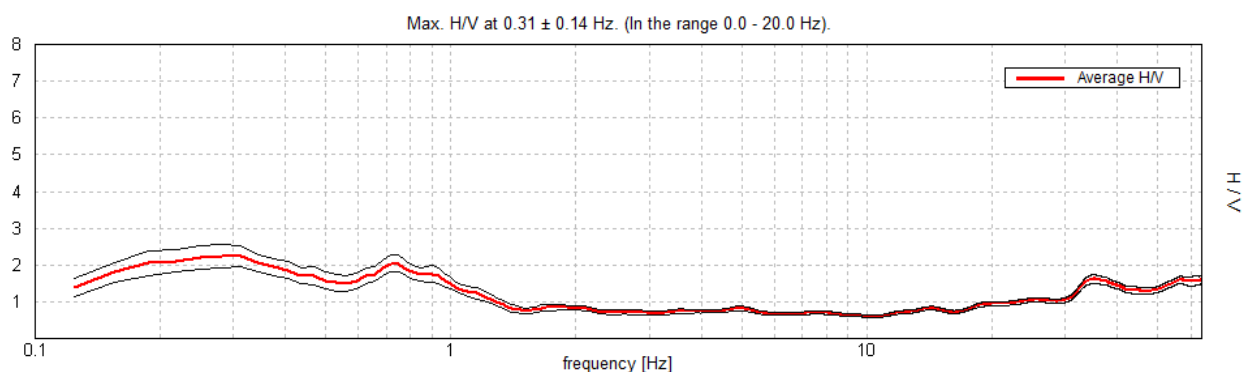
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

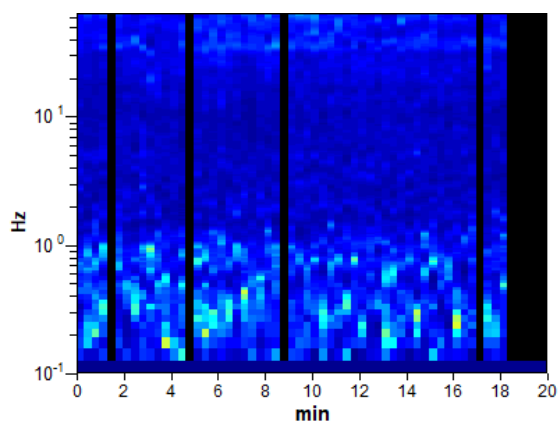
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

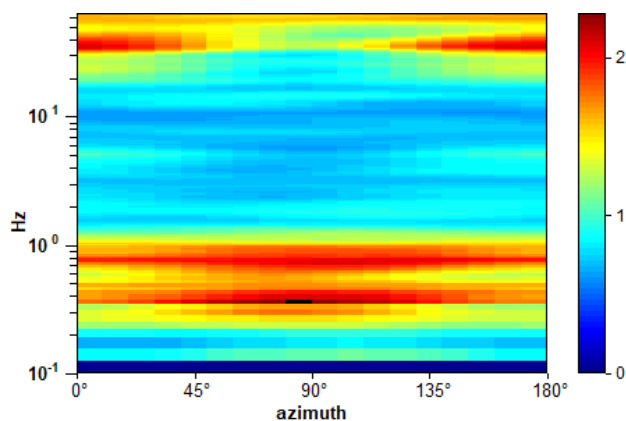
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



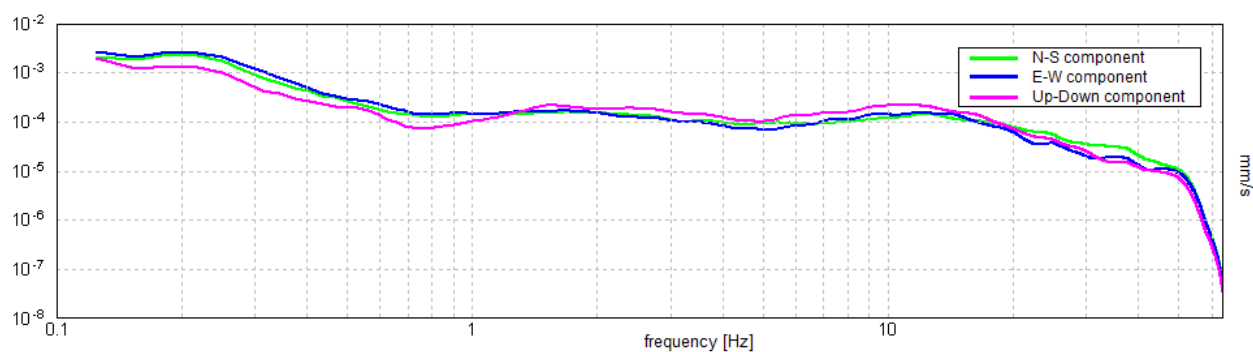
### SERIE TEMPORALE H/V



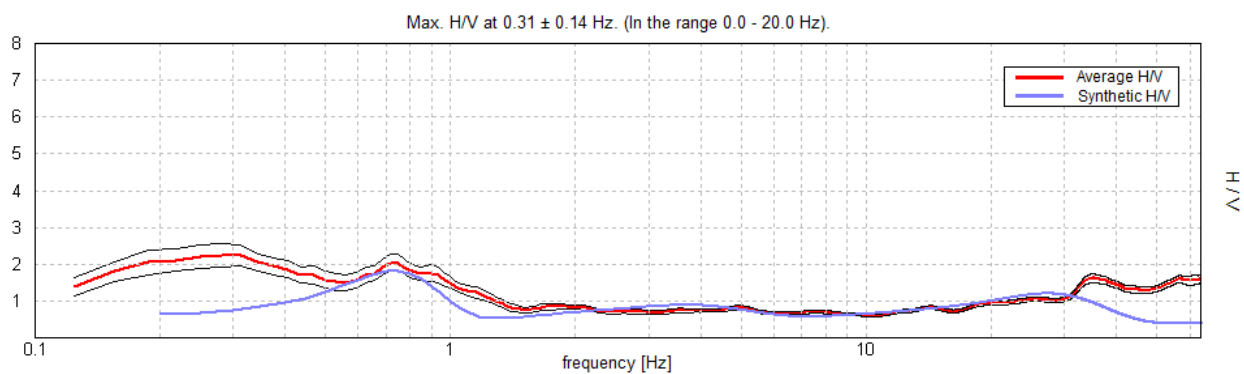
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

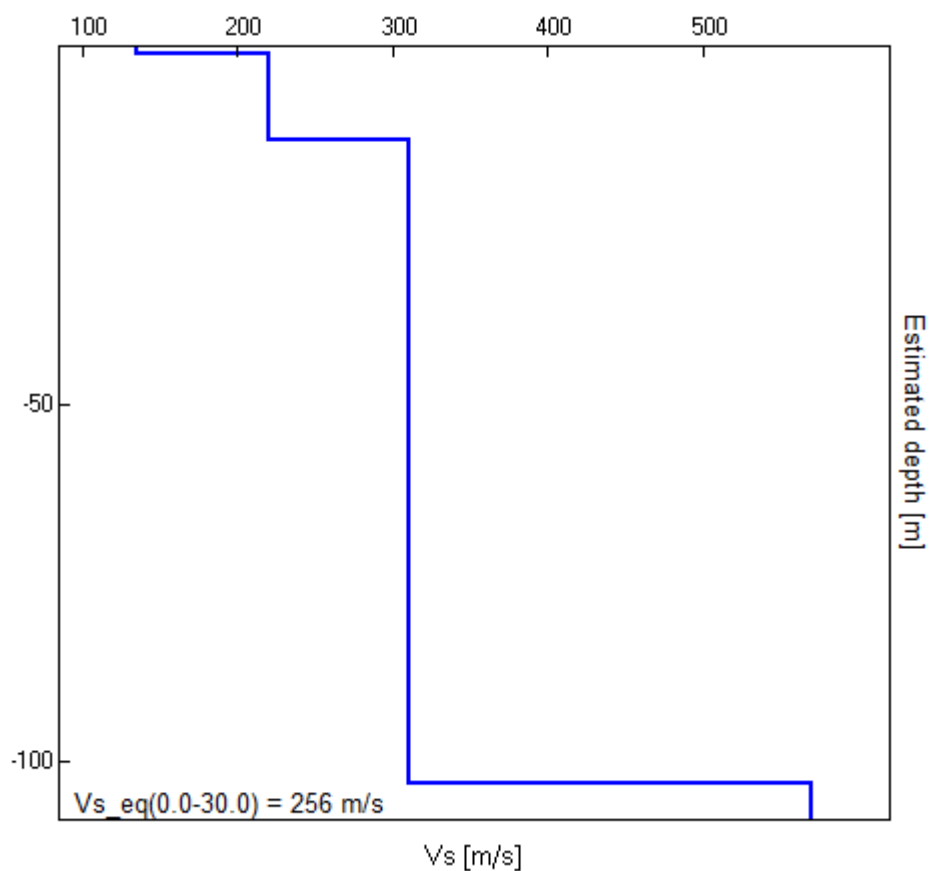


### H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.10	1.10	135	0.42
13.10	12.00	220	0.39
103.10	90.00	310	0.36
inf.	inf.	570	0.36

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 256$  m/s



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

**Picco H/V a  $0.31 \pm 0.14$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.31 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$318.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 16	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.094 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.25 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$2.26 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.43836  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.13699 < 0.0625$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.2827 < 2.5$	<b>OK</b>	

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

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

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

### **Allegato**

#### **Riscontri penetrometrici**

**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Beniamino Costantini  
- lavoro : nuovo centro di recupero  
- località : via S. Donato, Granarolo dell'Emilia (BO)  
- note :

- data : 07/03/2023  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,73	----	5,20	17,0	27,0	17,0	0,80	21,0
0,40	16,0	27,0	16,0	1,27	13,0	5,40	13,0	25,0	13,0	0,67	19,0
0,60	15,0	34,0	15,0	1,07	14,0	5,60	17,0	27,0	17,0	0,53	32,0
0,80	15,0	31,0	15,0	1,00	15,0	5,80	23,0	31,0	23,0	0,67	34,0
<b>1,00</b>	19,0	34,0	19,0	1,13	17,0	<b>6,00</b>	21,0	31,0	21,0	1,00	21,0
1,20	23,0	40,0	23,0	0,93	25,0	6,20	18,0	33,0	18,0	0,53	34,0
1,40	16,0	30,0	16,0	0,80	20,0	6,40	18,0	26,0	18,0	0,40	45,0
1,60	16,0	28,0	16,0	0,47	34,0	6,60	48,0	54,0	48,0	0,67	72,0
1,80	18,0	25,0	18,0	0,73	25,0	6,80	36,0	46,0	36,0	1,00	36,0
<b>2,00</b>	19,0	30,0	19,0	1,20	16,0	<b>7,00</b>	21,0	36,0	21,0	2,13	10,0
2,20	13,0	31,0	13,0	0,40	32,0	7,20	27,0	59,0	27,0	1,13	24,0
2,40	13,0	19,0	13,0	0,47	28,0	7,40	32,0	49,0	32,0	1,00	32,0
2,60	13,0	20,0	13,0	0,47	28,0	7,60	16,0	31,0	16,0	1,00	16,0
2,80	18,0	25,0	18,0	0,73	25,0	7,80	26,0	41,0	26,0	1,20	22,0
<b>3,00</b>	16,0	27,0	16,0	0,60	27,0	<b>8,00</b>	29,0	47,0	29,0	1,40	21,0
3,20	12,0	21,0	12,0	0,60	20,0	8,20	30,0	51,0	30,0	1,27	24,0
3,40	13,0	22,0	13,0	0,60	22,0	8,40	19,0	38,0	19,0	1,07	18,0
3,60	26,0	35,0	26,0	0,80	32,0	8,60	22,0	38,0	22,0	1,33	16,0
3,80	53,0	65,0	53,0	1,47	36,0	8,80	27,0	47,0	27,0	1,93	14,0
<b>4,00</b>	12,0	34,0	12,0	0,53	22,0	<b>9,00</b>	26,0	55,0	26,0	1,80	14,0
4,20	13,0	21,0	13,0	0,07	195,0	9,20	26,0	53,0	26,0	1,27	21,0
4,40	27,0	28,0	27,0	0,80	34,0	9,40	18,0	37,0	18,0	1,07	17,0
4,60	18,0	30,0	18,0	0,60	30,0	9,60	28,0	44,0	28,0	1,07	26,0
4,80	11,0	20,0	11,0	0,60	18,0	9,80	29,0	45,0	29,0	1,20	24,0
<b>5,00</b>	14,0	23,0	14,0	0,67	21,0	<b>10,00</b>	28,0	46,0	28,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

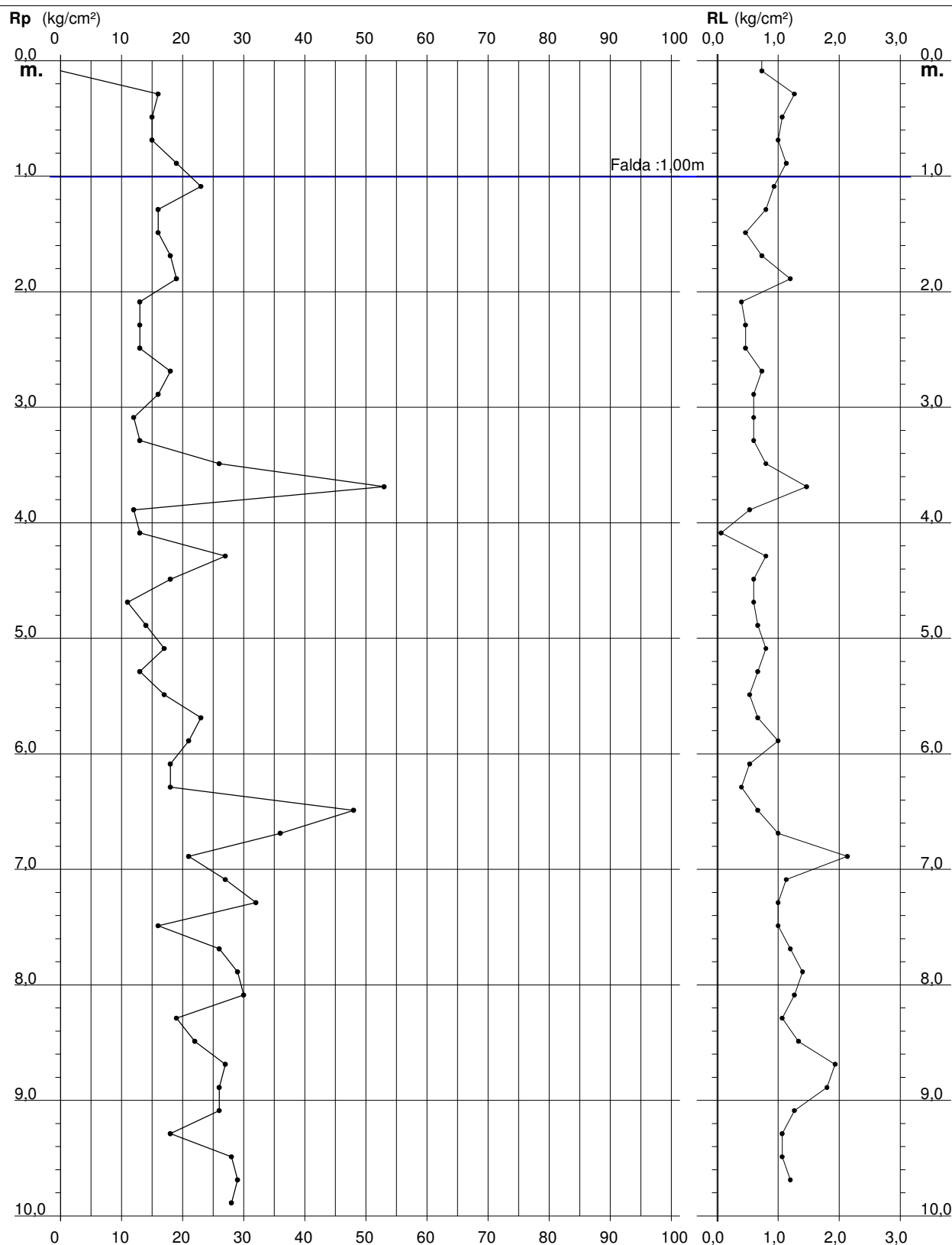
## PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

**CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Beniamino Costantini  
- lavoro : nuovo centro di recupero  
- località : via S. Donato, Granarolo dell'Emilia (BO)

- data : 07/03/2023  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 50



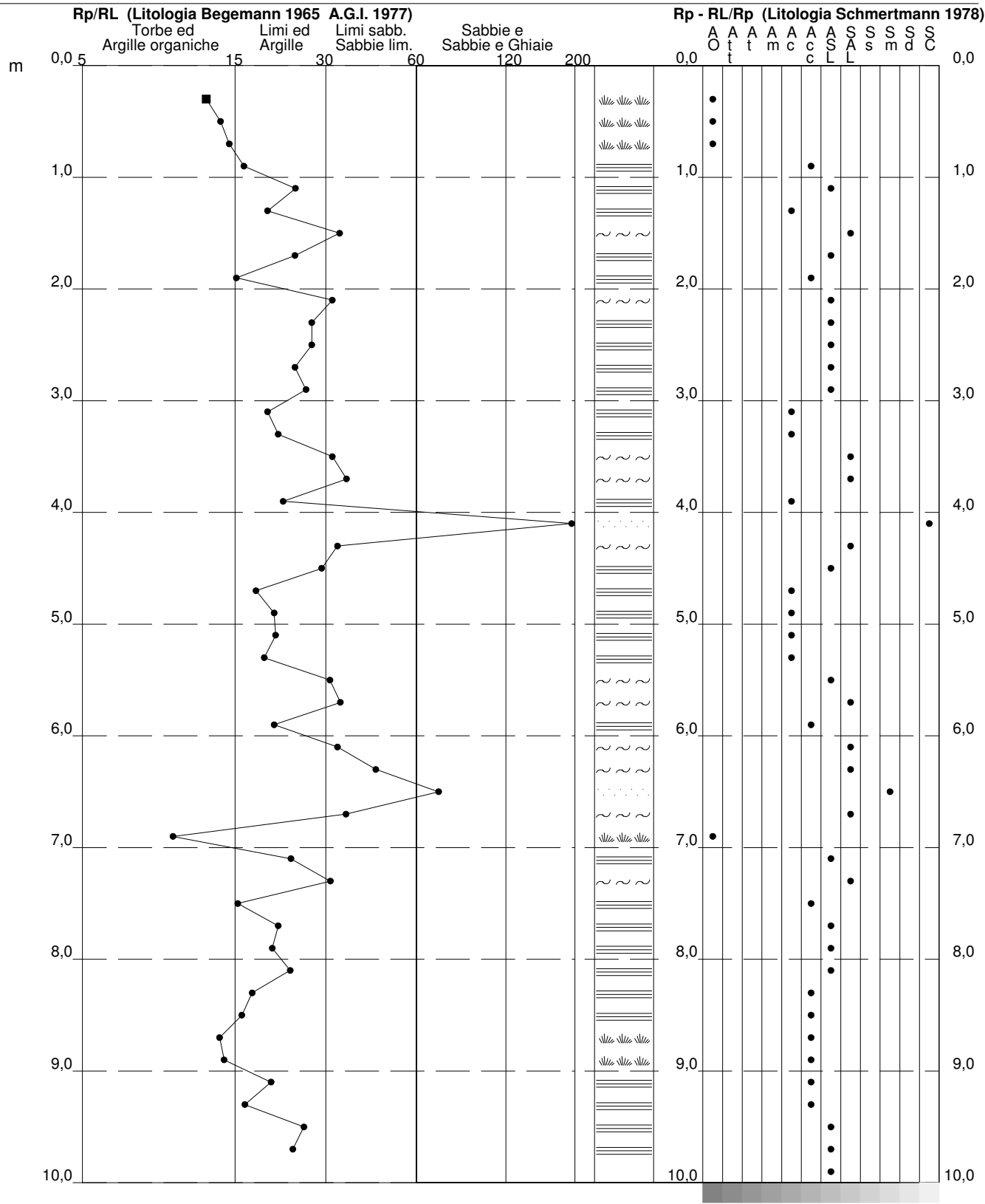
PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Beniamino Costantini  
- lavoro : nuovo centro di recupero  
- località : via S. Donato, Granarolo dell'Emilia (BO)  
- note :

- data : 07/03/2023  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 50



PROVA PENETROMETRICA STATICA  
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Beniamino Costantini  
- lavoro : nuovo centro di recupero  
- località : via S. Donato, Granarolo dell'Emilia (BO)  
- note :

- data : 07/03/2023  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 1,00 m da quota inizio  
- pagina : 1

NATURA COESIVA											NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	16	13	2////	1,85	0,07	0,70	99,9	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	15	14	2////	1,85	0,11	0,67	59,0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,80	15	15	2////	1,85	0,15	0,67	41,2	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,00	19	17	2////	0,99	0,17	0,78	42,5	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,20	23	25	4:/:	0,94	0,19	0,87	42,9	148	221	69	62	37	39	41	43	38	28	0,137	38	58	69
1,40	16	20	2////	0,96	0,21	0,70	28,8	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,60	16	34	4:/:	0,90	0,22	0,70	25,9	118	177	52	46	34	37	39	42	35	27	0,093	27	40	48
1,80	18	25	2////	0,98	0,24	0,75	25,6	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	19	16	2////	0,99	0,26	0,78	24,2	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	13	32	4:/:	0,88	0,28	0,60	16,4	103	154	47	33	33	35	38	41	33	26	0,064	22	33	39
2,40	13	28	2////	0,93	0,30	0,60	15,1	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	13	28	2////	0,93	0,32	0,60	14,0	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,80	18	25	2////	0,98	0,34	0,75	17,0	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	16	27	2////	0,96	0,36	0,70	14,5	118	177	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	12	20	2////	0,92	0,38	0,57	10,6	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	13	22	2////	0,93	0,39	0,60	10,7	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	26	32	3:::	0,87	0,41	--	--	--	--	--	47	35	37	39	42	34	28	0,097	43	65	78
3,80	53	36	3:::	0,92	0,43	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	38	31	0,161	88	133	159
4,00	12	22	2////	0,92	0,45	0,57	8,5	106	159	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	13	195	4:/:	0,88	0,47	0,60	8,7	110	165	47	21	31	34	37	40	30	26	0,039	22	33	39
4,40	27	34	3:::	0,87	0,48	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	34	28	0,091	45	68	81
4,60	18	30	4:/:	0,91	0,50	0,75	10,4	128	191	56	30	32	35	38	40	31	27	0,058	30	45	54
4,80	11	18	2////	0,91	0,52	0,54	6,5	134	200	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,00	14	21	2////	0,94	0,54	0,64	7,7	130	196	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,20	17	21	2////	0,97	0,56	0,72	8,7	132	198	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,40	13	19	2////	0,93	0,58	0,60	6,7	147	221	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,60	17	32	4:/:	0,91	0,59	0,72	8,0	143	214	54	24	31	34	37	40	30	27	0,045	28	43	51
5,80	23	34	3:::	0,86	0,61	--	--	--	--	--	33	33	35	38	41	32	28	0,065	38	58	69
6,00	21	21	4:/:	0,93	0,63	0,82	8,8	149	224	63	30	32	35	37	40	31	27	0,057	35	53	63
6,20	18	34	4:/:	0,91	0,65	0,75	7,5	158	238	56	24	31	34	37	40	30	27	0,045	30	45	54
6,40	18	45	4:/:	0,91	0,67	0,75	7,3	165	247	56	23	31	34	37	40	30	27	0,044	30	45	54
6,60	48	72	3:::	0,91	0,68	--	--	--	--	--	56	36	38	40	42	35	31	0,120	80	120	144
6,80	36	36	3:::	0,89	0,70	--	--	--	--	--	45	34	37	39	42	33	30	0,093	60	90	108
7,00	21	10	4:/:	0,93	0,72	0,82	7,4	177	266	63	26	32	34	37	40	30	27	0,050	35	53	63
7,20	27	24	4:/:	0,95	0,74	0,95	8,5	176	263	81	34	33	35	38	41	31	28	0,067	45	68	81
7,40	32	32	3:::	0,88	0,76	--	--	--	--	--	40	34	36	38	41	32	29	0,079	53	80	96
7,60	16	16	2////	0,96	0,78	0,70	5,5	211	316	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	26	22	4:/:	0,95	0,80	0,93	7,6	194	291	78	31	32	35	38	41	31	28	0,060	43	65	78
8,00	29	21	4:/:	0,96	0,82	0,98	7,9	196	294	87	34	33	35	38	41	31	29	0,067	48	73	87
8,20	30	24	4:/:	0,96	0,83	1,00	7,9	201	302	90	35	33	35	38	41	31	29	0,069	50	75	90
8,40	19	18	2////	0,99	0,85	0,78	5,6	231	346	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,60	22	16	4:/:	0,93	0,87	0,85	6,0	231	346	66	23	31	34	37	40	29	28	0,044	37	55	66
8,80	27	14	4:/:	0,95	0,89	0,95	6,8	227	340	81	30	32	35	38	40	30	28	0,057	45	68	81
9,00	26	14	4:/:	0,95	0,91	0,93	6,4	236	353	78	28	32	35	37	40	30	28	0,054	43	65	78
9,20	26	21	4:/:	0,95	0,93	0,93	6,3	243	364	78	27	32	35	37	40	30	28	0,053	43	65	78
9,40	18	17	2////	0,98	0,95	0,75	4,7	264	396	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,60	28	26	4:/:	0,96	0,97	0,97	6,3	253	379	84	29	32	35	37	40	30	28	0,056	47	70	84
9,80	29	24	4:/:	0,96	0,99	0,98	6,2	258	387	87	30	32	35	38	40	30	29	0,057	48	73	87
10,00	28	--	4:/:	0,96	1,01	0,97	6,0	267	400	84	28	32	35	37	40	30	28	0,054	47	70	84

### **Allegato**

#### **Prove di laboratorio**



## 000

---

3

Verbale - *Acceptance report*  
Committente - *Commissioner*  
Località - *Locality*  
Cantiere - *Investigation site*

2970  
FRANCHINI ANTONIO E FIGLI S.R.L.  
GRANAROLO DELL'EMILIA (BO)  
VIA SAN DONATO 152/F

### Samples identification and performed tests

[illegible]

Note - *Remarks:*

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 indicative of apparently identical samples.*

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





**GEO TEA s.r.l.**

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

## PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

DETERMINATION OF PERMEABILITY BY FALLING HEAD

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-11

Technical specification

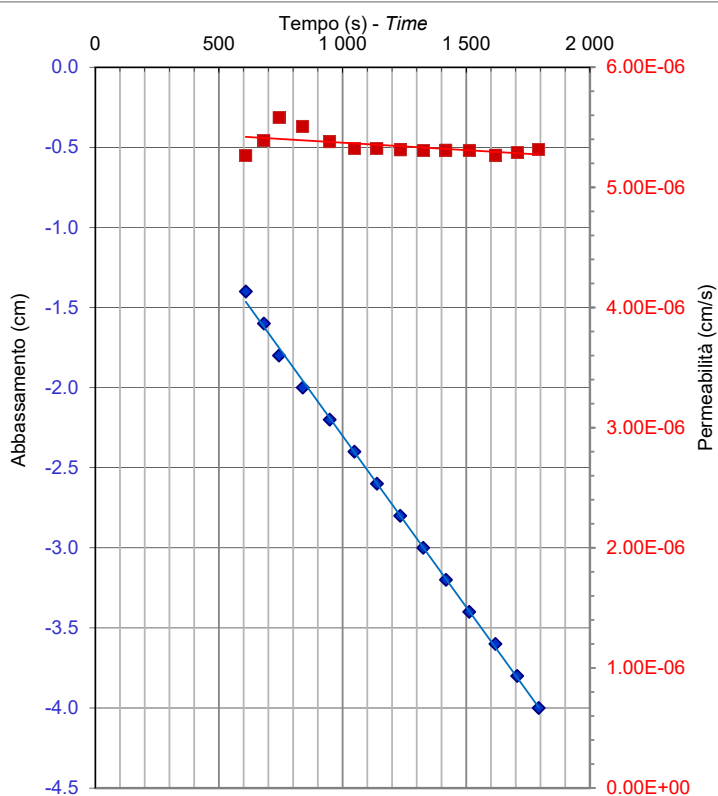
Certificato - *Test report*  
Verbale - *Acceptance report*  
Committente - *Commissioner*  
Località - *Locality*  
Cantiere - *Site*  
Sondaggio - *Borehole*  
Campione - *Sample*  
Profondità - *Depth*  
Data ricevimento - *Receiving date*  
Data inizio prove - *Test starting date*  
Data fine prove - *Test ending date*  
Data certificazione - *Report date*  
Data apertura campione - *Sample opening date*  
Classe campione - *Sample quality*

2970- 24.1459- 001  
2970  
FRANCHINI ANTONIO E FIGLI S.R.L.  
GRANAROLO DELL'EMILIA (BO)  
VIA SAN DONATO 152/F  
**S1**  
-  
**0.40- 0.70m**  
08/02/2024  
12/02/2024  
12/02/2024  
12/02/2024  
08/02/2024  
Q3

Area cella (cm<sup>2</sup>) - *Cell area*  
Area buretta (cm<sup>2</sup>) - *Area of graduate cylinder*  
Altezza Provino (cm) - *Specimen height*  
Hi Altezza iniziale (cm) - *Initial height*  
Hf Altezza finale (cm) - *final height*  
Tempo (sec) - *Time*  
**Permeabilità (cm/s)**  
**Coefficient of permeability**

20.00  
0.79  
2.00  
35.00  
31.00  
1793  
**5.33E-06**

hf	Δh	t	k
cm	cm	s	cm/s
33.6	1.4	609	5.26E-06
33.4	1.6	682	5.39E-06
33.2	1.8	743	5.58E-06
33.0	2.0	839	5.51E-06
32.8	2.2	948	5.38E-06
32.6	2.4	1048	5.32E-06
32.4	2.6	1139	5.32E-06
32.2	2.8	1233	5.31E-06
32.0	3.0	1326	5.31E-06
31.8	3.2	1418	5.31E-06
31.6	3.4	1512	5.31E-06
31.4	3.6	1618	5.27E-06
31.2	3.8	1706	5.29E-06
31.0	4.0	1793	5.32E-06



Note - Remarks PROVA ESEGUITA CON  $i=30$ , PRESSIONE PARI A 1 kg/cm<sup>2</sup>

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





**GEO TEA s.r.l.**

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

## PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

DETERMINATION OF PERMEABILITY BY FALLING HEAD

Normativa di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-11

Technical specification

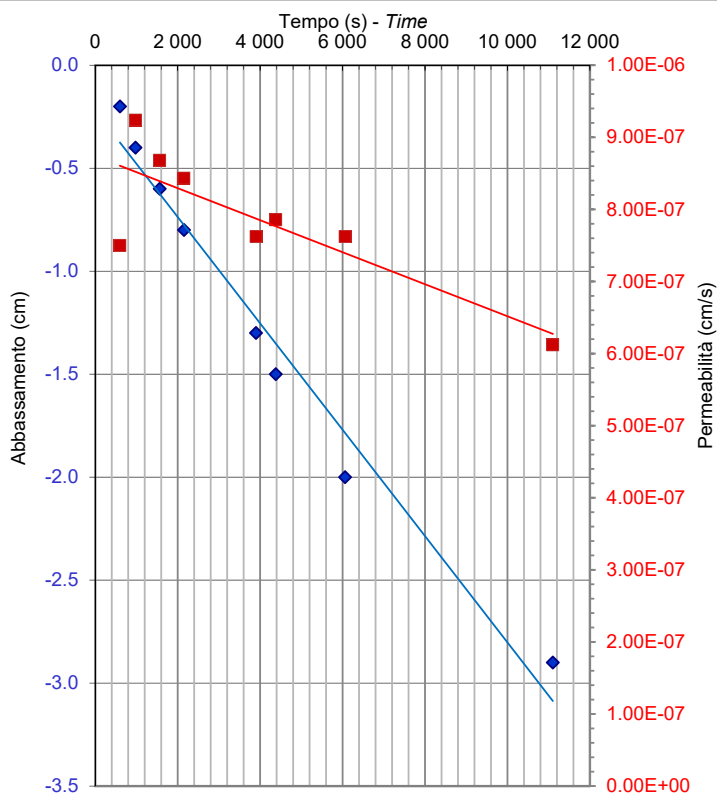
Certificato - *Test report*  
Verbale - *Acceptance report*  
Committente - *Commissioner*  
Località - *Locality*  
Cantiere - *Site*  
Sondaggio - *Borehole*  
Campione - *Sample*  
Profondità - *Depth*  
Data ricevimento - *Receiving date*  
Data inizio prove - *Test starting date*  
Data fine prove - *Test ending date*  
Data certificazione - *Report date*  
Data apertura campione - *Sample opening date*  
Classe campione - *Sample quality*

2970- 24.1459- 002  
2970  
FRANCHINI ANTONIO E FIGLI S.R.L.  
GRANAROLO DELL'EMILIA (BO)  
VIA SAN DONATO 152/F  
**S2**  
-  
**0.40- 0.80m**  
08/02/2024  
12/02/2024  
12/02/2024  
12/02/2024  
08/02/2024  
Q3

Area cella (cm<sup>2</sup>) - *Cell area*  
Area buretta (cm<sup>2</sup>) - *Area of graduate cylinder*  
Altezza Provino (cm) - *Specimen height*  
Hi Altezza iniziale (cm) - *Initial height*  
Hf Altezza finale (cm) - *final height*  
Tempo (sec) - *Time*  
**Permeabilità (cm/s)**  
**Coefficient of permeability**

20.00  
0.79  
2.00  
35.00  
32.10  
11100  
**8.37E-07**

hf	Δh	t	k
cm	cm	s	cm/s
34.8	0.2	600	7.50E-07
34.6	0.4	977	9.24E-07
34.4	0.6	1564	8.68E-07
34.2	0.8	2153	8.43E-07
33.7	1.3	3900	7.62E-07
33.5	1.5	4380	7.85E-07
33.0	2.0	6060	7.63E-07
32.1	2.9	11100	6.12E-07



Note - Remarks PROVA ESEGUITA CON  $i=30$ , PRESSIONE PARI A 1 kg/cm<sup>2</sup>

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

