



COMUNE DI SORBOLO MEZZANI  
(PROVINCIA DI PARMA)



OPERA:

**IMPIANTO SITO IN COMUNE DI SORBOLO MEZZANI  
LOCALITÀ "MALCANTONE DI MEZZANI"**

**IMPIANTO PER LO STOCCAGGIO, IL PRETRATTAMENTO  
E LA MESSA IN RISERVA DI RIFIUTI URBANI E SPECIALI**

OGGETTO:

**PROGETTO DEFINITIVO**

TAVOLA:

**STR 02**

TITOLO:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

SCALA:

---

03					
02					
01					
00	Settembre 2021	<i>Emissione</i>	S. Teneggi	C. Ugolini	M. Pergetti
Rev.	Data	Descrizione	Red.	Contr.	Appr.

**IREN Ambiente S.p.A.**

Sede Legale  
Strada Borgoforte, 22  
29122 Piacenza

Tel: 0523. 605026  
Fax 0523. 505128  
e-mail: [iren@gruppoiren.it](mailto:iren@gruppoiren.it)  
[www.gruppoiren.it](http://www.gruppoiren.it)



Redatto



Studio ALFA S.p.a.  
V.le Ramazzini 39D  
42124 Reggio Emilia



## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	4
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	6
5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	13
6. MODELLO GEOLOGICO .....	15
6.1. Indagini in sito .....	15
6.1.1. Sondaggi verticali .....	15
6.1.2. Prove penetrometriche statiche meccaniche CPT .....	18
6.1.3. Prove sismiche MASW .....	23
6.2. Sintesi del modello geologico .....	26
7. MODELLO GEOTECNICO .....	27
7.1. Base dati .....	27
7.2. Modello geotecnico .....	27
8. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	30
8.1. Classificazione sismica .....	30
8.2. Pericolosità sismica di base .....	31
8.3. Categoria del sottosuolo .....	33
8.4. Fattori di Amplificazione sismica P.G.A. e Intensità Spettrale .....	35
9. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....	37
10. SINTESI - Ulteriori INDAGINI E STUDI .....	42

*ALLEGATO 1 – Sondaggi geognostici*

*ALLEGATO 2 – Prove penetrometriche statiche*

*ALLEGATO 3 – Certificati di laboratorio geotecnico*

*ALLEGATO 4 – Rapporto di prove sismiche MASW*

## 1. PREMESSA

Il presente documento illustra i risultati dello studio geologico-sismico a supporto del progetto di realizzazione dell'impianto per lo stoccaggio, il pretrattamento e la messa in riserva di rifiuti urbani e speciali in località Malcantone nel Comune di Mezzani (PR), in conformità a:

- Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17 gennaio 2018 (di seguito NTC, 2018), in GU n. 42 del 20 febbraio 2018, suppl. Ord. N. 8.
- Circolare esplicativa C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019 n. 7, in GU n. 35 dell'11 febbraio 2019, suppl. Ord. n. 5.
- Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica, DGR 476 del 12 aprile 2021 e successiva integrazione, DGR 564 del 26 aprile 2021 di cui alla DGR 630 del 29 aprile 2019, Regione Emilia-Romagna.

Lo studio ha consentito la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geotecnici, idrogeologici, geomorfologici e sismici del territorio, focalizzando le potenziali interferenze dell'opera in progetto e degli interventi ad essa connessi con l'ambiente geologico, sia in fase realizzativa che a lavori ultimati.

Ai fini della caratterizzazione e modellazione geologica, sono state approfondite a livello specifico le indicazioni delle cartografie tematiche e delle basi-dati ufficiali (Autorità di Bacino del Fiume Po, Regione Emilia-Romagna, Provincia di Parma e Comune di Parma) e i dati di carattere geologico non sistematici provenienti da studi e prospezioni condotti a vario titolo nella zona, articolando le indagini secondo la seguente procedura:

- Caratterizzazione stratigrafica, litologica, strutturale, geomorfologica e idrogeologica; da dati bibliografici e rilievi diretti.
- Caratterizzazione litostratimetrica e geotecnica; a implementazione locale dei dati noti per la zona, sono state eseguite n. 12 prove penetrometriche statiche con punta meccanica CPT (Cone Penetration Test) e n. 4 sondaggi a carotaggio continuo. Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati (successivamente sottoposti a prove di laboratorio geotecnico) e sono state eseguite prove S.P.T. in foro.
- Caratterizzazione sismica da dati bibliografici e attraverso l'esecuzione di n. 2 prova sismiche di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) all'interno dell'area interessata dal progetto.
- Definizione preliminare degli aspetti di carattere geotecnico attraverso la tabulazione dei principali parametri caratteristici dei terreni.

L'integrazione dei dati ottenuti nel corso delle specifiche verifiche con quelli già noti ha permesso la definizione di modelli della situazione geologica, geotecnica e sismica sufficientemente rappresentativi ai fini dell'opera in progetto e degli interventi ad essa connessi. Gli approfondimenti dei rilievi diretti in fase esecutiva consentiranno un maggiore dettaglio nelle modellazioni e l'eventuale adozione delle opportune varianti progettuali.

L'interpretazione correlativa dei dati ha consentito di delineare modelli geologici e geotecnici adeguati all'impostazione progettuale: il possibile margine di incertezza geologica connesso alle tipologie di indagini adottate rientra nei margini di sicurezza per la progettazione geotecnica e sismica. Gli aspetti della sicurezza in riferimento alle caratteristiche geotecniche locali e quelli relativi all'azione sismica devono essere approfonditi in funzione del progetto strutturale in sede di Relazione geotecnica, redatta ai sensi delle NTC, 2018.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area dell'impianto di compostaggio di via Malcantone si trova nella parte di Nord-Est della Provincia di Parma, fra gli abitati di Colorno e Sorbolo, in Comune di Sorbolo Mezzani, a Est della località Malcantone a Mane.

Nella seguente Tabella 1.I è identificata l'ubicazione del centro dell'area con le relative coordinate nei sistemi geografici WGS84-EPG4326, ED50-EPG23032 e con la quota del piano campagna (ricavata per interpolazione di isoipse e punti quotati della cartografia regionale).

Tabella 1.I - Posizione geografica del centro dell'area dell'impianto di compostaggio.

Coordinate				Quota
WGS 84 EPSG 4326		ED 50 EPSG 23032		
Lon.	Lat.	m Est	m Nord	m s.l.m.
10.400493	44.892741	610670.03	4972187.37	≈26.5

La cartografia di riferimento è la seguente:

- *Carta Istituto Geografico Militare Italiano 1:50.000*, Foglio 182 Guastalla.
- *Carta Topografica Regionale 1:25.000 dell'Emilia-Romagna*, tavola 182-SO Parma Nord-Est (stralcio in Figura 1).
- *Carta Tecnica Regionale dell'Emilia-Romagna*, Sezione alla scala 1:10.000 n. 182090 Torrile.
- *Carta Tecnica Regionale dell'Emilia-Romagna*, Elemento alla scala 1:5.000 n. 182091 Ariana.

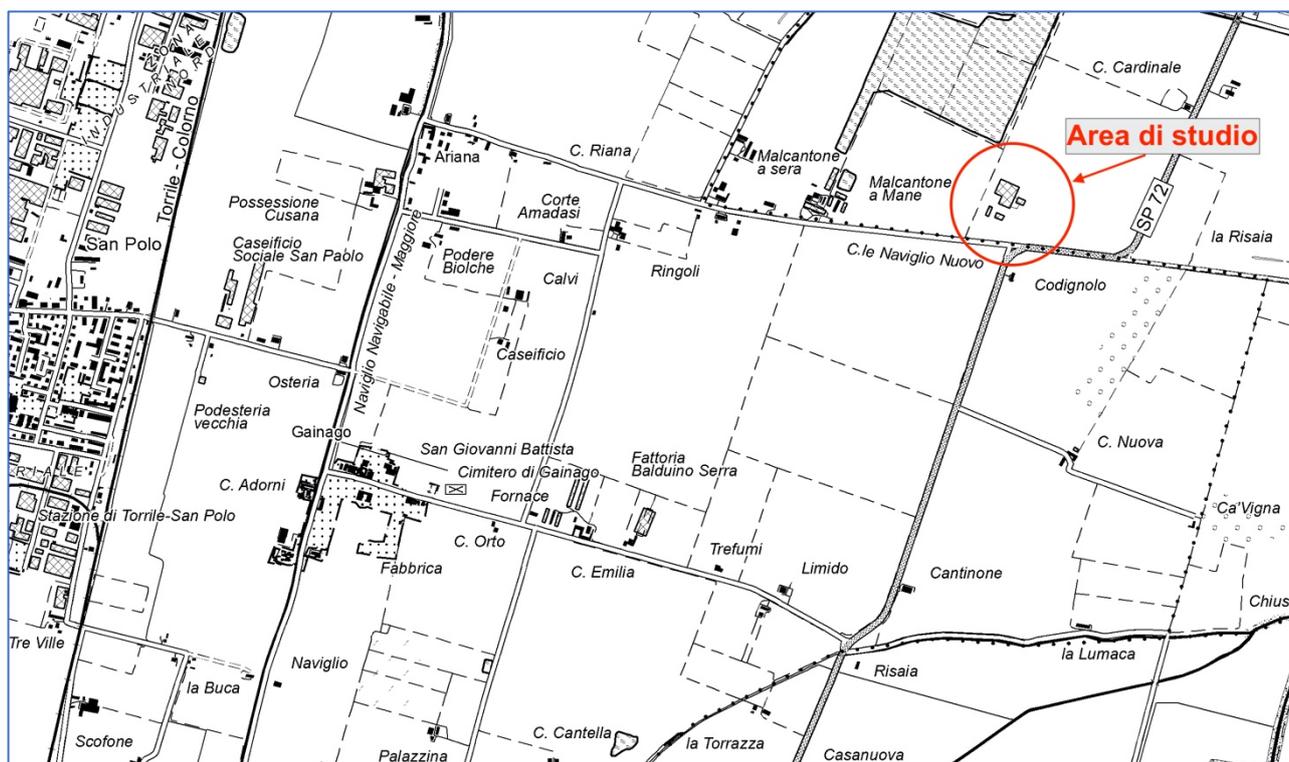


Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area dell'impianto di compostaggio su Carta Topografica Regionale 1:25.000 dell'Emilia-Romagna, Tavola 182-SO Parma Nord-Est.

### 3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Idrograficamente l'area in esame è caratterizzata dal corso del Fiume Po che scorre da Ovest ad Est lungo tutto il tratto settentrionale di questa parte di pianura. Gli affluenti maggiori sono rappresentati dal Torrente Parma e dal Torrente Enza in destra idrografica: in questo settore i corsi d'acqua secondari sono costituiti da fossi, navigli e canali di bonifica.

L'area è occupata interamente dai depositi di piana alluvionale costruiti sia dal fiume Po che dagli apparati fluviali appenninici.

La quota topografica media dell'area si attesta al di sopra di 26 m s.l.m. e dai modelli digitali del terreno si nota come essa sia compresa tra le due strutture positive, una del Torrente Enza nei pressi di Sorbolo a Sud-Est e l'altra del Torrente Parma nei pressi di Colorno a Nord-Ovest (Figura 2).

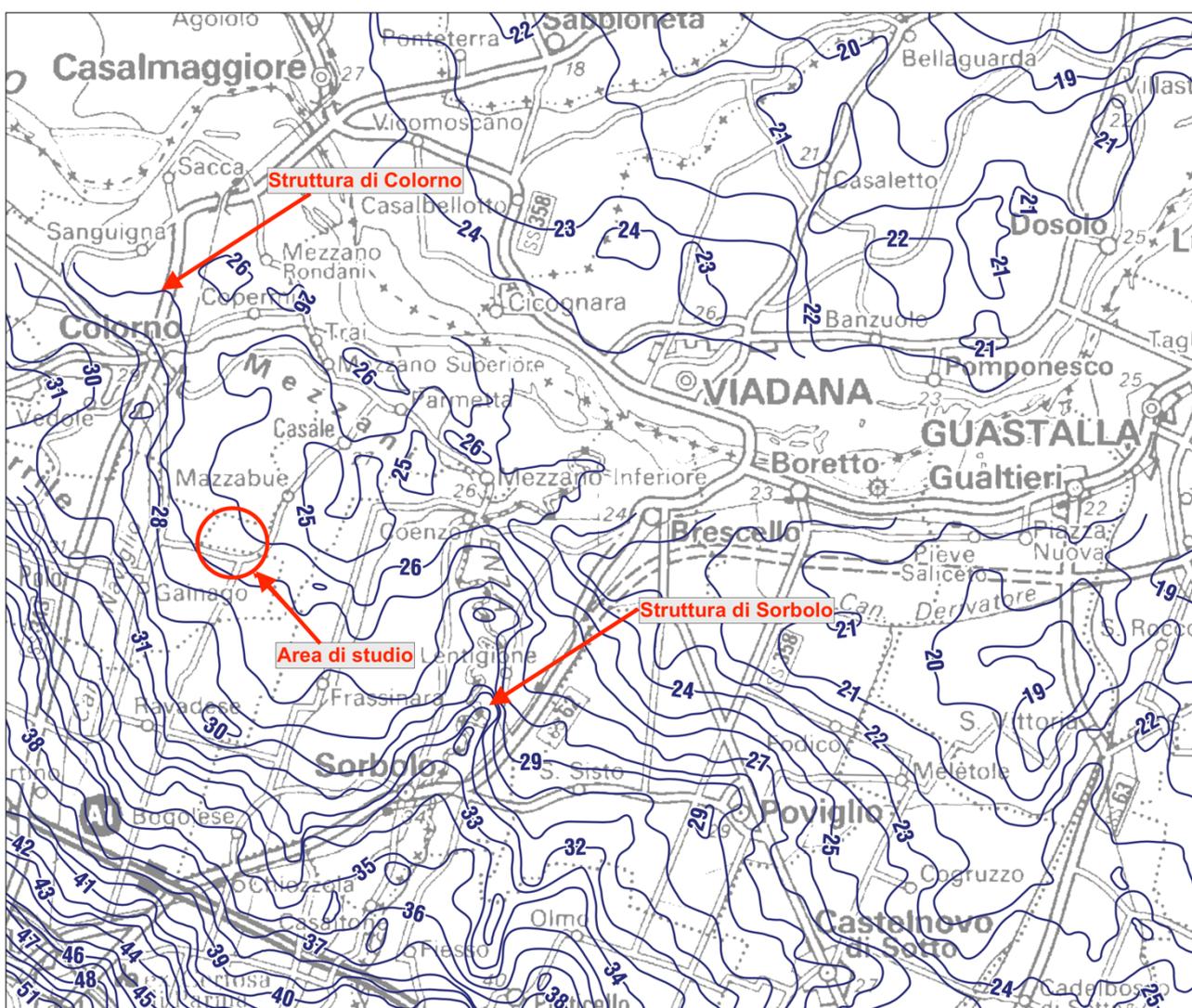


Figura 2 – Modello digitale del terreno ricostruito da elaborazione della CTR Regione Emilia-Romagna.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'inquadramento geologico generale del sito deriva dalla *Carta Geologica d'Italia a scala 1:50.000 Foglio 182 Guastalla (Progetto CARG – Servizio Geologico Nazionale, 1992)*, dalla *Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna 1:250.000 – Edizione 1999* e dalla *Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a scala 1:10.000* edizione 2011, *Sezione 182090 Torrile (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna)*.

La pianura padana rappresenta l'espressione morfologica di superficie del bacino padano, un bacino sedimentario di età terziaria compreso tra le strutture appenniniche (a vergenza settentrionale) e le strutture alpine (a vergenza meridionale). La storia compressiva che lo ha interessato ha contribuito, assieme alle variazioni climatiche succedutesi nel tempo, all'architettura dei suoi depositi.

La genesi del settore di interesse è legata allo sviluppo della catena appenninica, una catena a falde caratterizzata dalla sovrapposizione di elementi paleogeografici più interni su elementi più esterni (propagazione in direzione dell'avampaese padano-adriatico). L'evoluzione dell'Appennino può essere descritta in estrema sintesi nel passaggio da una prima fase oceanica (Cretaceo-Eocene medio) nella quale si verifica la progressiva chiusura del paleo oceano ligure-piemontese, ad una fase continentale che dall'Oligocene in poi testimonia un regime collisionale e post-collisionale tra i due blocchi continentali della zolla europea (sardo-corsa) e la placca Adriatico-Padana.

In particolare, l'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino settentrionale e l'antistante substrato padano. L'avanzamento delle falde appenniniche, infatti, ha indotto sprofondamenti flessurali nell'antistante avampaese padano ed il formarsi di un bacino subsidente con lo sviluppo dell'avanfossa padano adriatica.

Dopo l'abbassamento del livello del mare dovuto all'isolamento del Mediterraneo nel Messiniano, con il Pliocene si registra una generale trasgressione marina con deposizione pelitica estesa e presenza di depositi torbiditici nelle zone più profonde. Nel Pleistocene inizia un nuovo ciclo sedimentario che completa il progressivo colmamento del Bacino Padano (ciclo Qm – Quaternario marino) caratterizzato da successioni marine via via meno profonde. In risposta ad uno degli ultimi episodi deformativi della catena appenninica, avvenuto nel Pleistocene medio, si verificò il passaggio da un ambiente marino ad uno continentale (ciclo Qc – Quaternario continentale) determinando la troncatura al tetto dei depositi marini, con contatto erosivo, da parte dei depositi sabbioso-ghiaiosi alluvionali del Pleistocene medio-superiore (Supersistema Emiliano-Romagnolo).

Nel Pleistocene medio-superiore l'evoluzione del bacino padano registra, comunque, fasi periodiche di innalzamento del livello del mare, portando, in alcune aree, all'instaurarsi di ambienti e depositi marini alternati a quelli continentali.

Le unità geologiche affioranti nell'area in esame possono essere raggruppate all'interno del ciclo Quaternario Continentale, denominato Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente all'Allogruppo Emiliano-Romagnolo di R.E.R., ENI-AGIP, 1998) nel quale sono state individuate due unità principali: un'unità inferiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore AEI (equivalente all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore) ed un'unità superiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore AES (equivalente all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore). Nell'area in esame il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore non è affiorante, mentre sono presenti i depositi del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio-Olocene) è stato suddiviso in cinque subsistemi identificabili in affioramento mediante caratteristiche morfo-pedostratigrafiche: si tratta infatti di conoidi alluvionali terrazzate, le cui superfici deposizionali relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano un'evoluzione pedostratigrafica differente. In ordine crescente di età si trova:

- Subsistema di Ravenna (AES8)
- Subsistema di Villa Verucchio (AES7)
- Subsistema di Agazzano (AES3)
- Subsistema di Maiatico (AES2)
- Subsistema di Monterlinzana (AES1)

L'area in oggetto si colloca nel settore centrale della Pianura Padana ed è caratterizzata geologicamente dalla presenza di depositi alluvionali legati sia all'attività dei fiumi appenninici che del fiume Po.

Alla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 è stato aggiunto un Foglio allegato relativo alla "Geologia del sottosuolo". Le informazioni combinate delle due cartografie e delle Sezioni geologiche associate, consentono la ricostruzione dei corpi sedimentari di maggiore interesse nell'area del Foglio 182 (Figura 3 e Figura 4).

**TETTO DELLE GHIAIE E DELLE SABBIE - SUBSISTEMI DI RAVENNA (AES<sub>8</sub>) E DI VILLA VERUCCHIO (AES<sub>7</sub>)**



**SUBSISTEMA DI VILLA VERUCCHIO AES<sub>7</sub>**  
 unità di Vignola AES<sub>7s</sub>

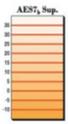
**DEPOSITI DI CONOIDE E PIANA ALLUVIONALE (SISTEMA APPENNINICO)**

**Ghiaie di conoide distale e sabbie di riempimento di canale fluviale**

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati, passanti a sabbie medie e grossolane, ben cernite, localmente alternate a fini sabbiose. Depositi di conoide distale e riempimento di canale fluviale. Sono cartografabili nel settore meridionale del Foglio dove, proseguendo verso nord, si restringono in termini di spessore passando in amalgamazione con le sabbie del sistema padano.

Età: **PLEISTOCENE SUP.** (c.a. 40.000-14.000 anni BP non cal.).

Questa unità è stata distinta in due livelli sovrapposti (AES<sub>7s</sub> Sup. e AES<sub>7s</sub> Inf.)



Isobata del tetto delle ghiaie di AES<sub>7s</sub> Sup. (in metri s.l.m.)



Isobata del tetto delle ghiaie di AES<sub>7s</sub> Inf. (in metri s.l.m.)

**DEPOSITI DI PIANA A MEANDRI DEL Fiume PO (SISTEMA PADANO)**

**Sabbie di riempimento di canale fluviale**

Sabbie da fini a grossolane con rare intercalazioni ghiaiose; strati da spessi a molto spessi e generalmente amalgamati. Sono cartografabili nel settore centrale del Foglio.



Isobata del tetto delle sabbie di AES<sub>7s</sub> Sup. (in metri s.l.m.)

Figura 3 – Estratto della carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie (CARG).

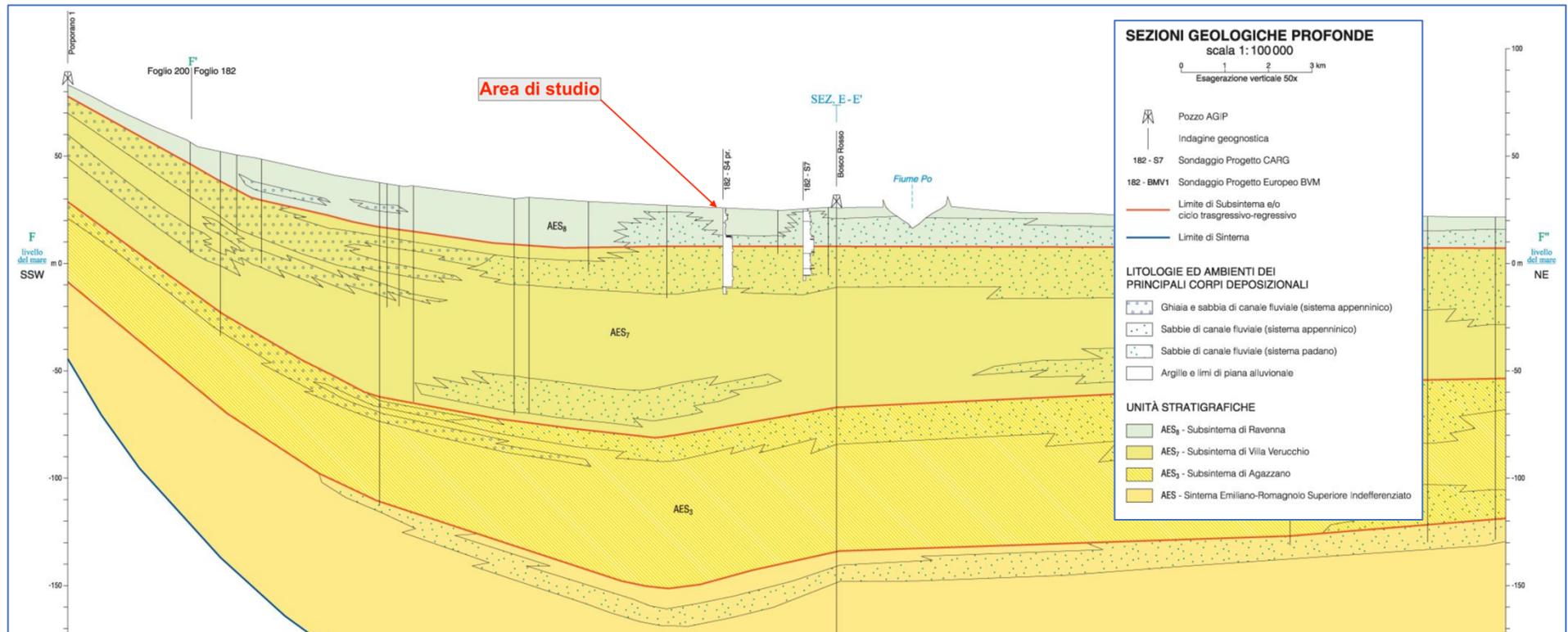


Figura 4 – Sezione geologica profonda F'-F'' della carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie (CARG).

La carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna 1:250.000 – Edizione 1999 riporta vari ambienti deposizionali distinti su base litologica e pedologica. La maggior parte dell'area del foglio è costituita da depositi di piana alluvionale in cui si distinguono ambienti di canale, argine prossimale o distale, e di piana a meandri, lungo il corso del fiume Po. Solo marginalmente, nel settore sud-occidentale, sono presenti depositi ascrivibili ad ambienti di conoide e terrazzo alluvionale (Figura 5).

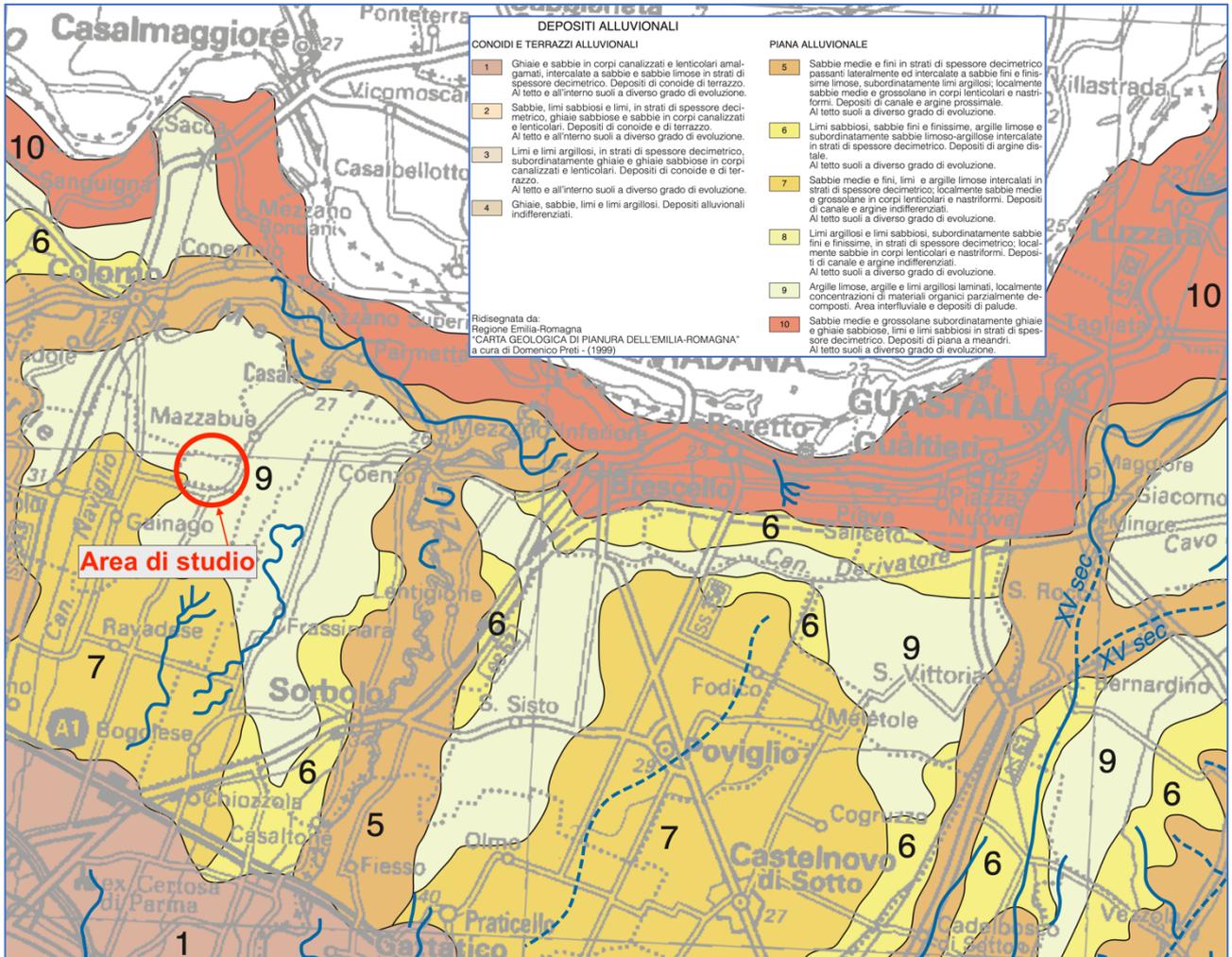


Figura 5 – Inquadramento da: Carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna 1:250.000 e relativa legenda (RER – 1999).

Nella carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a scala 1:10.000 edizione 2011, Sezione 182090 Torrile sono riportate le unità geologiche affioranti nell'area di studio (Figura 6).

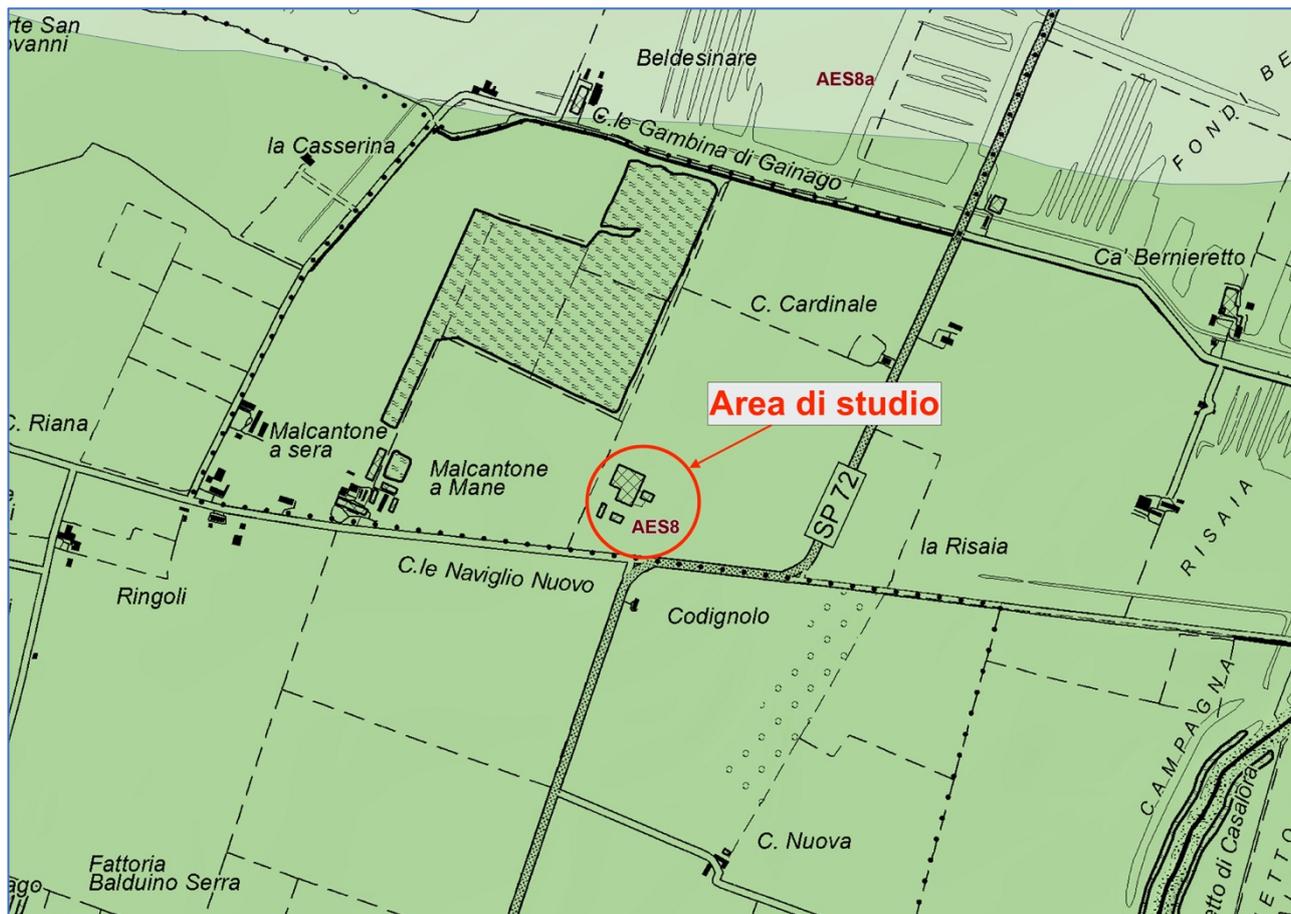


Figura 6 – Inquadramento geologico, da: carta geologica dell'appennino emiliano-romagnolo a scala 1:10.000, Sezione 182090 Torrile (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).

### Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

#### AES8 - Subsistema di Ravenna

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m.

(Pleistocene sup. - Olocene)

#### AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

(Olocene)

### Subsistema di Ravenna (AES8)

In contesto intravallivo e in pianura, l'unità è rappresentata da depositi di conoide alluvionale, terrazzati, costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, con locali intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi, ricoperte da una coltre limoso-argillosa. Localmente sono presenti limi e limi sabbiosi prevalenti: depositi di interconoide e del reticolo idrografico minore. Il contatto di base è erosivo e discordante con tutte le altre unità, mentre il limite di tetto è una superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente alla superficie topografica. Il fronte di alterazione del tetto è di moderato spessore (da qualche decina di cm fino ad 1m) ed i suoli presentano gli orizzonti superficiali decarbonatati o parzialmente decarbonatati.

Lo spessore massimo del Subsintema è inferiore a 20 m.

#### Subsintema di Villa Verucchio (AES7) – non affiorante

Questo Subsintema è presente solo nel sottosuolo della Sezione 182090 ed è costituito da ghiaie, sabbie, limi e argille di ambiente alluvionale. Su base morfologica, pedostratigrafica ed archeologica, il Subsintema di Villa Verucchio viene suddiviso regionalmente in due Unità (dal basso: AES7<sub>a</sub> Unità di Niviano ed AES7<sub>b</sub> Unità di Vignola) prevalentemente comprese tra superfici a limiti inconformi e separate, ove affioranti, da scarpate fluviali di oltre 10 m. La loro correlazione è stata effettuata con numerose datazioni radiometriche realizzate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna lungo il margine appenninico.

Nella carta di sottosuolo del Progetto CARG, sono state mappate le isobate di tetto delle porzioni sabbioso ghiaiose, riferibili al tempo AES7<sub>b</sub> (Unità di Vignola). Vi si riconoscono i seguenti depositi:

- Ghiaie e sabbie di conoide distale e sabbie di riempimento di canali fluviali dei fiumi appenninici. Le ghiaie sono da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati, passanti a sabbie medie e grossolane, ben cernite, localmente alternate a limi sabbiosi.
- Sabbie di riempimento di canale fluviale legate al sistema di alimentazione padano che formano corpi tabulari molto estesi. Le sabbie sono da fini a grossolane con rare intercalazioni ghiaiosi, gli strati sono da spessi a molto spessi e generalmente amalgamati.

Lo spessore del Subsintema è compreso tra i 50 e i 90 metri circa.

## 5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area in esame ricade in corrispondenza dell'unità idrogeologica della pianura a crescita verticale costituita da depositi argillosi e limosi, interessati a varie profondità da corpi nastriformi ghiaiosi e sabbiosi, orientati in senso Sud-Ovest Nord-Est, riferibili ad antichi paleoalvei del T. Enza e del T. Parma.

L'assetto stratigrafico configura un sistema acquifero multistrato contraddistinto da falde idriche confinate, delle quali quella superiore presenta le seguenti caratteristiche:

- andamento della superficie piezometrica relativamente regolare, con direzione di flusso prevalente verso Nord-Est;
- le linee equipotenziali presentano quindi un orientamento circa Nord-Ovest Sud-Est;

### Inquadramento rispetto alla pianificazione vigente in materia di tutela delle acque - Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti

La Direttiva europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni. Le mappe della pericolosità riportano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali), dal mare e dai laghi, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare P1-L, poco frequenti P2-M e frequenti P3-H) distinti con tonalità di blu, la cui intensità diminuisce in rapporto alla diminuzione della frequenza di allagamento.

L'area in esame rientra nello scenario di pericolosità P1-L con scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi nell'Ambito territoriale: Reticolo naturale Principale RP (Figura 7) e nello Scenario di Pericolosità P2-M: alluvioni poco frequenti (tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità) nell'Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura RSP (Figura 8).

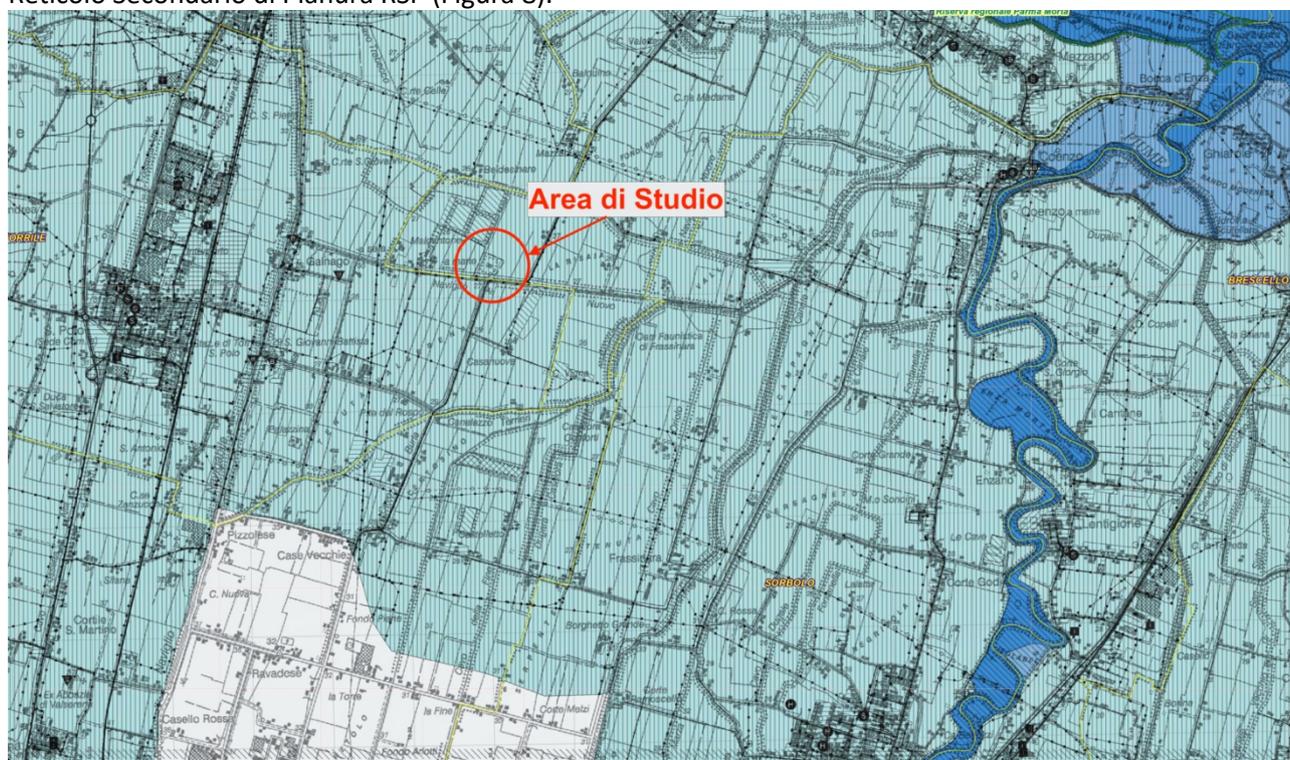


Fig. 7 – Stralcio della Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti RP – 182SO Parma Nord-Est.

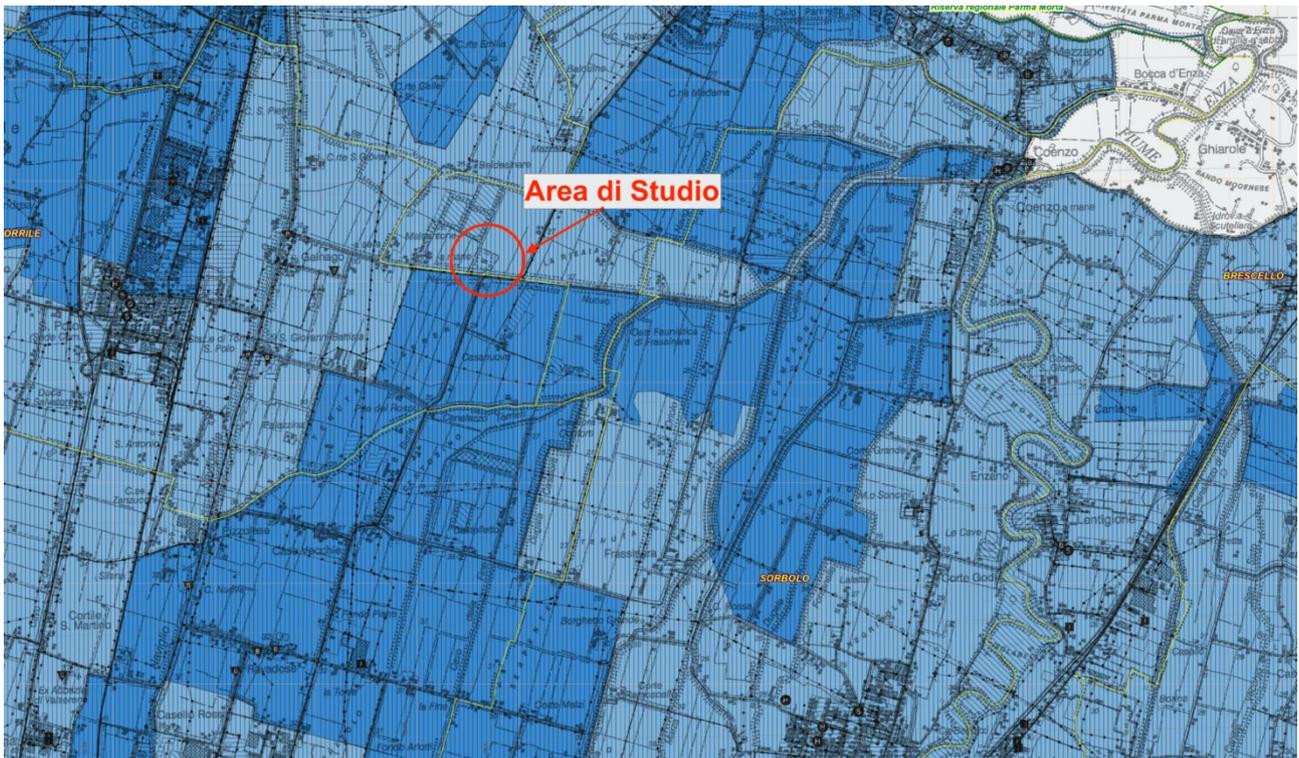
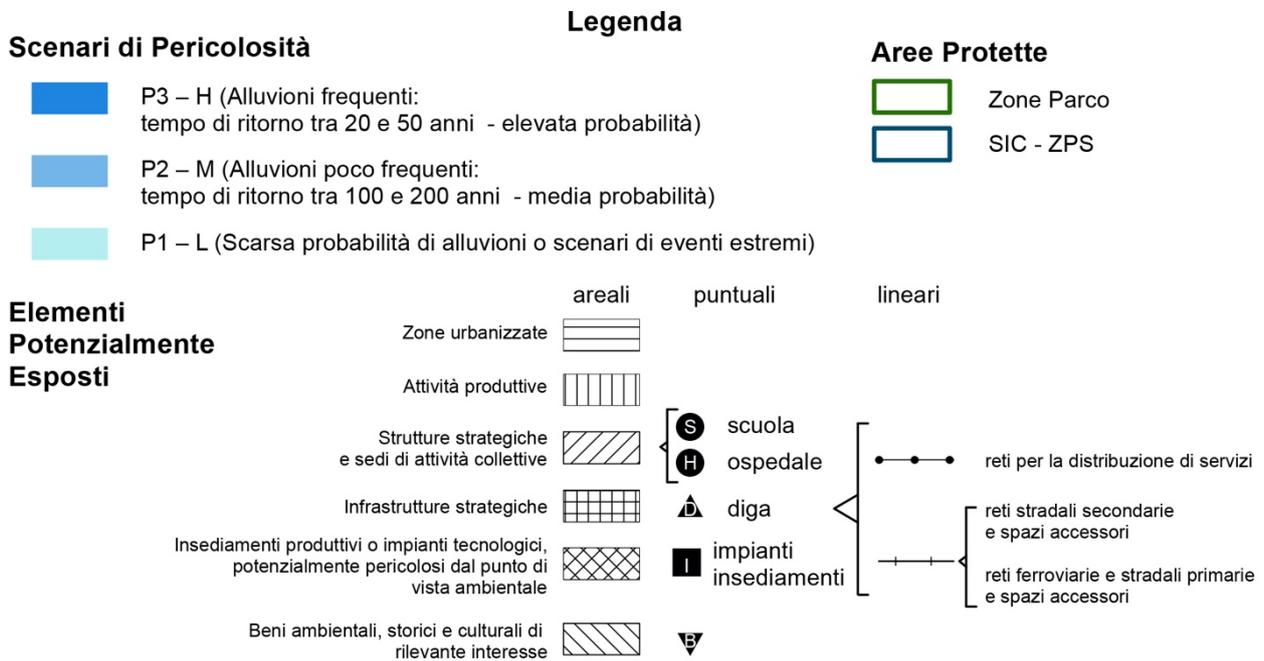


Fig. 8 – Stralcio della Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti RSP – 182SO Parma Nord-Est.



### Vulnerabilità dell'acquifero superficiale

Gli ambiti in esame, sulla base della classificazione della carta della vulnerabilità redatta dalla Provincia di Parma (Alifracco, Beretta et. al. – 2000), ricadono in zone a bassa vulnerabilità.

## 6. MODELLO GEOLOGICO

### 6.1. Indagini in sito

In questa sezione sono descritti i risultati delle indagini in sito realizzate tra il 26 e il 4 giugno 2021 (cfr. ubicazioni nella planimetria di Figura 9):

- n. 4 sondaggi ad andamento verticale descritti nel § 5.1.1.
- n. 12 prove penetrometriche statiche meccaniche C.P.T. (*Cone Penetration Test*), descritte nel § 5.1.2.
- n. 2 prove sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), descritte nel § 5.1.3.

#### 6.1.1. Sondaggi verticali

I n°4 sondaggi verticali sono stati eseguiti a carotaggio continuo e spinti fino ad una profondità di -20.00 m (S1 e S2) e di -18.00 m da p.c. attuale (S3 e S4), l'ubicazione dei sondaggi è riportata in Figura 4. Per l'estrazione delle formazioni geolitologiche è stato utilizzato un carotiere semplice con diametro  $\varnothing$  101 mm e la stabilità delle pareti durante la perforazione è stata assicurata mediante l'impiego di rivestimento metallico provvisorio di diametro pari a  $\varnothing$  127 mm. Nei primi 10.50 m da p.c. del sondaggio S1 è stato impiegato un ulteriore rivestimento del diametro di  $\varnothing$  152 mm.

Per tutti i sondaggi effettuati sono state descritte le unità litologiche e la consistenza dei terreni coesivi e semi coesivi misurando la resistenza al penetrometro tascabile (Pocket Penetrometer) ed allo scissometro tascabile (Torvane) sulla carota appena estratta e scortecciata, i valori delle prove sono consultabili a fianco delle stratigrafie in allegato.

Durante i sondaggi S1 e S2 sono state eseguite n°5 prove SPT (*Standard Penetration Test*) e prelevati n°6 campioni indisturbati tipo *Shelby*.

Nei sondaggi S1 ed S2 sono stati prelevati n°2 campioni disturbati per sondaggio, mentre nei sondaggi S1, S2 ed S3 sono stati prelevati n°9 campioni ambientali.

L'analisi litostratimetrica dei sondaggi a carotaggio continuo è stata condotta mediante l'osservazione diretta del materiale geolitologico, alloggiato in apposite cassette catalogatrici, cercando di definire nel miglior modo possibile la litologia ed i limiti litologici riportati in stratigrafia (in allegato).

La prova SPT (*Standard Penetration Test*) viene realizzata durante l'esecuzione del sondaggio geognostico che consiste nella conta del numero di colpi necessari per infiggere la punta, costituita da un tubo (campionatore) di dimensioni standard, per 45 cm nel terreno. Il campionatore è collegato ad una batteria di aste sulle quali agisce un maglio di peso noto che cade da un'altezza anch'essa nota.

L'avanzamento dei 45 cm e la conta avviene per n°3 intervalli di 15 cm l'uno e per i quali si contano i colpi, i dati su cui si determina la resistenza alla penetrazione ( $N_{spt}$ ) sono i numeri di colpi del secondo e terzo intervallo (gli ultimi 30 cm).

La prova può essere conclusa prima dell'approfondimento di 45 cm se si raggiunge il rifiuto strumentale.

Le prove SPT sono state eseguite nei sondaggi S1 e S2 per determinare le caratteristiche geomeccaniche di resistenza e compressibilità dei materiali "in situ" alle diverse profondità, in particolare sono state eseguite n° 5 prove SPT in totale (Norme ASTM D 1586-84) di cui n° 3 all'interno della verticale del sondaggio S1 e n° 2 all'interno della verticale del sondaggio S2.

I dati ricavati dalle prove SPT sono stati riportati nelle Tabelle 5.I e 5.II e nelle stratigrafie in allegato.

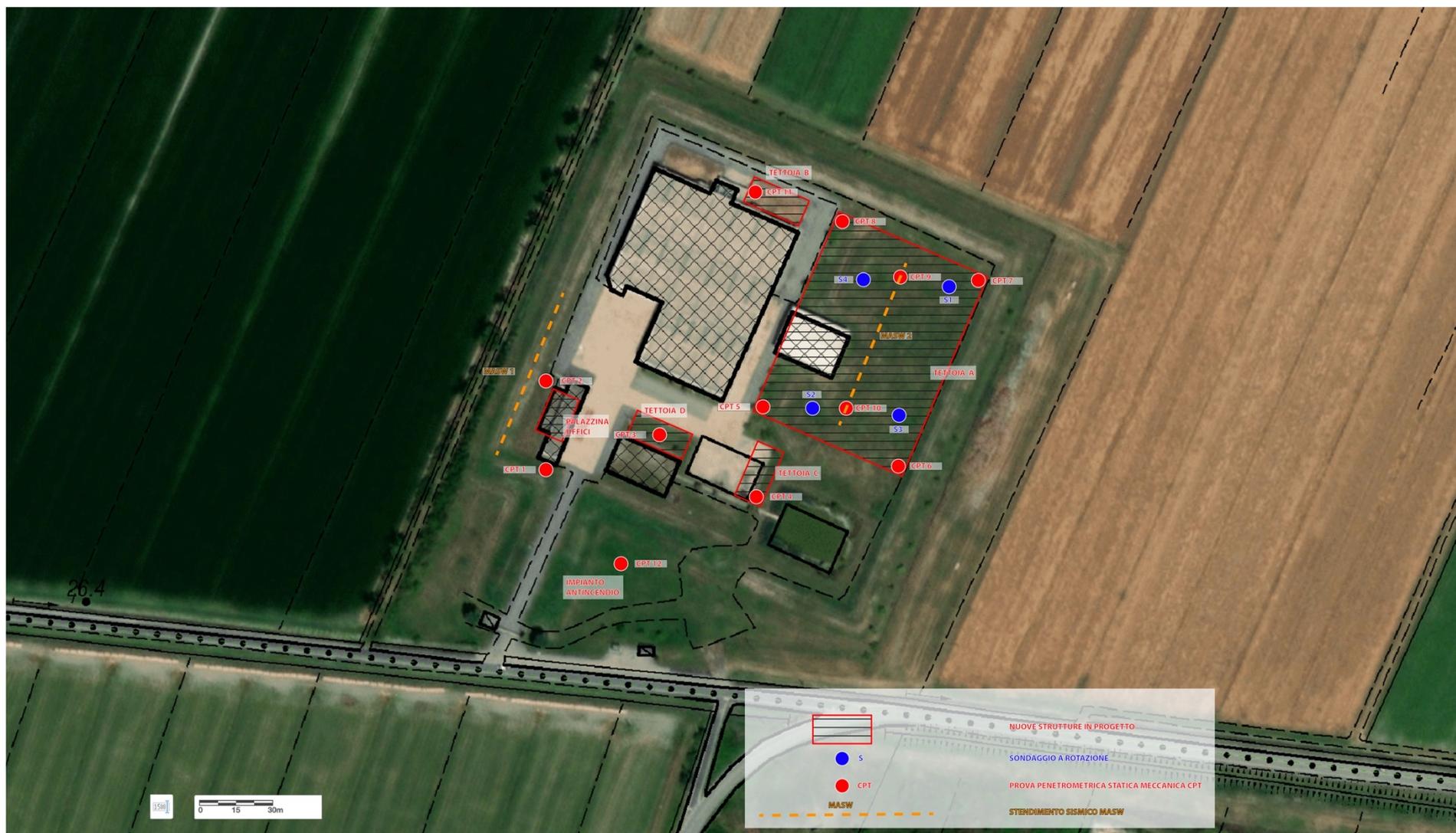


Fig. 9 – Ubicazioni delle indagini in sito.

Tabella 5.I - Valori delle prove SPT nel Sondaggio S1

SONDAGGIO S1		
N°PROVA	PROFONDITÀ	N°COLPI
SPT1	13.70 ÷ 14.15	3 – 5 – 8
SPT2	16.50 ÷ 16.95	7 – 10 – 12
SPT3	19.80 ÷ 20.25	14 – 17 – 23

Tabella 5.II - Valori delle prove SPT nel Sondaggio S2

SONDAGGIO S2		
N°PROVA	PROFONDITÀ	N°COLPI
SPT1	13.60 ÷ 14.05	4 – 8 – 12
SPT2	17.00 ÷ 17.45	23 – 16 – 8

Durante la realizzazione dei sondaggi S1 ed S2 sono stati prelevati n°6 campioni tipo Shelby, n°3 per ogni sondaggio.

Il campionatore Shelby, costituito da una fustella in acciaio, permette di prelevare campioni di terreno indisturbati tramite infissione nel terreno. La fustella, dopo aver prelevato il terreno alla profondità desiderata, viene chiusa ermeticamente tramite l'utilizzo di paraffina colata a caldo alle due estremità della stessa.

Le profondità dei campioni indisturbati sono state riportate in Tabella 5.III e Tabella 5.IV.

Tabella 5.III - Profondità prelievo campioni indisturbati Sondaggio S1

SONDAGGIO S1	
CAMPIONI INDISTURBATI	PROFONDITA' DI INDAGINE (m da p.c.)
SH1	2.00÷2.50
SH2	6.50÷7.00
SH3	10.70÷11.30

Tabella 5.IV - Profondità prelievo campioni indisturbati Sondaggio S2

SONDAGGIO S2	
CAMPIONI INDISTURBATI	PROFONDITA' DI INDAGINE (m da p.c.)
SH1	2.10÷2.70
SH2	6.00÷6.70
SH3	10.50÷11.00

I campioni sono stati inviati al laboratorio geotecnico GEOTEST s.a.s. dove sono state eseguite, per ogni campione:

- Analisi granulometrica per setacciatura
- Analisi granulometrica per sedimentazione
- Classificazione CNR UNI 10006 (AASHTO)
- Peso specifico
- Limiti di Atterberg
- Prova di taglio

In Allegato sono riportati i certificati di laboratorio delle prove eseguite su campioni indisturbati.

All'interno dei sondaggi S1 e S2 sono stati inoltre prelevati n°2 campioni disturbati per un totale di n°4 campioni alle quote riportate nella seguente Tabella 5.V.

Tabella 5.V. - Profondità prelievo campioni disturbati Sondaggio S1 e S2

CAMPIONI DISTURBATI	PROFONDITA' DI INDAGINE (m da p.c.)
D1S1	13.50÷13.80
D2S1	17.00 ÷ 17.50
D1S2	15.00 ÷ 15.50
D2S2	19.00÷19.70

I campioni sono stati inviati al laboratorio geotecnico GEOTEST s.a.s. dove sono state eseguite, per ogni campione:

- Analisi granulometrica per setacciatura
- Analisi granulometrica per sedimentazione
- Peso specifico

In allegato sono riportati i certificati di laboratorio delle prove eseguite su campioni disturbati.

#### 6.1.2. Prove penetrometriche statiche meccaniche CPT

Le prove penetrometriche statiche meccaniche CPT (*Cone Penetration Test*) consistono nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica, di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno, tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e su una interna.

Lo strumento di lettura è formato da una punta ed un manicotto, il motivo è dovuto alla modalità di acquisizione dei valori riportati di seguito:

- Posizione iniziale dello strumento con punta e manicotto uniti
- Approfondimento di 4 cm della punta interna mediante l'asta che misura la resistenza alla punta
- Punta e manicotto vengono fatti avanzare per altri 4 cm e si misura la resistenza totale (la resistenza laterale sarà data dunque da questa lettura meno la resistenza alla punta)

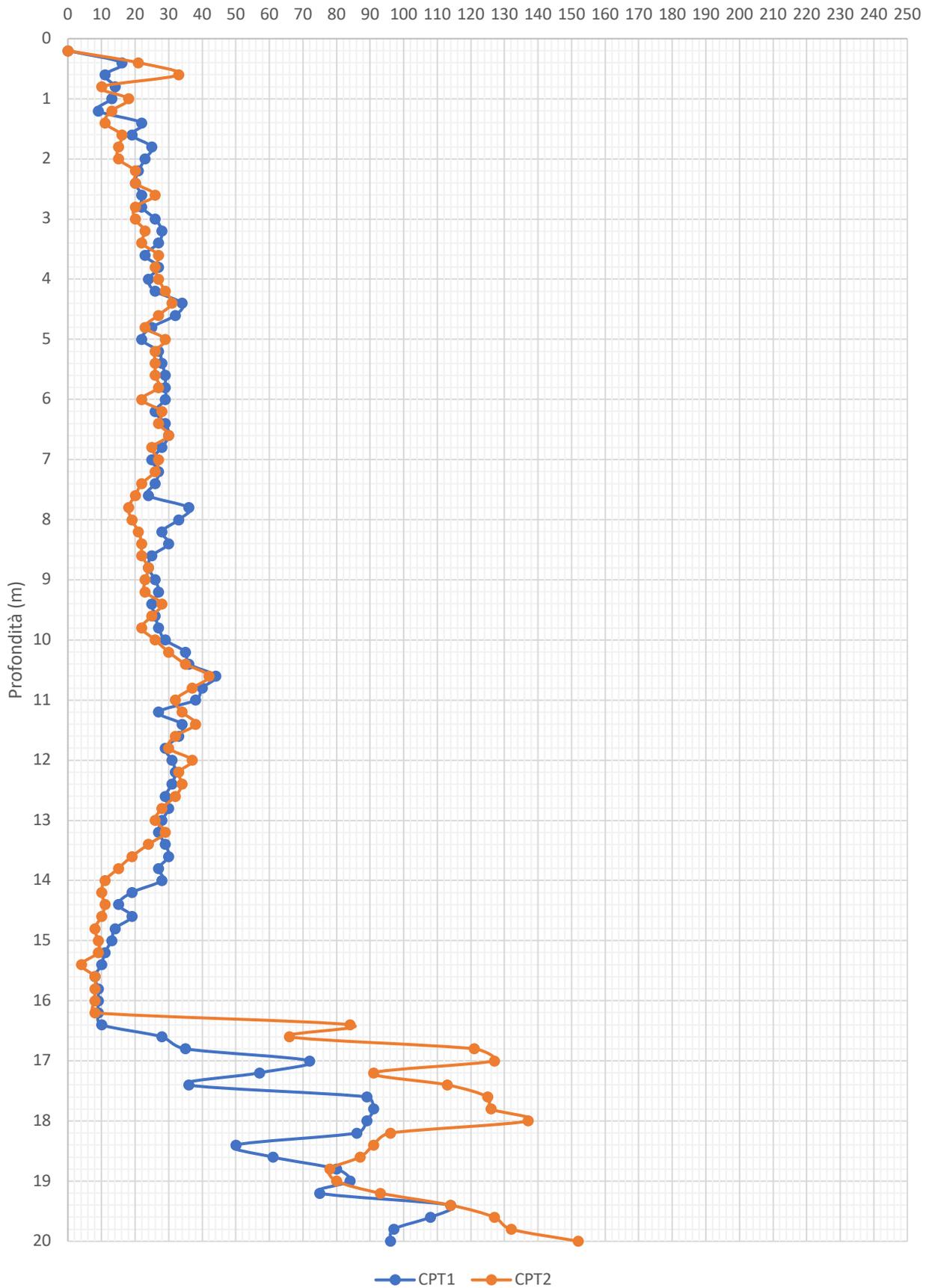
Nell'area sono state eseguite n°12 prove CPT spinte fino alla profondità di -20.00 m da p.c. ad esclusione della prova n°11 che ha raggiunto la profondità di -18.00 m da p.c., l'ubicazione delle prove è riportata nella Figura 9.

I certificati delle prove CPT e le relative foto dei piazzamenti sono riportati in allegato.

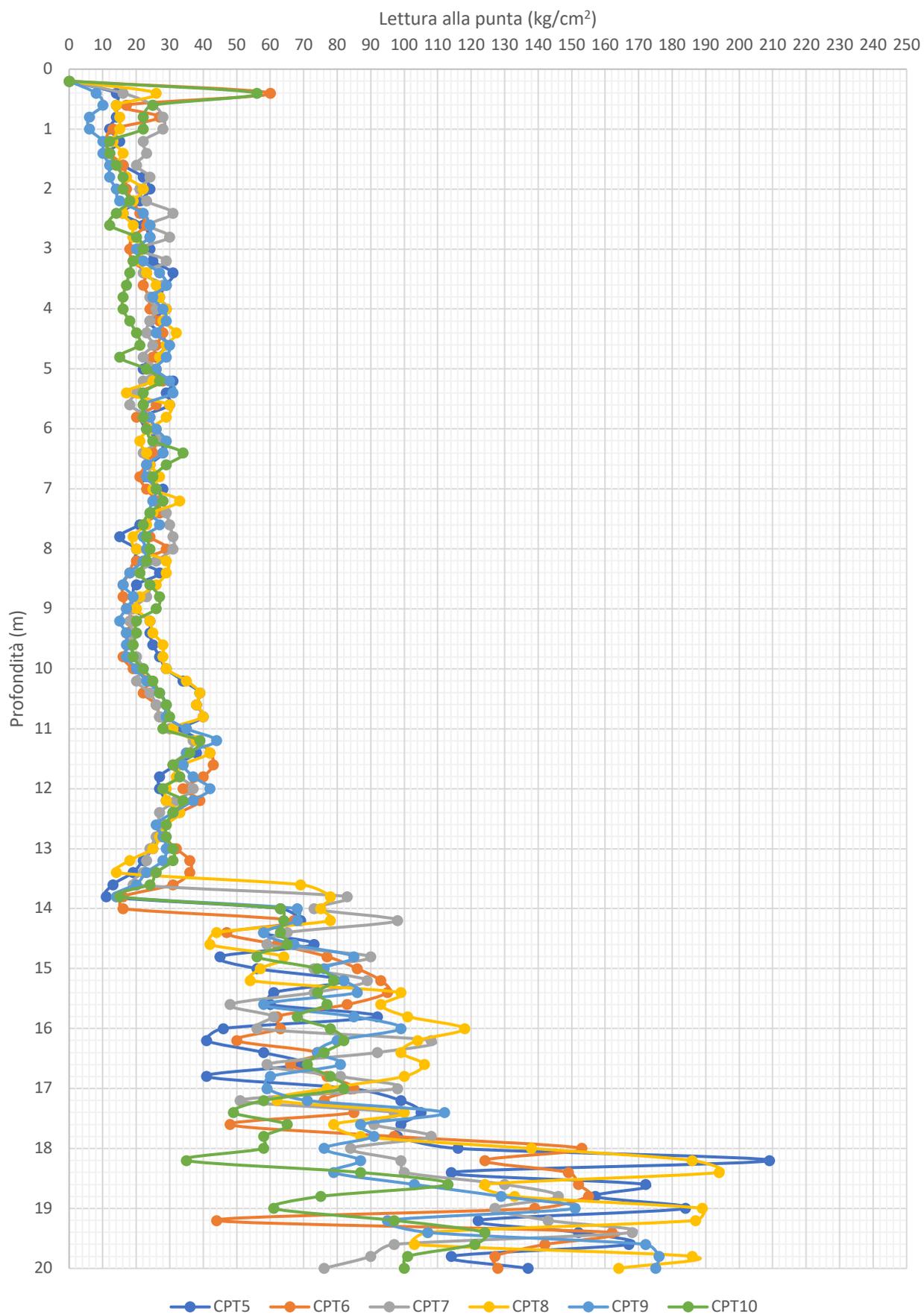
Di seguito sono riportati i grafici della resistenza alla punta espressa in kg/cm<sup>2</sup>, misurati dalle prove penetrometriche statiche meccaniche e confrontati fra loro sulla base della loro posizione, relativamente alle nuove strutture in progetto previste nell'area (cfr. Fig. 9).

# Palazzina uffici (CPT1 e CPT2)

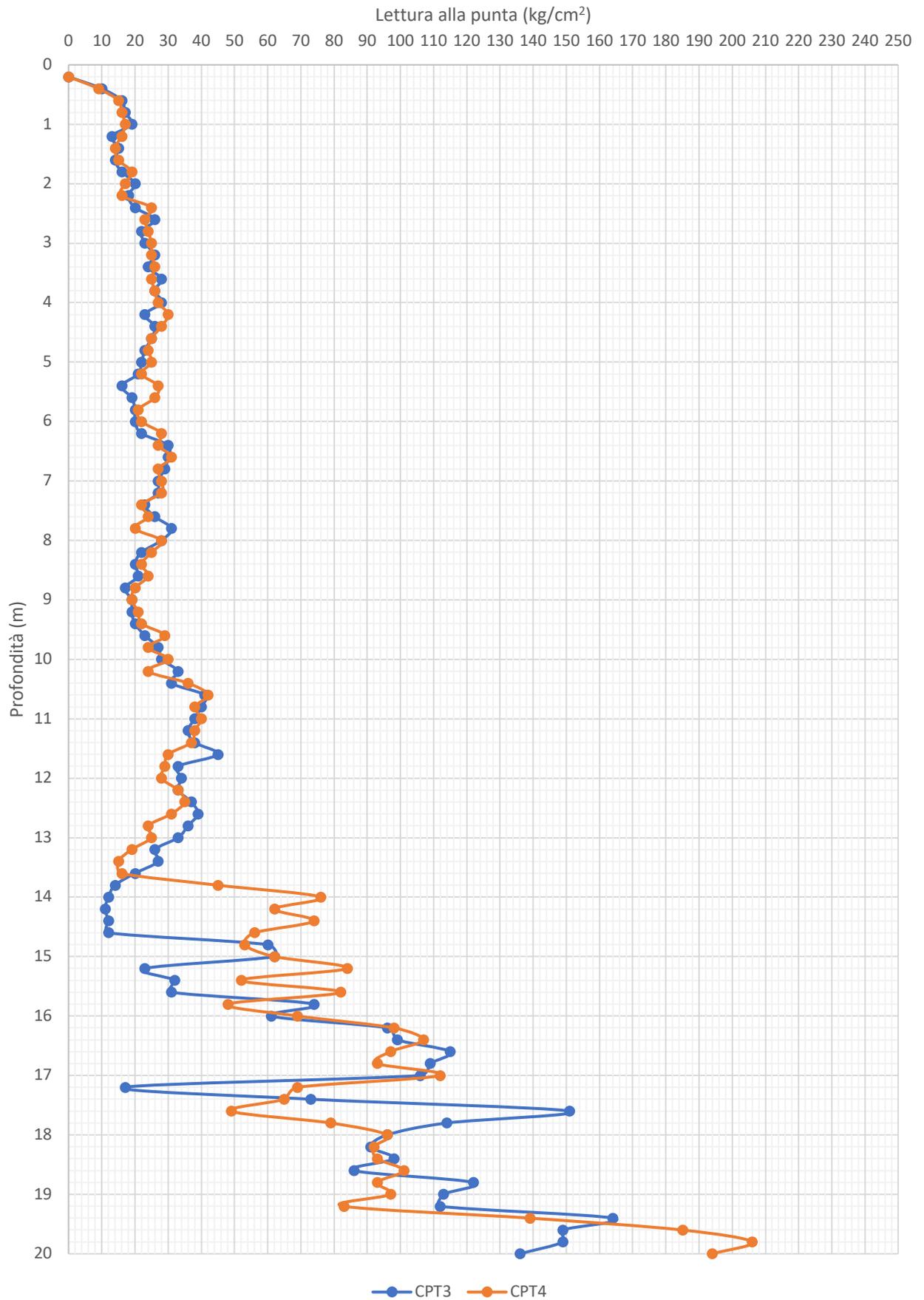
Lettura alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)



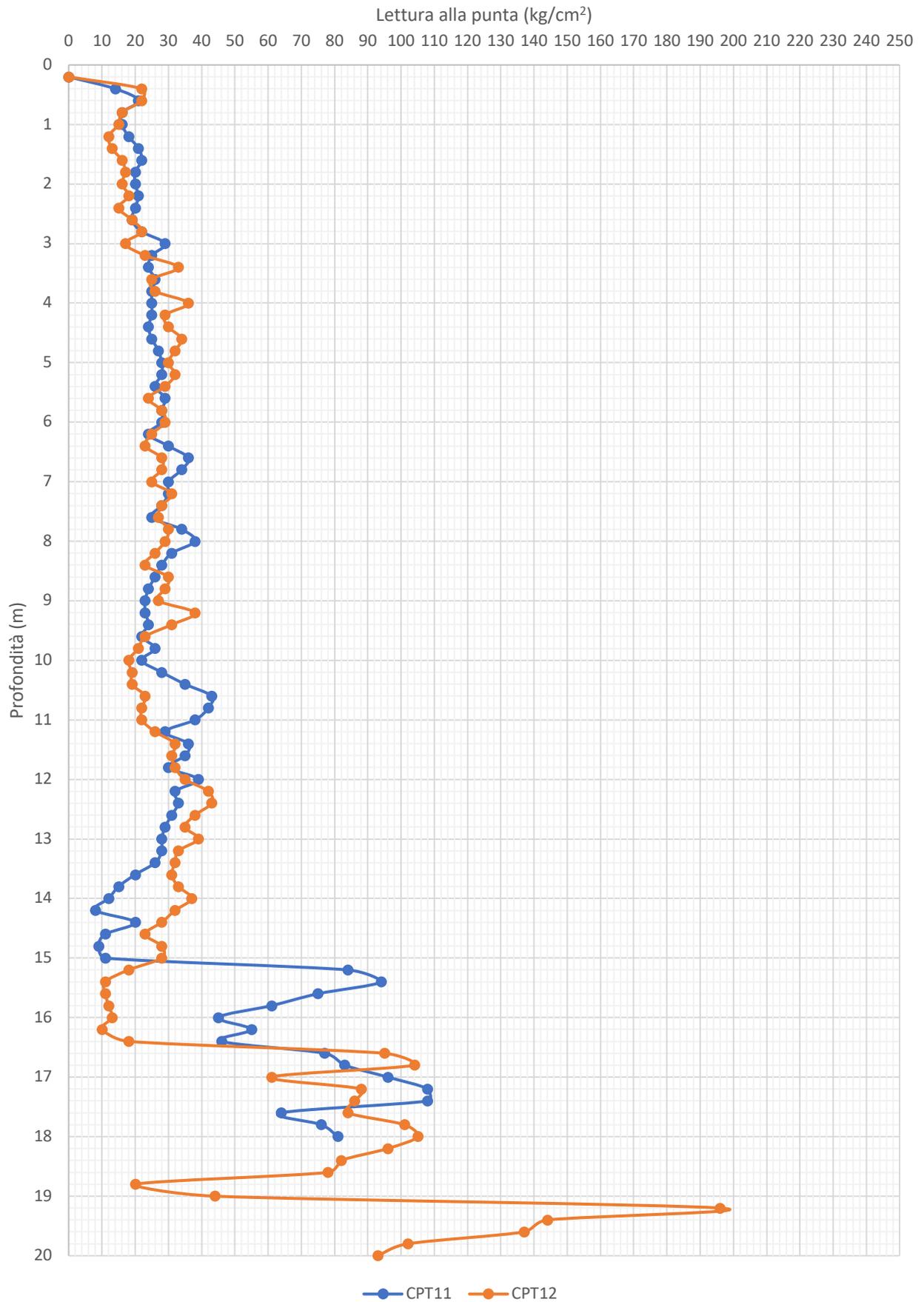
### Tettoia A (CPT5-CPT6-CPT7-CPT8-CPT9-CPT10)



### Tettoia C (CPT4) e Tettoia D (CPT3)



### Tettoia B (CPT11) e Impianto antincendio (CPT12)



Da un primo esame quali-quantitativo, in corrispondenza delle nuove strutture in progetto, le prove evidenziano la seguente stratigrafia:

#### PALAZZINA UFFICI (CPT1- CPT2)

Dalla superficie fino a -16,2 ÷ -16,4 m si incontrano terreni prevalentemente argillosi, con valori di resistenza alla punta dell'ordine  $Q_c=4\div 42 \text{ kg/cm}^2$  riferibili al *Subsistema di Ravenna (AES8)*. Da -16,6 m  $Q_c$  si incrementa seguendo un profilo con andamento alternante su scala pluridecimetrica, con valori che vanno da un minimo di  $28 \text{ kg/cm}^2$  a un massimo di  $152 \text{ kg/cm}^2$ , che può essere attribuito al passaggio alle alternanze prevalentemente sabbiose del *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)*.

#### TETTOIA A (S1 – S2 – S3 – S4 – CPT5 – CPT6 – CPT7 – CPT8 – CPT9 – CPT10)

Dalla superficie fino a -13,4 ÷ -14,0 m si distingue un primo strato con valori di resistenza alla punta dell'ordine  $Q_c=10\div 40 \text{ kg/cm}^2$ , costituito da terreni fini argilloso-limosi (cfr. interpretazione granulometrica del rapporto  $Q_c/f_s$  secondo *Begemann, 1965* e *Raccomandazioni AGI, 1977*), riferibili a depositi alluvionali o detritico-alluvionali del *Subsistema di Ravenna (AES8)*, con probabile presenza di terreno di riporto al tetto. Da -14,0 m  $Q_c$  si incrementa seguendo un profilo con andamento alternante su scala pluridecimetrica, con valori che vanno da un minimo di  $35 \text{ kg/cm}^2$  a un massimo di  $209 \text{ kg/cm}^2$ , che può essere attribuito al passaggio alle alternanze prevalentemente sabbiose del *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)*.

#### TETTOIA B (CPT11)

Dalla superficie fino a -15,0 m si incontrano terreni prevalentemente argillosi, con valori di resistenza alla punta dell'ordine  $Q_c=10\div 46 \text{ kg/cm}^2$  riferibili al *Subsistema di Ravenna (AES8)*. Da -15,2 m  $Q_c$  si incrementa seguendo un profilo con andamento alternante su scala pluridecimetrica, con valori che vanno da un minimo di  $55 \text{ kg/cm}^2$  a un massimo di  $108 \text{ kg/cm}^2$ , che può essere attribuito al passaggio alle alternanze prevalentemente sabbiose del *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)*.

#### TETTOIA C (CPT4)

Dalla superficie fino a -13,6 m si incontrano terreni prevalentemente argillosi, con valori di resistenza alla punta dell'ordine  $Q_c=10\div 42 \text{ kg/cm}^2$  riferibili al *Subsistema di Ravenna (AES8)*. Da -13,8 m  $Q_c$  si incrementa seguendo un profilo con andamento alternante su scala pluridecimetrica, con valori che vanno da un minimo di  $45 \text{ kg/cm}^2$  a un massimo di  $206 \text{ kg/cm}^2$ , che può essere attribuito al passaggio alle alternanze prevalentemente sabbiose del *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)*.

#### TETTOIA D (CPT3)

Dalla superficie fino a -14,6 m si incontrano terreni prevalentemente argillosi, con valori di resistenza alla punta dell'ordine  $Q_c=10\div 45 \text{ kg/cm}^2$  riferibili al *Subsistema di Ravenna (AES8)*. Da -14,8 m  $Q_c$  si incrementa seguendo un profilo con andamento alternante su scala pluridecimetrica, con valori che vanno da un minimo di  $17 \text{ kg/cm}^2$  a un massimo di  $151 \text{ kg/cm}^2$ , che può essere attribuito al passaggio alle alternanze prevalentemente sabbiose del *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)*.

#### IMPIANTO ANTINCENDIO (CPT12)

Dalla superficie fino a -16,4 m si incontrano terreni prevalentemente argillosi, con valori di resistenza alla punta dell'ordine  $Q_c=10\div 43 \text{ kg/cm}^2$  riferibili al *Subsistema di Ravenna (AES8)*. Da -16,6 m  $Q_c$  si incrementa seguendo un profilo con andamento alternante su scala pluridecimetrica, con valori che vanno da un minimo di  $20 \text{ kg/cm}^2$  a un massimo di  $196 \text{ kg/cm}^2$ , che può essere attribuito al passaggio alle alternanze prevalentemente sabbiose del *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)*.

### 6.1.3. Prove sismiche MASW

Nell'area sono state eseguite due prove in sismica attiva MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) con stendimenti paralleli fra loro, la prima (MASW1) in corrispondenza della palazzina uffici, in prossimità delle prove penetrometriche CPT1 e CPT2, la seconda (MASW2) al centro della nuova tettoia A, passante per le prove penetrometriche CPT9 e CPT10 ed in prossimità dei sondaggi a rotazione S2 e S3 come da ubicazione in Figura 9.

I dati delle prove e la loro interpretazione sono riportati per esteso in Allegato. Per la loro interpretazione in termini di categoria di sottosuolo per la caratterizzazione sismica del sito si rimanda al Capitolo 7. In Figura 10 e in Figura 11 sono illustrati graficamente i profili sismo-stratigrafici derivati dallo spettro sismico, ottenuto suddividendo il sottosuolo in strati di spessore  $h_i$  caratterizzati da una velocità equivalente delle onde di taglio omogenea ( $V_{si}$ ). Tenendo conto che la restituzione degli spessori può presentare un sensibile margine di imprecisione, i profili delle velocità (linea tratteggiata rossa nelle figure 10 e 11) mettono in evidenza, una successione di strati con velocità delle onde sismiche di taglio progressivamente crescenti. Incrociando questi profili sismici con i dati geologici (cfr. § 3.) e con i dati dei sondaggi a rotazione e delle prove penetrometriche (cfr. §§ 5.1.1. e 5.1.2.), si osserva che le velocità fino a circa -15 m sono compatibili con depositi alluvionali a media densità (argille e limi), mentre fra -15 m e -30 m i valori delle velocità aumentano e sono compatibili con litologie più grossolane mediamente addensate (sabbie), quindi con caratteristiche fisiche e meccaniche in progressivo miglioramento con la profondità in parallelo all'aumento della pressione litostatica.

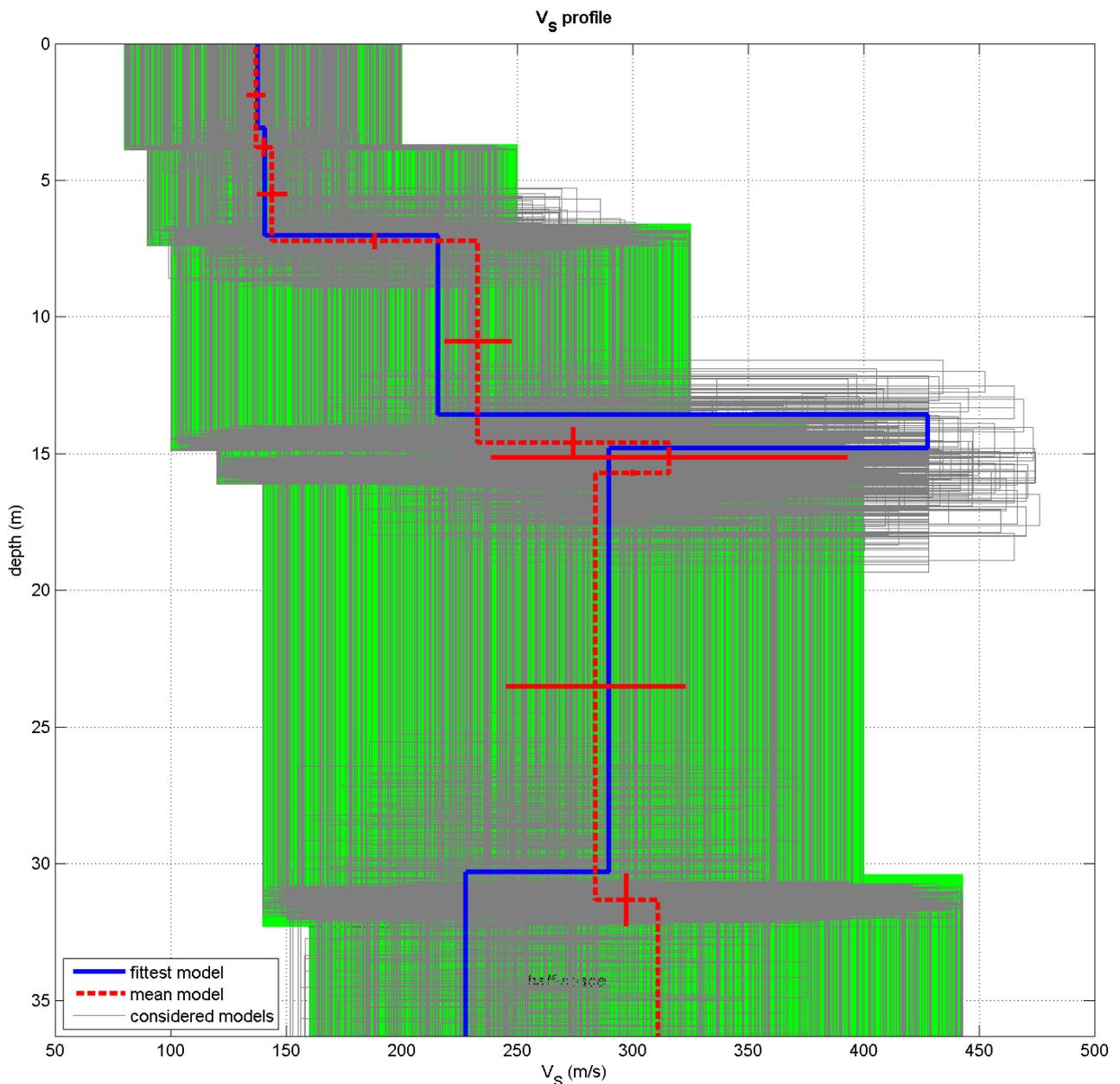


Fig. 10 – Modello sismo-stratigrafico del sottosuolo ricavato dall'interpretazione della prova MASW1.

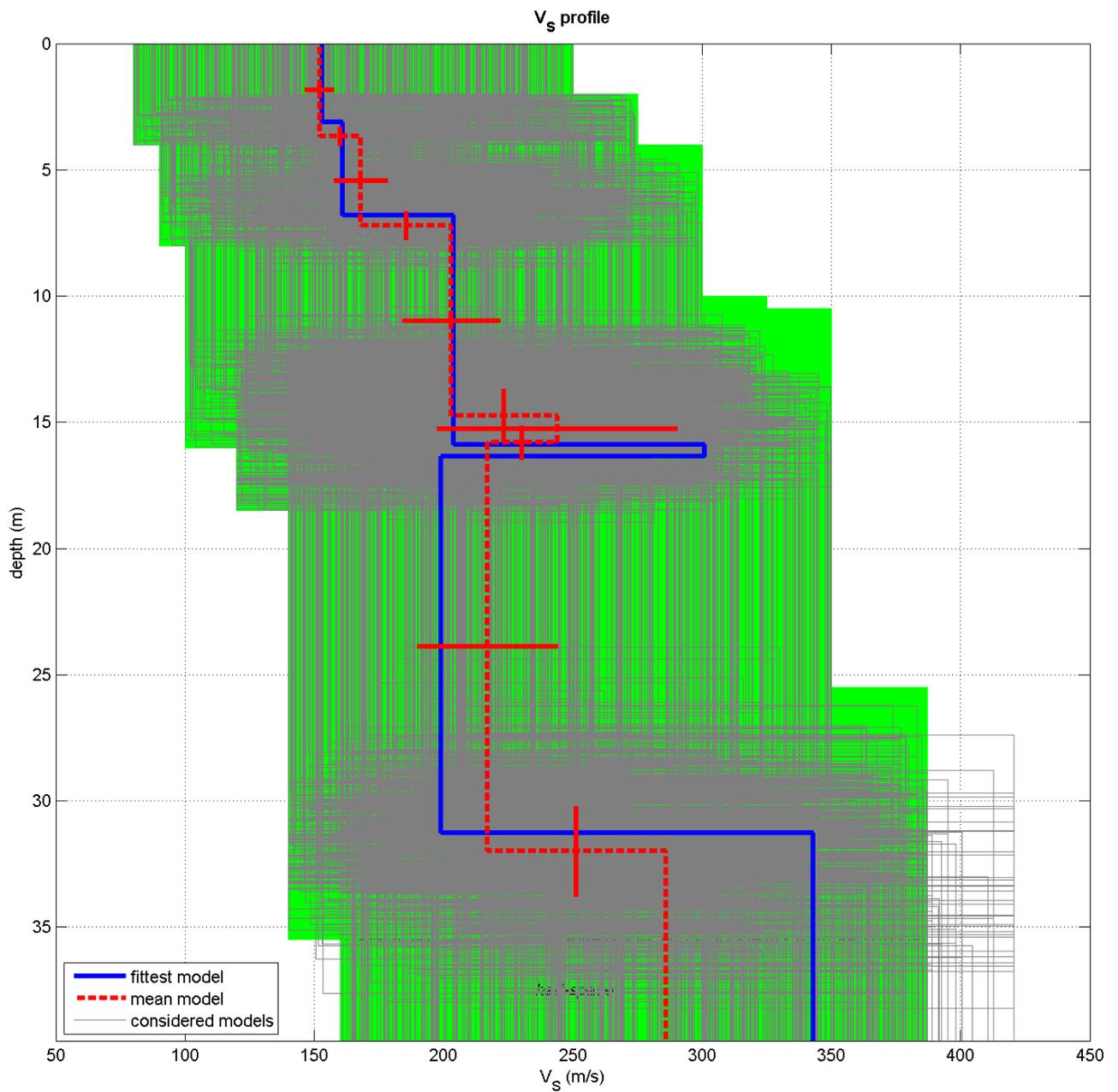


Fig. 11 – Modello sismo-stratigrafico del sottosuolo ricavato dall'interpretazione della prova MASW2.

## 6.2. Sintesi del Modello geologico

La correlazione dei dati esposti e discussi nei paragrafi precedenti permette di delineare per il sito un Modello geologico finalizzato alla realizzazione delle strutture in progetto:

Il Modello geologico è costruito sulla base dell'inquadramento geologico derivato dalla bibliografia, dai rilievi geologici di superficie (cfr. § 3.; Figure 3, 4, 5 e 6), dai dati diretti del sottosuolo provenienti dai sondaggi a rotazione (cfr. § 5.1.1.), dalle prove CPT (cfr. § 5.1.2) e da quelli ricavati dalle prove sismiche MASW (cfr. § 5.1.3.). L'interpretazione in termini litologico-tessiturali dei dati di indagine consente di discriminare con sufficiente sicurezza le litologie interessate dalle prospezioni, qui equiparate al rango di Unità Litotecniche, per cui la ricostruzione dei Corpi Geologici e la loro correlazione è la seguente:

l'area di progetto del nuovo impianto di compostaggio di via Malcantone in Comune di Sorbolo Mezzani si sviluppa sulla parte affiorante del deposito alluvionale del

- *Subsistema di Ravenna (AES8)* costituito da argille prevalenti intercalate, sia lateralmente sia verticalmente, da lenti argilloso-limose.

In profondità, ad una quota variabile fra -13,4 m e -16,4 m dalla superficie e fino al limite di -20 m raggiunto dalle prove dirette realizzate nel sito, si incontra il

- *Subsistema di Villa Verucchio (AES7)* caratterizzato da sabbie prevalenti, limi e argille di ambiente alluvionale.

## 7. MODELLO GEOTECNICO

### 7.1. Base dati

Ai fini del presente studio, la caratterizzazione geotecnica quantitativa deriva dall'interpretazione dei dati registrati in continuo nelle prove penetrometriche statiche meccaniche CPT1÷CPT12, in conformità alla normativa ASTM D3441-86. Nel contesto morfo-geologico del sito, le prove CPT1 e CPT2 sono rappresentative del terreno di fondazione della Palazzina Uffici, le CPT4 e CPT3 si riferiscono alle Tettoie C e D rispettivamente, le CPT5-CPT6-CPT7-CPT8-CPT9-CPT10 caratterizzano il terreno interessato dalla tettoia A, la CPT11 è rappresentativa del terreno interessato dalla Tettoia B e infine la CPT12 contraddistingue il terreno dove verranno posizionate le strutture del sistema antincendio.

Ciò premesso, per l'interpretazione quantitativa delle prove penetrometriche meccaniche CPT in termini di caratteristiche geotecniche, sono state applicate le seguenti correlazioni validate dalla bibliografia in funzione del tipo di strumentazione utilizzata e delle litologie del sottosuolo:

- Cu – Coesione non drenata (kg/cm<sup>2</sup>)
- Eu – Modulo di deformazione non drenato (kg/cm<sup>2</sup>)
- Mo – Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)
- G – Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)
- Puv – Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)
- PuvS – Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)
- Dr – Densità relativa (%)
- Fi – Angolo di resistenza al taglio (°)
- Ey – Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

### 7.2. Modello geotecnico

Nelle Tabelle seguenti sono riportati i risultati delle elaborazioni statistiche (minimo, media, massimo e 5° percentile) sui data-set delle misure in campo lungo i profili di prospezione penetrometrica CPT1÷CPT12, rappresentativi del terreno di fondazione delle strutture in progetto, in cui sono state distinte le Unità stratigrafiche/litotecniche **AES8** a comportamento prevalentemente coesivo e la sottostante **AES7** a comportamento prevalentemente incoerente (cfr. Allegati).

	Prof.	m		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
				kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT1	AES8	0-16,4	Media	1,3	894,8	53,9	196,3	2,0	2,1	15,1	31,1	68,4
			Min	0,4	238,2	38,4	99,8	1,8	1,9	5,0	28,7	37,5
			Max	2,2	1606,5	88,0	282,7	2,1	2,2	26,6	33,2	90,0
			5° percentile	0,5	310,8	41,2	107,2	1,8	1,9	5,0	28,7	41,0
	AES7	16,6-20	Media	3,4	2426,5	134,5	385,4	1,9	2,1	22,8	34,0	198,4
			Min	1,4	985,1	56,0	214,5	0,0	0,0	5,0	30,4	87,5
			Max	4,9	3559,6	194,0	505,7	2,2	2,3	32,7	35,9	285,0
			5° percentile	1,6	1129,0	67,9	241,1	1,5	1,8	5,0	30,4	89,4

	Prof.	m		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
				kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT2	AES8	0-16,2	Media	1,2	817,9	51,1	185,2	2,0	2,1	35,4	33,3	60,7
			Min	0,2	89,6	22,8	65,3	1,6	1,7	5,0	28,7	22,5
			Max	2,1	1531,8	84,0	274,8	2,1	2,2	100,0	42,0	95,0
			5° percentile	0,4	239,1	38,4	99,8	1,8	1,9	7,8	29,9	37,6
	AES7	16,4-20	Media	5,2	3813,0	207,4	484,8	2,1	2,2	32,2	35,7	268,4
			Min	3,3	2410,6	132,0	362,2	0,0	0,0	21,9	33,7	165,0
			Max	6,9	5066,7	274,0	602,9	2,3	2,4	40,2	37,2	380,0
			5° percentile	3,8	2762,5	153,6	397,2	1,6	1,9	22,5	34,1	192,0

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT3	AES8	0-14,6	Media	1,2	880,0	53,5	195,3	2,0	2,1	27,1	31,7	71,3
			Min	0,5	345,2	42,0	114,3	1,8	1,9	5,0	28,7	27,5
			Max	2,3	1630,0	90,0	286,6	2,1	2,2	51,8	34,0	112,5
			5° percentile	0,6	382,7	42,0	127,8	1,9	1,9	7,1	29,6	39,9
	AES7	14,8-20	Media	4,1	2973,6	159,6	438,0	1,9	2,1	29,1	34,5	242,5
			Min	0,9	559,3	46,0	158,1	0,0	0,0	5,0	28,7	57,5
			Max	7,5	5499,5	298,0	631,6	2,3	2,4	43,6	37,3	410,0
			5° percentile	1,1	687,2	51,6	201,6	1,8	2,0	5,0	29,5	78,1

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT4	AES8	0-13,6	Media	1,3	899,1	53,1	198,3	2,0	2,1	32,0	31,9	66,0
			Min	0,5	336,8	41,2	107,2	1,8	1,9	9,9	29,2	50,0
			Max	2,1	1522,0	84,0	274,8	2,1	2,2	53,8	34,3	77,5
			5° percentile	0,8	540,8	42,6	146,5	1,9	2,0	16,1	30,4	57,0
	AES7	13,8-20	Media	3,9	2816,9	155,8	432,2	2,0	2,1	28,1	34,3	227,4
			Min	2,3	1622,3	78,0	286,6	0,0	0,0	11,3	31,4	112,5
			Max	7,0	5124,9	309,0	726,0	2,3	2,4	48,8	38,3	515,0
			5° percentile	2,4	1700,9	87,3	300,2	1,8	2,1	15,1	31,7	121,4

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT5	AES8	0-13,8	Media	1,3	886,1	53,0	196,8	2,0	2,1	11,2	29,3	55,8
			Min	0,6	343,5	42,0	121,2	1,8	1,9	8,4	28,8	50,0
			Max	2,0	1442,3	80,0	266,7	2,1	2,2	16,2	30,2	67,5
			5° percentile	0,7	470,0	42,0	136,4	1,9	2,0	8,5	28,8	50,0
	AES7	14,0-20	Media	4,5	3299,2	166,1	450,4	1,9	2,1	29,4	34,4	245,4
			Min	2,1	1457,5	82,0	270,8	0,0	0,0	7,7	30,5	102,5
			Max	8,6	6362,4	344,0	732,4	2,3	2,4	51,9	38,6	522,5
			5° percentile	2,1	1458,8	84,5	278,7	1,8	2,1	10,6	30,9	107,5

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT6	AES8	0-14,0	Media	1,3	886,4	53,4	195,6	2,0	2,1	46,9	34,5	80,4
			Min	0,6	405,8	42,0	121,2	1,9	1,9	5,8	30,1	65,0
			Max	3,0	2249,2	120,0	341,7	2,2	2,2	100,0	42,0	150,0
			5° percentile	0,8	538,9	42,0	152,4	1,9	2,0	10,0	30,4	65,0
	AES7	14,2-20	Media	5,0	3627,6	156,6	446,2	1,9	2,1	30,3	35,0	243,4
			Min	2,2	1569,4	70,5	282,7	0,0	0,0	10,9	31,6	117,5
			Max	7,7	5661,8	306,0	626,9	2,3	2,4	43,5	37,5	405,0
			5° percentile	2,3	1652,1	79,2	296,0	1,8	2,1	15,1	32,0	122,0

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT7	AES8	0-13,6	Media	1,3	903,4	51,1	199,4	2,0	2,1	36,2	32,5	60,0
			Min	0,8	599,3	42,0	152,4	1,9	2,0	11,9	30,2	50,0
			Max	1,9	1336,0	74,0	254,3	2,1	2,1	58,7	35,2	77,5
			5° percentile	0,9	646,7	42,0	165,4	1,9	2,0	13,2	30,2	50,4
	AES7	13,8-20	Media	5,1	3725,2	155,6	436,0	1,9	2,2	29,2	34,7	227,6
			Min	2,6	1839,3	72,0	298,1	0,0	0,0	13,3	31,9	120,0
			Max	7,3	5394,8	292,0	640,9	2,3	2,4	43,6	37,6	420,0
			5° percentile	2,8	2009,3	86,5	319,4	1,8	2,1	16,4	32,3	134,4

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT8	AES8	0-13,4	Media	1,3	916,3	53,9	200,0	2,0	2,1	50,2	35,3	70,8
			Min	0,7	465,6	42,0	134,2	1,9	2,0	19,0	31,4	65,0
			Max	2,1	1523,1	84,0	274,8	2,1	2,2	100,0	42,0	75,0
			5° percentile	0,7	531,5	42,0	141,9	1,9	2,0	20,3	31,5	65,8
	AES7	13,6-20	Media	5,1	3754,2	182,2	474,3	2,0	2,2	32,5	35,3	264,9
			Min	2,1	1511,1	81,0	274,8	0,0	0,0	12,3	31,5	105,0
			Max	9,7	7195,7	388,0	699,8	2,4	2,4	49,2	38,5	485,0
			5° percentile	2,2	1564,2	84,9	305,3	1,8	2,1	16,7	32,2	125,0

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT9	AES8	0-13,8	Media	1,2	842,8	52,0	189,5	2,0	2,1	28,0	31,4	61,3
			Min	0,3	220,2	31,5	83,7	1,8	1,8	11,2	29,6	55,0
			Max	2,2	1595,5	88,0	282,7	2,1	2,2	44,7	33,2	67,5
			5° percentile	0,5	367,9	42,0	114,3	1,9	1,9	12,9	29,8	55,6
	AES7	14,0-20	Media	4,4	3163,2	151,3	442,1	1,9	2,1	29,8	34,6	233,6
			Min	3,0	2136,9	87,0	334,7	0,0	0,0	18,1	32,6	145,0
			Max	5,4	3927,0	264,0	659,4	2,3	2,3	44,7	37,6	440,0
			5° percentile	3,2	2294,1	88,5	336,5	1,8	2,1	19,5	32,7	146,3

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT10	AES8	0-13,8	Media	1,2	840,1	51,3	192,1	2,0	2,1	33,1	32,8	70,3
			Min	0,6	433,3	42,0	127,8	1,8	2,0	13,2	30,7	45,0
			Max	2,0	1413,3	84,0	327,6	2,1	2,2	100,0	42,0	140,0
			5° percentile	0,7	505,3	42,0	140,4	1,9	2,0	14,0	30,8	45,0
	AES7	14,0-20	Media	3,9	2794,0	131,1	391,2	1,9	2,1	24,2	33,9	189,7
			Min	1,8	1236,8	70,0	245,8	0,0	0,0	5,0	29,9	87,5
			Max	6,2	4569,4	248,0	532,4	2,3	2,4	35,1	36,1	310,0
			5° percentile	2,5	1797,9	78,8	314,8	1,8	2,1	13,6	32,2	131,3

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT11	AES8	0-15,0	Media	1,3	924,6	54,2	201,3	2,0	2,1	31,9	32,2	68,7
			Min	0,4	235,9	38,4	99,8	1,8	1,9	5,0	28,7	50,0
			Max	2,2	1562,1	86,0	278,7	2,1	2,2	52,6	33,9	105,0
			5° percentile	0,6	372,7	42,0	125,5	1,9	1,9	6,0	29,2	50,0
	AES7	15,2-18	Media	3,3	2401,4	130,8	394,4	1,8	2,0	25,0	33,9	192,2
			Min	2,3	1653,3	82,5	286,6	0,0	0,0	11,6	31,5	112,5
			Max	4,2	3039,3	166,0	489,3	2,2	2,3	34,6	35,7	270,0
			5° percentile	2,5	1766,3	89,2	289,3	1,3	1,5	11,7	31,5	114,3

		Prof.		Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey
		m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	%	°	kg/cm <sup>2</sup>
CPT12	AES8	0-16,4	Media	1,3	900,8	55,3	200,9	2,0	2,1	18,6	30,0	75,4
			Min	0,5	256,5	42,0	114,3	1,8	1,9	5,0	28,7	47,5
			Max	2,2	1522,2	86,0	278,7	2,1	2,2	43,0	32,5	107,5
			5° percentile	0,6	370,4	44,0	127,8	1,9	1,9	5,8	28,7	50,5
	AES7	16,6-20	Media	3,9	2763,7	153,9	444,6	1,8	2,1	29,4	32,9	249,4
			Min	1,0	612,6	42,0	174,6	0,0	0,0	6,2	28,8	110,0
			Max	6,9	4993,9	294,0	704,2	2,3	2,4	48,7	36,4	490,0
			5° percentile	1,2	792,3	81,1	266,5	1,5	1,7	16,3	30,5	144,0

## 8. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

### 8.1. Classificazione sismica

Per quanto riguarda la classificazione sismica, il Comune di Mezzani è inserito nella Zona 3 (sismicità medio-bassa con PGA fra 0,05 e 0,15 g) ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 (Allegato B della Delibera di Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna, Progr. n. 1677/2005).

Da ricerche effettuate sul *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2019* (CPTI15<sup>1</sup>), i sismi rilevati in un intorno circolare di raggio = 30 km dell'area in esame sono quelli riportati in Tabella 7.1.1

Tabella 7.1.1. - CPTI15 Terremoti rilevati in un intorno dell'area di raggio = 30 km.

Year	EpicentralArea	LatDef	LonDef	MwDef	Year	EpicentralArea	LatDef	LonDef	MwDef
1280	Pianura emiliana	44,814	10,683	4,4	1915	Reggiano	44,733	10,47	4,87
1344	Parma	44,801	10,33	4,16	1918	Reggiano	44,691	10,63	4,41
1345	Pianura emiliana	44,81	10,564	4,4	1937	Parmense	44,764	10,338	4,77
1383	Parma	44,801	10,33	3,93	1940	Appennino emiliano	44,8	10,3	
1409	Parma	44,801	10,33	5,1	1940	Parmense	44,8	10,183	5,06
1438	Parmense	44,844	10,239	5,56	1950	Reggiano	44,731	10,671	4,41
1465	Pianura emiliana	44,698	10,631	4,4	1955	Parmense	44,798	10,173	4,15
1481	Pianura emiliana	44,724	10,628	4,16	1961	Parmense	44,739	10,229	4,37
1485	Reggio nell'Emilia	44,698	10,631	4,16	1961	Parmense	44,812	10,153	4,47
1522	Pianura Padana	44,982	10,05	4,71	1967	Reggiano	44,73	10,602	4,44
1547	Reggiano	44,698	10,631	5,1	1968	Parmense	44,75	10,32	
1547	Reggiano	44,698	10,631	4,4	1969	Parmense	44,731	10,139	4,21
1572	Parmense	44,85	10,422	4,63	1970	Parmense	44,707	10,299	4,08
1586	Parmense	44,866	10,061	4,16	1971	Parmense	44,814	10,345	5,51
1591	Reggio nell'Emilia	44,698	10,631	4,63	1972	Parmense	44,638	10,303	4,01
1600	Reggio nell'Emilia	44,698	10,631	5,33	1981	Reggiano	44,655	10,434	3,75
1607	Reggio nell'Emilia	44,698	10,631	4,16	1983	Parmense	44,755	10,265	5,04
1608	Reggio nell'Emilia	44,698	10,631	4,4	1987	Reggiano	44,812	10,691	4,64
1628	Parma	44,801	10,33	4,86	1987	Reggiano	44,81	10,694	4,71
1653	Reggiano	44,814	10,504	4,4	1988	Reggiano	44,838	10,724	4,57
1732	Parma	44,871	10,468	4,65	1996	Pianura emiliana	44,798	10,678	5,38
1738	Emilia occidentale	44,906	10,028	5,1	1996	Pianura emiliana	44,815	10,691	4,1
1774	Parma	44,801	10,33	4,16	1996	Pianura emiliana	44,803	10,677	4,38
1806	Reggiano	44,862	10,671	5,21	1996	Pianura emiliana	44,826	10,7	4,16
1810	Pianura emiliana	44,9	10,719	5,06	1996	Pianura emiliana	44,853	10,699	3,94
1818	Parmense	44,696	10,296	5,24	1996	Pianura emiliana	44,787	10,715	4,29
1831	Reggiano	44,749	10,48	4,6	1996	Pianura emiliana	44,814	10,693	4,06
1831	Pianura emiliana	44,753	10,544	5,48	1997	Pianura emiliana	44,781	10,63	3,68
1832	Reggiano	44,765	10,494	5,51	1998	Pianura emiliana	44,777	10,723	3,93
1857	Parmense-Reggiano	44,749	10,48	5,11	2000	Pianura emiliana	44,785	10,746	4,4
1886	Collecchio	44,75	10,306	4,7	2000	Pianura emiliana	44,693	10,633	4,88
1895	Reggiano	44,745	10,605	3,98	2007	Pianura emiliana	44,801	10,478	4,21
1898	Parmense	44,655	10,26	5,37	2012	Pianura emiliana	44,871	10,51	4,98
1906	Parmense	44,812	10,079	4,25					

Si può quindi ritenere che la Magnitudo momento media (Mw) per il luogo sia 4.98 con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

<sup>1</sup> Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

## 8.2. Pericolosità sismica di base

Come elementi di riferimento per la determinazione delle azioni sismiche, sono riportati i dati di base che identificano la pericolosità sismica in condizioni ideali per un terreno di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, espressi in termini di *valore di accelerazione orizzontale massima del terreno ( $a_g$ )*, *del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( $F_0$ )* e *del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( $T_c^*$ )*, per periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento, ottenuti tramite il programma Spettri NTC 1.03 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Tali valori derivano dagli studi condotti a livello nazionale in funzione dei valori definiti nei nodi del reticolo riferimento (Allegato B alle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008, come prescritto dalle NTC 2018 e dalla Circolare 2019):

Coordinate del sito in esame (ED50 EPSG 4230):

latitudine: 44,893811  
 longitudine: 10,401225

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14941	Lat: 44,8946	Lon: 10,3867	Distanza: 1149,707
Sito 2	ID: 14942	Lat: 44,8964	Lon: 10,4572	Distanza: 4415,351
Sito 3	ID: 15164	Lat: 44,8464	Lon: 10,4597	Distanza: 6996,836
Sito 4	ID: 15163	Lat: 44,8446	Lon: 10,3893	Distanza: 5550,467

I parametri sismici utilizzati sono:

Valore minimo della Vita nominale $V_N$ di progetto	50 anni (Tab. 2.4.I. NTC 2018)
Classe d'uso	II ( § 2.4.2. NTC 2018)
Coefficiente d'uso $C_u$	1.0 (Tab. 2.4.II. NTC 2018)
Periodo di riferimento $V_R$	50 anni ( § 2.4.3. NTC 2018)
Categoria di sottosuolo	C
Categoria topografica	T1

Tabella 7.2.1. - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.

Stato Limite	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.038	2.560	0.227
SLD	50	0.047	2.540	0.257
	72	0.053	2.565	0.258
	101	0.059	2.588	0.280
	140	0.067	2.579	0.288
	201	0.075	2.592	0.293
SLV	475	0.098	2.635	0.312
SLC	975	0.122	2.670	0.322
	2475	0.163	2.643	0.333

In Figura 12 e in Figura 13 sono riportati rispettivamente i grafici della variabilità dei parametri e gli spettri di risposta elastici per il periodo di ritorno  $T_R$ .

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$**

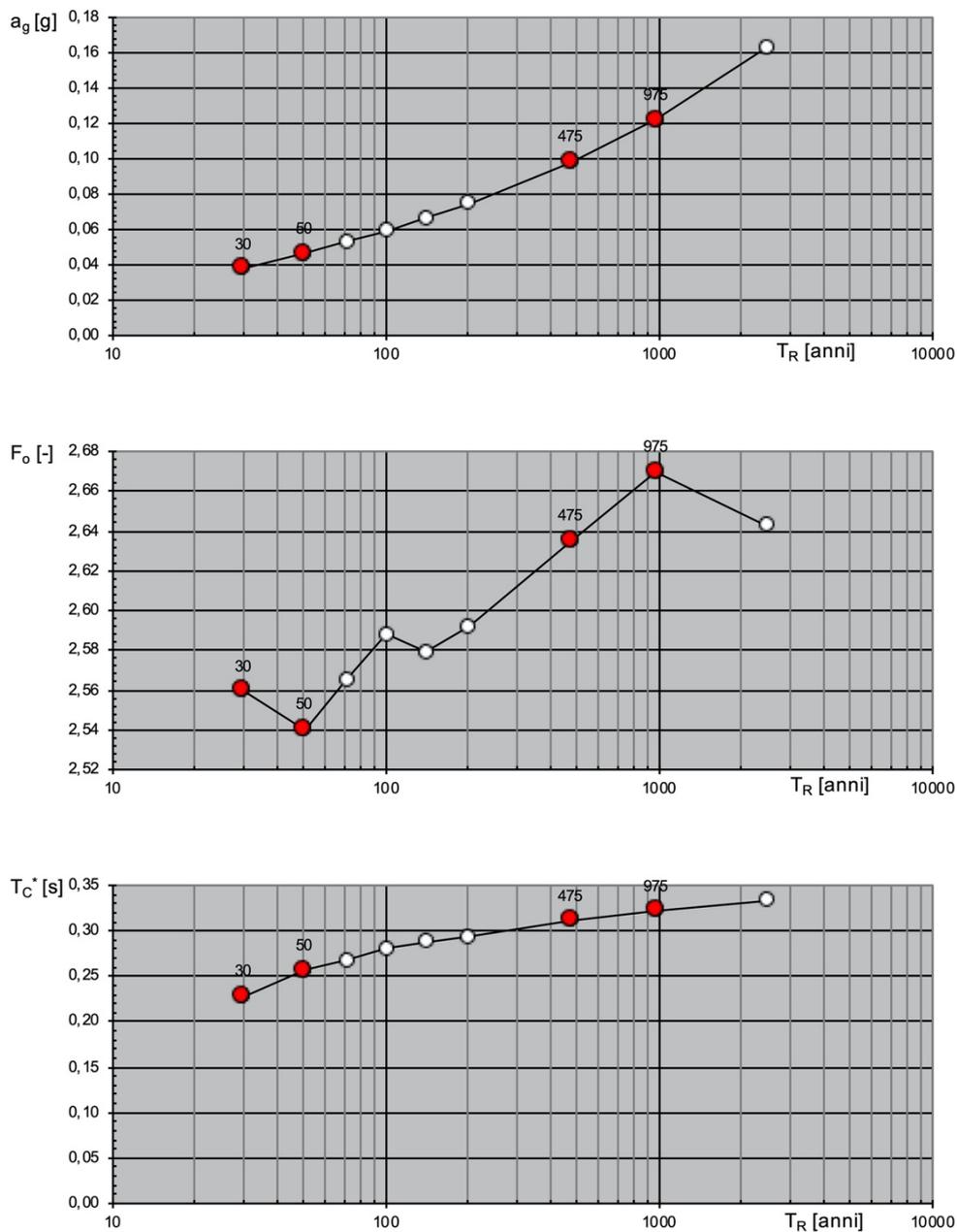
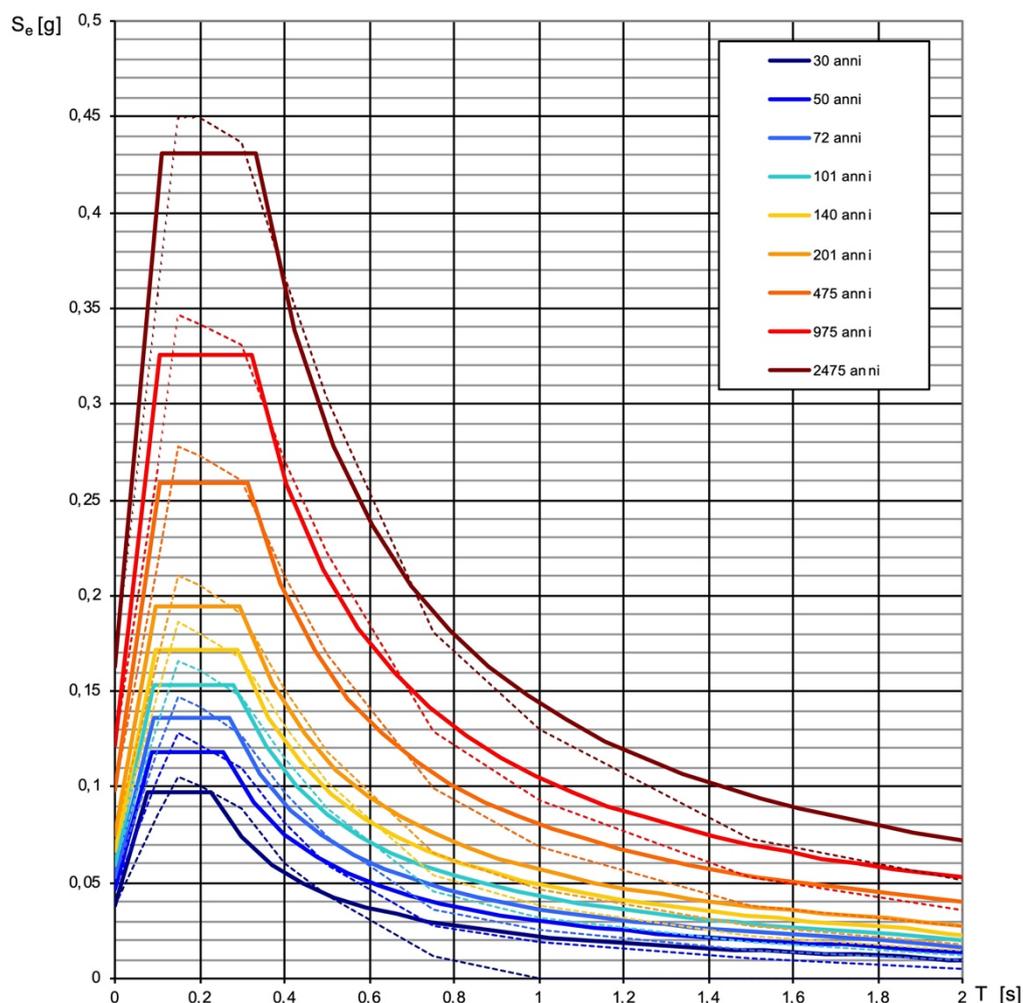


Figura 12 - Variabilità dei parametri in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, per periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento e per i diversi stati limite.

## Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:  
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 13 - Spettri di risposta elastici in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, per periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.

### 8.3. Categoria di sottosuolo

La categoria di sottosuolo dell'area è stata determinata mediante la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio, ottenuta con due sismiche M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). Le ubicazioni sono riportate in Fig. 9, mentre i dati e la loro interpretazione sono riportati per esteso nell'Allegato.

La classificazione del sottosuolo viene effettuata in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dalla seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$  ottenuto ponendo  $H = 30$  m nell'equazione sopra riportata (Cfr. 3.2.1 delle NTC 2018). Di seguito sono riassunti i risultati.

Tabella 7.3.I. - Strati e velocità  $V_s$  ricavati dalla prova M.A.S.W.1

Considered dispersion curve: **Mezzani (PR) Strada Malcantone – MASW 1.cdp**

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio dinamico (MPa)	$V_p$ (m/s) (approssimato)	Coefficiente di Poisson (approssimato)
1	0,0–3,8	3,8	137	1,88	35	489	0,46
2	3,8–7,2	3,4	144	1,83	38	388	0,42
3	7,2–14,6	7,4	233	1,99	108	760	0,45
4	14,6–15,7	1,1	316	2,15	215	1506	0,48
5	15,7–31,3	15,6	284	2,07	167	1085	0,46
6	31,3–35,0	3,7	311	1,98	192	737	0,39

Il valore della  $V_{s30}$  è:

Dataset: **MezzaniMW1-2021-05-26 10-19.dat**

**$V_{s30}$  (m/s) = 219**

I terreni appartengono quindi alla **Categoria di sottosuolo di tipo C**

*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s (Tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018).*

Tabella 7.3.II. - Strati e velocità  $V_s$  ricavati dalla prova M.A.S.W.2

Considered dispersion curve: **Mezzani (PR) Strada Malcantone – MASW 2.cdp**

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio dinamico (MPa)	$V_p$ (m/s) (approssimato)	Coefficiente di Poisson (approssimato)
1	0,0–3,7	3,7	152	1,91	44	547	0,46
2	3,7–7,2	3,5	168	1,97	56	701	0,47
3	7,2–14,7	7,5	203	1,98	82	752	0,46
4	14,7–15,8	1,1	244	2,05	122	991	0,47
5	15,8–32,0	16,2	217	1,93	91	601	0,43
6	32,0–35,0	3,0	286	2,11	173	1283	0,47

Il valore della  $V_{s30}$  è:

Dataset: **MezzaniMW2-2021-05-26 11-01.dat**

**$V_{s30}$  (m/s) = 197**

I terreni appartengono quindi alla **Categoria di sottosuolo di tipo C**

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

#### **8.4. Fattori di amplificazione sismica P.G.A. e Intensità Spettrale (Allegato A2 alla Delibera della Giunta Regionale n. 476/2021).**

In questo paragrafo sono prese in considerazione le condizioni fisiche locali, intese come aspetti geologici e geomorfologici del territorio, che possono determinare effetti locali di amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità, fenomeni di liquefazione, ecc. («Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L. R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"», Allegato A1 alla Delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale progr. n. 112/2007, aggiornata con Delibera di Giunta Regionale n. 2193/2015 e Delibera di Giunta Regionale n. 630/2019 e Delibera di Giunta Regionale n. 476/2021).

In riferimento al paragrafo A2.1.2 – PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA della D.G.R. n. 476/2021, le tabelle relative al settore PIANURA 2 sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree di pianura dell'Emilia-Romagna, con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.

I Fattori di Amplificazione (FA) riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno  $T_R=475$  anni, con smorzamento  $\zeta=5\%$ , e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (**PGA**)<sup>2</sup>;
- Intensità spettrale  $SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$  dove  $A$  è lo spettro di risposta in accelerazione,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento<sup>3</sup>; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo quattro valori di intensità spettrale:
- Intensità spettrale  $SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$  dove  $V$  è lo spettro di risposta in velocità,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento<sup>4</sup>; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

Sulla base dei risultati delle prospezioni M.A.S.W. 1 ( $V_{s,30} = 219$  m/s) e M.A.S.W. 2 ( $V_{s,30} = 197$  m/s), nel caso di coperture su substrato non rigido, caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, i Fattori di Amplificazione valgono:

Fattore di Amplificazione                      **PGA = 1.7**

<sup>2</sup> PGA/PGA<sub>0</sub>; PGA<sub>0</sub> è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 al suolo di riferimento, PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 alla superficie del sito.

<sup>3</sup> SA/SA<sub>0</sub>; SA<sub>0</sub> è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento, SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito.

<sup>4</sup> SI/Sl<sub>0</sub>; Sl<sub>0</sub> è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento, SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito.

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ) = 1.8

**SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ) = 2.7

**SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) = 3.2

**SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ) = 3.1

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ) = 2.0

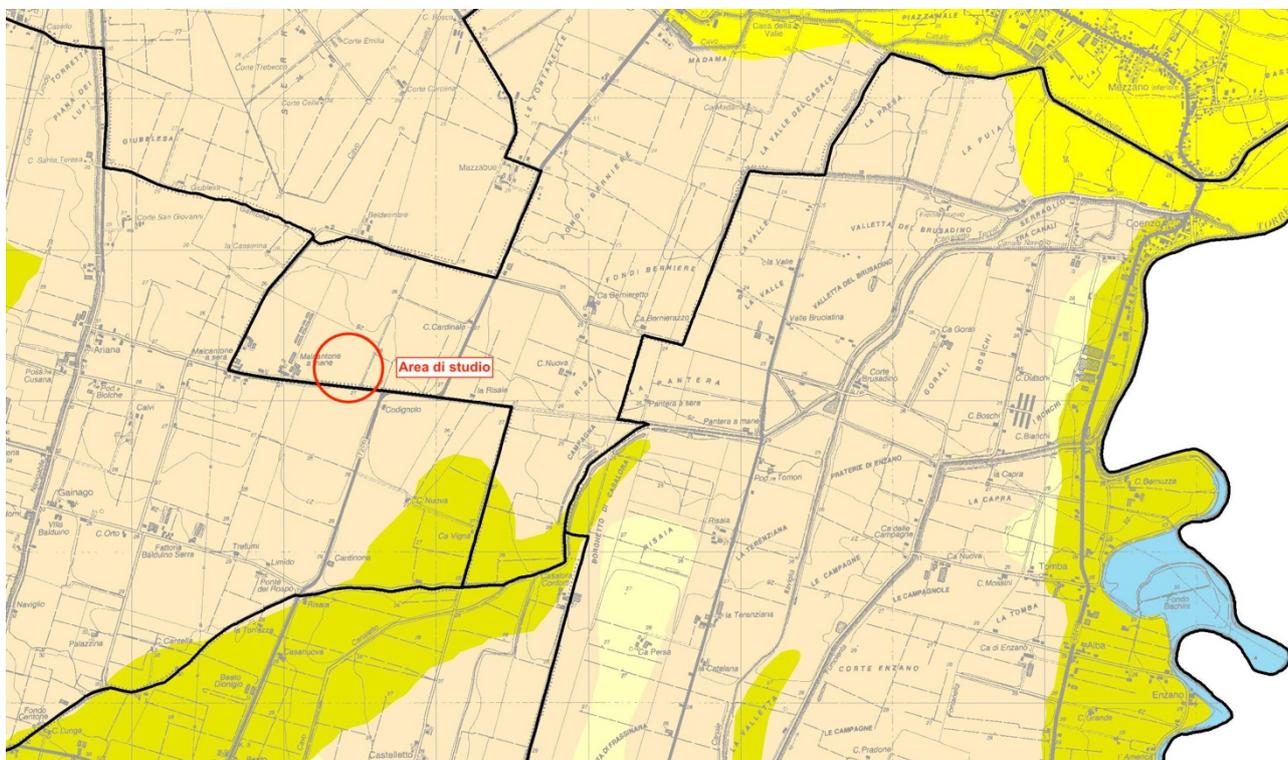
**SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ) = 3.0

**SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ) = 3.3

### 9. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In questo capitolo viene affrontato il tema della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche. Poiché a profondità variabili da -13,4 m a -16,4 m dalla superficie topografica sono state rinvenute litologie granulari a comportamento incoerente appartenenti al Subsintema di Villa Verucchio poste sotto il livello di falda, si è proceduto alla verifica alla liquefazione dei terreni con il metodo semplificato di Robertson e Wride 1998 (cfr. NTC 2018 7.11.3.4.) adatto alle prove penetrometriche statiche meccaniche CPT eseguite nell'area. Le verifiche sono state eseguite sulla base dei dati ricavati dalle prove CPT1, CPT5 e CPT7, ritenute rappresentative dell'intera area e poste in corrispondenza delle strutture di maggiore importanza previste dal progetto.

Il PTCP della Provincia di Parma, nella Carta Provinciale delle aree Suscettibili di Effetti Locali inserita nella Variante di adeguamento alla L.R. 19/2008 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico", adottata con Del. C.P. n. 106/2011, inserisce l'area interessata dal progetto fra quelle soggette ad effetti locali per la presenza di depositi alluvionali argillosi. Fra gli effetti di sito non viene indicato il rischio di liquefazione (Figura 14).



**LEGENDA:**

**Aree soggette ad effetti locali:**

- Fenomeni di instabilità in atto [IA]
- Area di possibile evoluzione [APE]
- Detriti di versante e fenomeni di instabilità potenziale**
- A: con acclività <math>< 15^\circ</math> [IP]
- B: con acclività >math>> 15^\circ</math> [IPt]
- Depositi alluvionali sabbiosi [DS]    ●●●●● Limite sabbie sepolte F. Po
- Possibile presenza di depositi sabbiosi [PDS]
- Possibile presenza di lenti sabbiose [PLS]
- con acclività <math>< 15^\circ</math> e distivello >math>> 30\text{ m}</math> [PLSt]
- Depositi alluvionali argillosi [DAA]
- Depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o misti, depositi alluvionali intravallivi, substrato roccioso con <math>V\_s < 800\text{ m/s}</math> [DAGS]
- con acclività <math>< 15^\circ</math> e distivello >math>> 30\text{ m}</math> [DAGSt]
- Depositi alluvionali in evoluzione [DAE]
- Limite di contatto tettonico [LCT]
- Substrato roccioso rigido con <math>V\_s > 800\text{ m/s}</math> [SRR]
- con acclività <math>< 15^\circ</math> e distivello >math>> 30\text{ m}</math> [SRRr]

**Effetti attesi e indirizzi per la pianificazione comunale:**

CLASSE	EFFETTI DI SITO				LIVELLI DI APPROFONDIMENTO per la pianificazione comunale
	Amplificazione per caratteristiche litologiche	Amplificazione per caratteristiche topografiche	Instabilità di versante in atto	Potenziali cedimenti	
IA	×		×		III (per interventi ammessi)
APE	×		×		III
IP	×			×	III (II a seguito di verifica in sede di PSC)
IPt	×	×		×	III
DS	×				III (II se si esclude il rischio di liquefazione)
PDS	×			×	III (II se si esclude il rischio di liquefazione)
PLS	×				III
PLSt	×	×			II (II se si esclude il rischio di liquefazione)
DAA	×			×	III (II se si esclude il rischio di cedimenti)
DAGS	×				II
DAGSt	×	×			II (II a seguito di necessità verificata in sede di PSC)
DAE	×			×	III (per interventi ammessi)
LCT	×				II (II se possibile amplificazione sismologica di orizzonti di alterazione/strutturazione di spessore >math>> 5\text{ m}</math>)
SRR					I (II nel caso di mercato grado di alterazione/strutturazione spessore >math>> 5\text{ m}</math>)
SRRr		×			II (II nel caso di mercato grado di alterazione/strutturazione spessore >math>> 5\text{ m}</math>)

Figura 14 – Stralcio della Carta Provinciale delle aree suscettibili di effetti locali e relativa legenda (PTCP Provincia di Parma 2011).

Di seguito vengono riportati i 3 grafici relativi alla verifica alla liquefazione dei terreni eseguita in corrispondenza delle prove penetrometriche CPT1, CPT5 e CPT7 (Figura 15, Figura 16 e Figura 17).

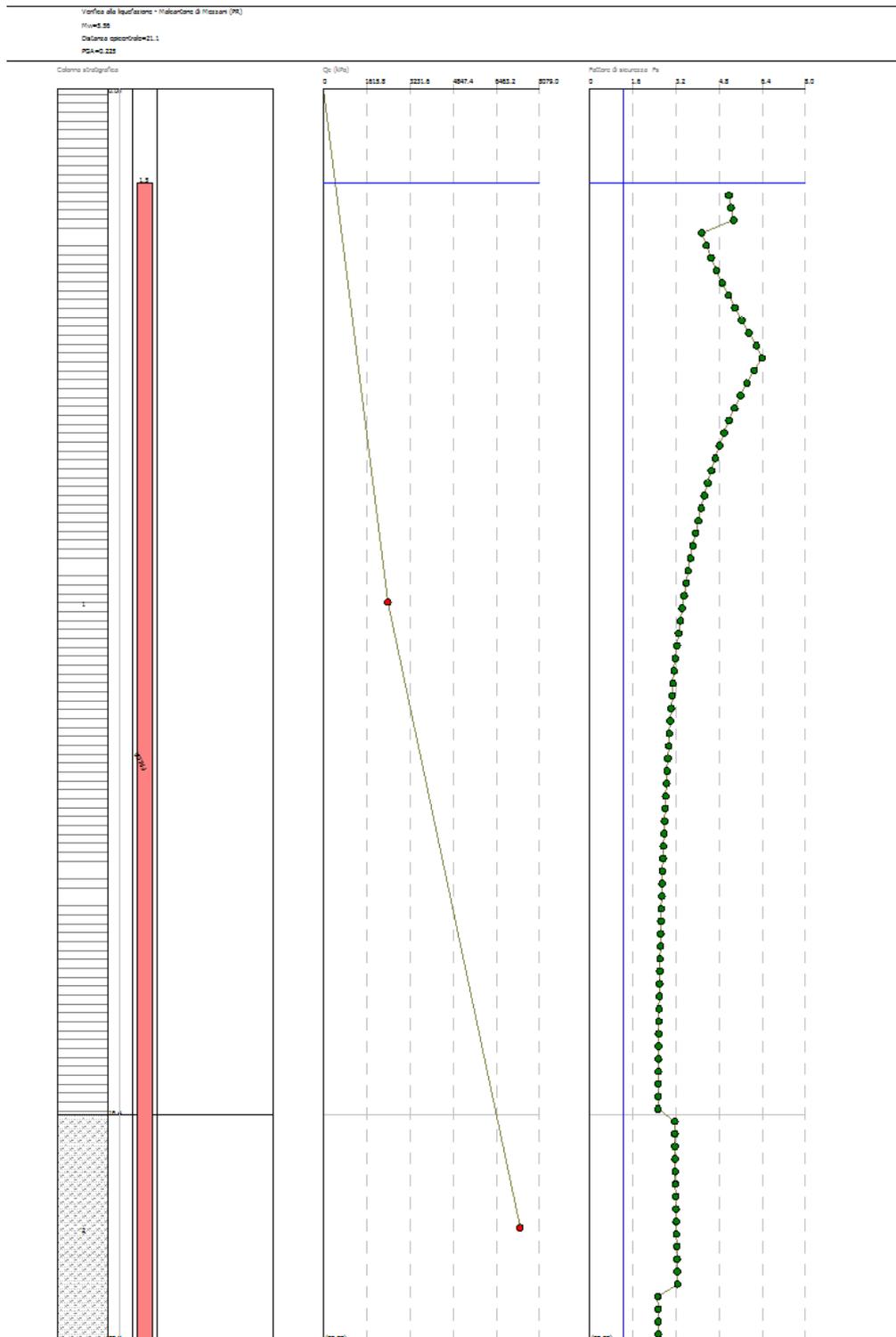


Figura 15 – CPT1 Grafico del fattore di sicurezza alla liquefazione.

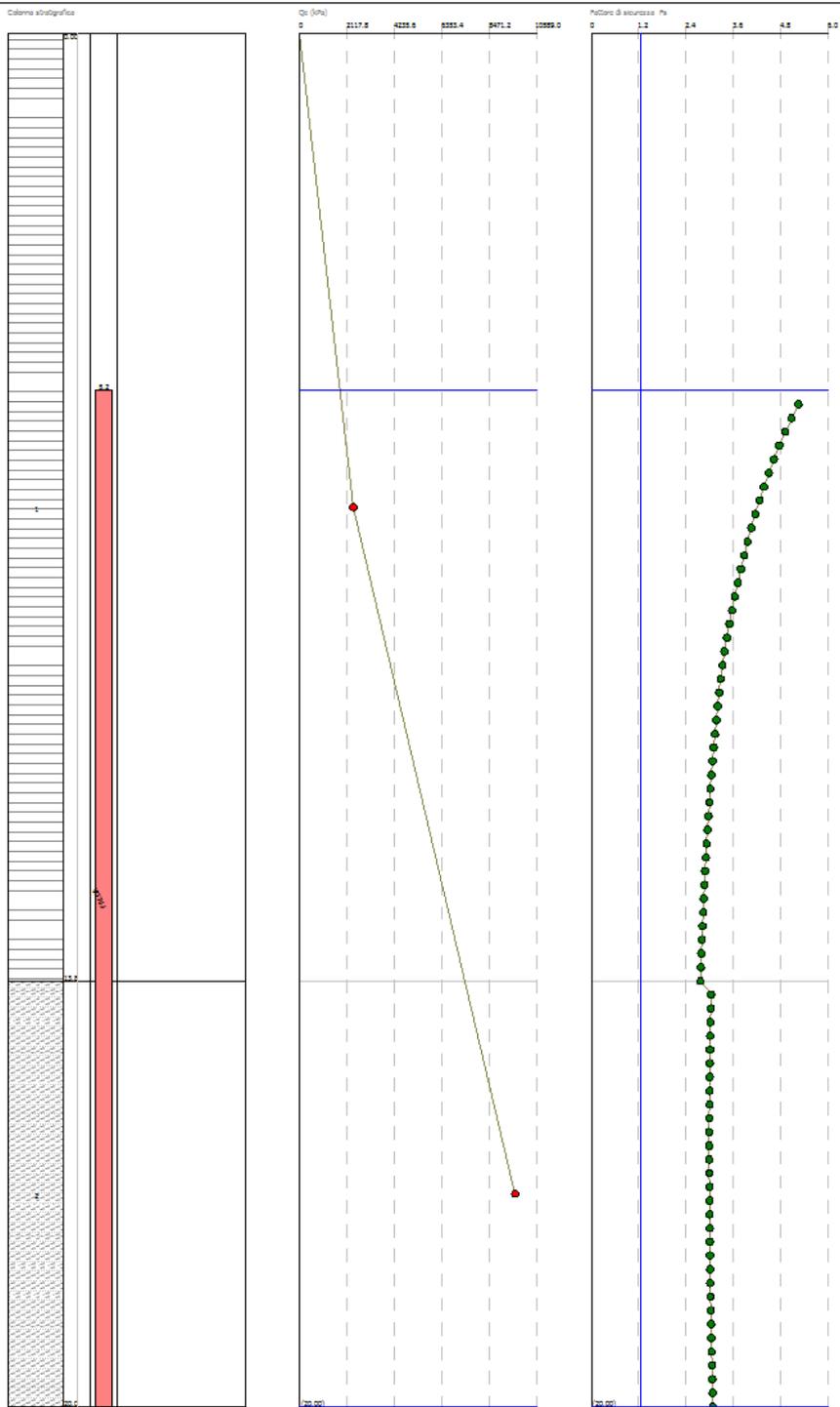


Figura 16 – CPT5 Grafico del fattore di sicurezza alla liquefazione.

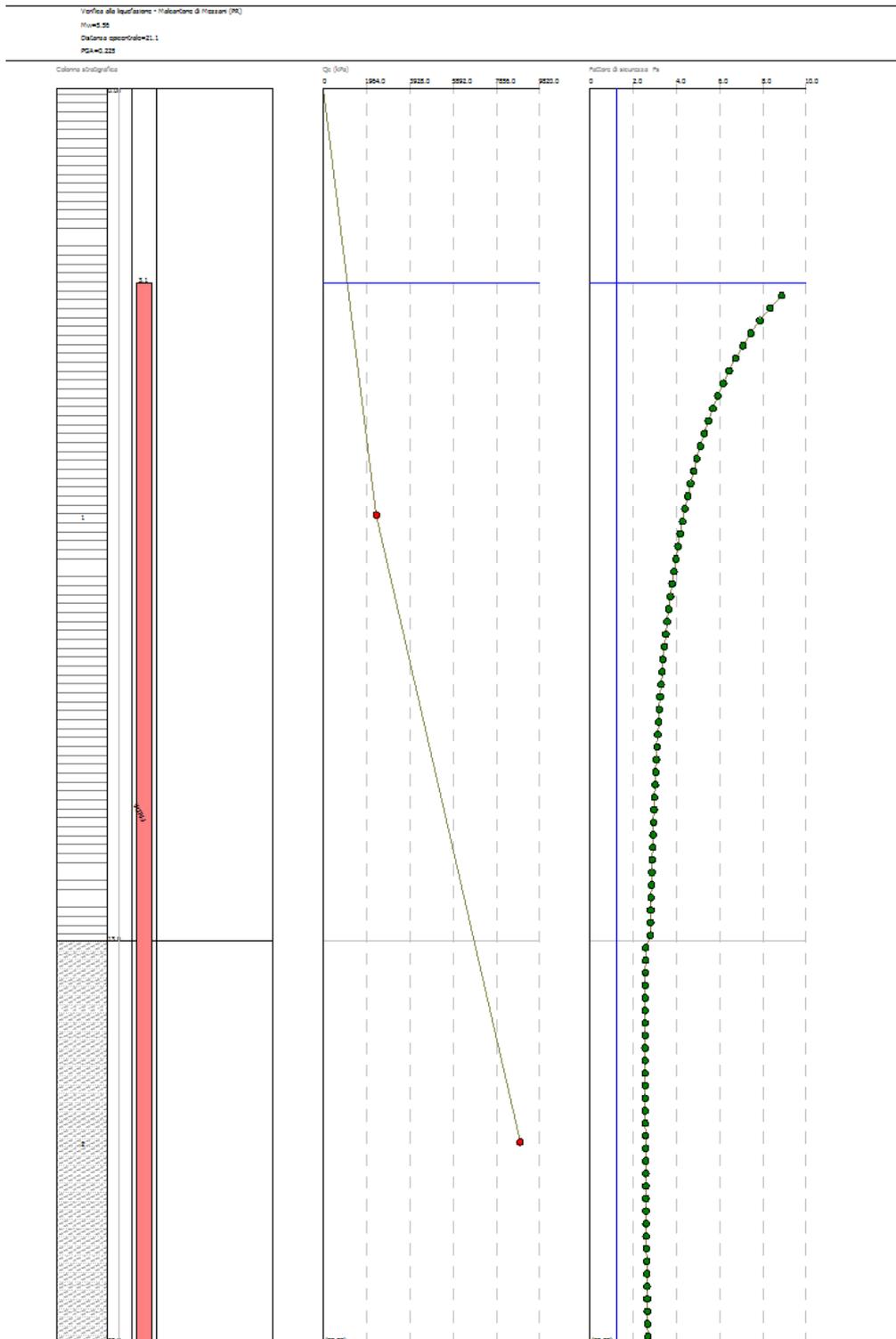


Figura 17 – CPT7 Grafico del fattore di sicurezza alla liquefazione.

Le verifiche alla liquefazione dei terreni sono state eseguite con i seguenti parametri di ingresso:

Fattore sicurezza normativa	1.25	
Accelerazione Bedrock	0.15	
Fattore amplificazione	2.635	
Tipo Suolo:	C	
Morfologia:	T1	
Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.5	
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1	
Magnitudo momento sismico (Mw)	5.56	
Distanza epicentro	21.1	Km
Peak ground acceleration (PGA)	0.225	

## PARAMETRI GEOTECNICI – CPT1

PROFONDITÀ FALDA IDRICA = 1.5 m

Correzione per la magnitudo (MSF) = 2.15

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argille	0	16.4	19.62	20.4	0	0	2401.43	144.71	0
2	Limi sabbiosi e Limi argillosi	16.4	20	21.48	22.26	0	0	7344.1	204.85	0

## PARAMETRI GEOTECNICI – CPT5

PROFONDITÀ FALDA IDRICA = 5.2 m

Correzione per la magnitudo (MSF) = 2.15

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argille	0	13.8	19.59	20.37	0	0	2387.71	151.32	0
2	Sabbie limose - Limi argillosi	13.8	20	21.93	22.72	0	0	9626.34	183.48	0

## PARAMETRI GEOTECNICI – CPT7

PROFONDITÀ FALDA IDRICA = 3.1 m

Correzione per la magnitudo (MSF) = 2.15

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argille	0	13.6	19.63	20.41	0	0	2417.05	153.83	0
2	Sabbie limose - Limi argillosi	13.6	20	21.81	22.59	0	0	8927.12	164.06	0

## Risultati delle verifiche alla liquefazione dei terreni:

	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di comportamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CO	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
<b>CPT1</b>	19.30	397.944	223.386	31.095	2.949	2.601	0.4476564	109.557	0.659	0.202	0.080	<b>2.535</b>	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
<b>CPT5</b>	13.80	277.050	192.713	10.952	7.169	3.196	0.5189068	113.923	0.806	0.218	0.079	<b>2.762</b>	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso
<b>CPT7</b>	15.30	313.561	193.920	64.106	1.905	2.240	0.7181066	113.411	0.765	0.216	0.084	<b>2.562</b>	Terreno non suscettibile di liquefazione	0	Molto basso

I risultati delle verifiche mostrano che tutta l'area è costituita da terreni non suscettibili di liquefazione, con coefficienti di sicurezza minimi pari a 2.535 per CPT1, 2.762 per CPT5 e 2.562 per CPT7.

## 10. SINTESI – ULTERIORI INDAGINI E STUDI

In considerazione del modello geologico e geotecnico emerso dalle analisi illustrate nei capitoli precedenti, l'intervento in progetto, nel rispetto delle prescrizioni generali e particolari contenute nella presente Relazione e della conduzione dei lavori a perfetta regola d'arte, è compatibile con le caratteristiche geologiche, idrologiche, idrogeologiche e sismiche del territorio interessato.

Dal momento che il modello deriva dall'interpolazione di dati geognostici necessariamente puntuali, in sede esecutiva deve essere verificata l'effettiva rispondenza al modello geologico-geotecnico al fine di prevenire situazioni di rischio ed apportare eventuali correttivi al progetto.

Reggio nell'Emilia, settembre 2021



**DOTT. GEOL. STEFANO RIGHETTI**

n. 936 Sez. A Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna

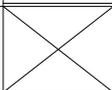
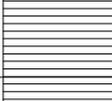
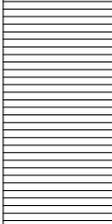
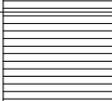
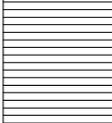
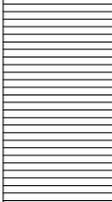


**DOTT. GEOL. ANDREA PANZANI**

n. 1409 Sez. A Ordine dei Geologi della Regione Emilia-Romagna

ALLEGATO 1 – SONDAGGI GEOGNOSTICI

<b>Sondaggio S1</b>		<b>Box 1-2</b>	
<b>COMMITTENTE:</b> Studio Alfa			
<b>UBICAZIONE:</b> Torrile (PR)			
<b>CANTIERE:</b> Malcantone di Mezzani			
<b>DATA:</b> 01/06/2021		<b>REDATTO:</b> Dott. Geol. Marco Ugolotti	
<b>PROFONDITA':</b> 20.00 m		<b>RIVESTIMENTO:</b> diametro 127 mm	
<b>PERFORAZIONE:</b> Carotaggio continuo		<b>TIPO CAROTIERE:</b> Carotiere semplice, diametro 101 mm	
<b>BOX TOTALI:</b> 4		<b>QUOTA (m s.l.m.):</b> 25.00 m	<b>FALDA (m da p.c.):</b> non rilevata

p.c. (0 m)	P.P. <sub>2</sub> kg/cm <sup>2</sup>	Torv. kg/cm <sup>2</sup>	Falda	COLONNA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni indisturbati	Prove SPT		% recupero
							prof. [m]	n° colpi	
1.00	3.50	>1			Riporto con clasti centimetrici $\varnothing > 5$ cm in abbondante matrice argillosa di colore marrone grigio				
				0.70					
2.00	2.80	0.9			Argilla di colore marroncino grigia				
	2.85	>1		2.00					
3.00	2.70	>1				SH 1			
	4.10	>1		2.50	Argilla di colore marrone chiaro con calcinelli				
4.00	4.00	>1			Argilla di colore marrone chiaro				
	4.15	>1		3.00					
5.00	4.00	>1			Argilla di colore marrone chiaro con abbondanti calcinelli				
	3.80	>1		4.50					
6.00	4.00	>1			Argilla di colore marrone chiaro				
	3.40	>1		6.00					
7.00	3.30	>1			Argilla di colore marrone chiaro con calcinelli				
	2.80	>1		6.55		SH 2			
8.00	3.50	>1							
	4.20	>1		7.00	Argilla di colore marrone chiaro con abbondanti calcinelli				
9.00	5.00	>1			Argilla di colore marrone chiaro con calcinelli				
	3.50	>1		7.30					
10.00	3.00	>1			Argilla grigia e marroncina con calcinelli di piccole dimensione sparsi				
	2.50	>1		8.00					
10.00	3.00	>1			Argilla grigia e marroncina				
	3.50	>1		10.00					

**DATA:** 01/06/2021 e 03/06/2021 **REDATTO:** Dott. Geol. Marco Ugolotti

**PROFONDITA':** 20.00 m **RIVESTIMENTO:** diametro 152 mm fino a 10.50 m, 127 mm da 10.50 m a 20.00 m

**PERFORAZIONE:** Carotaggio continuo **TIPO CAROTIERE:** Carotiere semplice, diametro 101 mm

**BOX TOTALI:** 4 **QUOTA (m s.l.m.):** 25.00 m **FALDA (m da p.c.):** non rilevata

10.00 m	P.P. kg/cm <sup>2</sup>	Torv. kg/cm <sup>2</sup>	Falda	COLONNA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni indisturbati	Prove SPT		% recupero
							prof. [m]	n° colpi	
	4.50	>1							
	3.00	>1			Argilla limosa grigia con scarsi calcinelli sparsi				
	3.00	>1							
	5.00	>1		10.70					
11.00				X		SH 3			
	4.50	>1		11.30					
	4.50	>1							
	4.00	>1							
12.00	1.50	0.6			Argilla limosa di colore grigio marrone				
	4.50	>1							
	4.50	>1							
	4.00	>1							
	4.50	>1							
	3.50	>1							
13.00									
	3.00	0.6							
	3.00	0.9							
				13.50					
				13.80	Sabbia media limosa di colore grigio		SPT1 13.70 - 14.15	3 5	8
14.00									
15.00					Sabbia medio-fine di colore grigio				
16.00									
				16.50			SPT2 16.50 - 16.95	7 10	12
17.00									
18.00									
19.00									
20.00			(fine sondaggio)	20.00			SPT3 19.80 - 20.25	14 17	23







<b>Sondaggio S2</b>		<b>Box 1-2</b>	
<b>COMMITTENTE:</b> Studio Alfa			
<b>UBICAZIONE:</b> Torrile (PR)			
<b>CANTIERE:</b> Malcantone di Mezzani			
<b>DATA:</b> 31/05/2021		<b>REDATTO:</b> Dott. Geol. Marco Ugolotti	
<b>PROFONDITA':</b> 20.00 m		<b>RIVESTIMENTO:</b> diametro 127 mm	
<b>PERFORAZIONE:</b> Carotaggio continuo		<b>TIPO CAROTIERE:</b> Carotiere semplice, diametro 101 mm	
<b>BOX TOTALI:</b> 4		<b>QUOTA (m s.l.m.):</b> 25.00 m	<b>FALDA (m da p.c.):</b> non rilevata

p.c. (0 m)	P.P. kg/cm <sup>2</sup>	Torv. kg/cm <sup>2</sup>	Falda	COLONNA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni indisturbati	Prove SPT		% recupero
							prof. [m]	n° colpi	
0.00	1.40	0.30		0.10	Manto erboso Argilla limosa di colore marrone con materiale organico e ghiaietto 0.5 < $\phi$ < 2 cm sparso [0 - 0.10 m manto erboso]				
				0.50					
1.00	5.20	>1			Argilla limosa di colore marrone chiaro, umida e compatta				
	4.20	>1							
2.00	5.20	>1							
	4.40	>1							
2.00	3.30	>1		2.10		SH 1			
3.00	1.60	0.90		2.70					
	1.90	0.80							
3.00	1.90	0.90			Argilla limosa di colore marrone con materiale organico e calcinelli, umida				
	3.10	>1							
4.00	3.20	>1							
	3.40	>1							
4.00	4.50	>1			Argilla limosa di colore grigio, compatta				
	3.70	>1							
4.00	4.00	>1			Argilla limosa di colore grigio chiaro e marrone chiaro in alternanza cromatica				
	3.20	>1							
5.00	3.40	>1		4.80					
	0.90	0.50		5.00					
5.00	1.90	0.90			Argilla limosa di colore grigio chiaro e marrone chiaro in alternanza cromatica				
	3.30	>1							
6.00	3.80	>1							
	2.80	>1		6.00					
6.00	3.00	>1		6.70		SH 2			
	3.50	>1							
7.00	2.60	>1			Argilla limosa compatta e umida di colore grigio chiaro e marrone chiaro in alternanza cromatica				
	3.80	>1							
7.00	3.70	>1							
	2.10	>1							
8.00	3.80	>1			Argilla limosa compatta e umida di colore grigio scuro [a 8.20 e 8.50 puntuali livelletti limosi organici]				
	2.60	>1		8.00					
8.00	2.50	>1			Argilla limosa compatta e umida di colore grigio scuro [a 8.20 e 8.50 puntuali livelletti limosi organici]				
	2.50	>1							
9.00	2.00	>1		9.00					
	2.50	0.90							
9.00	2.60	>1			Argilla grigia				
	3.30	>1							
10.00	3.30	>1							
	3.50	>1							

10.00 m	P.P. kg/cm <sup>2</sup>	Torv. kg/cm <sup>2</sup>	Falda	COLONNA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni indisturbati	Prove SPT		% recupero
							prof. [m]	n° colpi	
	3.50 4.70	>1 >1			Argilla grigia				
	4.40	>1		10.50		SH 3			
				11.00					
	1.90	0.5							
	3.50 5.20 4.20	>1 >1 >1			Argilla limosa compatta e umida di colore grigio e marrone chiaro in alternanza cromatica				
	3.60	>1							
	3.00 0.90	>1 >1							
	2.00 1.90 2.00	0.80 0.90 0.80							
				13.40			SPT1 13.60 - 14.05	4 8 12	
					Sabbia fine di colore grigio, bagnata				
				16.70					
				17.00		Sabbia fine di colore grigio, umida e compatta			
				17.00			SPT2 17.00 - 17.45	23 8 16	
					Sabbia fine di colore grigio, sciolta e molto bagnata				
20.00			(fine sondaggio)	20.00					







**DATA:** 03/06/2021 **REDATTO:** Dott. Geol. Marco Ugolotti

**PROFONDITA':** 18.00 m **RIVESTIMENTO:** diametro 127 mm

**PERFORAZIONE:** Carotaggio continuo **TIPO CAROTIERE:** Carotiere semplice, diametro 101 mm

**BOX TOTALI:** 4 **QUOTA (m s.l.m.):** 25.00 m **FALDA (m da p.c.):** non rilevata

p.c. (0 m)	P.P. kg/cm <sup>2</sup>	Torv. kg/cm <sup>2</sup>	Falda	COLONNA STRATIGRAFICA		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni indisturbati	Prove SPT		% recupero
								prof. [m]	n° colpl	
1.00	2.60	0.90		0.10	↓ ↓	Manto erboso				
				0.30		Argilla limosa marrone con ghiaietto 0.5 < Ø < 3 cm sparso				
2.00	3.50	>1				Limo argilloso di color marrone con raro materiale organico				
	3.40	>1								
	3.80	>1								
	3.10	>1								
	2.40	0.90								
	3.10	>1								
3.00	3.70	>1		1.70		Argilla limosa di color marrone con materiale organico e calcinelli sparsi				
	4.20	>1								
	3.40	>1								
	3.50	>1								
	4.40	>1								
	4.50	>1								
	3.30	>1								
	3.70	>1								
	3.60	>1								
	3.90	>1								
4.00	3.20	>1		3.00		Argilla limosa di colore marrone chiaro e grigio con materiale organico e calcinelli sparsi				
	4.30	>1								
	4.50	>1								
	4.40	>1								
5.00	4.70	>1		4.40		Argilla limosa in alternanza cromatica grigia e marrone chiara con raro materiale organico e rari calcinelli				
	4.20	>1								
	4.80	>1								
	4.00	>1								
	4.10	>1								
	3.20	>1								
6.00	3.00	>1		4.80		Argilla grigia				
	4.20	>1								
	2.70	>1								
	2.10	>1								
	3.90	>1								
	2.80	>1								
	3.20	0.90								
	2.50	>1								
7.00	3.90	>1		5.70		Argilla limosa in alternanza cromatica marrone chiaro e grigio con rari calcinelli				
	3.30	>1								
	3.70	>1								
	3.60	>1								
	3.10	>1								
	3.70	>1								
	3.30	>1								
	4.20	>1								
	4.60	>1								
	8.00	3.00		0.90						
3.70		0.90								
2.70		0.80								
8.20			Argilla limosa grigia scura e nera con abbondante materiale organico							
8.40			Alternanza Limo argilloso marrone scuro - Argilla grigia scura e limo argilloso marrone scuro							
8.60			Argilla limosa con materiale organico sparso							
9.00	2.80	>1		9.00		Argilla grigia umida e compatta				
	2.00	0.90								
	2.70	0.90								
	3.30	>1								
	3.40	>1								
	2.40	>1								
10.00	3.00	>1								
	2.90	>1								
	3.00	>1								
	3.40	>1								









<b>Sondaggio S4</b>		<b>Box 1-2</b>
<b>COMMITTENTE:</b> Studio Alfa		
<b>UBICAZIONE:</b> Torrile (PR)		
<b>CANTIERE:</b> Malcantone di Mezzani		
<b>DATA:</b> 04/06/2021		<b>REDATTO:</b> Dott. Geol. Marco Ugolotti
<b>PROFONDITA':</b> 18.00 m		<b>RIVESTIMENTO:</b> diametro 127 mm
<b>PERFORAZIONE:</b> Carotaggio continuo		<b>TIPO CAROTIERE:</b> Carotiere semplice, diametro 101 mm
<b>BOX TOTALI:</b> 4		<b>QUOTA (m s.l.m.):</b> 25.00 m
		<b>FALDA (m da p.c.):</b> non rilevata

p.c. (0 m)	P.P. kg/cm <sup>2</sup>	Torv. kg/cm <sup>2</sup>	Falda	COLONNA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Campioni indisturbati	Prove SPT		% recupero
							prof. [m]	n° colpi	
				0.10	Manto erboso				
1.00	8.00	>1		1.20	Ripporto con limo argilloso marrone umido e ghiaietto 0.5 < Ø < 3 cm sparso [a 0.80 m clasto Ø > 6 cm]				
2.00	3.00 3.00 3.50	>1 >1 >1		2.00	Argilla limosa marrone con raro materiale organico sparso				
3.00	3.30	>1		4.00	Argilla limosa marrone con materiale organico e rari calcinelli sparsi [a 3.00 - 4.00 aumento dei calcinelli]				
4.00	3.90 3.50 4.50 3.60 3.50 4.00 4.10 3.70	>1 >1 >1 >1 >1 >1 >1 >1		5.00	Argilla limosa in alternanza cromatica grigio e marrone chiaro con calcinelli sparsi e livello organico nero a 5.60 m				
5.00	2.40	1		6.30	Argilla limosa in alternanza cromatica grigio e marrone chiaro con raro materiale organico				
6.00	4.40	>1		9.70	Argilla limosa grigia con abbondante materiale organico				
7.00	3.80 4.10 4.20 3.90	>1 >1 >1 >1		10.00					
8.00	3.80 4.20 3.50 3.50 3.90	>1 >1 >1 >1 >1							
9.00	3.00 2.90 3.50	>1 >1 >1							
	3.40 3.00 2.30	>1 >1 0.90							
	4.00 2.80	>1 >1							
	2.50 2.90 2.40 2.40 2.80 2.80	1 1 >1 >1 >1 1							
	3.30 3.20 3.00	>1 >1 >1							
	2.90 3.00 3.70	>1 >1 >1							
	3.50 2.10	>1 >1							
	2.60 2.80	>1 1							
	2.50	0.90							
	3.50 3.20 2.30	>1 >1 1							
10.00	1.20	0.50							









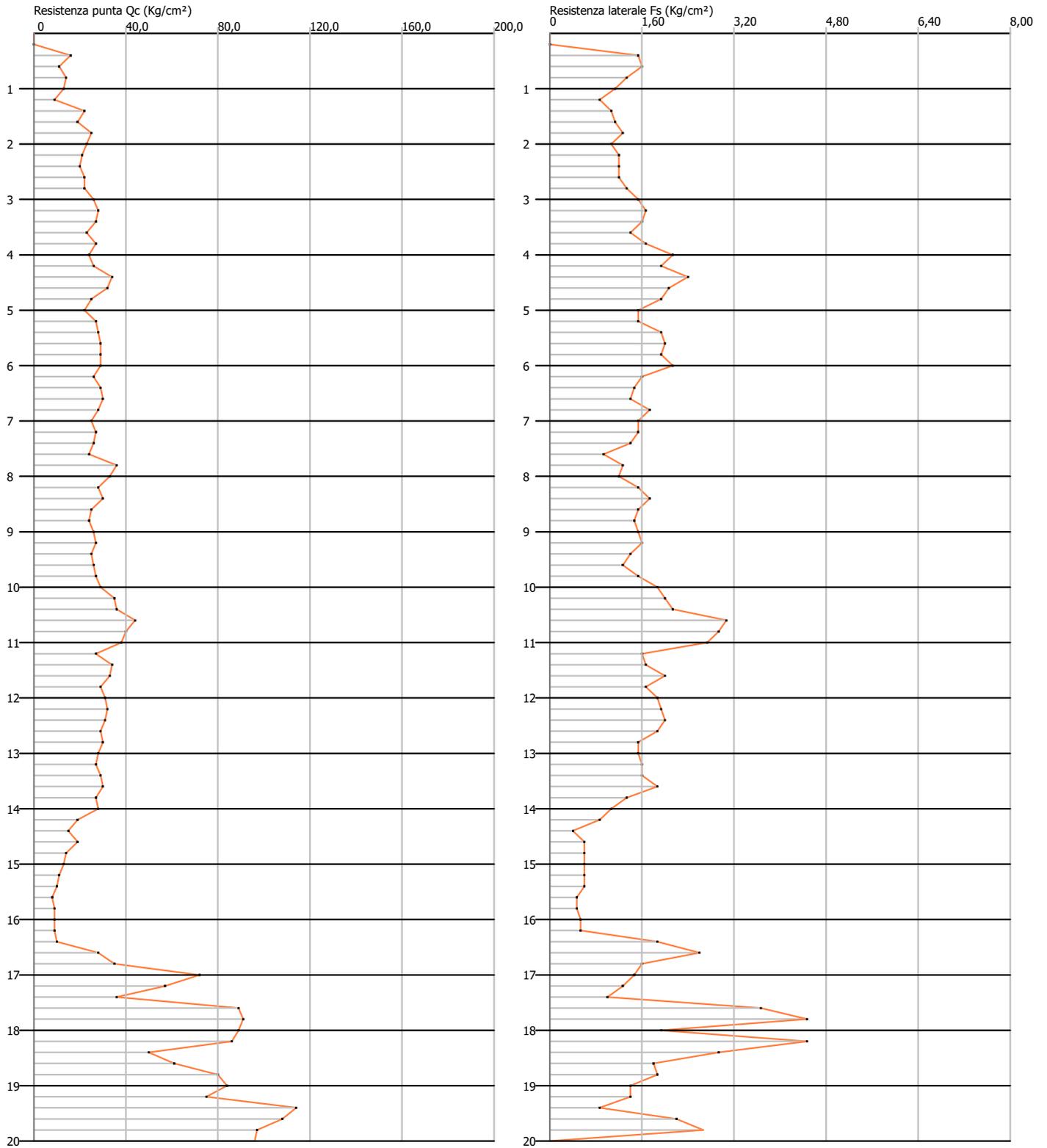
ALLEGATO 2 – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE



Probe CPT - Cone Penetration Nr.1  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:           Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere:                Mezzani  
Località:                 Parma

Data: 26/05/2021

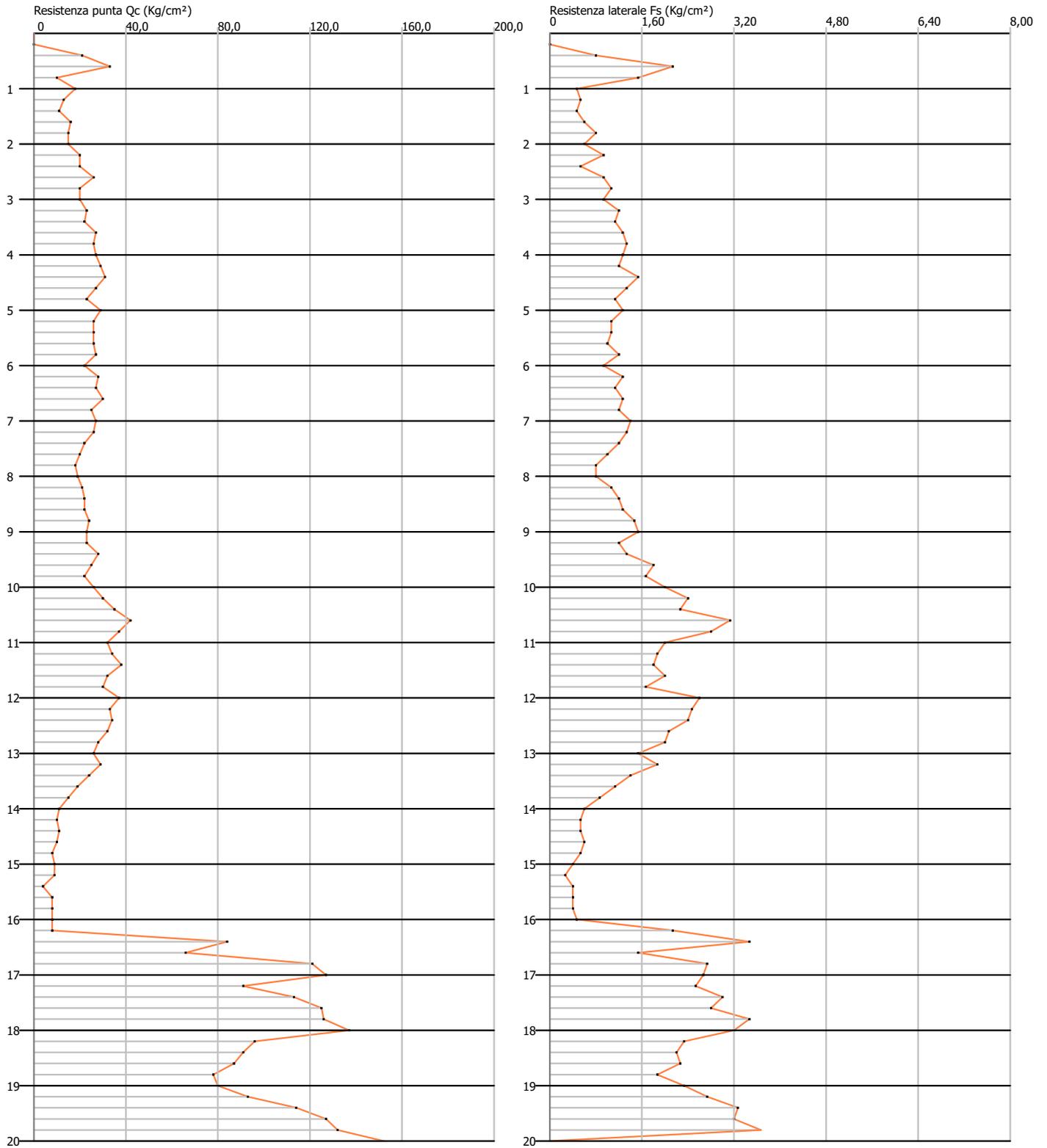




Probe CPT - Cone Penetration Nr.2  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 26/05/2021

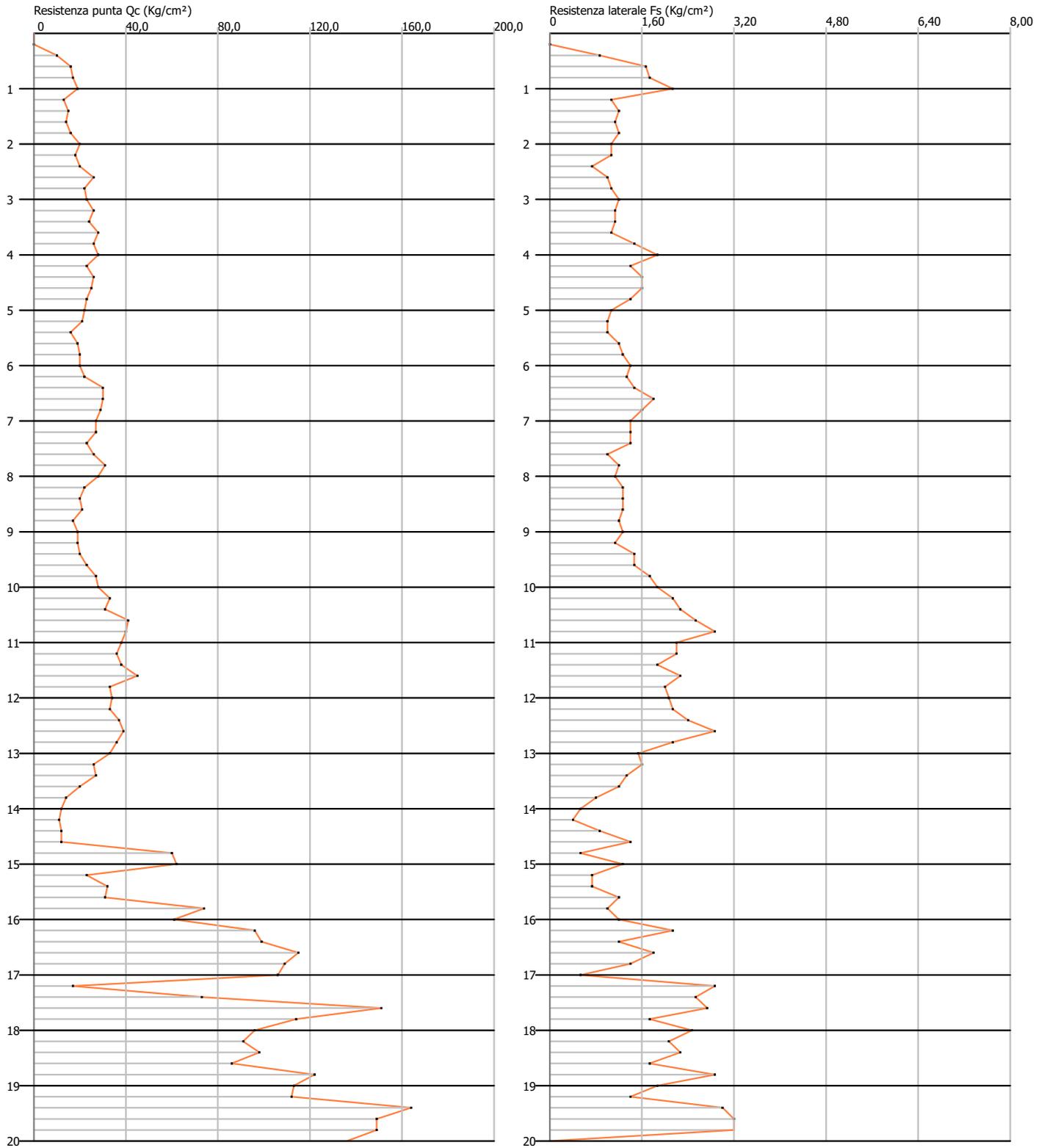




Probe CPT - Cone Penetration Nr.3  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 26/05/2021

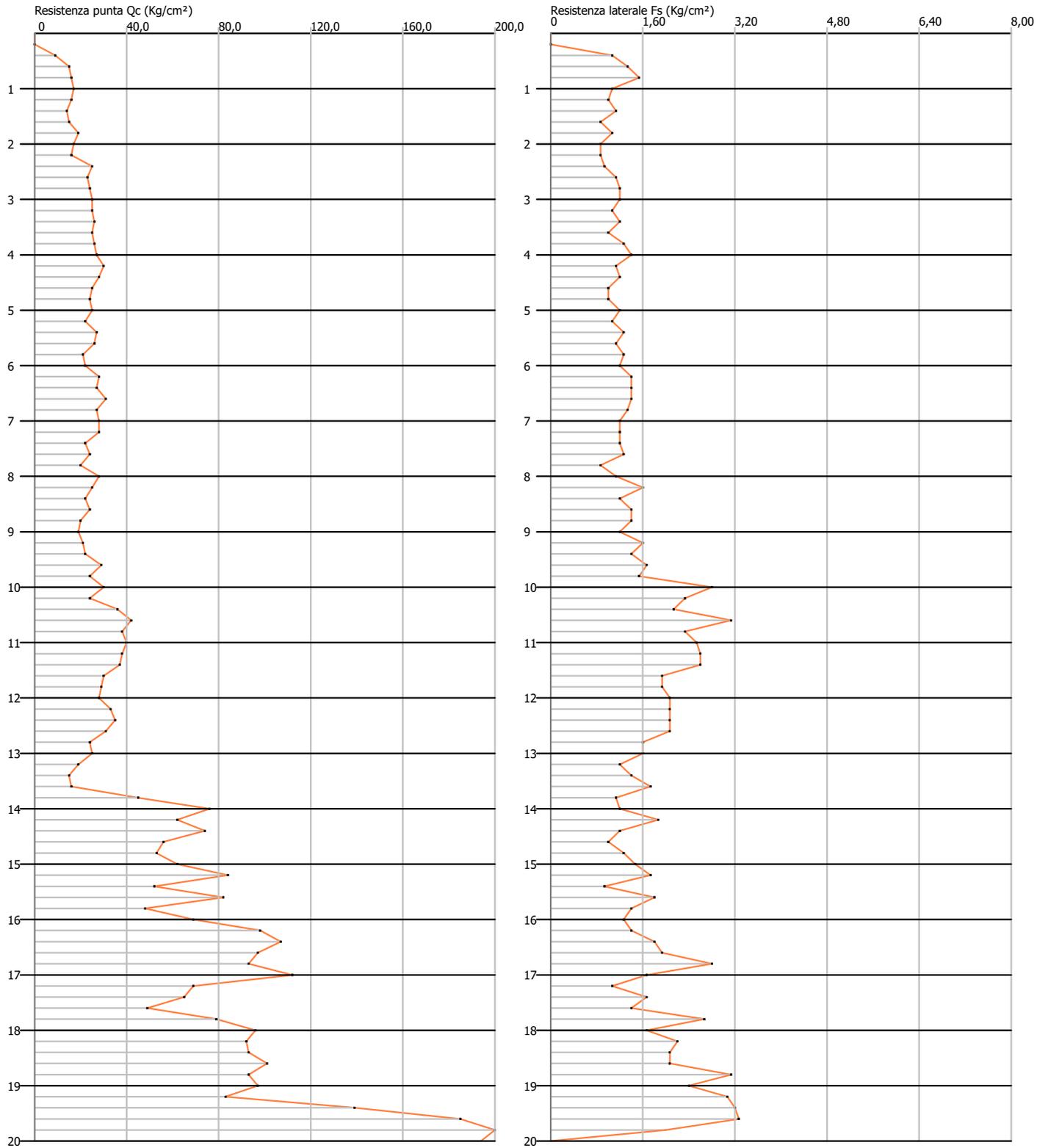




Probe CPT - Cone Penetration Nr.4  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 26/05/2021

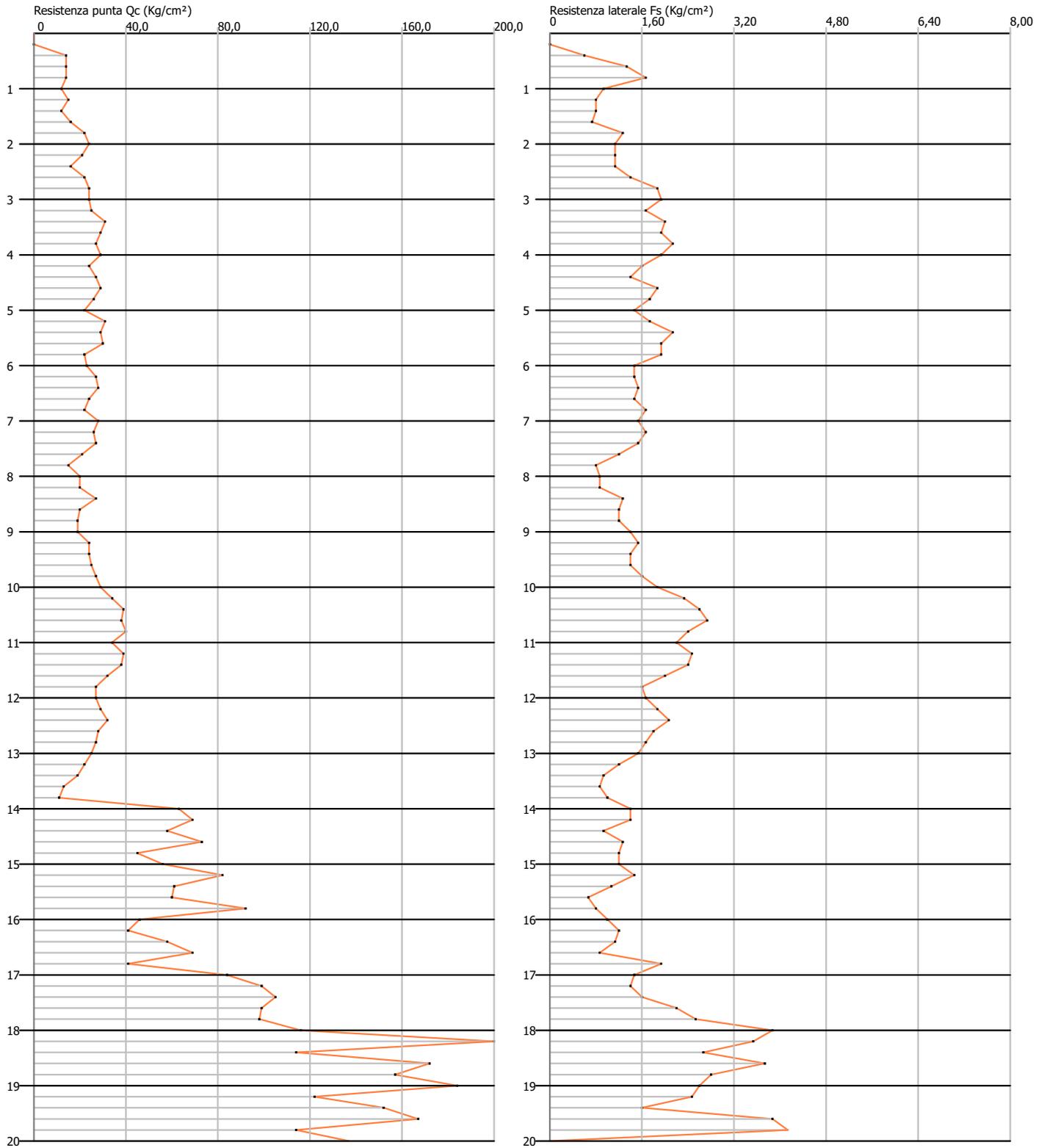




Probe CPT - Cone Penetration Nr.5  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:           Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere:                Mezzani  
Località:                 Parma

Data: 27/05/2021

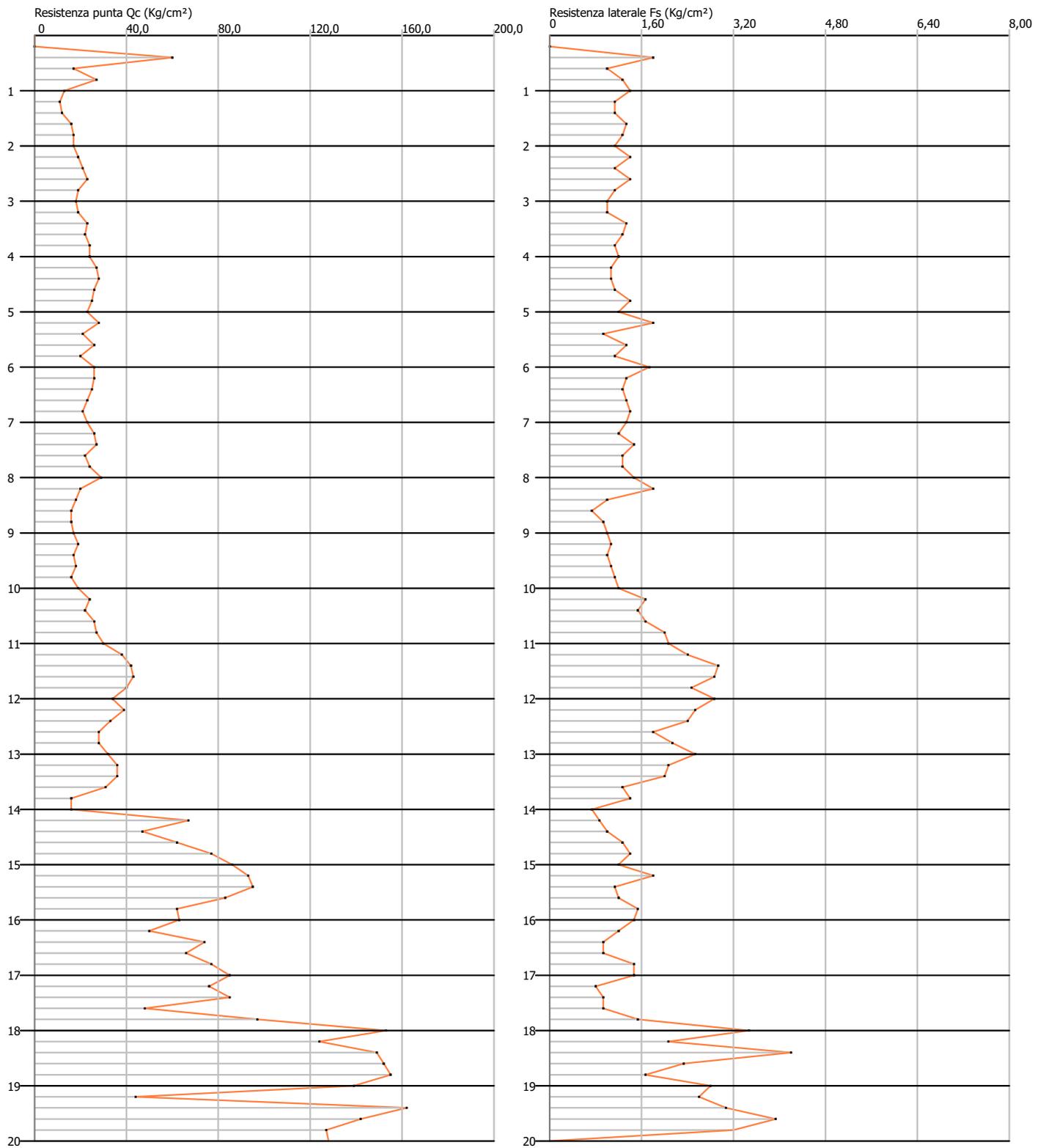




Probe CPT - Cone Penetration Nr.6  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:           Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere:                Mezzani  
Località:                 Parma

Data: 27/05/2021

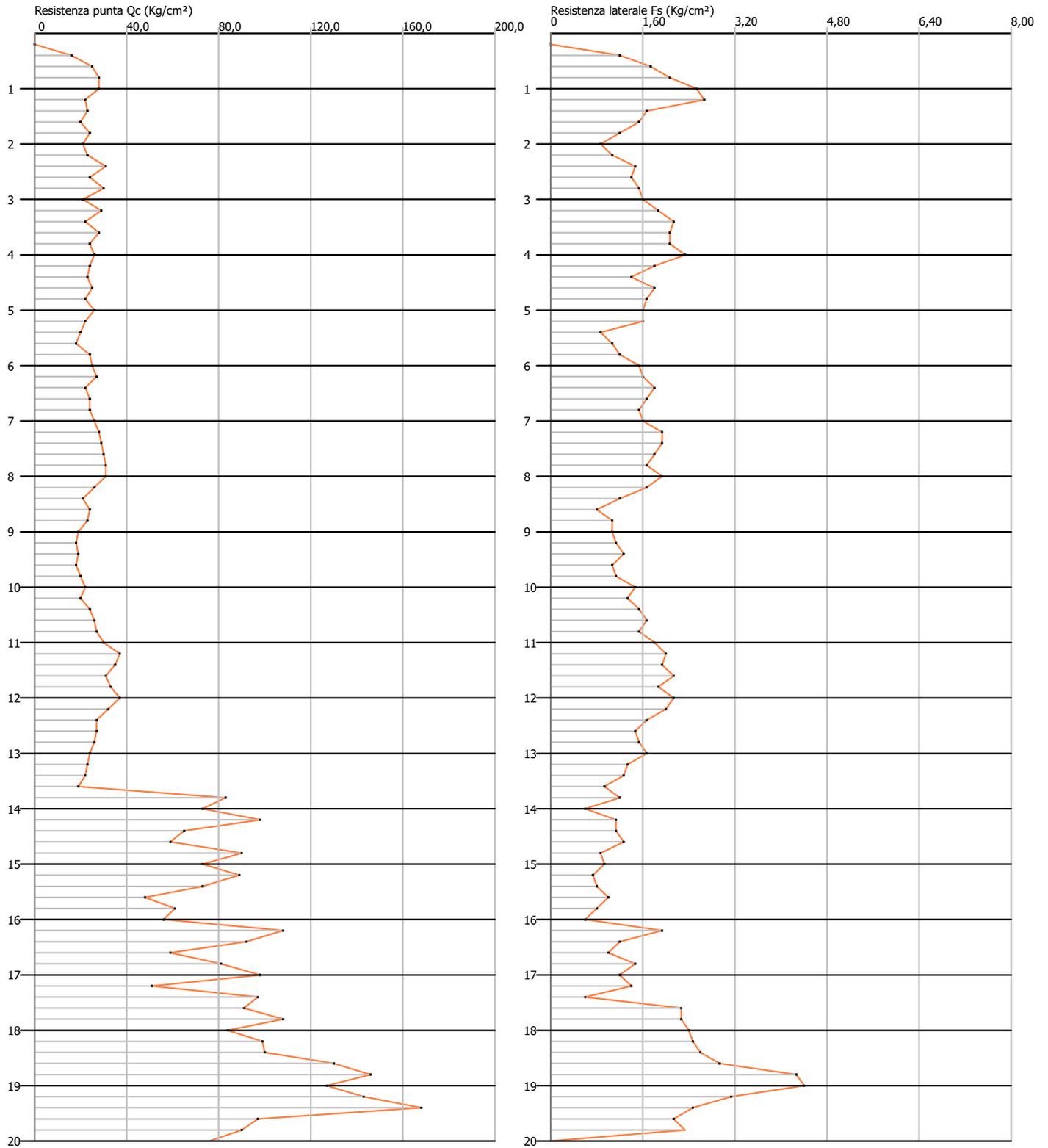




Probe CPT - Cone Penetration Nr.7  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 28/05/2021

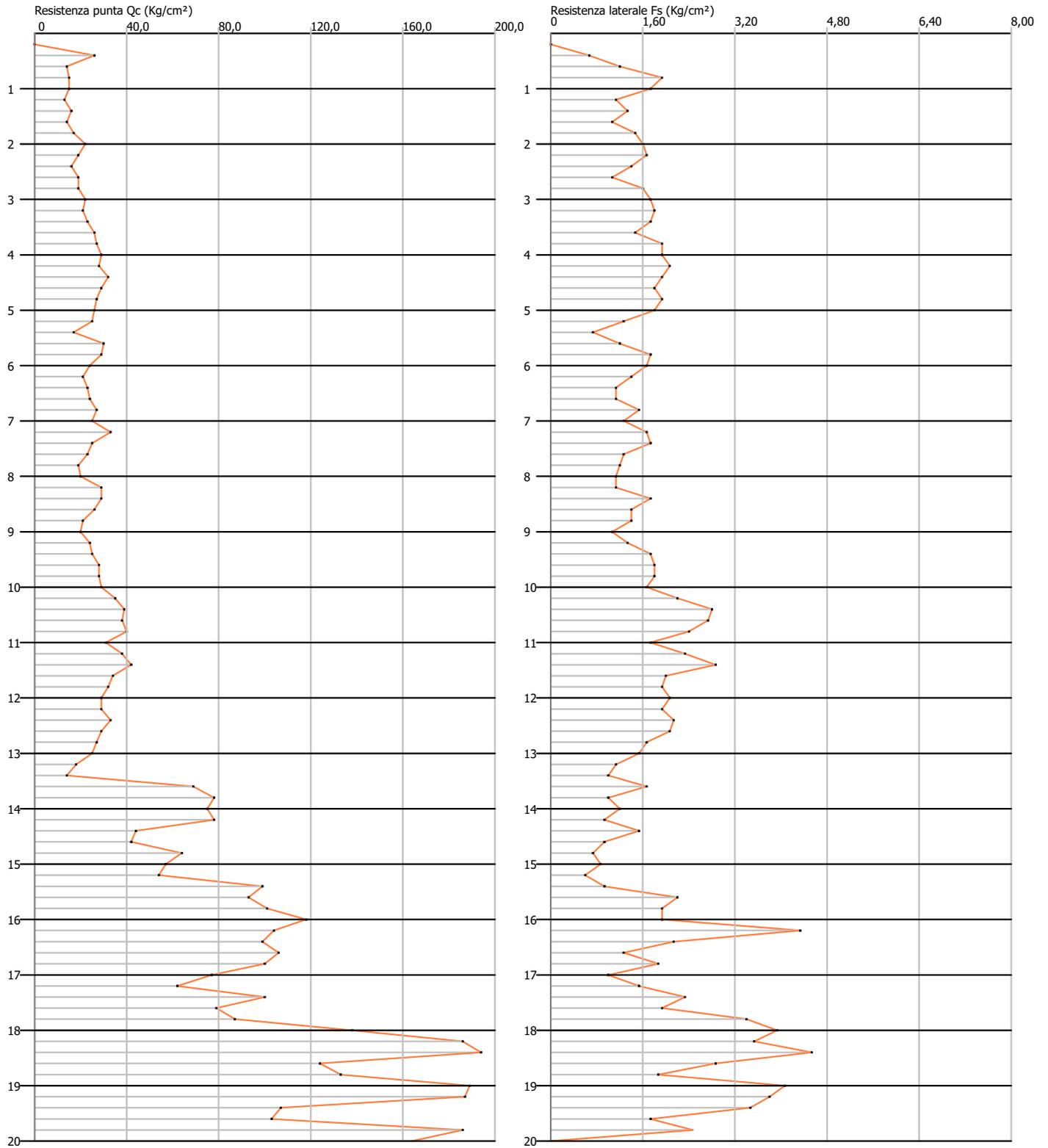




Probe CPT - Cone Penetration Nr.8  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:           Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere:                Mezzani  
Località:                 Parma

Data: 28/05/2021

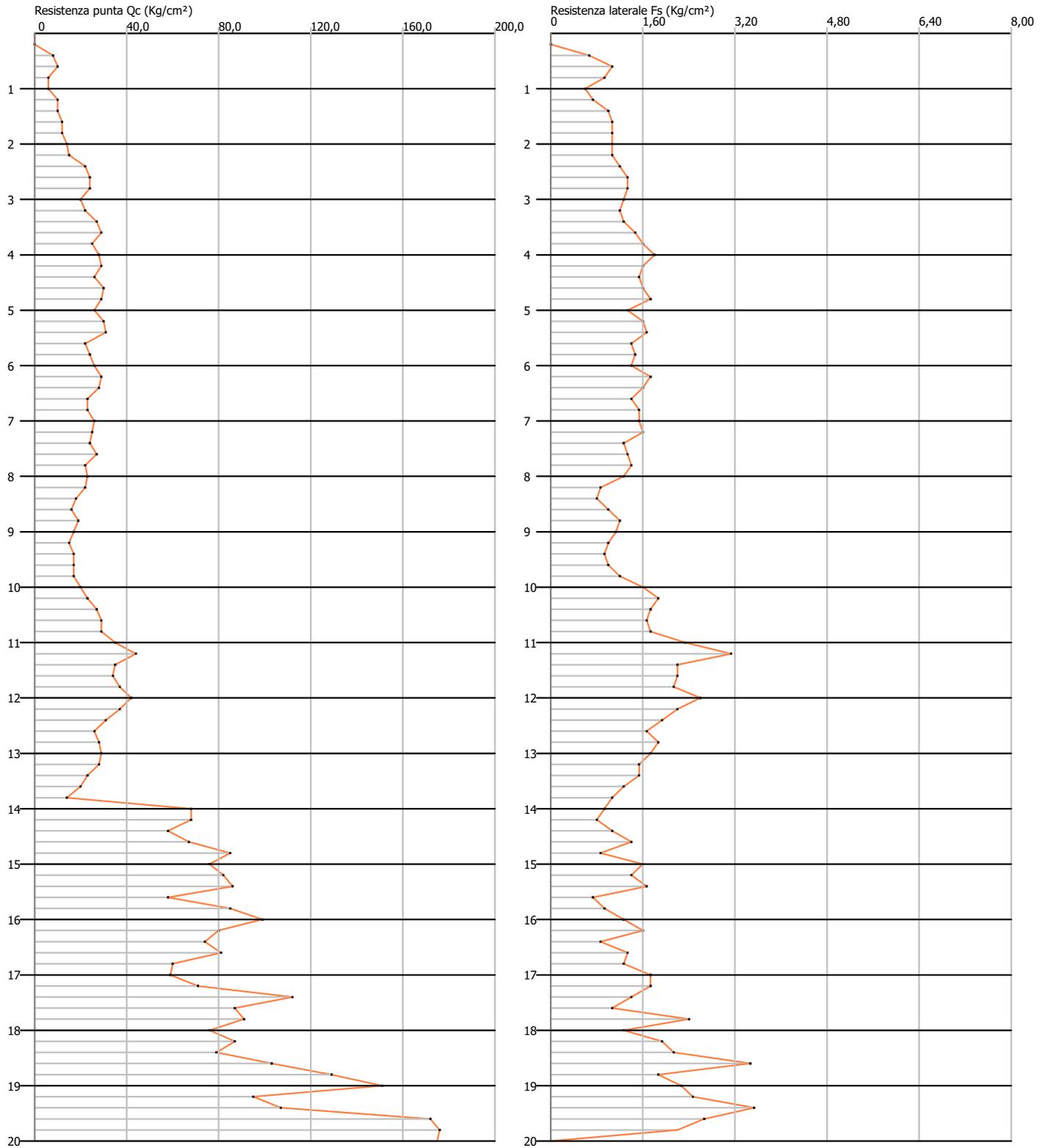




Probe CPT - Cone Penetration Nr.9  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 27/05/2021

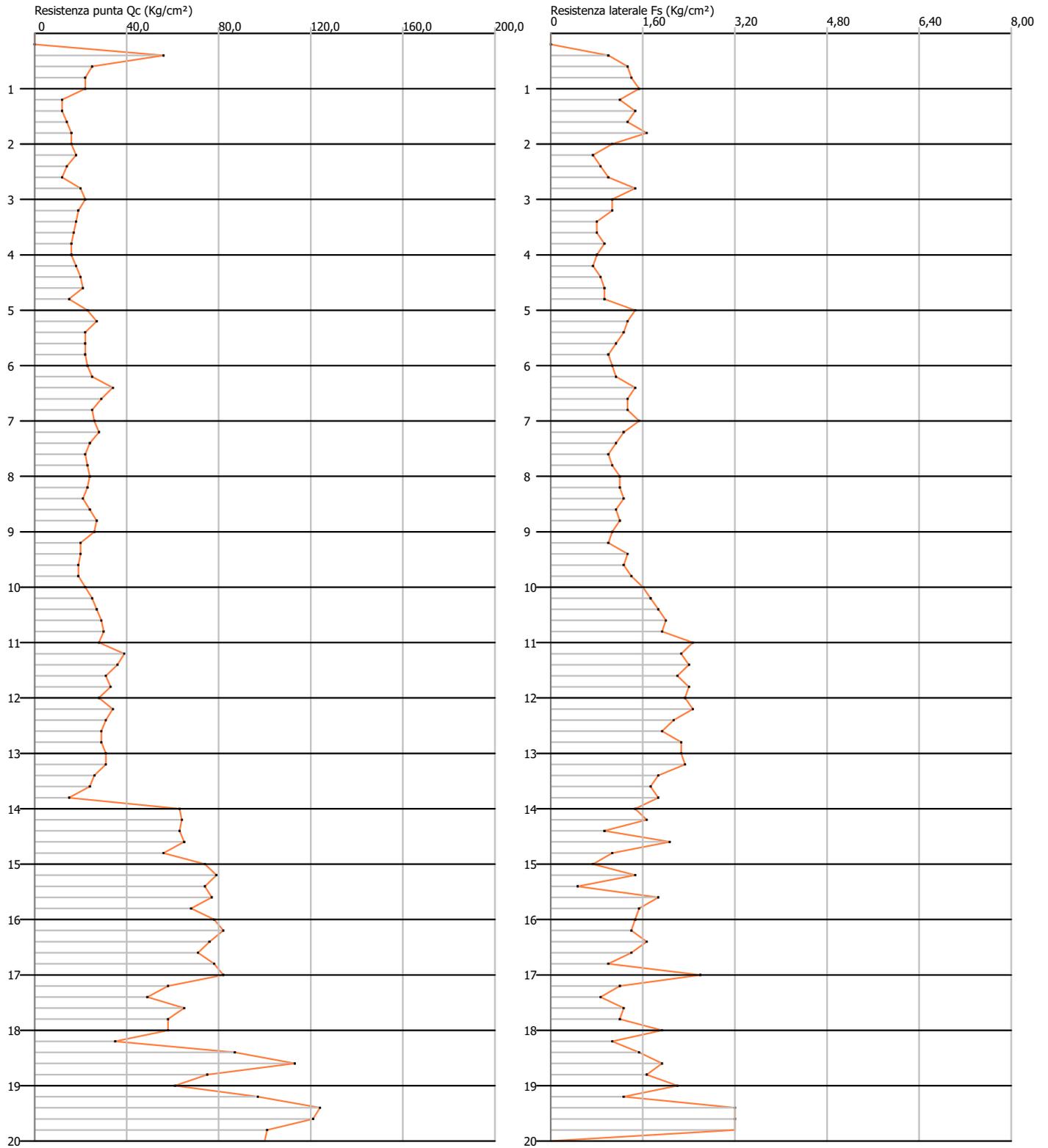




Probe CPT - Cone Penetration Nr.10  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente:           Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere:                Mezzani  
Località:                 Parma

Data: 27/05/2021

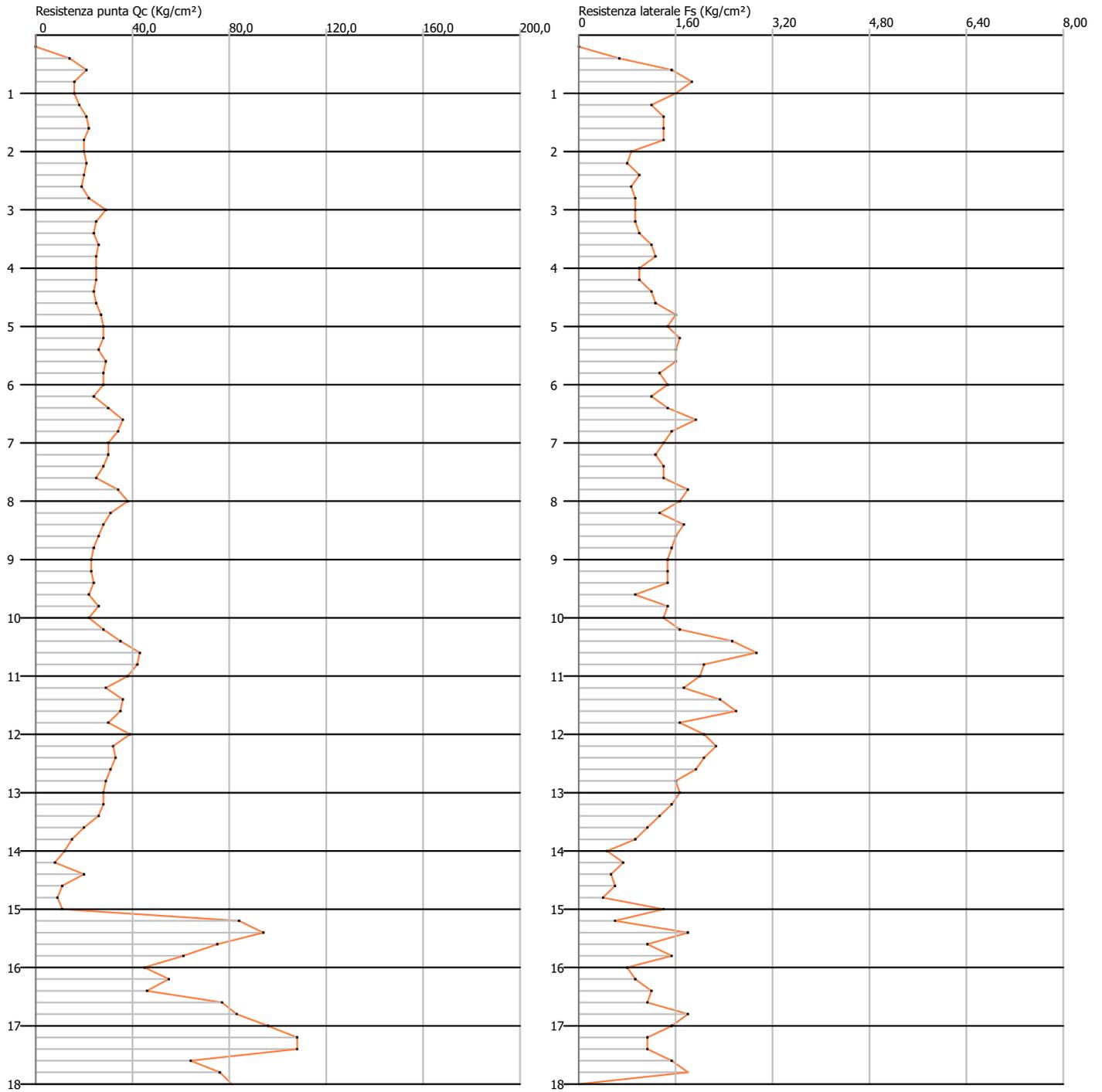




Probe CPT - Cone Penetration Nr.11  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 27/05/2021

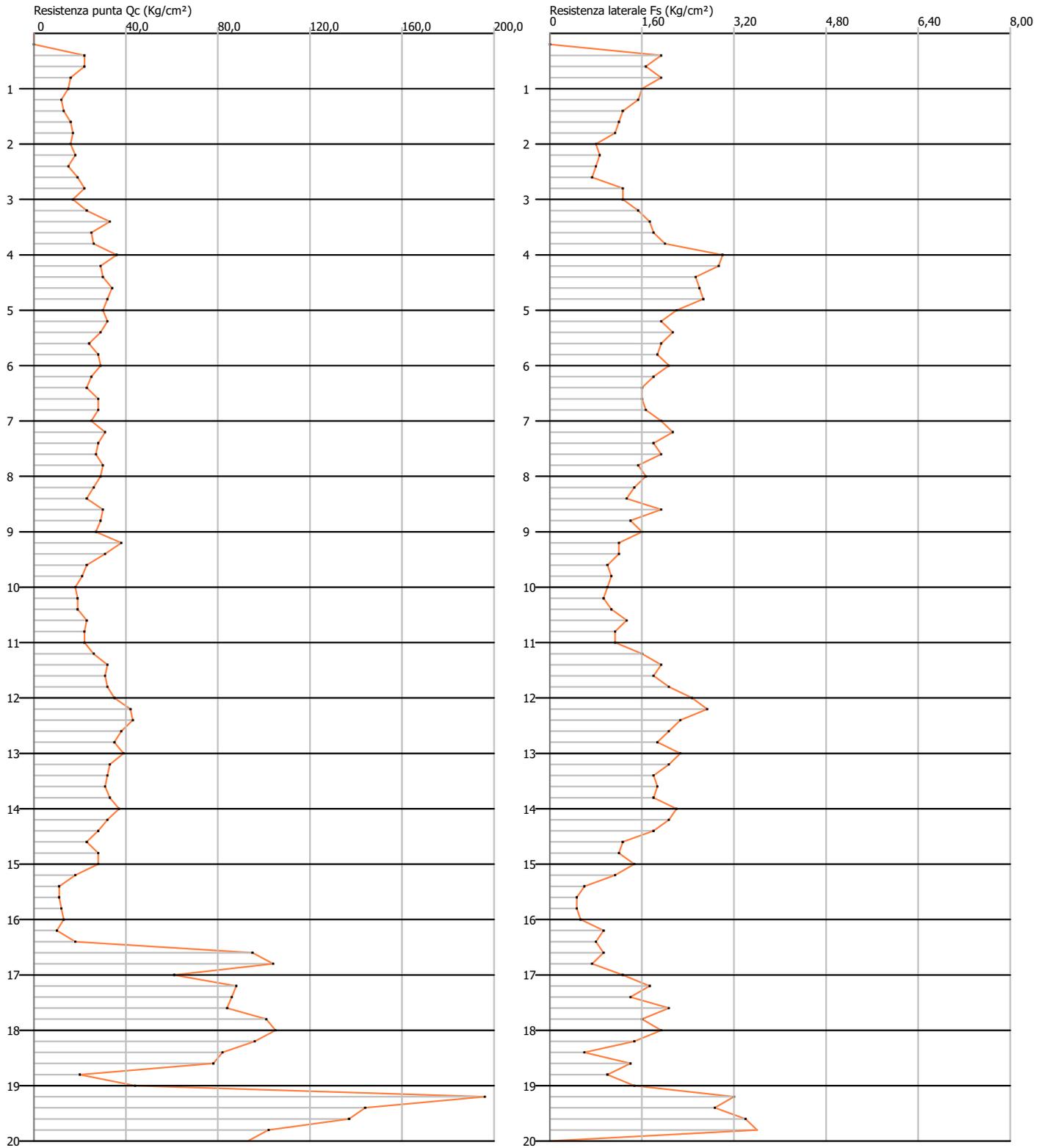




Probe CPT - Cone Penetration Nr.12  
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Dott. Geol. Ugolotti  
Cantiere: Mezzani  
Località: Parma

Data: 28/05/2021



ALLEGATO 3 – CERTIFICATI DI LABORATORIO GEOTECNICO

## QUADRO RIASSUNTIVO PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Committente: **Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring**

Cantiere: **Malcantone di Mezzani (PR)**

Verbale n. 195 del 09/06/2021

Data emissione certificati: 19/07/2021

N° d'ordine	Rif. interno	Sondaggio	Campione	Classe campione (AGI)	Profondità		$\gamma_n$	$\gamma_s$	LL	LP	I.P.	I.C.	Sr	Granulometria				Parametri meccanici	
					da metri	a metri								G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)
1	536-21	S1	sh1	Q5	2,00	2,45	•	2,75	78,3	32,7	45,6	1,05	95	0,0	1,6	13,0	85,4	7,1	15,4
2	537-21	S1	sh2	Q5	6,50	6,95	•	2,76	75,8	31,7	44,1	1,09	98	0,0	0,5	21,7	77,8	15,7	17,3
3	538-21	S1	sh3	Q5	10,70	11,20	•	2,74	62,1	26,5	35,6	1,15	92	0,0	0,1	30,4	69,5	10,5	14,3
4	539-21	S2	sh1	Q5	2,10	2,60	•	2,75	77,2	32,1	45,1	1,06	87	0,0	0,5	16,2	83,3	14,0	17,0
5	540-21	S2	sh2	Q5	6,00	6,65	•	2,76	79,5	33,5	46,0	0,99	99	0,0	0,4	12,7	86,9	4,3	14,0
6	541-21	S2	sh3	Q5	10,50	11,10	•	2,77	56,7	25,9	30,8	1,12	97	0,0	0,1	26,0	73,9	13,1	22,1
7	542-21	S1	D1 S1	Q2	13,50	13,80	•	2,71	•	•	•	•	•	0,0	65,6	22,8	11,6	•	•
8	543-21	S1	D2 S1	Q2	17,00	17,50	•	2,69	•	•	•	•	•	0,0	84,2	8,6	7,2	•	•
9	544-21	S2	D1 S2	Q2	15,00	15,50	•	2,69	•	•	•	•	•	0,0	88,3	7,2	4,5	•	•
10	545-21	S2	D2 S2	Q2	19,00	19,70	•	2,72	•	•	•	•	•	0,0	81,9	11,7	6,4	•	•

$\gamma_n$  = Densità naturale -  $\gamma_s$  = Peso specifico - LL = Limite Liquido - LP = Limite Plastico - IP = Indice di Plasticità - I.C. = Indice di Consistenza - Sr = Grado di saturazione - G = Ghiaia - S = Sabbia - L = Limo  
- A = Argilla - c',  $\phi'$  = Coesione e angolo di resistenza al taglio (tensioni efficaci da Taglio Diretto)

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

dot. Carbone Raffaele  
*Raffaele Carbone*



## DEFINIZIONI ADOTTATE PER LA DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

### CONSERVAZIONE ED APERTURA DEI CAMPIONI

Dopo il controllo dei dati identificativi, i campioni ricevuti sono stati ricoverati in camera climatica in cui temperatura e umidità relativa vengono mantenute costanti rispettivamente a 20°C e oltre 85 %.

Per ogni campione aperto sono stati rilevati i dati identificativi (sondaggio e numero d'ordine progressivo). Il modulo di prova è stato quindi compilato con data di consegna, data di apertura e con ogni altra informazione disponibile riguardo le modalità di campionamento. Per tutti i campioni in fustella esaminati è stata adottata l'estrusione orizzontale: con un estrusore pneumatico, provvisto di variatore di pressione e di teste intercambiabili in funzione del diametro interno del carotiere, il campione è stato estratto in una singola corsa e depositato su un banco posto allo stesso livello del bordo della fustella; dopo una cauta scorticazione del terreno per liberarlo dal velo costituito dal fango di perforazione è stata ottenuta una ripresa fotografica.

### DESCRIZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La descrizione del campione, riportata sul "Modulo Riassuntivo", raccoglie tutte le indicazioni desunte dall'osservazione delle caratteristiche del campione immediatamente dopo la sua estrusione e scorticazione. Sono state in primo luogo descritte le caratteristiche generali del campione, evidenziando ad esempio la eventuale presenza di discontinuità, fratture o rammollimenti di alcune parti del campione stesso. Il campione è stato quindi descritto evidenziando le parti aventi caratteristiche omogenee, nel seguito chiamate "settori". Ogni singolo settore è stato analizzato a partire dalla testa del campione, secondo il seguente ordine: delimitazione del settore, natura del materiale, colore, struttura (se riconoscibile), consistenza (se misurabile) e nell'eventualità, presenza di materiale organico vegetale, reattività con acido cloridrico, strutture subordinate, discontinuità, torba e/o fossili. Per i campioni rimaneggiati la descrizione è stata di norma adeguata alle caratteristiche del campione e limitata alle informazioni relative a natura del terreno, colore, reattività con acido cloridrico ed eventuali presenze di strutture subordinate e/o torba o fossili.

I **limiti spaziali** del settore sono stati espressi in metri, attribuendo alla testa del campione la profondità reale di campionamento.

La **natura del terreno** è stata descritta con riferimento alle dimensioni dei grani ed alle percentuali dei diversi tipi di materiali presenti, così come determinati visivamente dall'Operatore e successivamente tramite verifica con le analisi granulometriche secondo lo schema e le definizioni delle Raccomandazioni AGI (AGI, 1977). Al materiale è stato attribuito il nome della percentuale più rilevante seguita da specificazioni per indicare le frazioni minoritarie. **Per la ghiaia è stato descritto l'assortimento, il grado di arrotondamento, la forma e la dimensione maggiore (Lmax) espressa in millimetri; mentre per la sabbia è stato descritto l'assortimento e, per la frazione avente grani ben osservabili ad occhio nudo, è stato anche riportato il grado di arrotondamento.**

Per descrivere l'**assortimento** sono stati utilizzati i termini fine (f), media (m), grossolana (g), medio fine (m/f), medio grossolana (m/g) ed eterogenea.

Per il **grado di arrotondamento** sono stati usati i termini arrotondata, subarrotondata, subangolare, angolare con riferimento alle fig. 1 (Rittenhouse, 1943) per la sabbia e alla fig. 1 per la ghiaia e i ciottoli (Pettijohn, 1949).

Per la **forma** sono stati usati i termini discoidale, sferoidale, lamellare, allungata con riferimento allo schema di fig. 1 (Gnaccolini, 1978), in cui la dimensione dell'elemento di dimensione maggiore (Lmax) è espressa in centimetri.

Il **colore fondamentale** o i colori fondamentali (se più di uno, ma distribuiti senza una struttura particolare)



sono stati descritti con l'ausilio della Tavola dei colori Munsell (Munsell, 1975) fornendo il nome e la sigla.

La **struttura** del settore, cioè l'organizzazione macroscopica delle particelle costituenti il materiale, è stata individuata, quando evidente, con riferimento ai seguenti tipi:

**Struttura omogenea:** consiste in materiale con organizzazione indifferenziata delle particelle.

**Struttura a livelli:** consiste nella presenza di livelli (spessore di materiale maggiore di 6 mm) che si alternano nel settore. I livelli possono essere descritti come da schema di fig. 1.

**Struttura laminata:** consiste nella presenza di laminazioni e livelli (rispettivamente con spessore di materiale inferiore o superiore a 6 mm) che si alternano nel settore. Queste possono essere descritte come da schema di fig. 1 con il termine "in alternanza".

**Struttura caotica:** è individuata da segni evidenti di rimescolamento legato a fenomeni naturali.

**Struttura scagliosa:** è individuata dall'attitudine del materiale a sfaldarsi secondo "scaglie".

L'assenza di indicazioni segnala una struttura omogenea del materiale.

La **consistenza** è stata descritta per i soli terreni fini sulla base dei risultati del Penetrometro Tascabile condotti sulle teste del campione o sui fianchi previamente scorticati.

Il **materiale organico** è stato descritto mediante i termini resti vegetali e torba cioè materiale vegetale in variabile stato di decomposizione. Di quest'ultimo sono stati indicati: tessitura: fibrosa o amorfa a seconda che sia stato riconosciuto o meno il tessuto vegetale originario; consistenza: compatta o spugnosa a seconda che possa essere stata o meno manipolata; colore: ricavato dal confronto con le tavole "Munsell Soil Color Chart".

Per qualificare un terreno contenente percentuali variabili di torba è stato utilizzato il termine "torboso". Si è, infine, fatto uso del termine "frustolo" per indicare l'eventuale struttura irregolare della torba.

I **fossili** sono stati descritti con riferimento al colore ed alla loro integrità o fratturazione.

La **reazione all'acido cloridrico** è stata descritta con i termini "debolmente reagente con HCl", "reagente con HCl", "fortemente reagente con HCl". Le classi corrispondono rispettivamente ad una debole reazione, ad una reazione evidente e ad una reazione molto intensa. L'assenza di indicazioni segnala la mancata reazione del materiale con HCl.

Le **strutture subordinate** sono state classificate come livelli, laminazioni, lenti, noduli, granuli, identificabili all'interno del settore per diversa granulometria, reazione con HCl o colore. I termini "livelli" e "laminazioni" sono stati utilizzati per indicare rispettivamente spessori di materiale superiori e inferiori a 6 mm relativi all'intera sezione del campione. La geometria della loro disposizione è stata descritta con riferimento allo schema di fig. 1. Il termine "lenti" è stato utilizzato per descrivere materiali con geometria lentiforme; il termine "noduli" per materiali subsferoidali di diametro superiore a 2 mm; il termine "granuli" per materiali subsferoidali di diametro inferiore a 2 mm. La descrizione dei materiali subordinati, quando significativa, è stata eseguita con le stesse modalità previste per il settore.

Le **discontinuità** sono state segnalate con il termine "frattura", con indicazione dell'eventuale assenza di scabrezza.

Di ogni materiale subordinato è stato indicato l'intervallo di profondità all'interno del quale è stato osservato. Nel caso fosse presente in tutto lo strato considerato, è stato utilizzato il termine "sparso". Del materiale subordinato è stata indicata anche la frequenza con gli aggettivi "raro", "qualche" e "frequente". Di ogni campione è stata ottenuta documentazione fotografica per meglio evidenziare i tipi di materiali esaminati e le eventuali anomalie strutturali. Le fotografie sono completate con i dati identificativi, una scala cromatica e un riferimento dimensionale.

**laboratorio**

**GeoTecnico** terre - rocce - aggregati - prove cicliche e dinamiche -  
**Geost** prove geotecniche in sito - geochimica ambientale -  
 propezioni geofisiche - prove non distruttive - misura del Radon



**LABORATORIO UFFICIALE**  
 Art. 59 D.P.R. 380/2001  
 Circolare 7618/STC  
 Settori "A" e "B"  
 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Via Lucca 55 A-B MELFI (PZ) - tel/fax 0972.238231 -  
 E-MAIL: geotest@tiscali.it - http://www.geotest.it - C.Fisc. e P.IVA 01073440768 - C.C.I.A.A. 77714  
 s.a.s. di Carbone Andrea & C.



**Certitalia**  
 Sistema di Gestione certificato  
 UNI EN ISO 9001:2008

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

.97	○○○○○	SABBIA ARROTONDATA	.63	○○○○○	SABBIA ANGOLARE
.95	○○○○○		.61	○○○○○	
.93	○○○○○		.59	○○○○○	
.91	○○○○○		.57	○○○○○	
.89	○○○○○		.55	○○○○○	
.87	○○○○○	SABBIA SUBARROTONDATA	.53	○○○○○	
.85	○○○○○		.51	○○○○○	
.83	○○○○○		.49	○○○○○	
.81	○○○○○	SABBIA SUBANGOLARE	.47	○○○○○	
.79	○○○○○		.45	○○○○○	
.77	○○○○○	SABBIA ANGOLARE			
.75	○○○○○				
.73	○○○○○				
.71	○○○○○				
.69	○○○○○				
.67	○○○○○				
.65	○○○○○				

Fig. 1/1 - Classificazione delle sabbie in relazione al grado di arrotondamento (Rittenhouse, 1943)

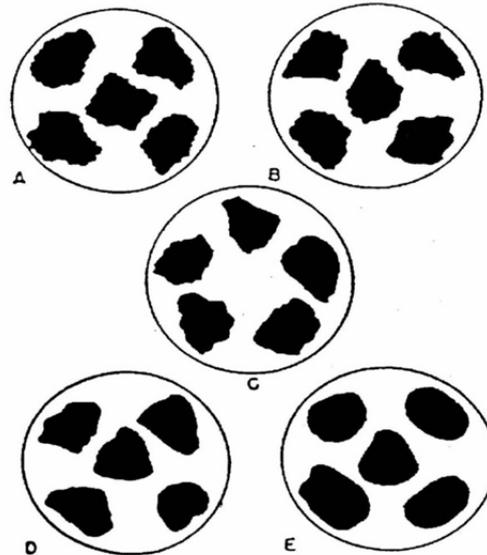


Fig. 1/2 - Classificazione della ghiaia e dei ciottoli in relazione al grado di arrotondamento:  
 A = Angolare B = Subangolare,  
 C = Subarrotondata D E = Arrotondata

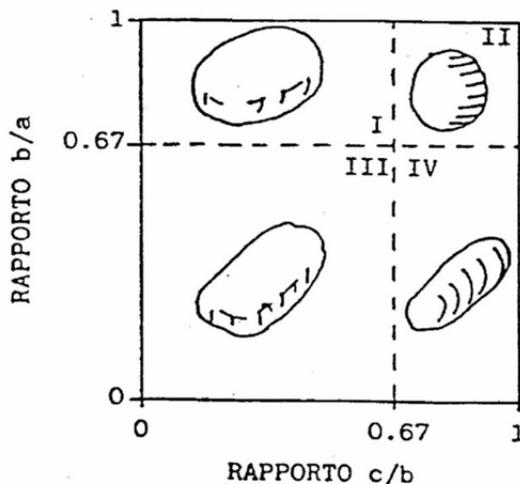


Fig. 1/3 - Classificazione della ghiaia e dei ciottoli in funzione della forma (Gnaccolini, 1978): a, b, c d sono le dimensioni caratteristiche dei grani.  
 I = discoidali II = sferoidali  
 III = lamellari IV = allungati

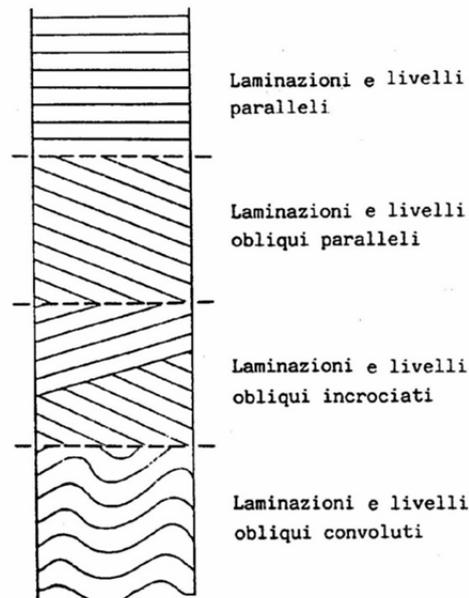


Fig. 1/4 - Schema per la descrizione dei livelli e delle laminazioni.

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: sh1

PROFONDITA': m 2,00-2,45

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso di volume	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,75	
Indice dei vuoti	0,882	
Porosità	46,9	%
Grado di saturazione	95,4	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	78,3	%
Limite di plasticità	32,7	%
Indice di plasticità	45,6	%
Indice di consistenza	1,05	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	1,6	%
Limo	13,0	%
Argilla	85,4	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A7-5 I.G. = 20

### TAGLIO DIRETTO

Coesione:	7,1	kPa
Angolo di attrito interno:	15,4	°

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove CF GR TD	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0	210			Argilla limosa, di colore verdastro, molto compatta. Struttura omogenea. Debolmente reagente all'HCl.  Qualità del campione: Q5
	10				
	20	220			
	30				
	40	210			
				45	

536-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03102	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 23/06/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 23/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh1	<b>PROFONDITA':</b> m 2,00-2,45	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova:** Norma ASTM D 854 -14

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

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

**Metodo:**  A  B

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,5 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 2,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03103	Pagina 1/1
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21	

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 22/06/21
Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 23/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring		
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)		
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh1	<b>PROFONDITA':</b> m 2,00-2,45

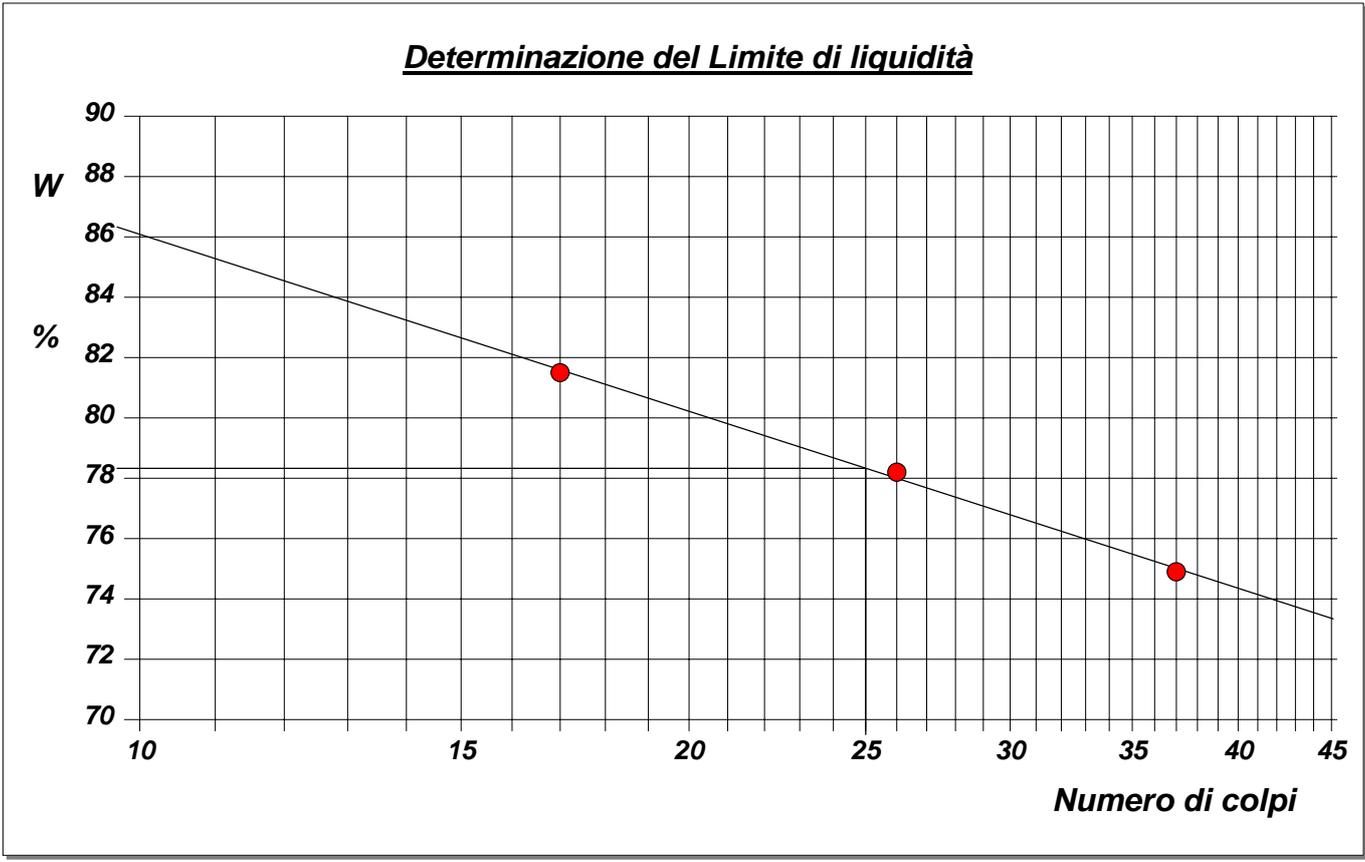
**LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

<b>Limite di liquidità</b>	<b>78,3 %</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>32,7 %</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>45,6 %</b>

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

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
<b>Numero di colpi</b>	17	26	37		<b>Umidità (%)</b>	32,6	32,8
<b>Umidità (%)</b>	81,5	78,2	74,9		<b>Umidità media</b>	32,7	



536-21

LO SPERIMENTATORE  
dott. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*

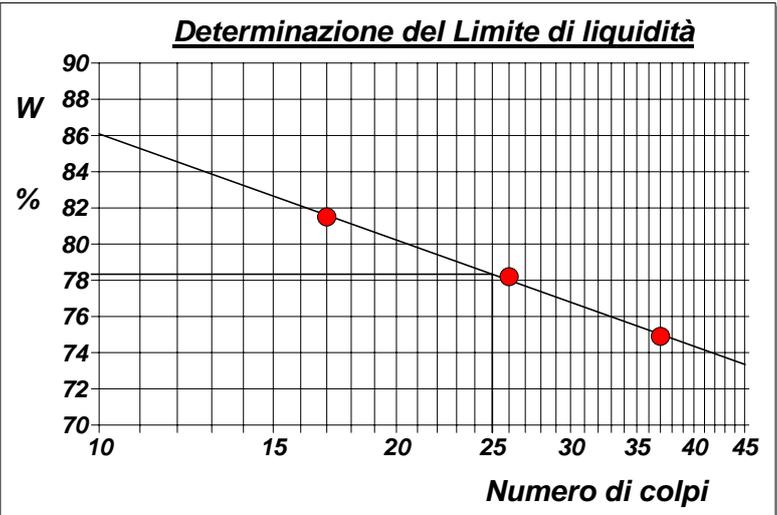
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03103	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 22/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 23/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh1	<b>PROFONDITA':</b> m 2,00-2,45	

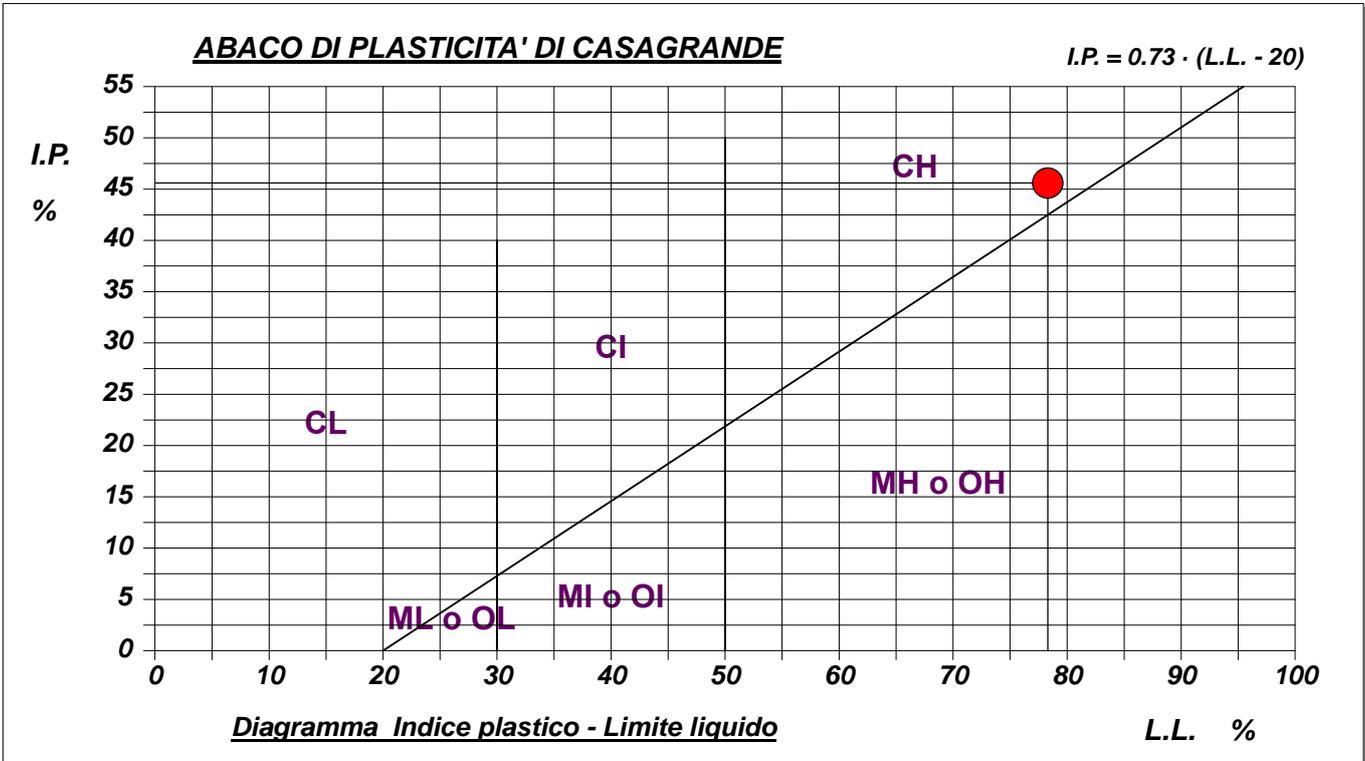
## ABACO DI CASAGRANDE

**Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1**

<b>Limite di liquidità</b>	<b>78,3</b>	<b>%</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>32,7</b>	<b>%</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>45,6</b>	<b>%</b>
<b>Indice di consistenza</b>	<b>1,05</b>	
<b>Passante al set. n° 40</b>	<b>SI</b>	



<b>C - Argille inorganiche</b>	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	<b>H - Alta compressibilità</b>





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03104 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: sh1

PROFONDITA': m 2,00-2,45

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

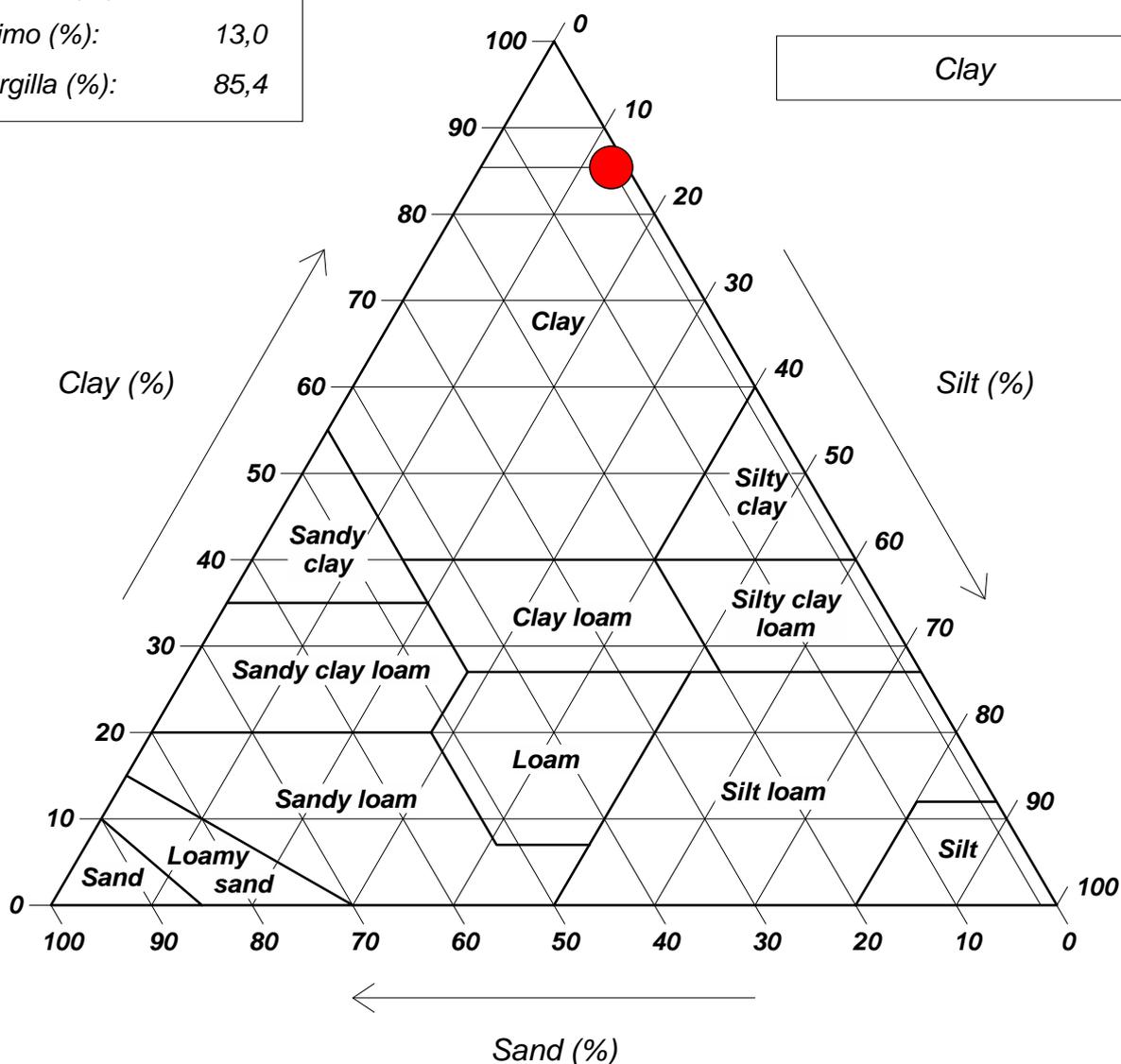
Sabbia (%): 1,6

Limo (%): 13,0

Argilla (%): 85,4

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

Clay



CERTIFICATO DI PROVA N°: 03105 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 16/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: sh1

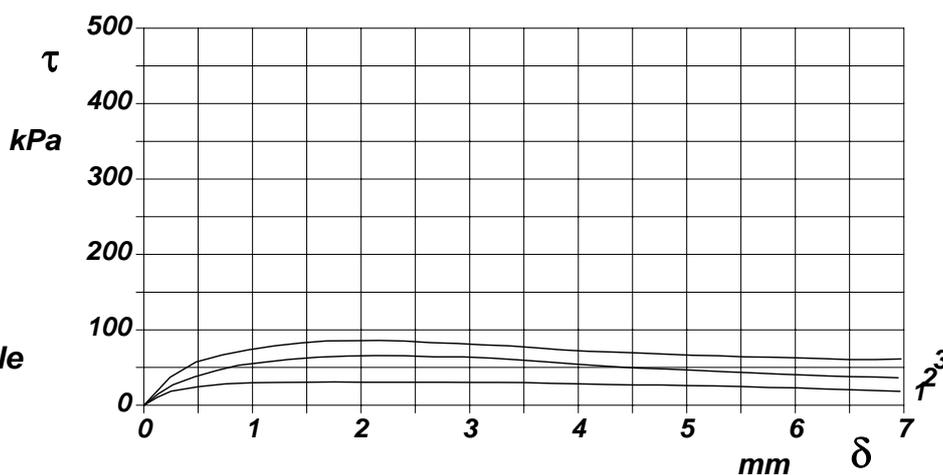
PROFONDITA': m 2,00-2,45

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

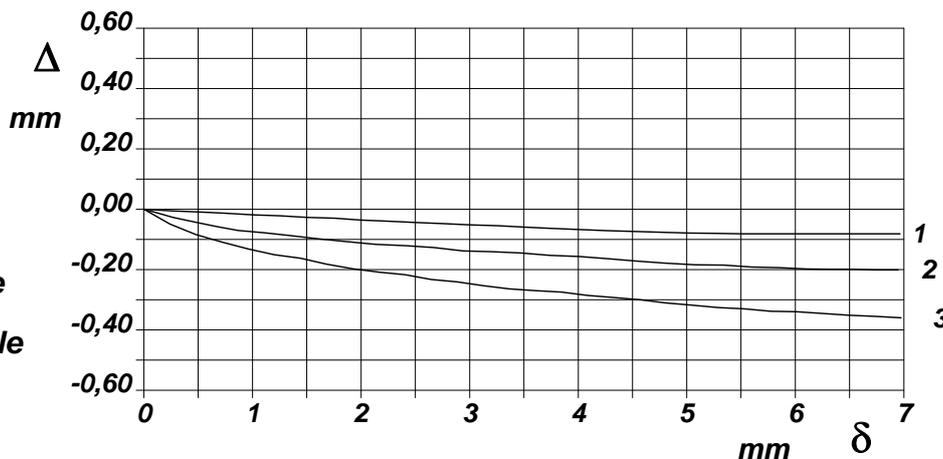
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	30,5    30,6	30,8    29,4	30,4    27,9
Peso di volume (kN/m³):	18,7	18,7	18,7
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,004 mm / min	

**DIAGRAMMA**  
Tensione  
Deformazione orizzontale



**DIAGRAMMA**  
Deformazione verticale  
Deformazione orizzontale





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03105 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21 Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21 Fine analisi: 16/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

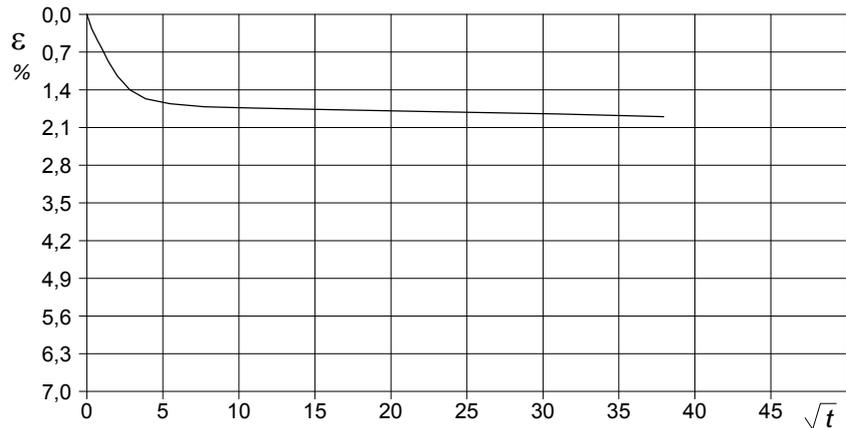
SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: sh1 PROFONDITA': m 2,00-2,45

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

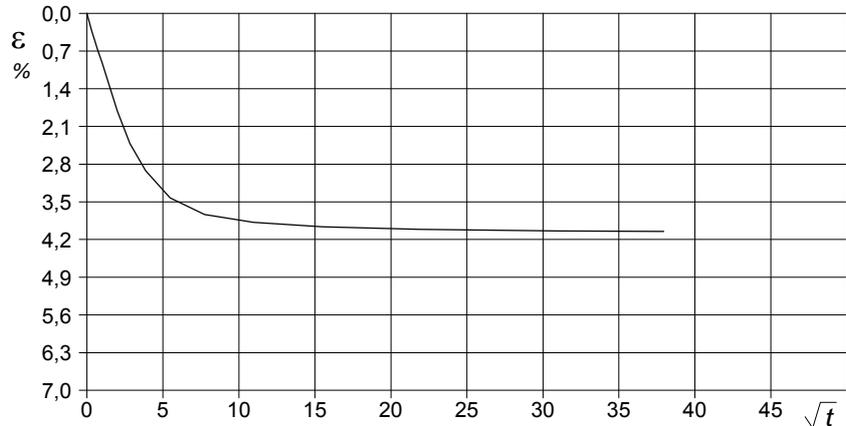
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,962
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	10,6
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,019



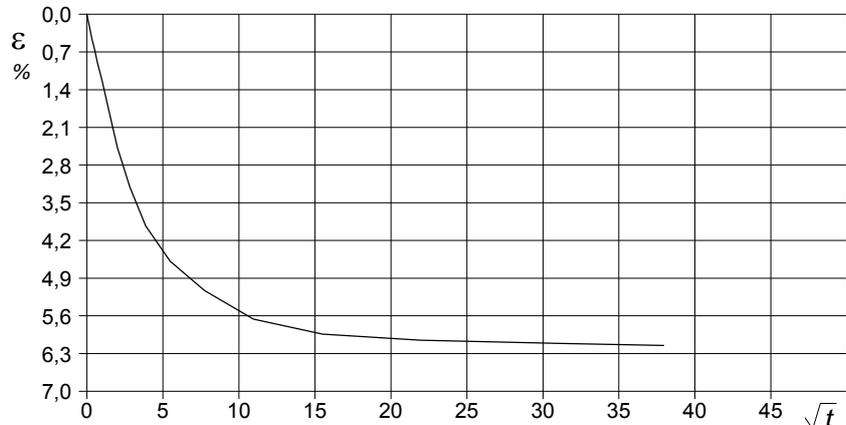
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,919
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	20,6
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,015



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,877
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	25,6
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,012



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

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

536-21

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2020

LO SPERIMENTATORE  
dot. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dot. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S1

**CAMPIONE:** sh2

**PROFONDITA':** m 6,50-6,95

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso di volume	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,76	
Indice dei vuoti	0,782	
Porosità	43,9	%
Grado di saturazione	97,5	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	75,8	%
Limite di plasticità	31,7	%
Indice di plasticità	44,1	%
Indice di consistenza	1,09	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	0,5	%
Limo	21,7	%
Argilla	77,8	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A7-5 I.G. = 20

### TAGLIO DIRETTO

Coesione:	15,7	kPa
Angolo di attrito interno:	17,3	°

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove CF GR TD	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0	390			Argilla limosa, di colore verdastro, con venature grigio, molto compatta. Struttura scagliettata. Debolmente reagente all'HCl.  Qualità del campione: Q5
	10	380			
	20	380			
	40	380			
	45			45	

537-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03106	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 28/06/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 29/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,50-6,95	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,76**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,76**

**Metodo:**  **A**  **B**

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,5 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 1,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03107	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 12/07/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 13/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,50-6,95	

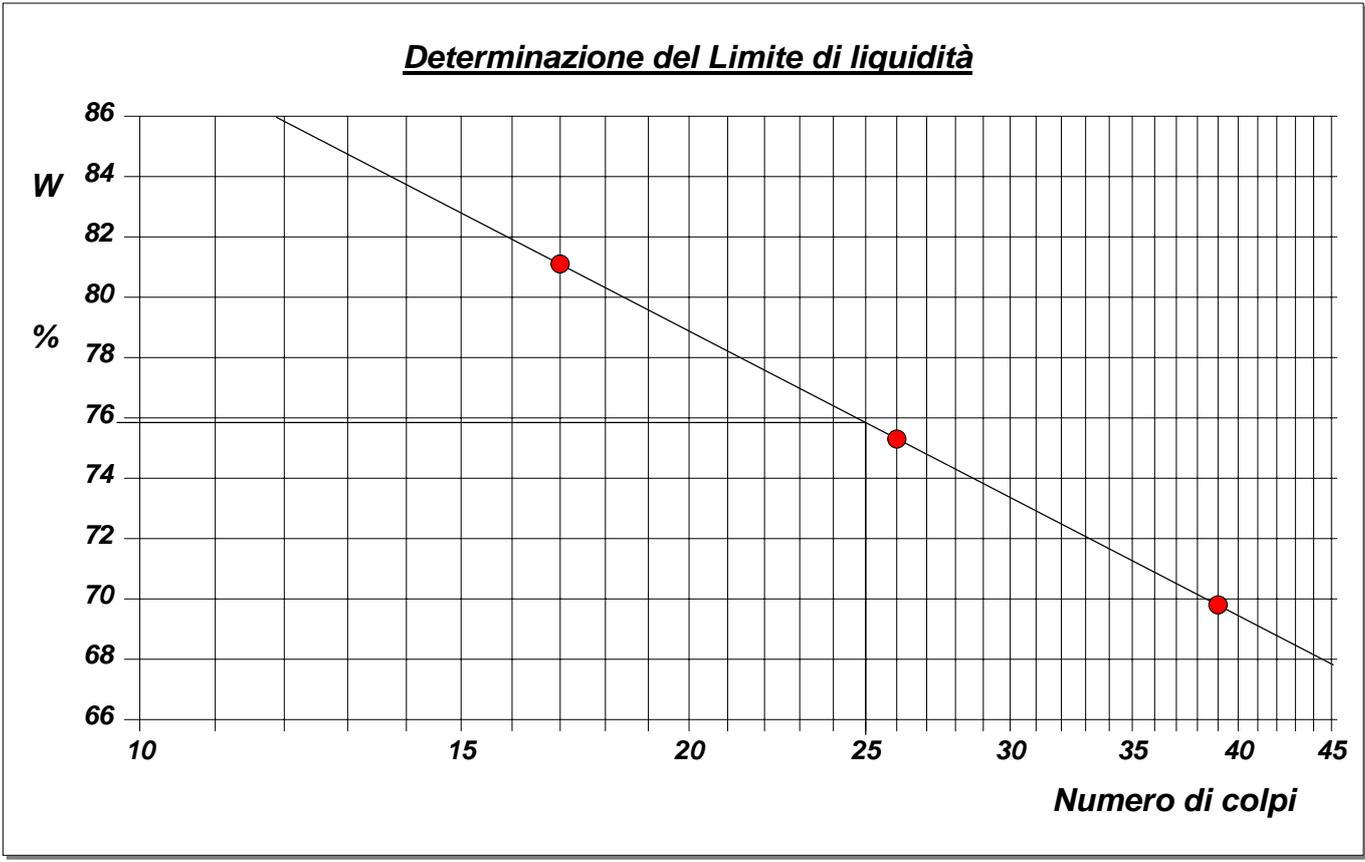
**LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

<b>Limite di liquidità</b>	<b>75,8 %</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>31,7 %</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>44,1 %</b>

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

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
<b>Numero di colpi</b>	17	26	39		<b>Umidità (%)</b>	31,8	31,6
<b>Umidità (%)</b>	81,1	75,3	69,8		<b>Umidità media</b>	31,7	



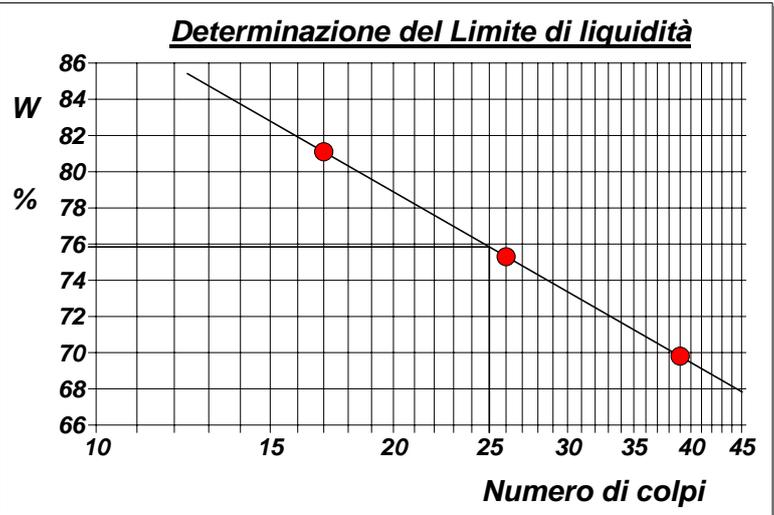
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03107	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 12/07/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 13/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,50-6,95	

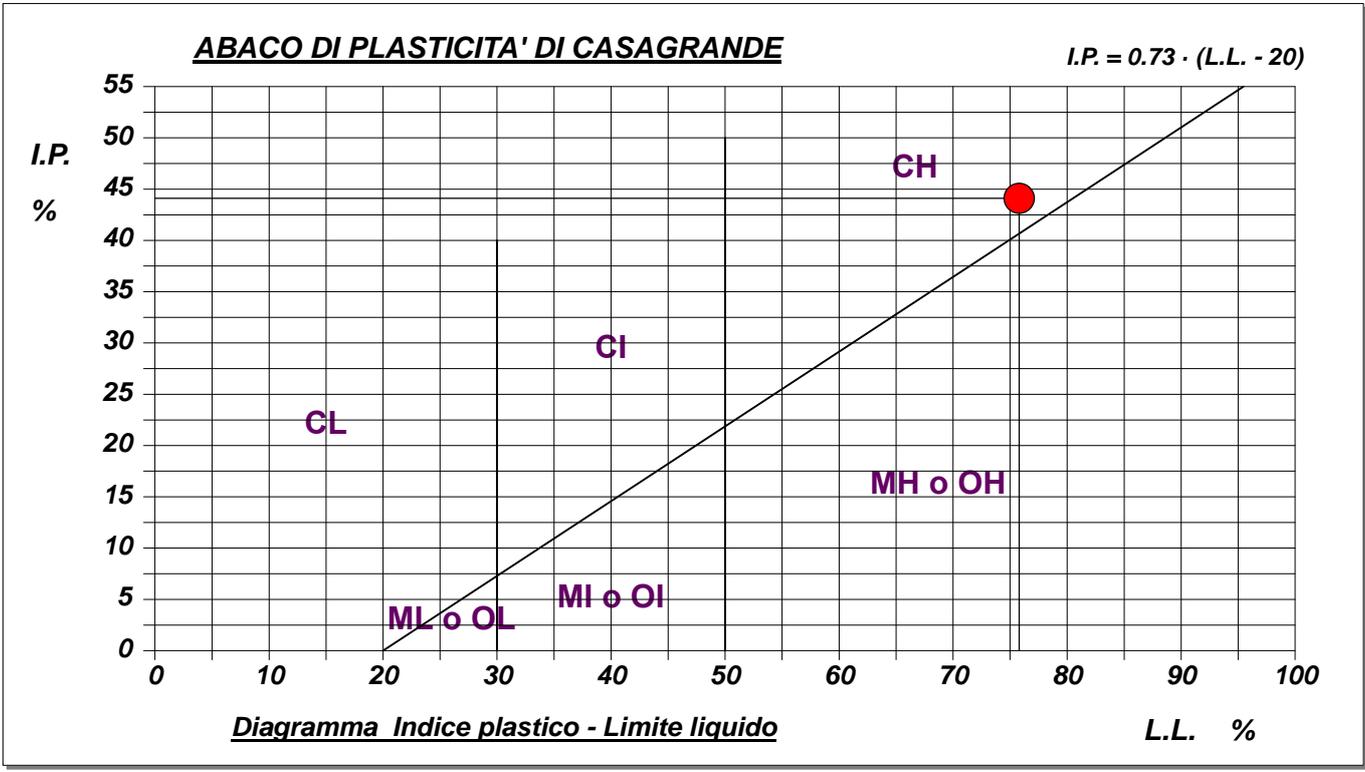
## ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

<b>Limite di liquidità</b>	<b>75,8</b>	<b>%</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>31,7</b>	<b>%</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>44,1</b>	<b>%</b>
<b>Indice di consistenza</b>	<b>1,09</b>	
<b>Passante al set. n° 40</b>	<b>SI</b>	



<b>C - Argille inorganiche</b>	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	<b>H - Alta compressibilità</b>



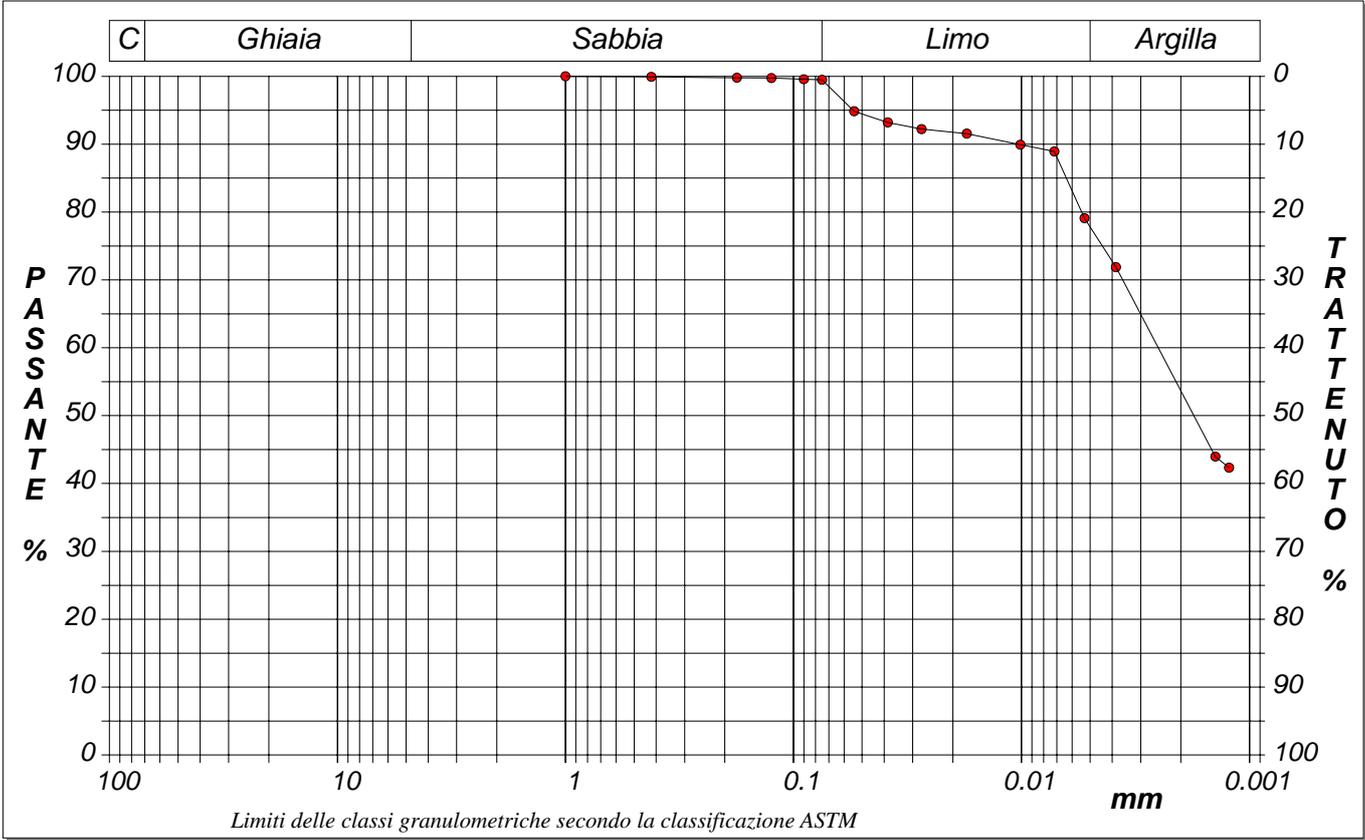
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03108	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 11/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 18/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring		
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)		
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,50-6,95

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

<b>Ghiaia</b> 0,0 %	<b>Passante setaccio 10 (2 mm)</b> 100,0 %	<b>D10</b> --- mm
<b>Sabbia</b> 0,5 %	<b>Passante setaccio 40 (0.42 mm)</b> 99,9 %	<b>D30</b> --- mm
<b>Limo</b> 21,7 %	<b>Passante setaccio 200 (0.075 mm)</b> 99,5 %	<b>D50</b> 0,00175 mm
<b>Argilla</b> 77,8 %		<b>D60</b> 0,00251 mm
<b>Coefficiente di uniformità</b> ---	<b>Coefficiente di curvatura</b> ---	<b>D90</b> 0,01038 mm



Diametro mm	Passante %								
1,0000	100,00	0,0750	99,50	0,0101	89,92	0,0012	42,34		
0,4200	99,92	0,0542	94,85	0,0072	88,94				
0,1770	99,79	0,0386	93,20	0,0053	79,09				
0,1250	99,75	0,0274	92,22	0,0038	71,87				
0,0900	99,56	0,0174	91,56	0,0014	43,98				

LO SPERIMENTATORE  
dot. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dot. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03108	<b>Allegato 1</b>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 11/06/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 18/06/21

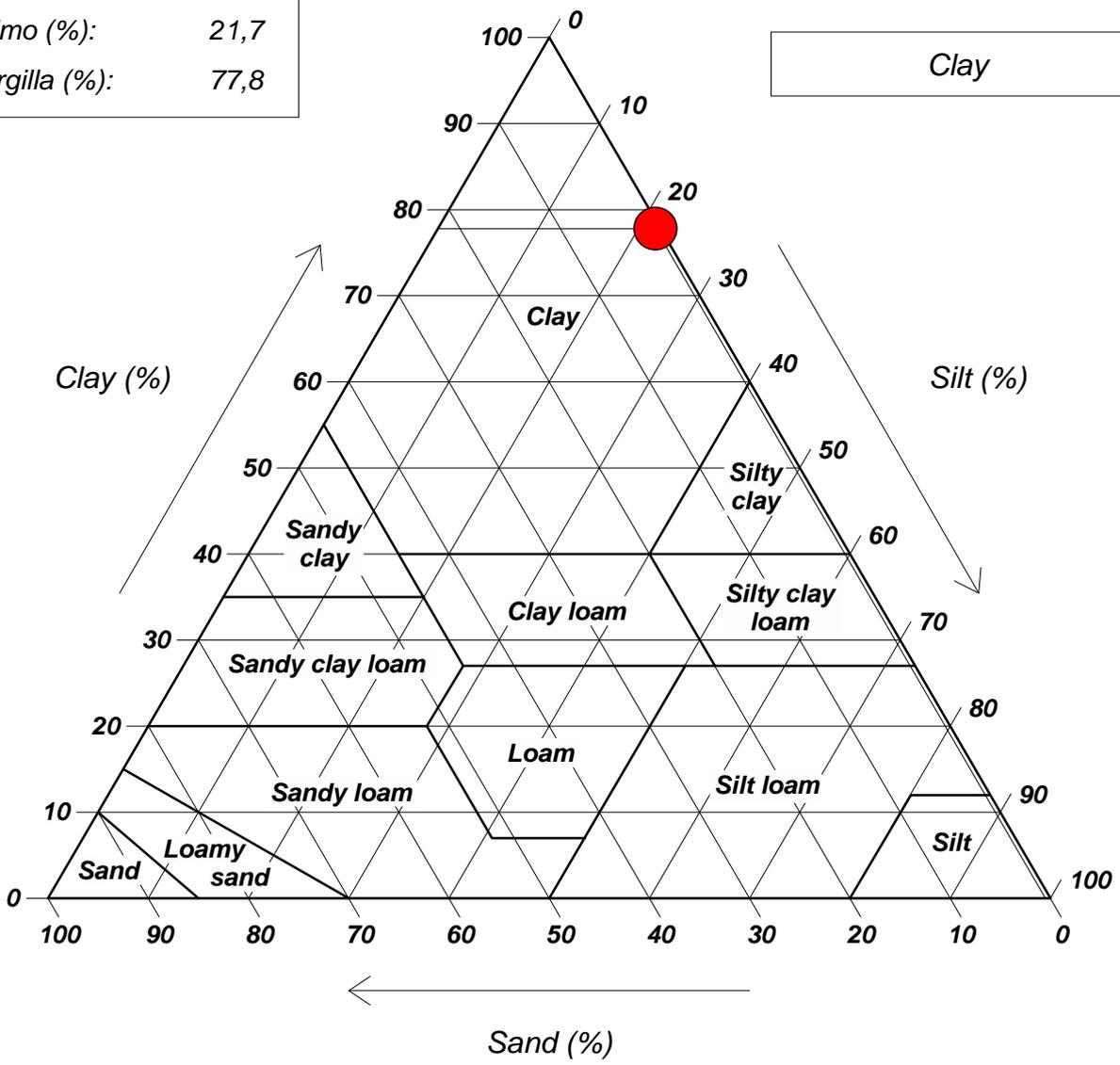
<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring		
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)		
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA': m</b> 6,50-6,95

**ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 422**

Sabbia (%):	0,5
Limo (%):	21,7
Argilla (%):	77,8

**Diagramma U.S.D.A.**



Clay

LO SPERIMENTATORE  
dott. Geol. MARIO SUSY  
*Susy Mario*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Geol. CARBONE RAFFAELE  
*Raffaele Carbone*

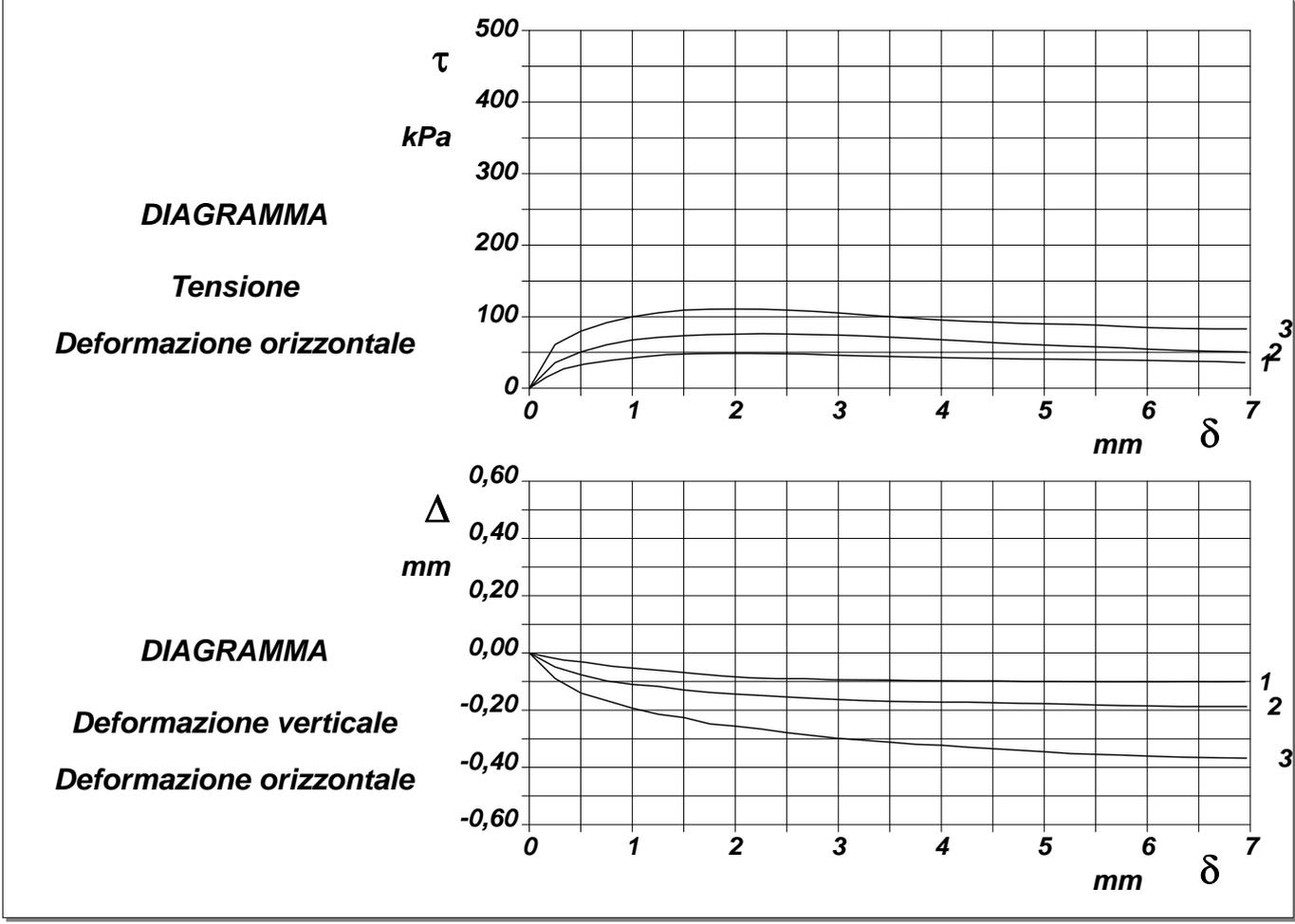
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03109	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 11/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 16/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,50-6,95	

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	27,8    27,3	27,6    25,9	27,4    25,0
Peso di volume (kN/m³):	19,4	19,4	19,4
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,004 mm / min	





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03109 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21 Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21 Fine analisi: 16/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

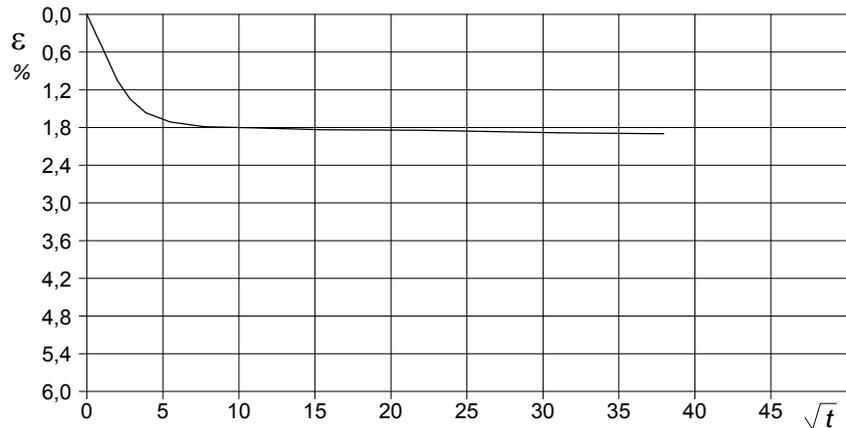
SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: sh2 PROFONDITA': m 6,50-6,95

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

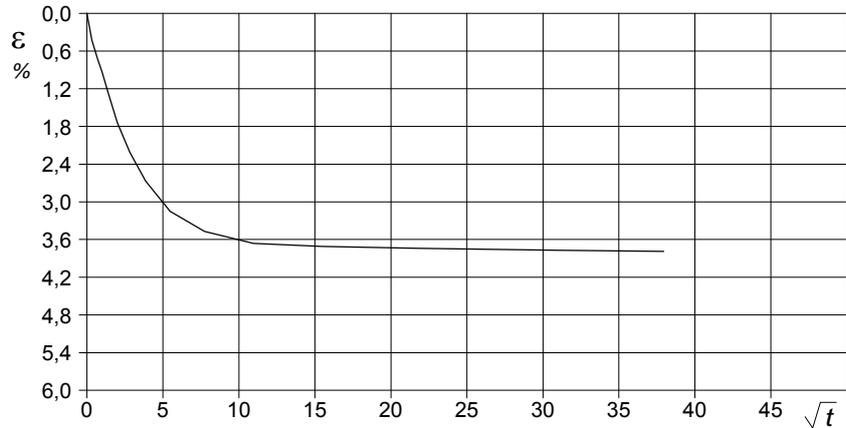
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,962
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	13,2
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,015



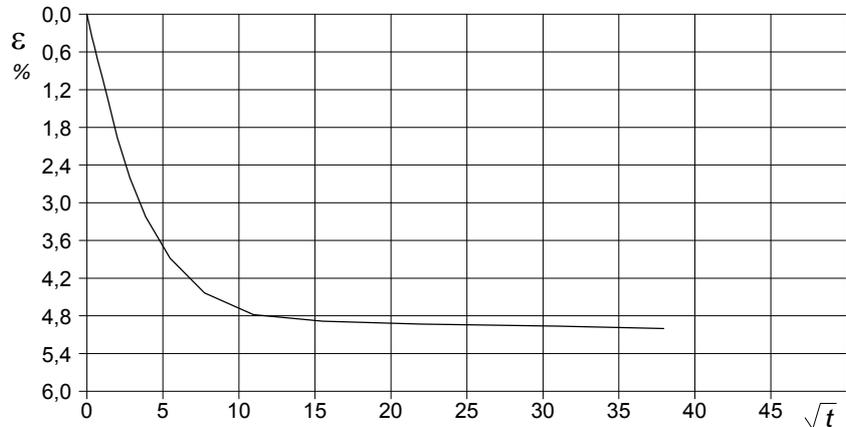
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,924
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	21,3
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,014



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,900
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	26,7
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,011



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

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

537-21

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2020

LO SPERIMENTATORE  
dot. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dot. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S1

**CAMPIONE:** sh3

**PROFONDITA':** m 10,70-11,20

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso di volume	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,74	
Indice dei vuoti	0,638	
Porosità	39,0	%
Grado di saturazione	91,6	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	62,1	%
Limite di plasticità	26,5	%
Indice di plasticità	35,6	%
Indice di consistenza	1,15	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	0,1	%
Limo	30,4	%
Argilla	69,5	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A7-6 I.G. = 20

### TAGLIO DIRETTO

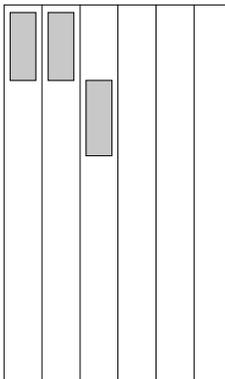
Coesione:	10,5	kPa
Angolo di attrito interno:	14,3	°

### FOTOGRAFIA

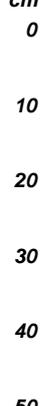


### Posizione delle prove

CF GR TD



cm



Rp

kPa
310
310
320

VT

kPa

cm

50
----

### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Argilla con limo, di colore grigio, molto compatta. Struttura omogenea. Debolmente reagente all'HCl.

Qualità del campione: Q5

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03110	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 28/06/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 29/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA':</b> m 10,70-11,20	

**PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

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

**Metodo:**     **A**     **B**

**Capacità del picnometro:**    100 ml

**Temperatura di prova:**    22,6 °C

**Dimensione massima delle particelle:**    0,40 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

LO SPERIMENTATORE  
dott. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03111	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 28/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 29/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA':</b> m 10,70-11,20	

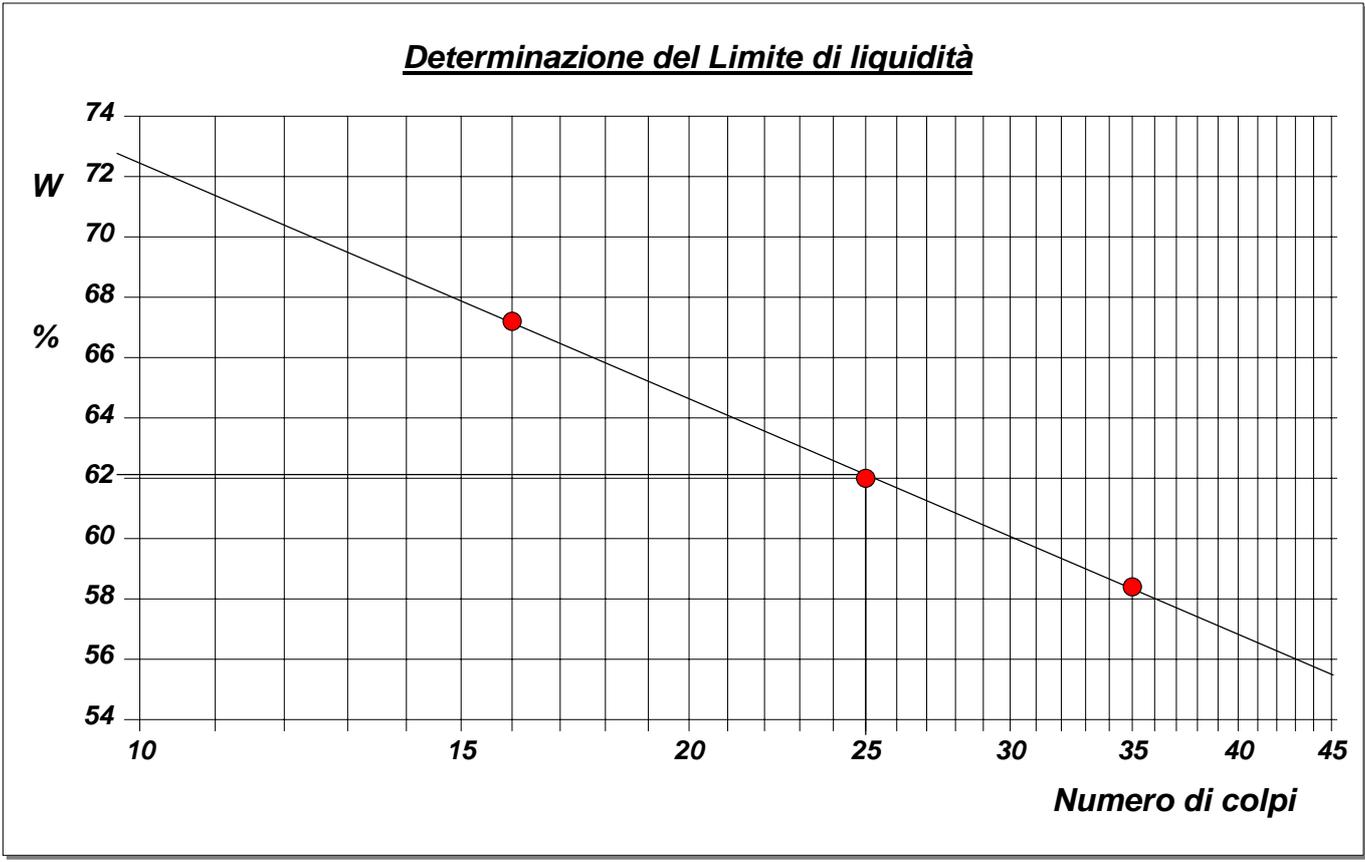
**LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

<b>Limite di liquidità</b>	<b>62,1 %</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>26,5 %</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>35,6 %</b>

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

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
<b>Numero di colpi</b>	16	25	35		<b>Umidità (%)</b>	26,5	26,5
<b>Umidità (%)</b>	67,2	62,0	58,4		<b>Umidità media</b>	26,5	



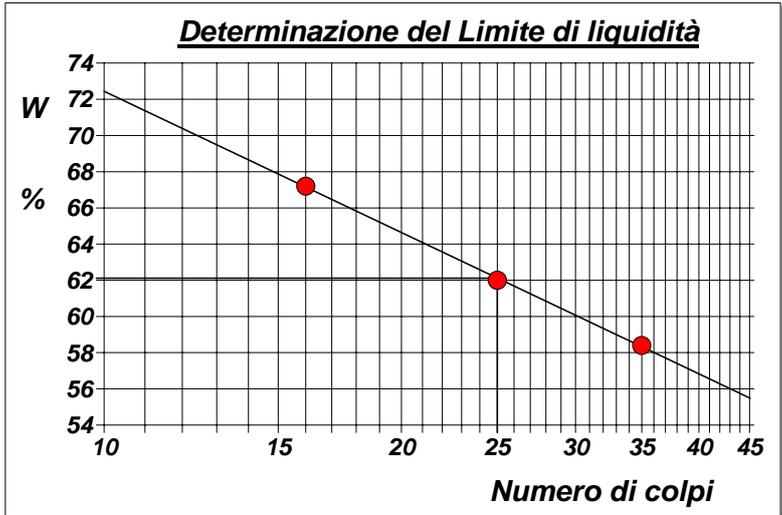
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03111	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 28/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 29/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA':</b> m 10,70-11,20	

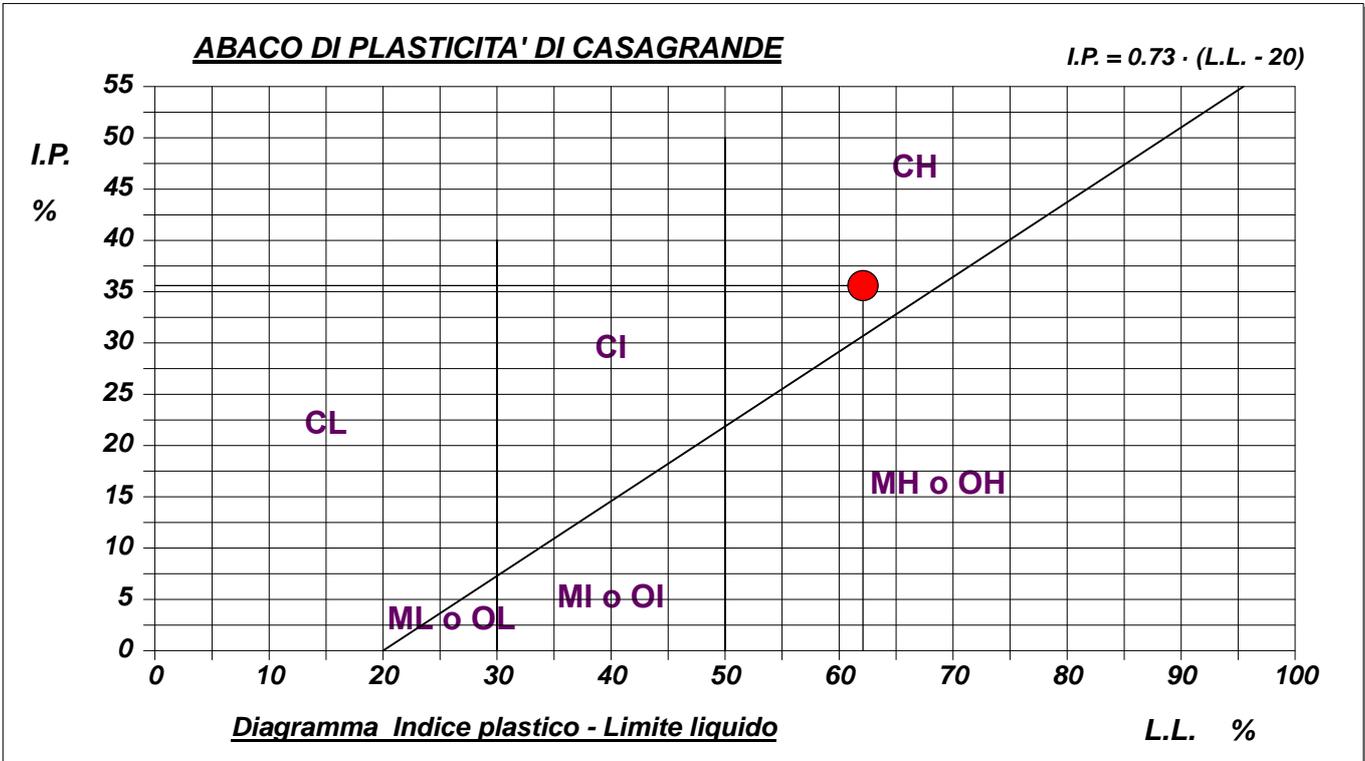
## ABACO DI CASAGRANDE

**Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1**

<b>Limite di liquidità</b>	<b>62,1</b>	<b>%</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>26,5</b>	<b>%</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>35,6</b>	<b>%</b>
<b>Indice di consistenza</b>	<b>1,15</b>	
<b>Passante al set. n° 40</b>	<b>SI</b>	



<b>C - Argille inorganiche</b>	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	<b>H - Alta compressibilità</b>





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03112 Allegato 1

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: sh3

PROFONDITA': m 10,70-11,20

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

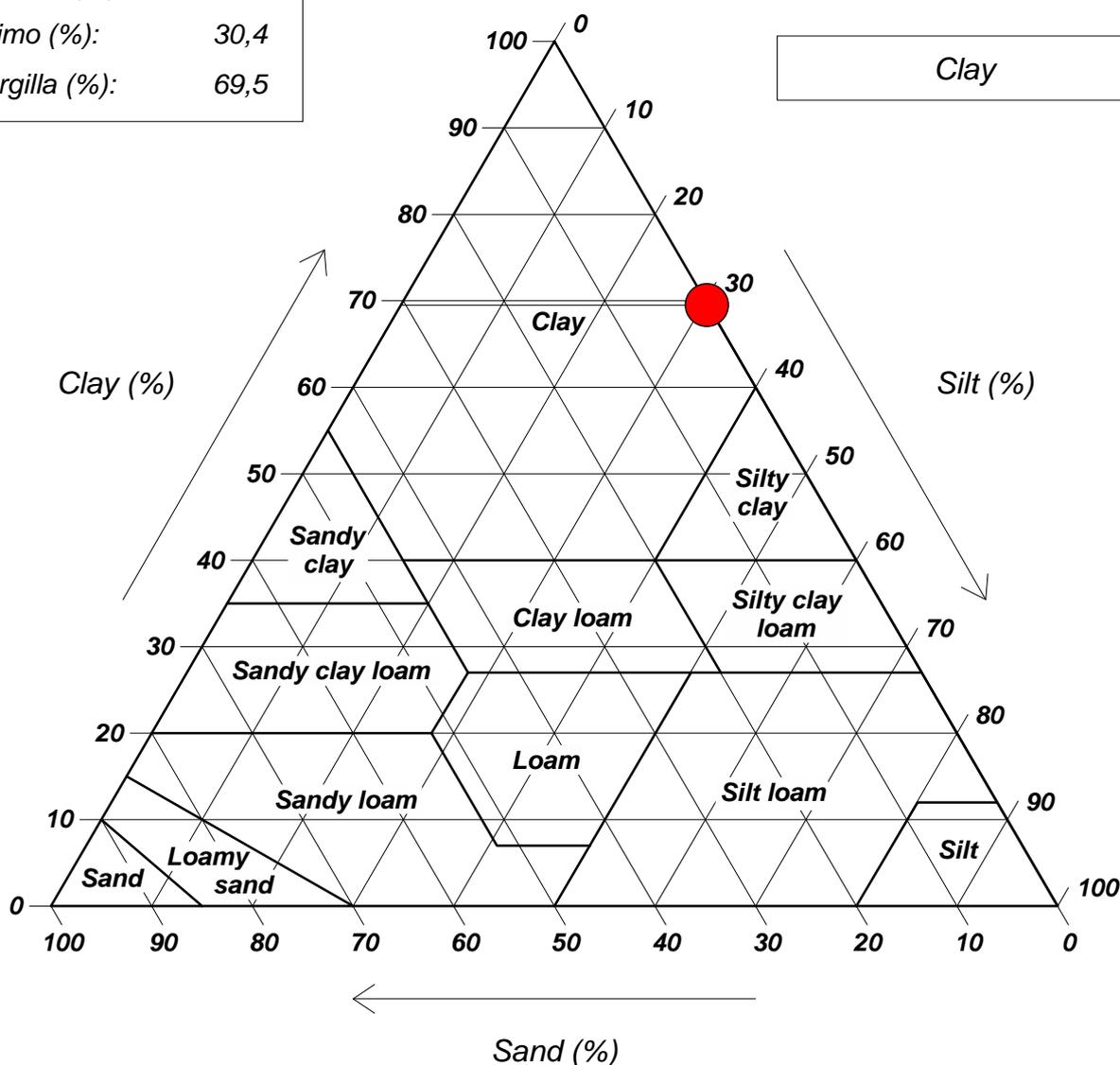
Sabbia (%): 0,1

Limo (%): 30,4

Argilla (%): 69,5

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

Clay



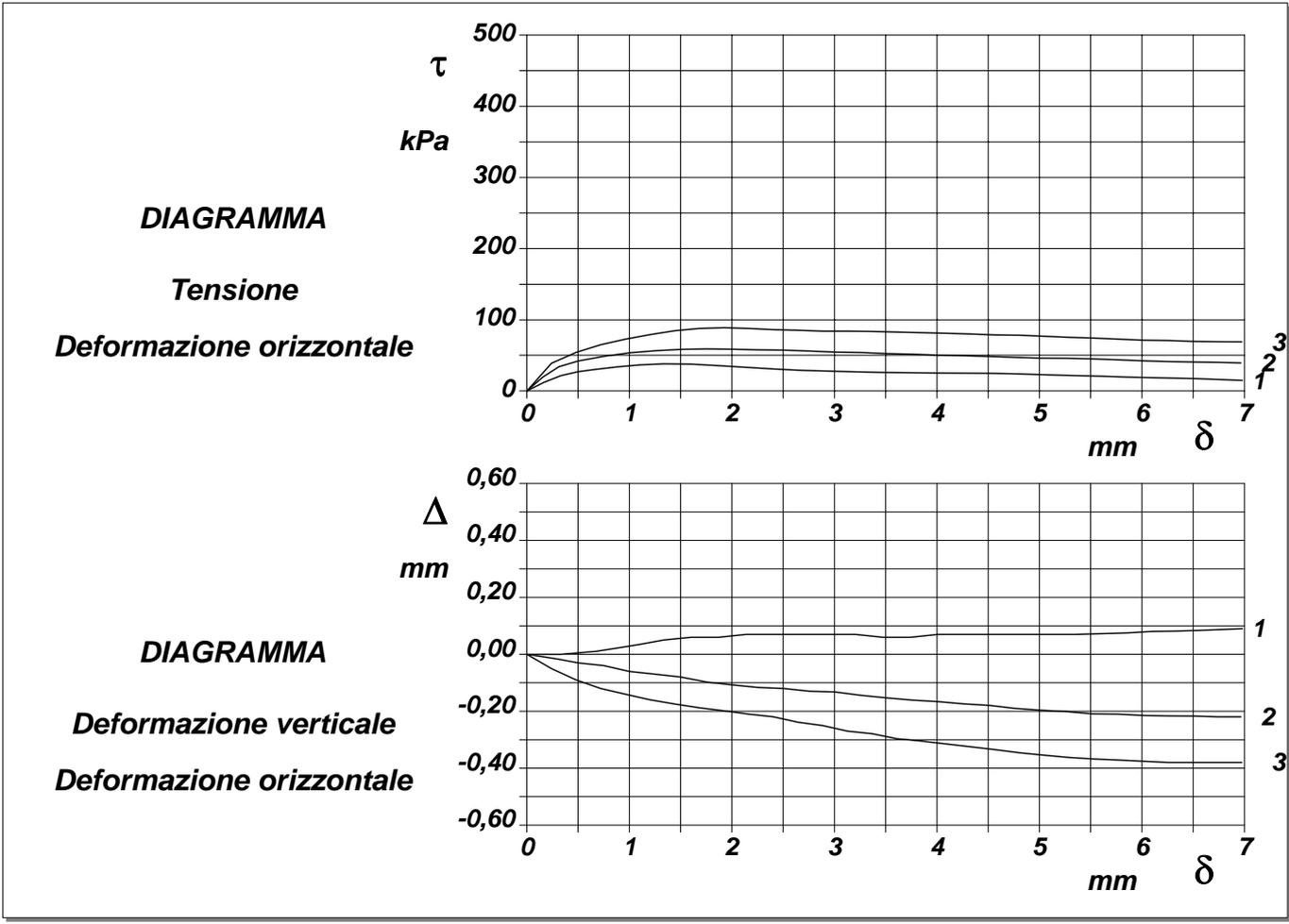
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03113	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 11/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 16/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA':</b> m 10,70-11,20	

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	21,1    22,0	21,3    21,4	21,5    20,6
Peso di volume (kN/m³):	19,9	19,9	19,9
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,004 mm / min	





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03113 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 16/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: sh3

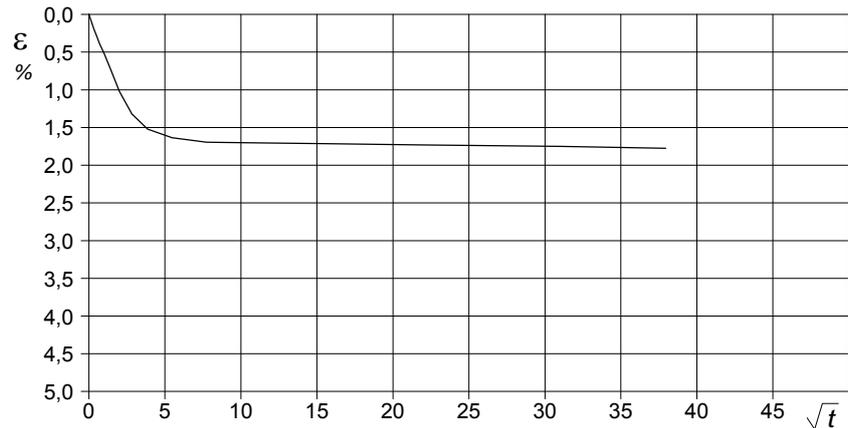
PROFONDITA': m 10,70-11,20

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

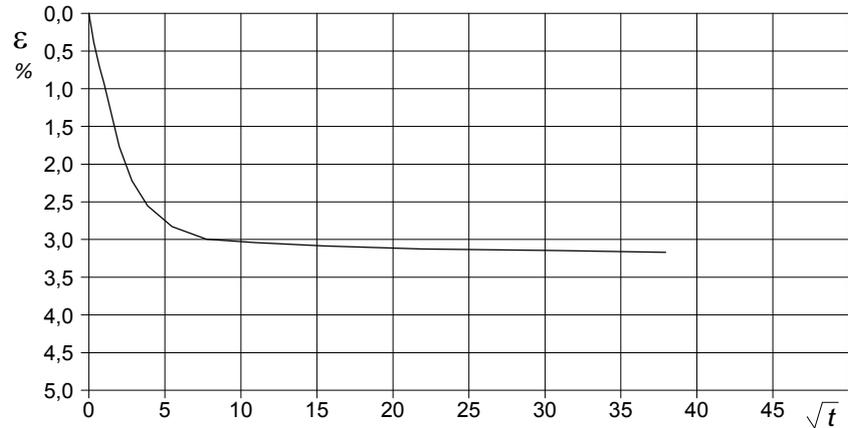
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,965
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	12,1
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,017



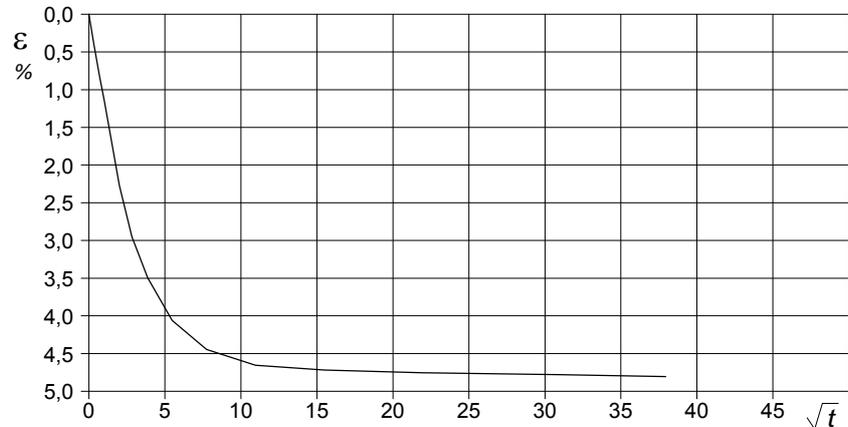
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,937
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	13,7
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,015



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,904
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	18,3
Df (mm)	2
Vs (mm/min)	0,011



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

$tf = 10 \times T_{100}$

$Vs = Df / tf$

538-21

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2020

LO SPERIMENTATORE  
 dott. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
 dott. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** sh1

**PROFONDITA':** m 2,10-2,60

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso di volume	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,75	
Indice dei vuoti	0,926	
Porosità	48,1	%
Grado di saturazione	87,0	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	77,2	%
Limite di plasticità	32,1	%
Indice di plasticità	45,1	%
Indice di consistenza	1,06	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	0,5	%
Limo	16,2	%
Argilla	83,3	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A7-5 I.G. = 20

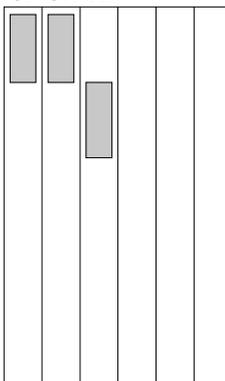
### TAGLIO DIRETTO

Coesione:	14,0	kPa
Angolo di attrito interno:	17,0	°

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove  
CF GR TD



cm  
0  
10  
20  
30  
40  
50

Rp

kPa

VT

kPa

cm

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Argilla limosa, di colore verdastro, molto compatta.  
Struttura omogenea. Debolmente reagente all'HCl.

Qualità del campione: Q5

50

539-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03114	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 01/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 02/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh1	<b>PROFONDITA':</b> m 2,10-2,60	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

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

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

**Metodo:**  A  B

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,6 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 1,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03115 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 05/07/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 06/07/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh1

PROFONDITA': m 2,10-2,60

## LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

Limite di liquidità 77,2 %

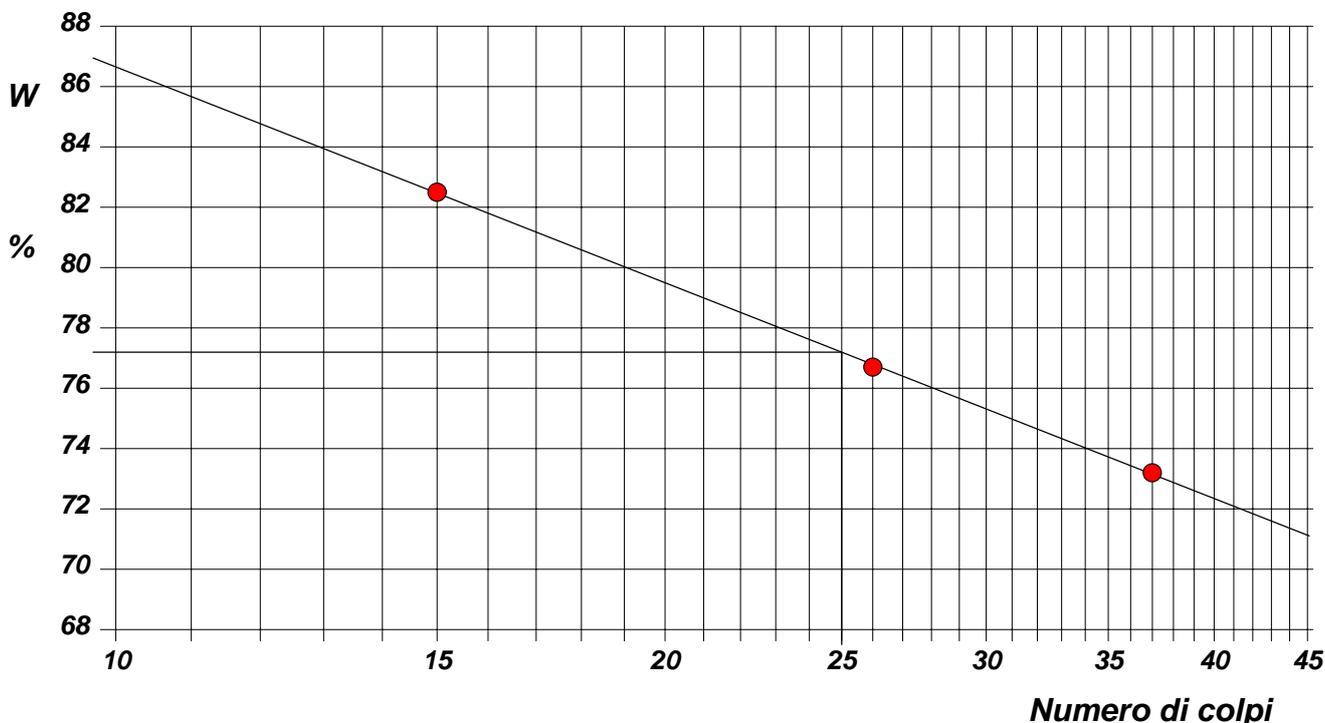
Limite di plasticità 32,1 %

Indice di plasticità 45,1 %

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

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
Numero di colpi	15	26	37		Umidità (%)	32,2	32,0
Umidità (%)	82,5	76,7	73,2		Umidità media	32,1	

### Determinazione del Limite di liquidità



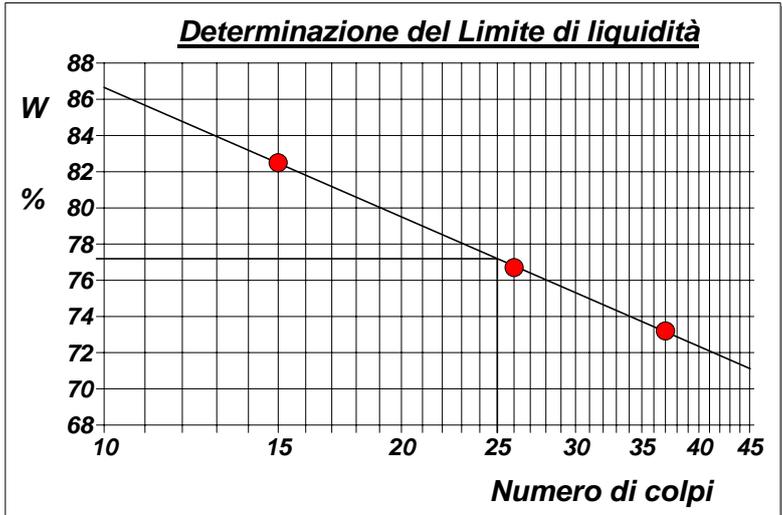
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03115	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 05/07/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 06/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh1	<b>PROFONDITA':</b> m 2,10-2,60	

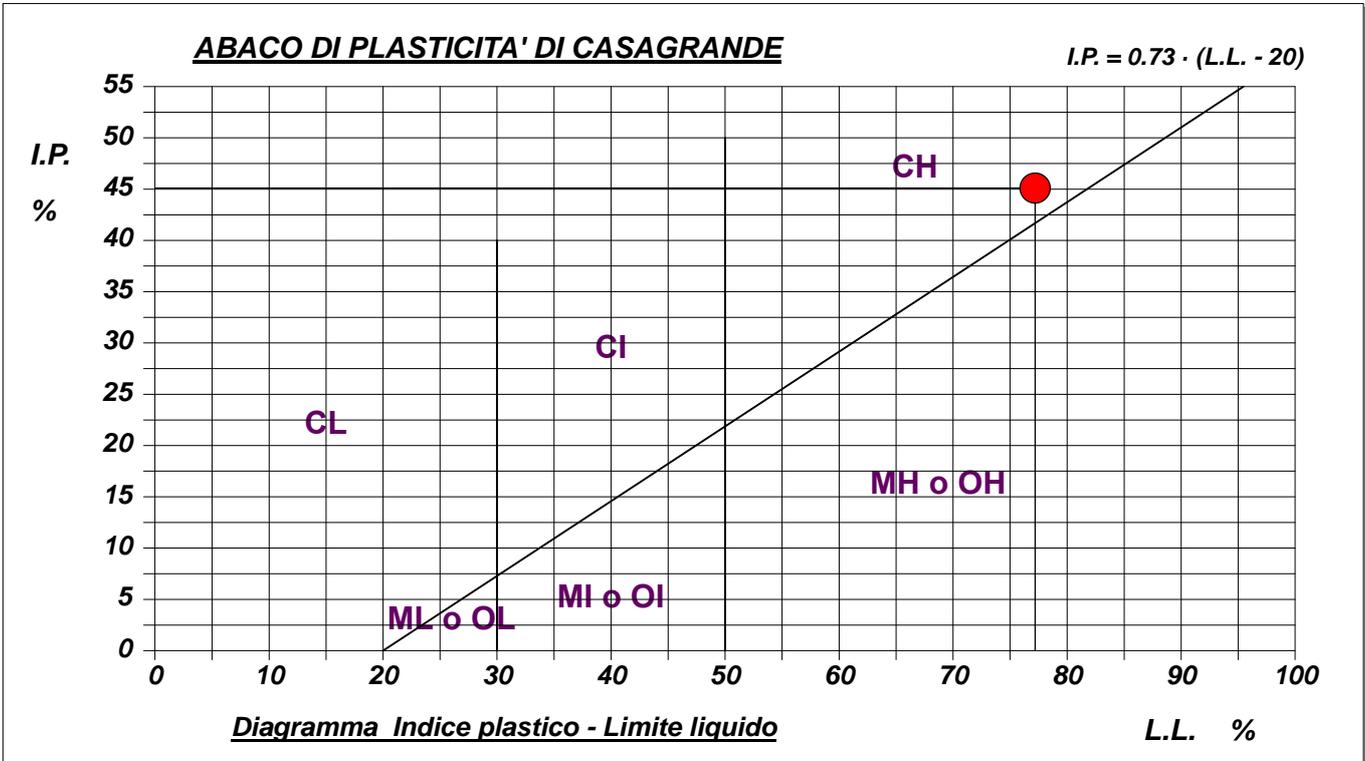
## ABACO DI CASAGRANDE

**Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1**

<b>Limite di liquidità</b>	<b>77,2</b>	<b>%</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>32,1</b>	<b>%</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>45,1</b>	<b>%</b>
<b>Indice di consistenza</b>	<b>1,06</b>	
<b>Passante al set. n° 40</b>	<b>SI</b>	



<b>C - Argille inorganiche</b>	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	<b>H - Alta compressibilità</b>





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03116 Allegato 1

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh1

PROFONDITA': m 2,10-2,60

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

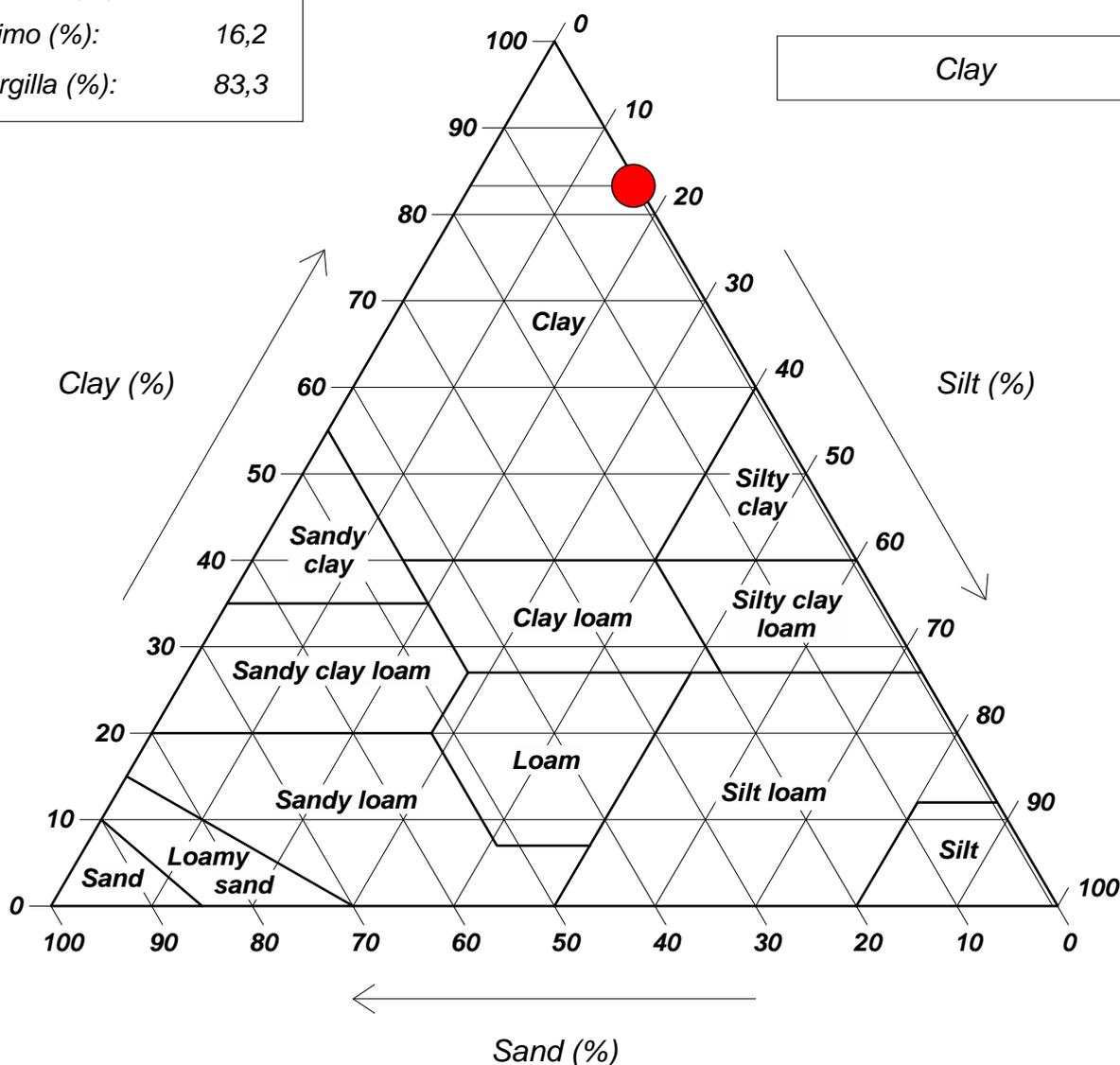
Sabbia (%): 0,5

Limo (%): 16,2

Argilla (%): 83,3

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

Clay



CERTIFICATO DI PROVA N°: 03117 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 23/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 28/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh1

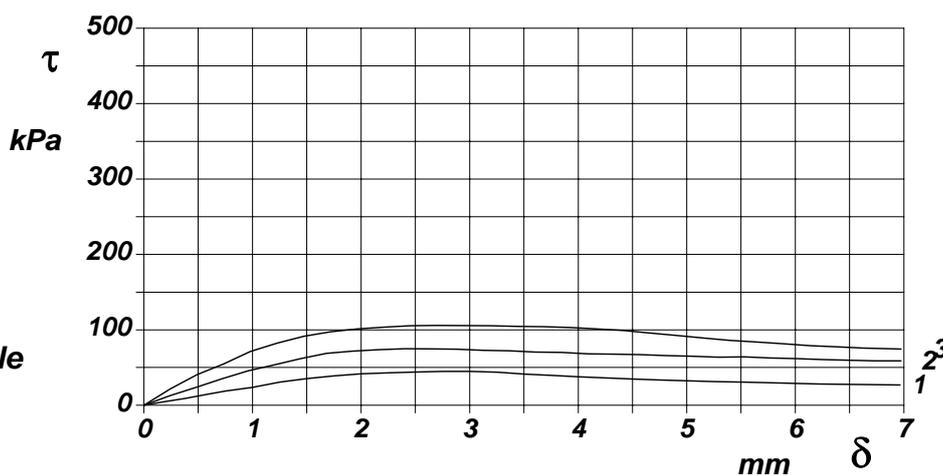
PROFONDITA': m 2,10-2,60

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

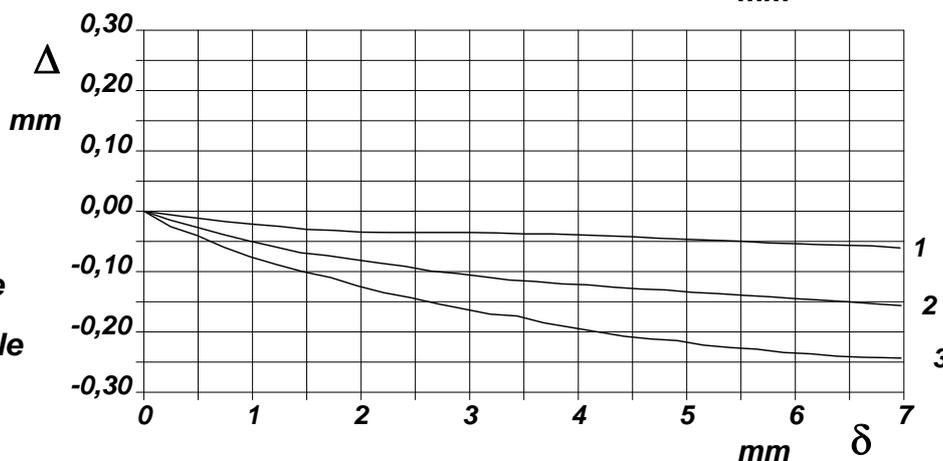
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	29,5    33,1	29,3    32,2	29,1    31,4
Peso di volume (kN/m³):	18,1	18,1	18,1
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,004 mm / min		

**DIAGRAMMA**  
Tensione  
Deformazione orizzontale



**DIAGRAMMA**  
Deformazione verticale  
Deformazione orizzontale





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03117 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 23/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 28/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh1

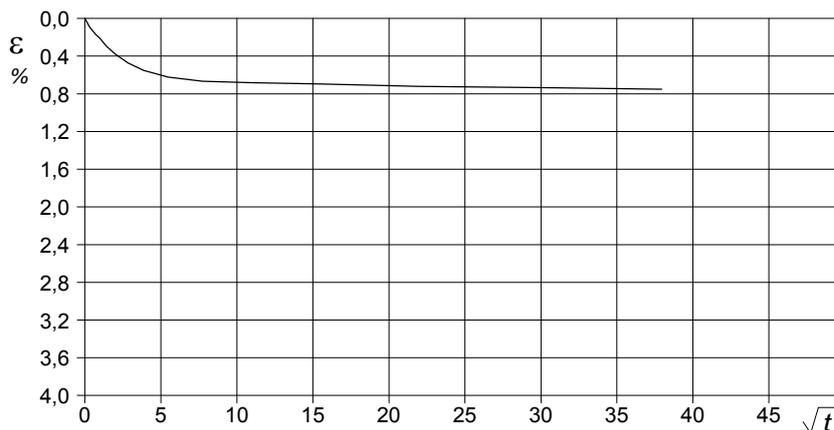
PROFONDITA': m 2,10-2,60

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

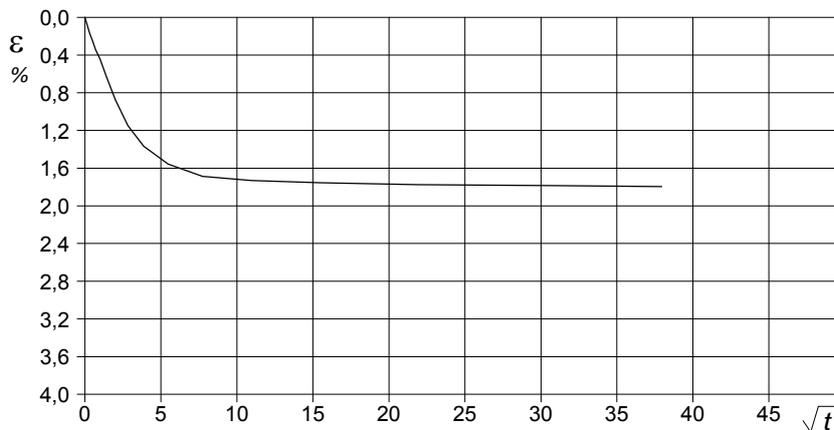
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,010
Altezza finale (cm)	1,995
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	15,5
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,019



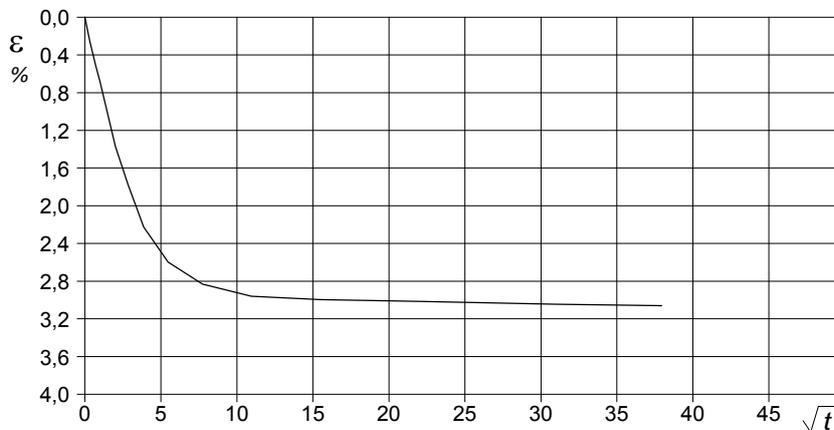
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,010
Altezza finale (cm)	1,974
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	17,8
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,017



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,010
Altezza finale (cm)	1,949
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	20,8
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,014



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

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

539-21



COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh2

PROFONDITA': m 6,00-6,65

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso di volume	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,76	
Indice dei vuoti	0,952	
Porosità	48,8	%
Grado di saturazione	99,0	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	79,5	%
Limite di plasticità	33,5	%
Indice di plasticità	46,0	%
Indice di consistenza	0,99	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	0,4	%
Limo	12,7	%
Argilla	86,9	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A7-5 I.G. = 20

### TAGLIO DIRETTO

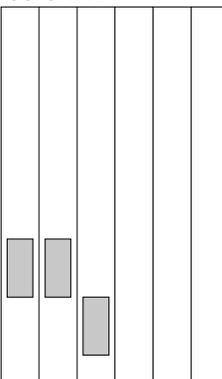
Coesione:	4,3	kPa
Angolo di attrito interno:	14,0	°

### FOTOGRAFIA



### Posizione delle prove

CS GR TD



cm



Rp

kPa

60
210
220

VT

kPa


cm

### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Argilla limosa, di colore verdastro, moderatamente consistente. **[ESAME VISIVO]** Struttura omogenea. Reagente all'HCl.

40

Argilla limosa, di colore grigio, molto compatta. Struttura omogenea. Reagente all'HCl.

65

Qualità del campione: Q5

540-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03118	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 01/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 02/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,00-6,65	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,76**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,76**

**Metodo:**  **A**  **B**

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,6 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 2,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03119	Pagina 1/1
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21	

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 05/07/21
Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 06/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring		
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)		
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,00-6,65

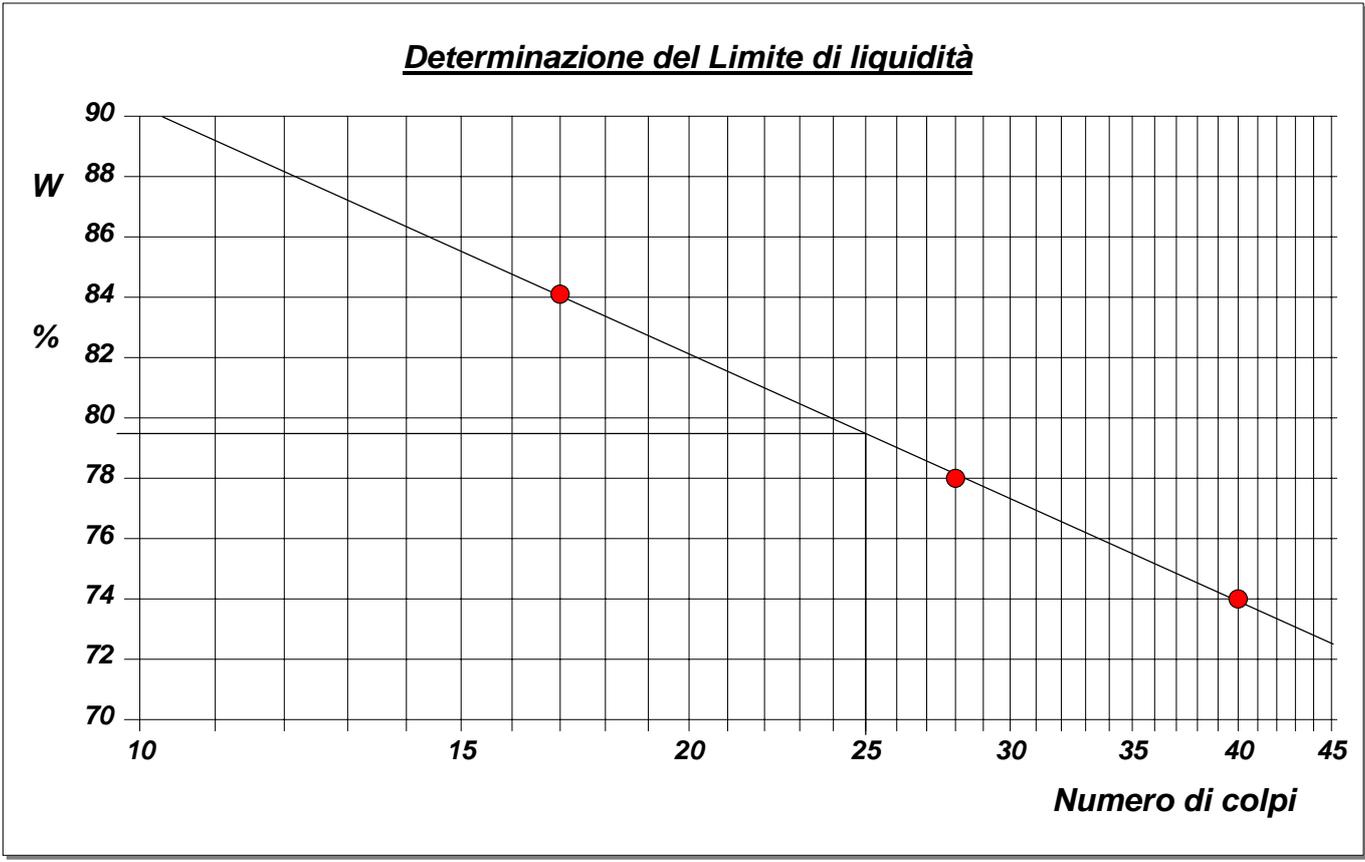
**LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

<b>Limite di liquidità</b>	<b>79,5 %</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>33,5 %</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>46,0 %</b>

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

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
<b>Numero di colpi</b>	17	28	40		<b>Umidità (%)</b>	33,5	33,5
<b>Umidità (%)</b>	84,1	78,0	74,0		<b>Umidità media</b>	33,5	



540-21

LO SPERIMENTATORE  
dott. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*

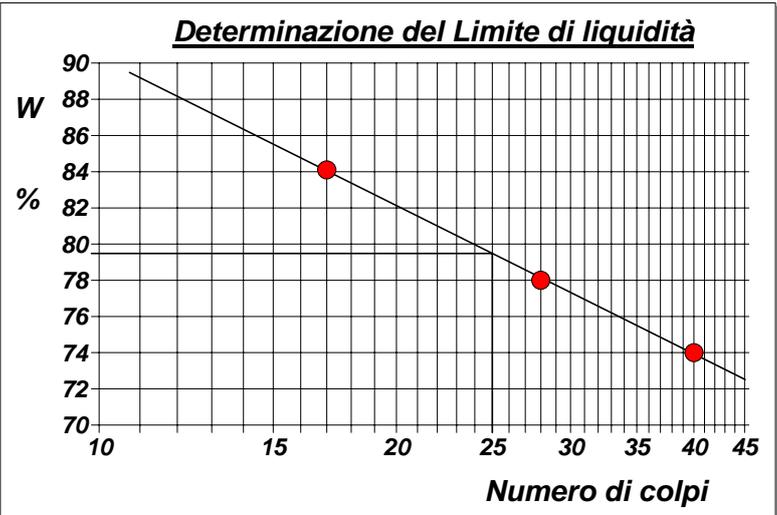
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03119	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 05/07/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 06/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,00-6,65	

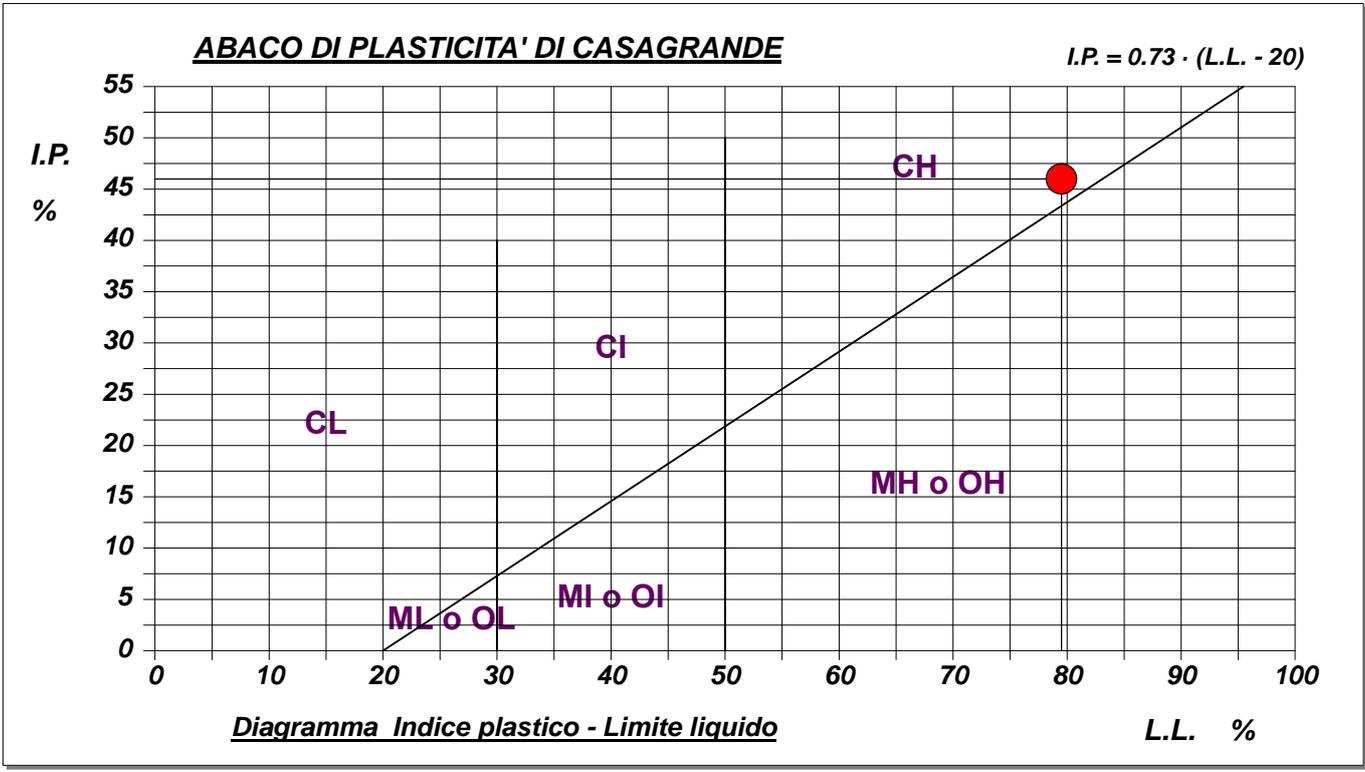
## ABACO DI CASAGRANDE

**Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1**

<b>Limite di liquidità</b>	<b>79,5</b>	<b>%</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>33,5</b>	<b>%</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>46,0</b>	<b>%</b>
<b>Indice di consistenza</b>	<b>0,99</b>	
<b>Passante al set. n° 40</b>	<b>SI</b>	



<b>C - Argille inorganiche</b>	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	<b>H - Alta compressibilità</b>



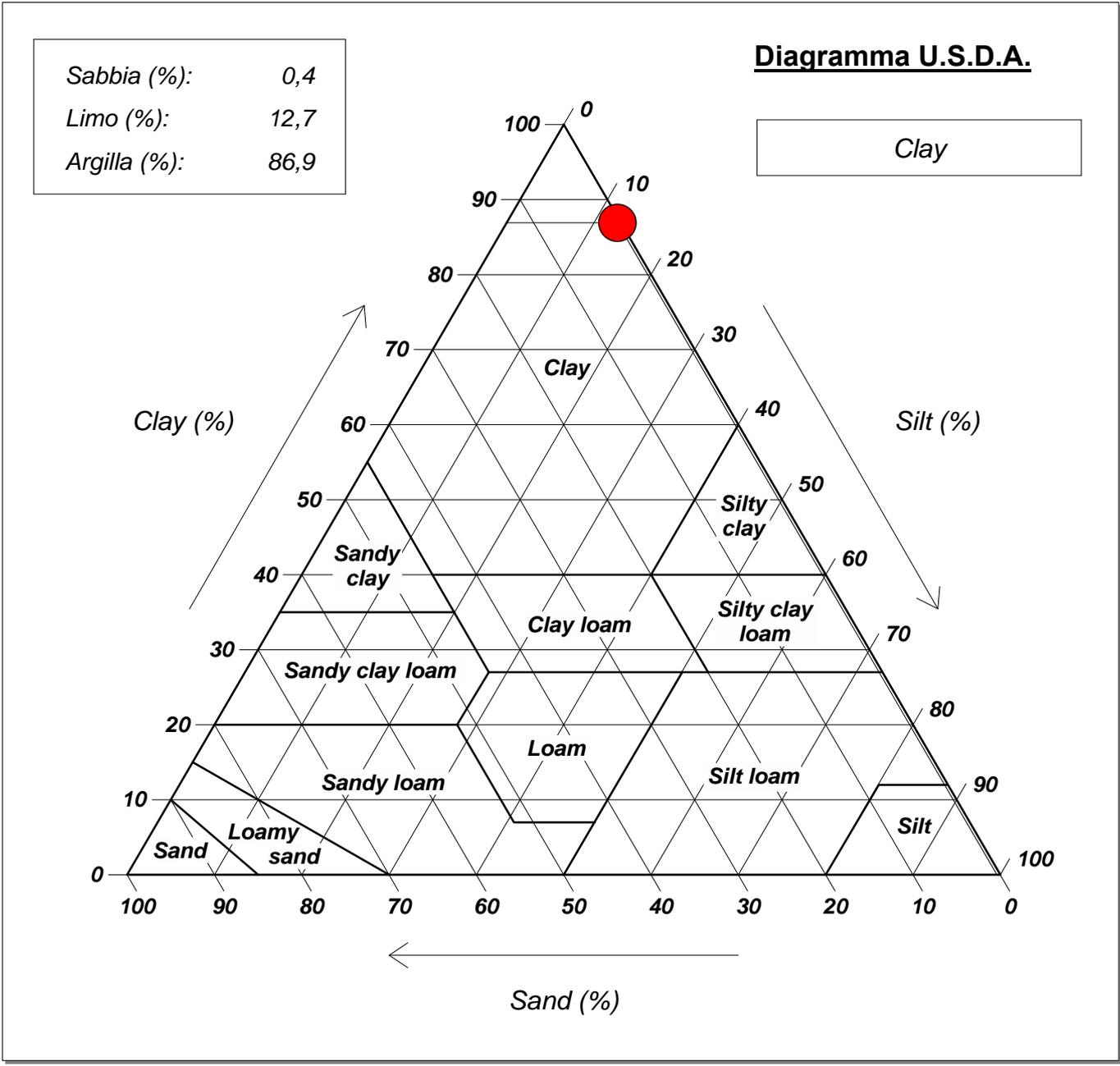


CERTIFICATO DI PROVA N°: 03120	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 11/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 18/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,00-6,65	

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422



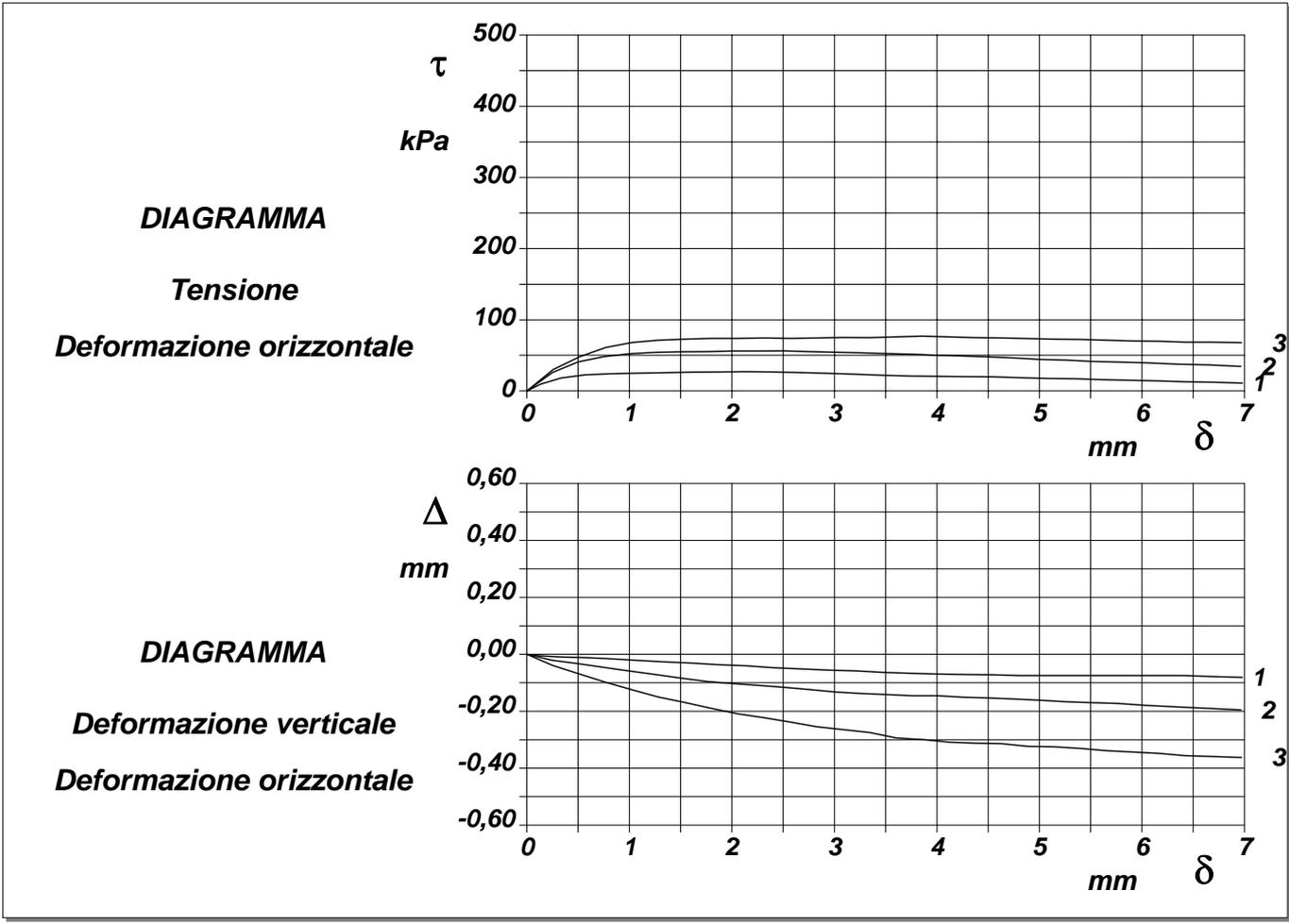
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03121	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 11/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 16/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh2	<b>PROFONDITA':</b> m 6,00-6,65	

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	34,1    33,0	34,0    32,2	34,4    31,1
Peso di volume (kN/m³):	18,6	18,6	18,6
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,004 mm / min	





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03121 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 16/06/21

**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** sh2

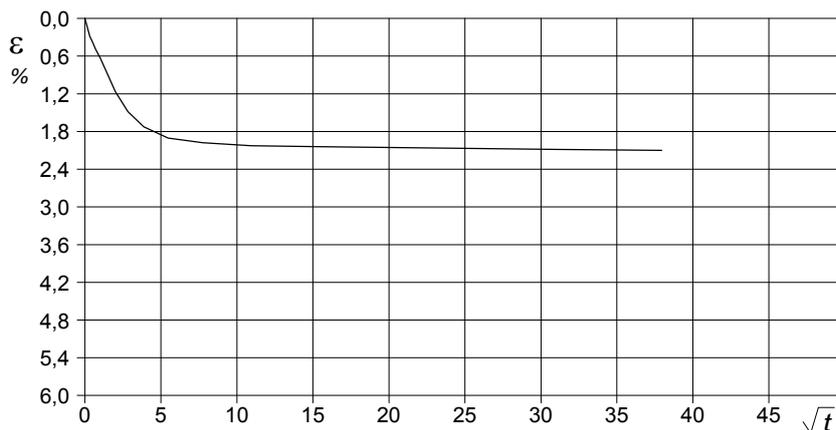
**PROFONDITA':** m 6,00-6,65

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

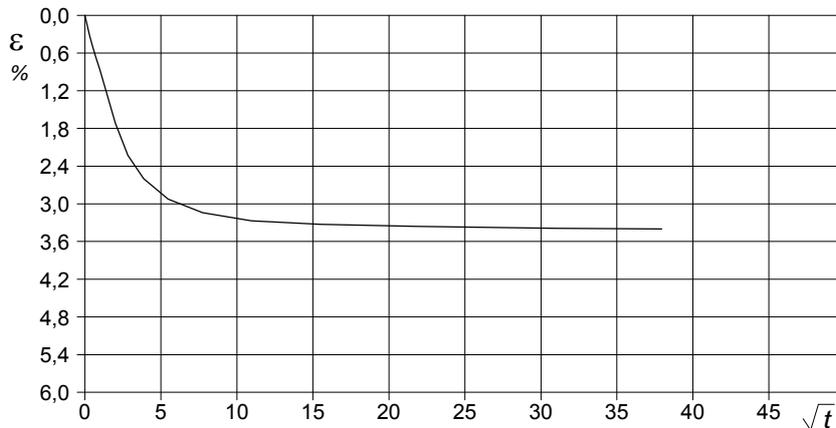
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,958
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	14,3
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,021



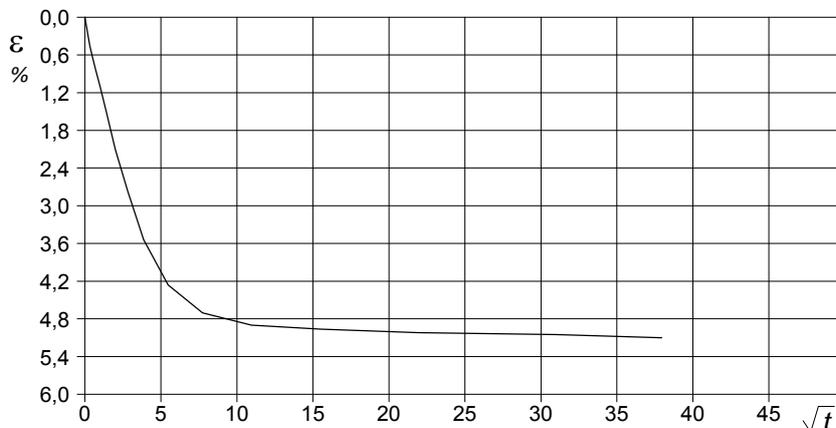
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,932
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	16,5
Df (mm)	3
Vs (mm/min)	0,018



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,898
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	25,5
Df (mm)	4
Vs (mm/min)	0,016



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

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

540-21

SGEO - Laboratorio 6.2 - 2020

LO SPERIMENTATORE  
 dott. Geol. MAIO Susy  
*Susy Maio*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
 dott. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** sh3

**PROFONDITA': m** 10,50-11,10

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso di volume	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume secco	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso di volume saturo	---	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico	2,77	
Indice dei vuoti	0,633	
Porosità	38,8	%
Grado di saturazione	96,8	%

### LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	56,7	%
Limite di plasticità	25,9	%
Indice di plasticità	30,8	%
Indice di consistenza	1,12	
Passante al set. n° 40	SI	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	0,1	%
Limo	26,0	%
Argilla	73,9	%

### CLASSIFICAZIONE

CNR-UNI 10006/00 A7-6 I.G. = 19

### TAGLIO DIRETTO

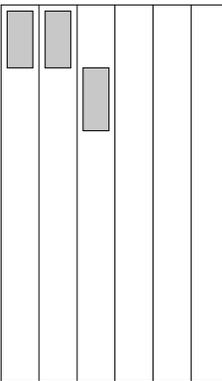
Coesione:	13,1	kPa
Angolo di attrito interno:	22,1	°

### FOTOGRAFIA



### Posizione delle prove

TX GR TD



cm  
0  
10  
20  
30  
40  
50  
60

Rp

kPa

410  
410  
415

VT

kPa

cm  
60

### DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Argilla con limo, di colore grigio, estremamente compatta. Struttura omogenea. Reagente all'HCl.

Qualità del campione: Q5

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03122	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 05/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 06/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA':</b> m 10,50-11,10	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,77**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,77**

**Metodo:**  A  B

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,5 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 0,40 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03123	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 12/07/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 13/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA':</b> m 10,50-11,10	

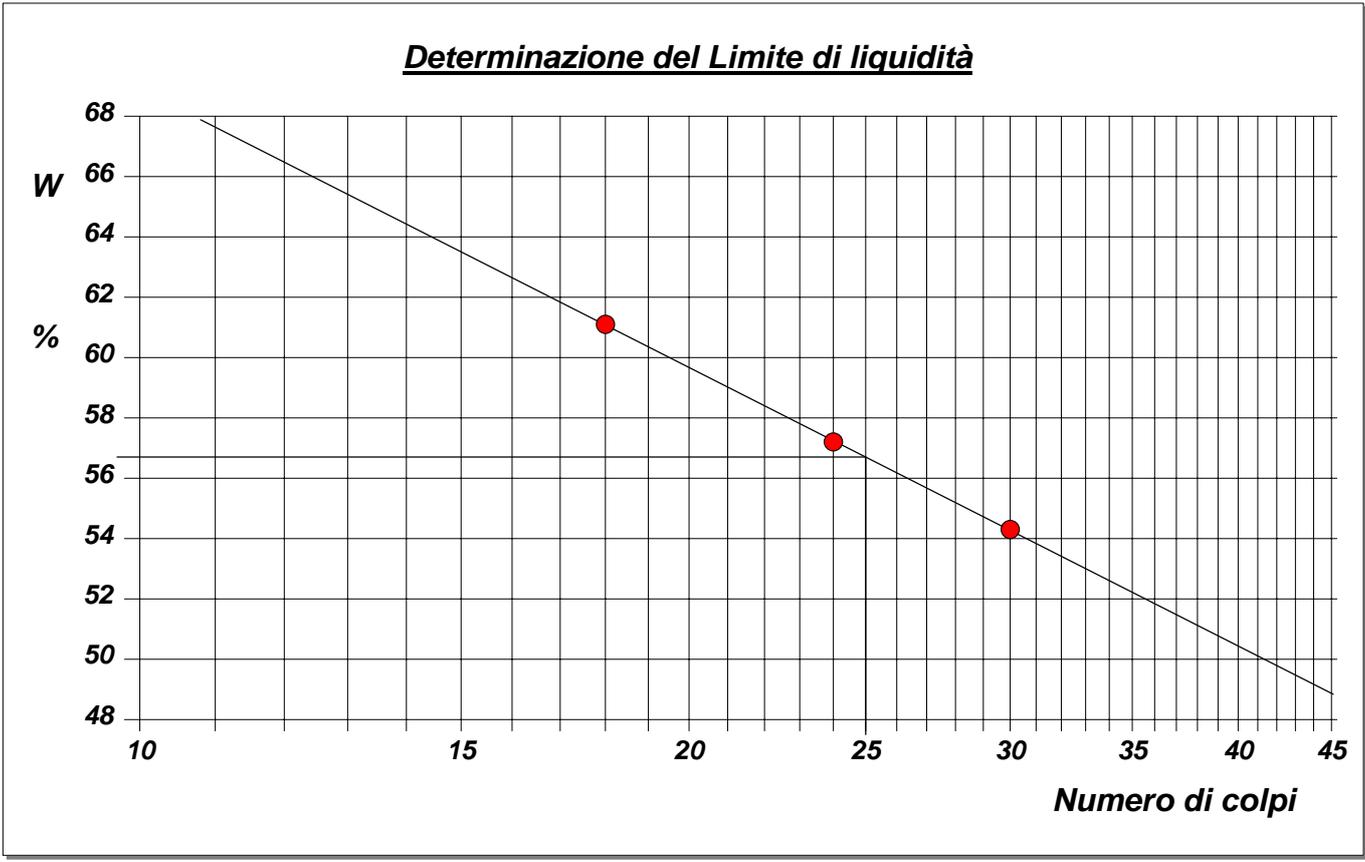
**LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO**

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1

<b>Limite di liquidità</b>	<b>56,7 %</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>25,9 %</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>30,8 %</b>

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

LIMITE DI LIQUIDITA'					LIMITE DI PLASTICITA'		
<b>Numero di colpi</b>	18	24	30		<b>Umidità (%)</b>	25,7	26,0
<b>Umidità (%)</b>	61,1	57,2	54,3		<b>Umidità media</b>	25,9	



541-21

LO SPERIMENTATORE  
dott. Geol. MAURO Susy  
*Susy Mauro*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
dott. Geol. CARBONE Raffaele  
*Raffaele Carbone*

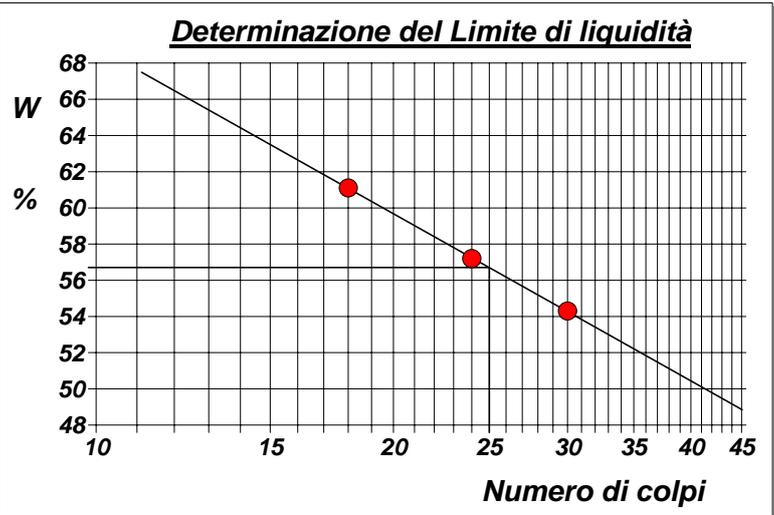
CERTIFICATO DI PROVA N°: 03123	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 12/07/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 13/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> sh3	<b>PROFONDITA': m</b> 10,50-11,10	

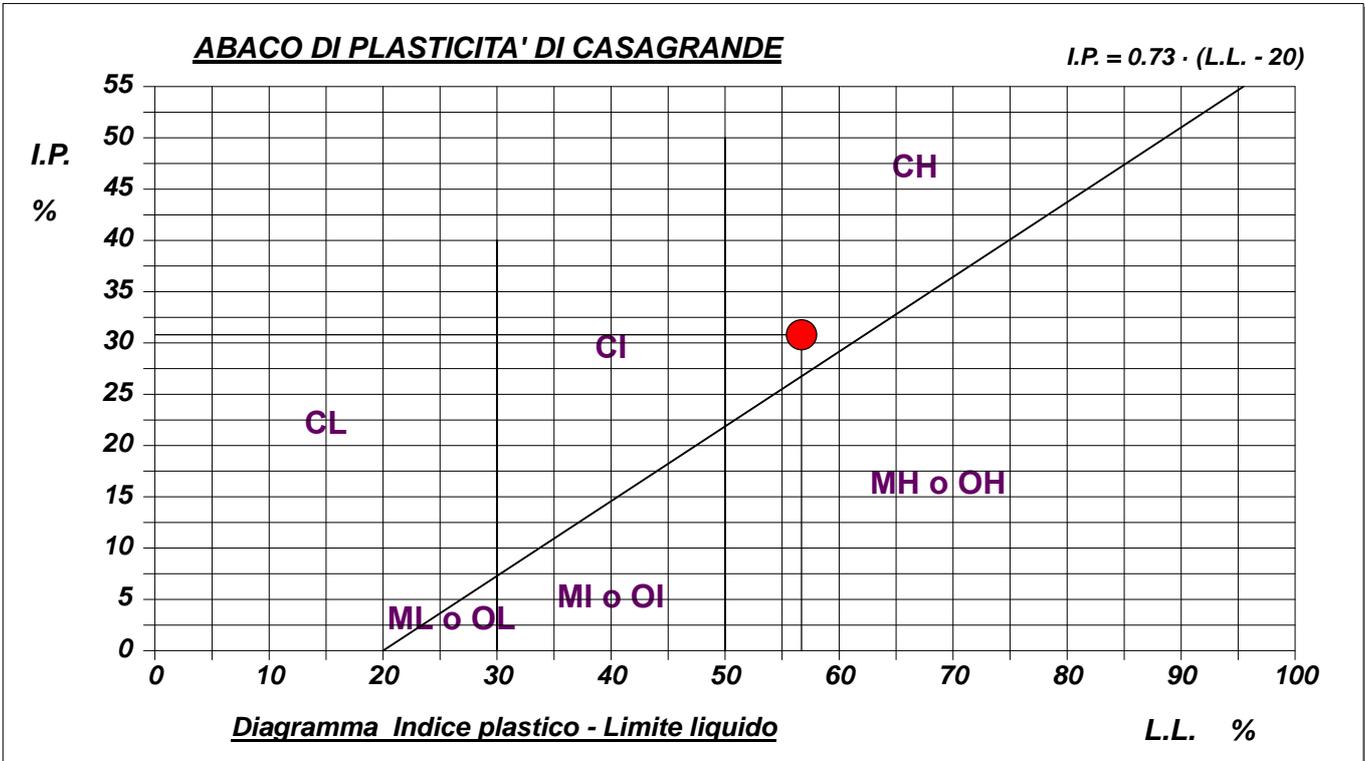
## ABACO DI CASAGRANDE

**Modalità di prova: Norma ASTM D 4318 -17e1**

<b>Limite di liquidità</b>	<b>56,7</b>	<b>%</b>
<b>Limite di plasticità</b>	<b>25,9</b>	<b>%</b>
<b>Indice di plasticità</b>	<b>30,8</b>	<b>%</b>
<b>Indice di consistenza</b>	<b>1,12</b>	
<b>Passante al set. n° 40</b>	<b>SI</b>	



<b>C - Argille inorganiche</b>	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	<b>H - Alta compressibilità</b>





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03124 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh3

PROFONDITA': m 10,50-11,10

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

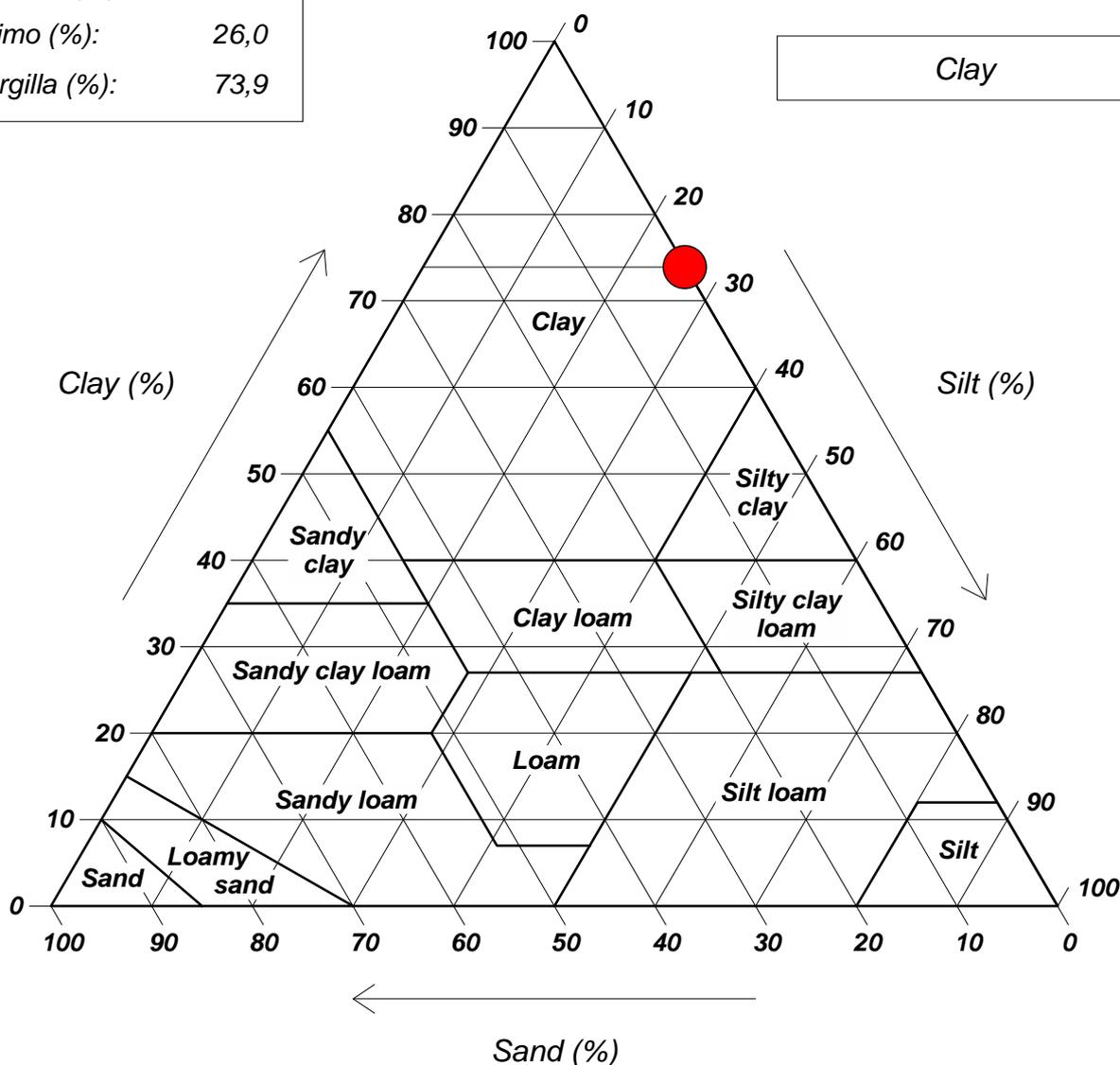
Sabbia (%): 0,1

Limo (%): 26,0

Argilla (%): 73,9

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

Clay



CERTIFICATO DI PROVA N°: 03125 Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 16/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: sh3

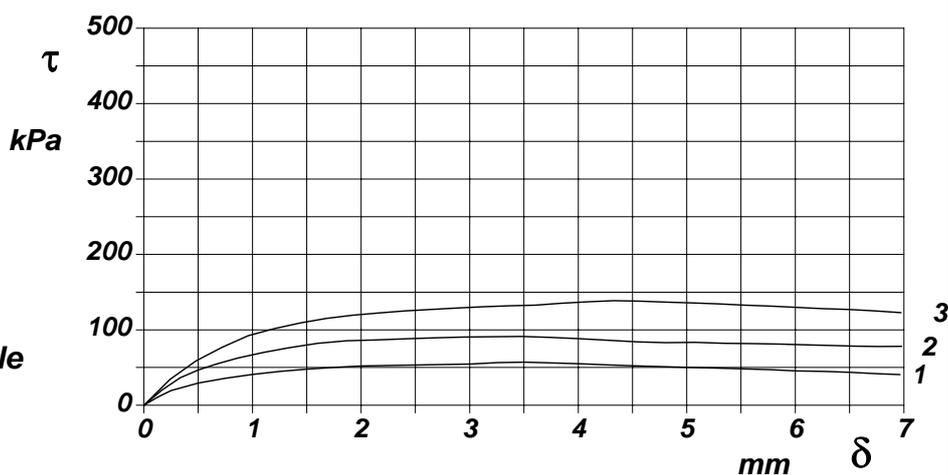
PROFONDITA': m 10,50-11,10

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

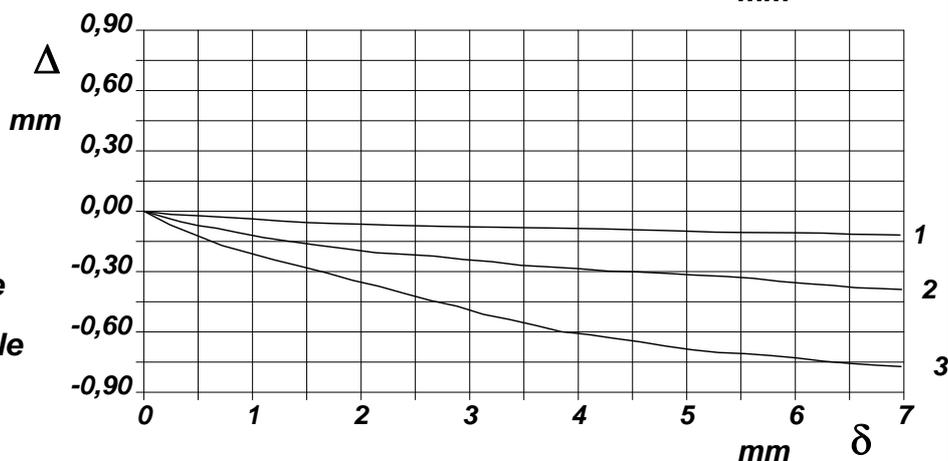
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	22,1    21,4	21,9    20,6	22,3    20,1
Peso di volume (kN/m³):	20,3	20,3	20,3
Tipo di prova: Consolidata - lenta	Velocità di deformazione: 0,004 mm / min		

**DIAGRAMMA**  
Tensione  
Deformazione orizzontale



**DIAGRAMMA**  
Deformazione verticale  
Deformazione orizzontale





CERTIFICATO DI PROVA N°: 03125 Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21 Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21 Fine analisi: 16/06/21

**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

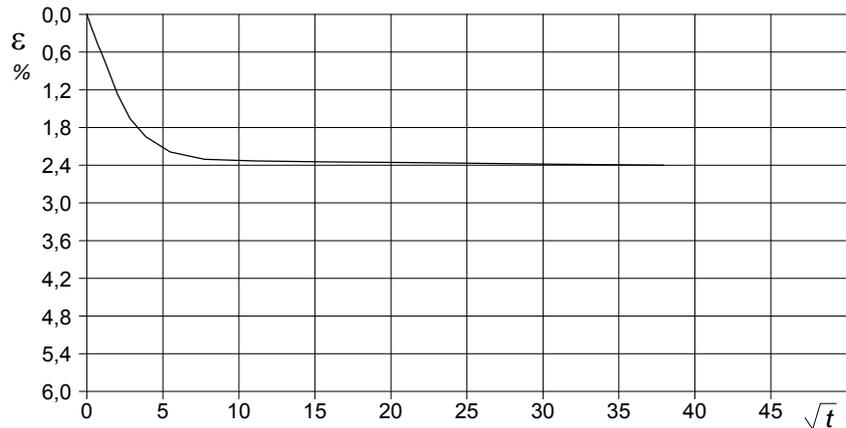
**SONDAGGIO:** S2 **CAMPIONE:** sh3 **PROFONDITA': m** 10,50-11,10

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080 -11

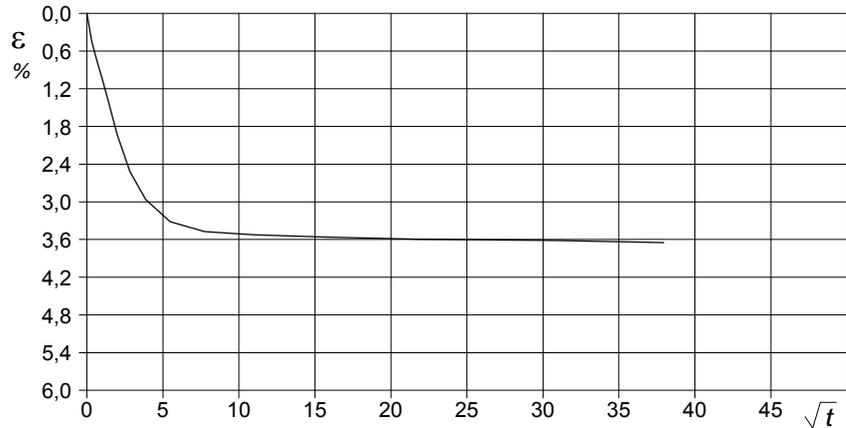
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,952
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	14,7
Df (mm)	4
Vs (mm/min)	0,027



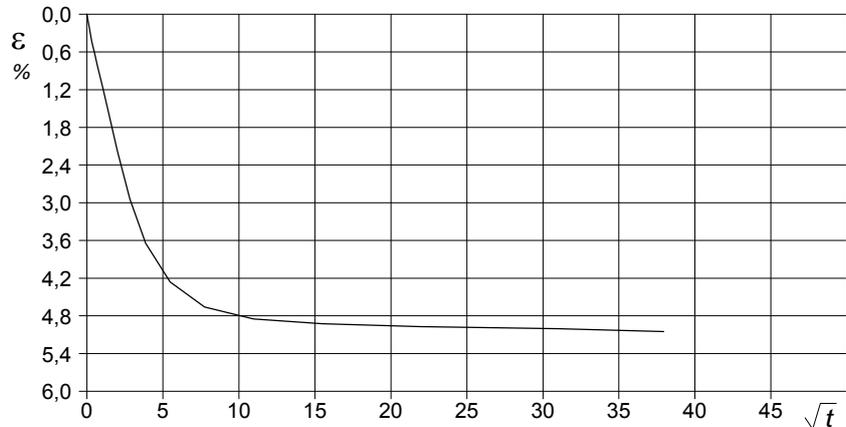
### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,927
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	15,5
Df (mm)	4
Vs (mm/min)	0,026



### Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,899
Sezione (cm <sup>2</sup> ):	36,00
T <sub>100</sub> (min)	22,9
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,022



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

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

541-21



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S1

**CAMPIONE:** D1 S1

**PROFONDITA':** m 13,50-13,80

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso specifico	2,71	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	65,6	%
Limo	22,8	%
Argilla	11,6	%

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0				Sabbia (f) limosa e argillosa, di colore grigio. Reagente all'HCl.  Qualità del campione: Q2
	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
	30				
				30	

542-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03126	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 12/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 13/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> D1 S1	<b>PROFONDITA':</b> m 13,50-13,80	

## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

$$\gamma_s = \text{Peso specifico dei granuli (media delle due misure)} = 2,71$$
$$\gamma_{sc} = \text{Peso specifico dei granuli corretto a } 20^\circ = 2,71$$

**Metodo:**     A     B

**Capacità del picnometro:**    100 ml

**Temperatura di prova:**    22,4 °C

**Dimensione massima delle particelle:**    2,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03127 Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

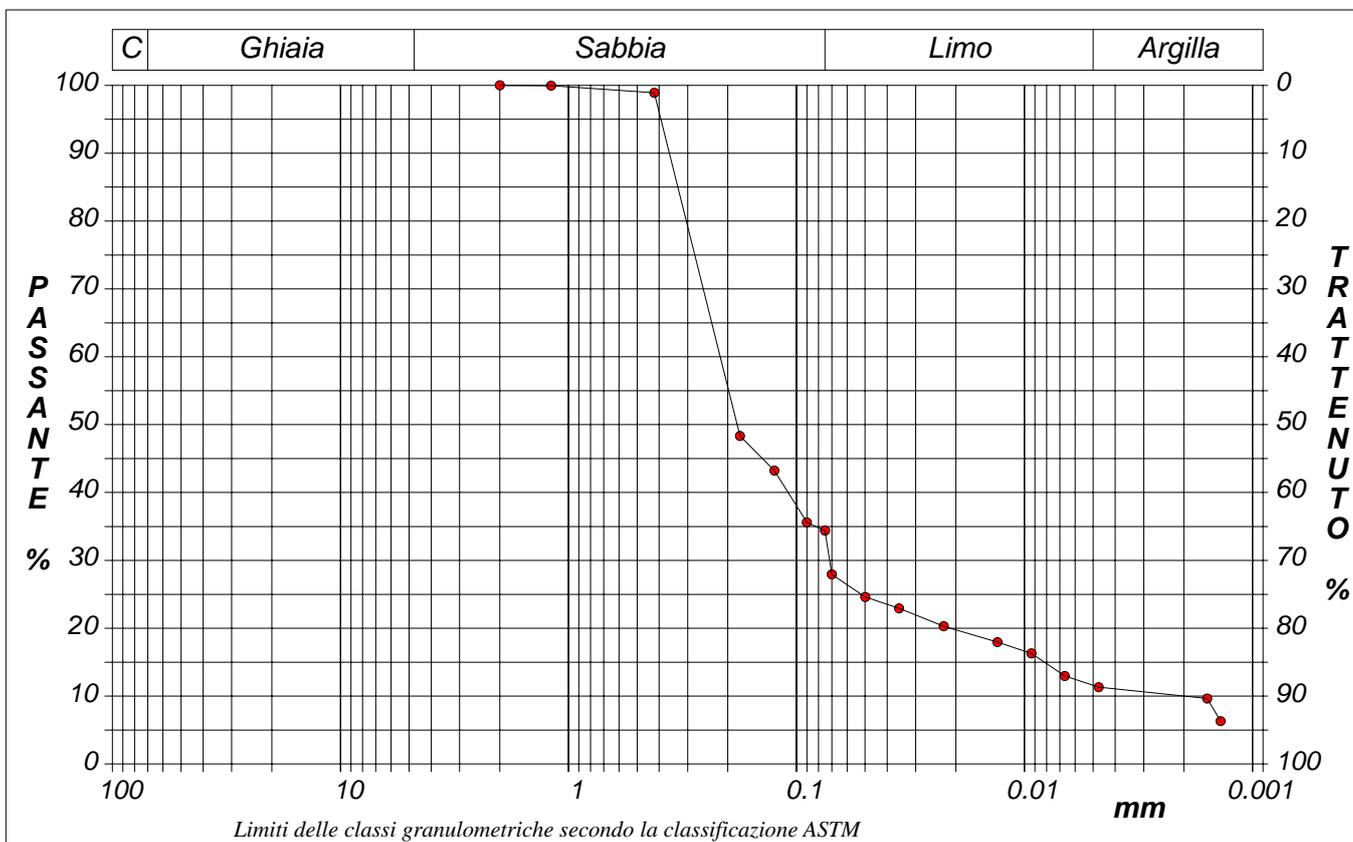
CAMPIONE: D1 S1

PROFONDITA': m 13,50-13,80

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D10	0,00200 mm
Sabbia	65,6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	98,9 %	D30	0,07155 mm
Limo	22,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	34,4 %	D50	0,18212 mm
Argilla	11,6 %			D60	0,21605 mm
Coefficiente di uniformità		108,12	Coefficiente di curvatura		11,86
				D90	0,36070 mm



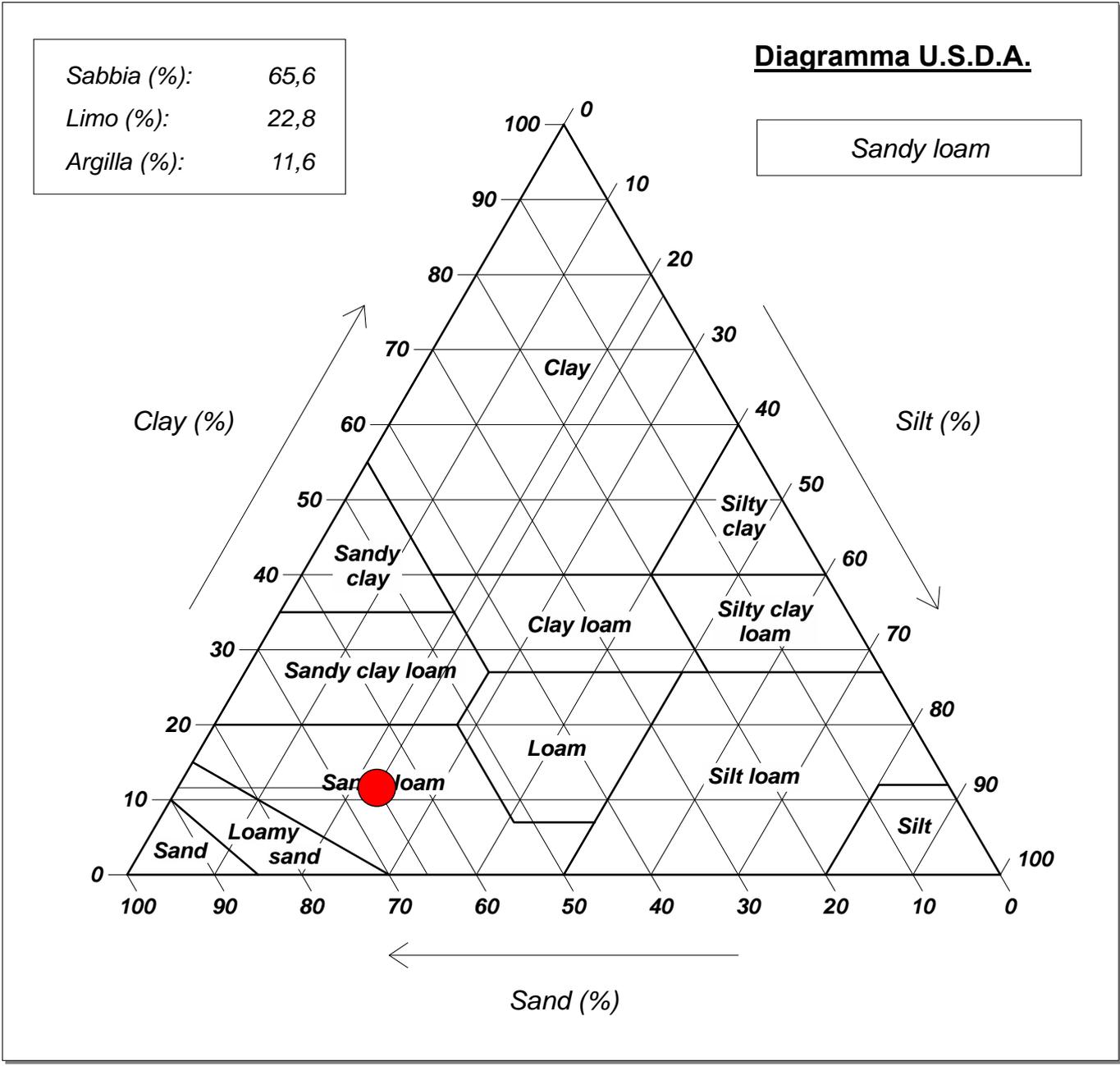
Diametro mm	Passante %								
2,0000	100,00	0,0900	35,59	0,0226	20,29	0,0016	9,64		
1,1900	99,94	0,0750	34,38	0,0131	17,96	0,0014	6,32		
0,4200	98,91	0,0700	27,94	0,0093	16,30				
0,1770	48,33	0,0499	24,61	0,0067	12,97				
0,1250	43,23	0,0355	22,95	0,0047	11,31				

CERTIFICATO DI PROVA N°: 03127	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE: 19/07/21	Inizio analisi: 11/06/21
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21		Apertura campione: 11/06/21	Fine analisi: 18/06/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> D1 S1	<b>PROFONDITA':</b> m 13,50-13,80	

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S1

**CAMPIONE:** D2 S1

**PROFONDITA':** m 17,00-17,50

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso specifico	2,69	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	84,2	%
Limo	8,6	%
Argilla	7,2	%

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0				Sabbia (m/f) debolmente limosa e argillosa, di colore grigio. Reagente all'HCl.  Qualità del campione: Q2
	10				
	20				
	30				
	40				
	50			50	

543-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03128	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 12/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 13/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S1	<b>CAMPIONE:</b> D2 S1	<b>PROFONDITA':</b> m 17,00-17,50	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,69**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,69**

**Metodo:**  A  B

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,4 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 2,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**



CERTIFICATO DI PROVA N°: 03129 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: D2 S1

PROFONDITA': m 17,00-17,50

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

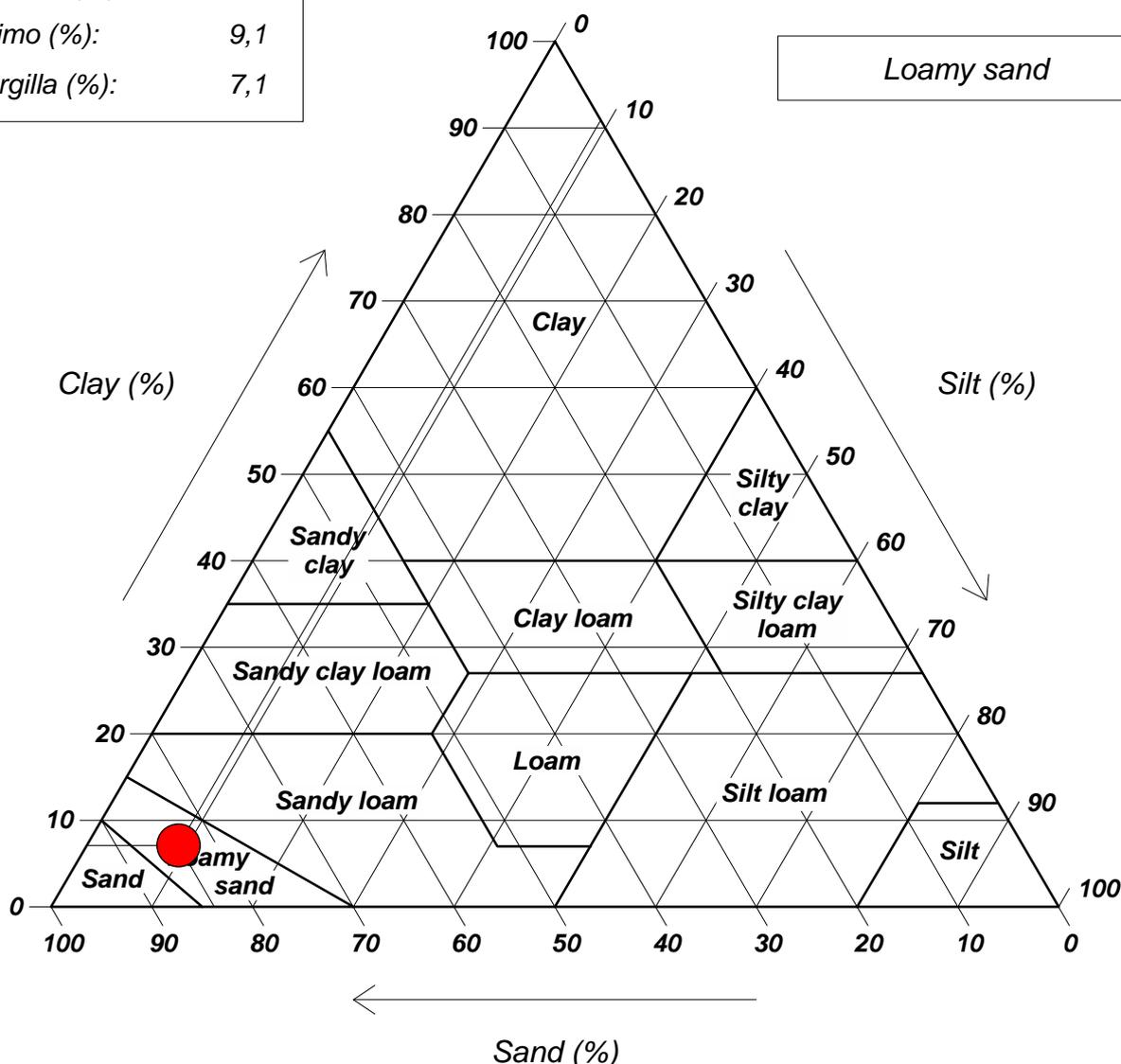
Sabbia (%): 83,8

Limo (%): 9,1

Argilla (%): 7,1

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

Loamy sand



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** D1 S2

**PROFONDITA':** m 15,00-15,50

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso specifico	2,69	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	88,3	%
Limo	7,2	%
Argilla	4,5	%

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0				Sabbia (m/f) debolmente limosa, di colore grigio. Reagente all'HCl.
	10				
	20				Qualità del campione: Q2
	30				
	40				
	50			50	

544-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03130	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 13/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 14/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> D1 S2	<b>PROFONDITA':</b> m 15,00-15,50	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

$\gamma_s$  = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,69**

$\gamma_{sc}$  = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,69**

**Metodo:**  A  B

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,5 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 4,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**



CERTIFICATO DI PROVA N°: 03131 Allegato 1

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: D1 S2

PROFONDITA': m 15,00-15,50

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

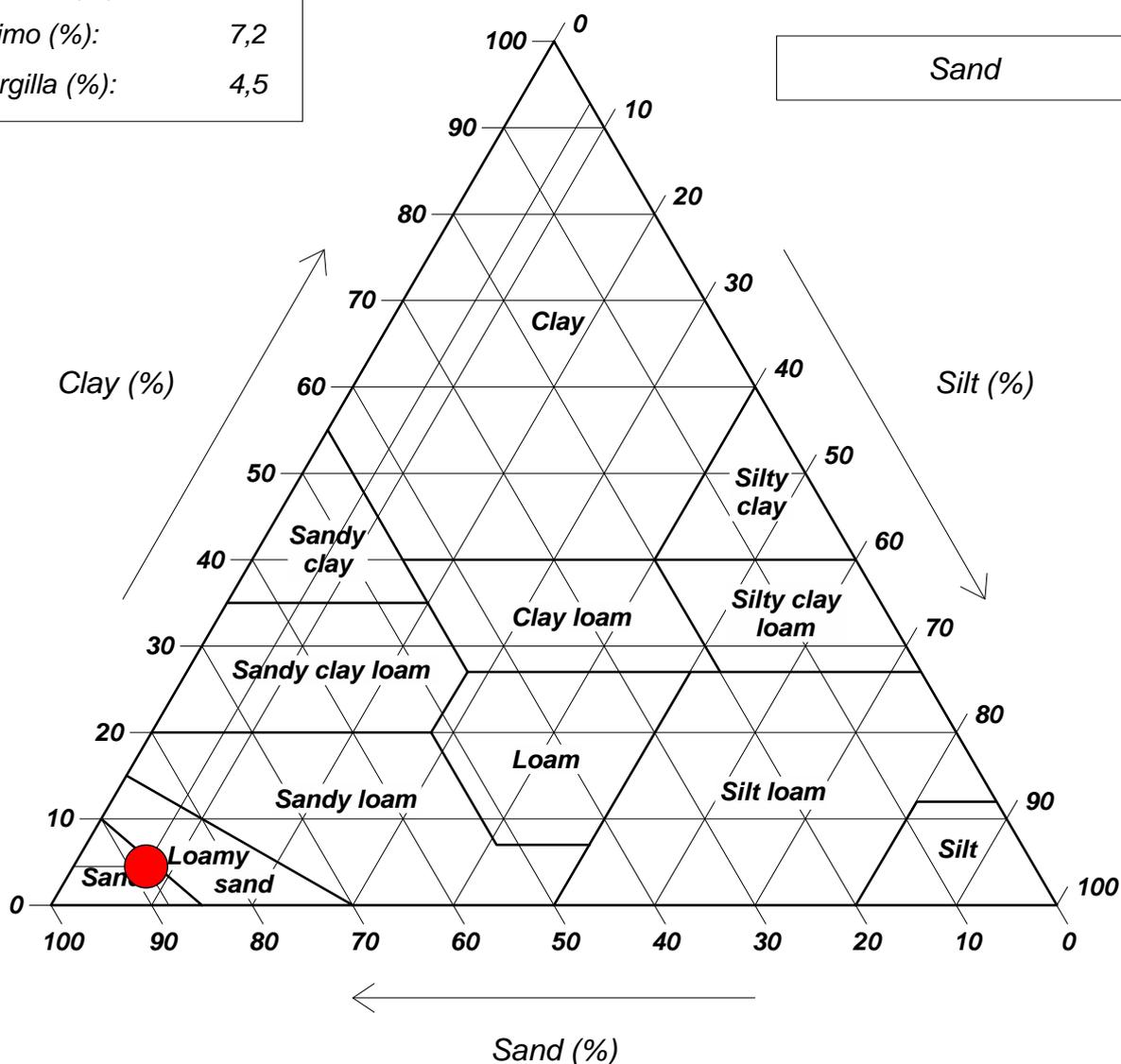
Sabbia (%): 88,3

Limo (%): 7,2

Argilla (%): 4,5

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

Sand



**COMMITTENTE:** Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

**RIFERIMENTO:** Malcantone di Mezzani (PR)

**SONDAGGIO:** S2

**CAMPIONE:** D2 S2

**PROFONDITA':** m 19,00-19,70

## MODULO RIASSUNTIVO

### CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	---	%
Peso specifico	2,72	

### ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	81,9	%
Limo	11,7	%
Argilla	6,4	%

### FOTOGRAFIA



Posizione delle prove	cm	Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	0				Sabbia (m/f) limosa debolmente argillosa, di colore grigio. Reagente all'HCl.  Qualità del campione: Q2
	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
	60				
	70				
				70	

545-21

<b>CERTIFICATO DI PROVA N°:</b> 03132	<i>Pagina 1/1</i>	<b>DATA DI EMISSIONE:</b> 19/07/21	<b>Inizio analisi:</b> 13/07/21
<b>VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:</b> 195 del 09/06/21		<b>Apertura campione:</b> 11/06/21	<b>Fine analisi:</b> 14/07/21

<b>COMMITTENTE:</b> Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring			
<b>RIFERIMENTO:</b> Malcantone di Mezzani (PR)			
<b>SONDAGGIO:</b> S2	<b>CAMPIONE:</b> D2 S2	<b>PROFONDITA':</b> m 19,00-19,70	

## **PESO SPECIFICO DEI GRANULI**

**Modalità di prova: Norma ASTM D 854 -14**

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

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

**Metodo:**  A  B

**Capacità del picnometro:** 100 ml

**Temperatura di prova:** 22,6 °C

**Dimensione massima delle particelle:** 4,00 mm

**Disaerazione eseguita per bollitura e sotto vuoto**



CERTIFICATO DI PROVA N°: 03133 Allegato 1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 195 del 09/06/21

DATA DI EMISSIONE: 19/07/21

Inizio analisi: 11/06/21

Apertura campione: 11/06/21

Fine analisi: 18/06/21

COMMITTENTE: Studio ALFA S.p.A. - Richiedente ME.MO. Measures & Monitoring

RIFERIMENTO: Malcantone di Mezzani (PR)

SONDAGGIO: S2

CAMPIONE: D2 S2

PROFONDITA': m 19,00-19,70

## ANALISI GRANULOMETRICA - GRAFICO TRIANGOLARE

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

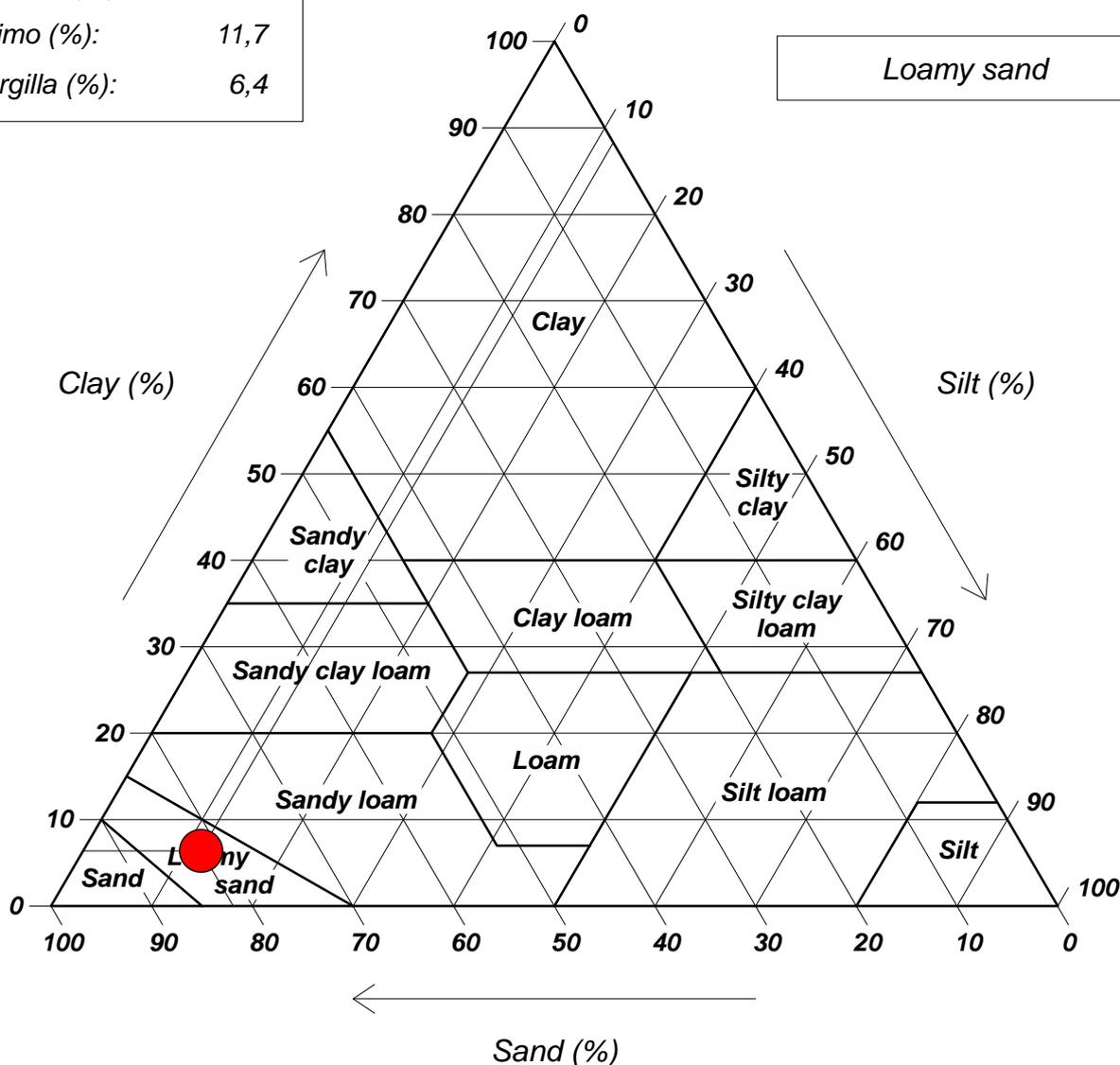
Sabbia (%): 81,9

Limo (%): 11,7

Argilla (%): 6,4

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

Loamy sand



ALLEGATO 4 – RAPPORTO DI PROVE SISMICHE MASW

# Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

## Rapporto di prove sismiche MASW

Data: maggio 2021

## **Indice**

Introduzione	3
Tecniche di misurazione e interpretazione delle prove MASW	4
Modalità esecutive delle prove MASW	6
Risultati delle prove MASW	9

Allegati

## **Introduzione**

Il presente rapporto di prova è relativo a due indagini sismiche Masw eseguite in Comune di Mezzani (PR), Strada Malcantone in data 26 maggio 2021.

L'indagine ha seguito il presente schema:

- Esecuzione di 2 prove sismiche con metodo MASW;
- Elaborazione dei dati misurati.

## Tecniche di misurazione e interpretazione della prove MASW

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park et al., 1999) è un metodo d'indagine geofisica che sfrutta le modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare delle onde di Rayleigh, generate da sorgenti artificiali. Ha come obiettivi sia quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito valutando la distribuzione delle velocità delle onde di taglio, sia quello di stimare il valore del parametro  $V_{s30}$  come richiesto dalle Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17.01.2018. Le onde di Rayleigh si muovono lungo l'interfaccia terra-aria e sono generate dalla rifrazione e riflessione multipla di onde di compressione (P) e onde di taglio che si propagano in direzione verticale ( $S_v$ ).

Le tecniche d'indagine geofisica basate sulla registrazione ed elaborazione degli spostamenti indotti nel terreno dal passaggio delle onde di superficie (Rayleigh e Love) ne sfruttano in generale alcune caratteristiche particolari che le differenziano dalle onde di volume (P e S).

1. Le onde di superficie tendono a subire un'attenuazione del loro contenuto energetico minore rispetto alle onde di volume e quindi si propagano a distanze maggiori. Questo si spiega con il fatto che, mentre il fronte di propagazione delle onde di superficie, generate da una sorgente puntiforme, è sub-cilindrico, quello delle onde di volume è sub-emisferico. Si può dimostrare quindi che nel caso delle onde di Rayleigh la perdita di energia con la distanza (R) dalla sorgente è inversamente proporzionale a  $R^{0,5}$ , mentre nel caso delle onde di volume è inversamente proporzionale a  $R^2$ . Questa più rapida dissipazione dell'energia associata alle onde di volume spiega il motivo per cui, in mezzi eterogenei e normalmente dispersivi (velocità delle onde S crescente con la profondità), dopo una distanza prossima  $\lambda_R/2$  (dove  $\lambda_R$  è la lunghezza d'onda di Rayleigh presa in considerazione) il contributo delle onde di volume diventa trascurabile.
2. In un mezzo elastico omogeneo la profondità massima in cui il terreno risente del passaggio delle onde di Rayleigh è circa uguale a  $\lambda_R$ . In un mezzo eterogeneo questa profondità è compresa normalmente fra  $0,5\lambda_R$  e  $1,0\lambda_R$ . Questo significa che le lunghezze d'onda maggiori (frequenze minori) trasportano informazioni relative agli strati di terreno più profondi, mentre quelle minori (frequenze maggiori) coinvolgono solo i livelli più superficiali.
3. La velocità con cui si propaga un'onda di superficie di una data frequenza  $f$  (o lunghezza d'onda  $\lambda$ ) è detta velocità di fase. In un mezzo omogeneo la velocità di fase delle onde di superficie ( $V_A$ ) non cambia al variare della frequenza d'onda. Al contrario in un mezzo stratificato, in presenza cioè di terreni sovrapposti con differenti caratteristiche meccaniche, la velocità di fase ( $V_B$ ) dipende dal valore di  $f$  (o di  $\lambda$ ).

La tecnica d'indagine MASW sfrutta queste tre caratteristiche delle onde di superficie, e in particolare di quelle di Rayleigh, per ottenere un profilo dell'andamento della velocità di fase in funzione della frequenza, da correlare con la velocità delle onde di taglio S.

La caratteristica (1) consente in pratica l'effettuazione di registrazioni delle onde generate dalla sorgente senza dover subire un disturbo significativo da parte delle onde di volume. La caratteristica (2) permette di associare a ogni frequenza del segnale, o lunghezza d'onda, una profondità d'indagine differente: le frequenze più basse sono collegate alle profondità maggiori e viceversa. La caratteristica (3) consente infine di vincolare ogni frequenza a una velocità di fase precisa.

L'obiettivo dell'elaborazione di un segnale acquisito con la tecnica MASW è essenzialmente quello di ricavare la curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh. Il termine 'curva di dispersione' sta a indicare che le velocità di fase tendono a disperdersi, in un mezzo eterogeneo, in funzione della frequenza.

Nei terreni omogenei la curva di dispersione non si crea, in quanto in questi casi la velocità di fase non cambia al variare della frequenza. Questo è il motivo per cui la tecnica MASW non è indicata per l'investigazione di depositi sciolti o roccia omogenei fino a grandi profondità.

Una complicazione importante nasce dal fatto che, sempre in un mezzo eterogeneo, il terreno può vibrare in modi differenti e a ognuno di questi modi è associabile una curva di dispersione differente.

Anche se solitamente al modo fondamentale (1° modo) è associata l'energia maggiore, in alcuni casi, almeno per determinati intervalli di frequenze, si può avere la predominanza dei modi superiori. Ciò avviene per esempio nel caso di importanti inversioni di velocità (terreno inversamente dispersivo) o per la scarsa risoluzione in fase di campionamento del segnale. In questi casi congiungendo, per ogni valore di frequenza, i valori corrispondenti alla massima ampiezza spettrale si ottiene una curva di dispersione apparente, data dalla sovrapposizione di modi di vibrazione differenti.

Poiché le comuni procedure di inversione richiedono il vincolo a un preciso modo di vibrazione, normalmente quello fondamentale, che è di solito il più facilmente identificabile, è importante non commettere errori in fase di selezione della curva di dispersione, mescolando insieme tratti appartenenti in realtà a modi differenti. Questo può condurre a una sovrastima delle  $V_S$ .

Il grafico frequenza-velocità di fase si ottiene, partendo dal sismogramma di campagna, attraverso l'applicazione di una doppia trasformata di Fourier alle tracce acquisite, prima nel dominio del tempo (tempo di campionamento-frequenza  $f$ ) e quindi in quello dello spazio (spaziatura dei geofoni-numero d'onda  $k$ ). Si ottiene così un diagramma, detto spettro f-k, in cui è evidenziato il modo in cui si distribuisce la densità di energia associata al segnale. Poiché già a una piccola distanza dalla sorgente superficiale il contributo delle onde di volume all'energia totale diventa trascurabile, lo spettro f-k consente di far emergere la curva di dispersione delle onde di superficie. Il passaggio dallo spettro f-k al grafico frequenza-velocità di fase si ottiene trasformando i valori di  $k$  in valori di  $v$  con la relazione:

$$v=2\pi f/k$$

Per quanto riguarda la finestra di frequenze utili per l'interpretazione, di solito si fa riferimento a un intervallo compreso fra 3-4 Hz fino a 50-60 Hz. Il limite inferiore è legato alla frequenza di risonanza dei geofoni normalmente usati nella tecnica MASW che è solitamente di 4,5 Hz. Il limite superiore deriva dalla considerazione che onde di superficie con frequenza superiore a 50-60 Hz di solito interessano solo i primi centimetri di terreno sotto il piano campagna e quindi hanno scarsa utilità pratica.

L'interpretazione della curva di dispersione avviene attraverso un procedimento detto di inversione. Poiché nel caso di un terreno stratificato non è possibile applicare una procedura di soluzione diretta, cioè dalla curva di dispersione al modello stratigrafico, a causa della non univocità del problema (alla stessa curva di dispersione sono associabili più profili di  $V_S$ ), si opera con un procedimento inverso. In pratica, fissato il modello stratigrafico iniziale, l'inversione avviene con il metodo dei minimi quadrati, modificando a tentativi, con un procedimento iterativo, i parametri velocità delle onde S, peso di volume, spessore e coefficiente di Poisson di ogni strato e ricalcolando

quindi, a ogni iterazione, la deviazione standard del nuovo modello rispetto al precedente.

Il programma da me utilizzato per l'elaborazione delle prove sismiche MASW (WinMASW 6.0 Professional della EliaSoft), utilizza anche un altro metodo di inversione chiamato degli algoritmi genetici. Gli Algoritmi Genetici operano su una popolazione di potenziali soluzioni applicando il principio della sopravvivenza del migliore, evolvendo verso una soluzione che tende ad avvicinarsi quanto più possibile alla reale soluzione del problema. Ad ogni generazione, un nuovo insieme di soluzioni è creato dal processo di selezione che, basandosi sul livello di adeguatezza (Fitness), seleziona i migliori membri della popolazione e li fa evolvere utilizzando una serie di operatori genetici mutuati dalla genetica naturale. Questo processo porta ad una evoluzione robusta verso individui che meglio si adattano all'ambiente, in altre parole, all'insieme di soluzioni che meglio rispondono al problema posto in principio.

Gli algoritmi genetici rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici. I comuni metodi lineari forniscono soluzioni che dipendono dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale. In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicino alla soluzione reale. Gli algoritmi genetici offrono invece un'esplorazione più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza.

## **Modalità esecutive delle prove MASW**

Le indagini MASW oggetto del presente rapporto sono state eseguite seguendo questo schema operativo:

1. Acquisizione delle onde superficiali
2. Costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza)
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs

Per gli stendimenti sismici sono stati disposti linearmente sul terreno 24 geofoni verticali da 4.5 Hz, ad una distanza di 2,0 metri uno dall'altro (spaziatura geofoni) e collegati al sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento dello stendimento di ricezione, sono state generate artificialmente delle vibrazioni nel terreno in un punto prestabilito lungo i due profili, allineato ed esterno agli stendimenti stessi (punto di energizzazione a 5 m dal primo geofono). È iniziata così la registrazione delle onde sismiche rilevate da ogni singolo geofono, con un intervallo di campionamento di 0,5 ms per la durata di 1024 ms.

Di seguito sono riportati i sismogrammi degli stendimenti MASW oggetto di questo rapporto.

Lo strumento utilizzato è il sismografo mod. GEA24 di produzione PASI S.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione con convertitore A/D a 24 bit. Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa di 10 Kg, battente su un piattello di alluminio posto a contatto con il terreno.

La geometria degli stendimenti di indagine e le caratteristiche del campionamento sono riassunte nella seguente tabella:

STENDIMENTO MASW	numero geofoni	Spaziatura geofoni (m)	Distanza punto di scoppio dal primo geofono (m)	Lunghezza stendimento (m)	Intervallo di campionamento (ms)	Durata dell'acquisizione (ms)
Mezzani (PR) MASW1	24	2	5	51	0,5	1024
Mezzani (PR) MASW2	24	2	5	51	0,5	1024

Caratteristiche tecniche del sismografo e dei geofoni utilizzati:

Modello sismografo	PASI – GEA24
Numero di canali	24 + trigger
Conversione Dati	Convertitore analogico/digitale Sigma-Delta 24 bit
Intervallo di campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di staking illimitato
Impedenza in ingresso	2 MOhm // 22 nF
Range dinamico	144 dB (sistema); >117 dB (istantaneo, misurato @1 ksps)
Distorsione	0.007% @ 16 kHz
Filtri	Digitali in post acquisizione
Formato dati	SEG-2
Alimentazione	5 V DC da USB, 0.25 A
Geofoni	PASI SIS 911-050 verticali con frequenza di 4.5 Hz

Le iterazioni necessarie per la costruzione delle curve di dispersione e per l'inversione delle stesse sono state ottenute tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (WinMASW Professional 6.0 della Eliosoft).

In allegato sono riportati sia le immagini di dispersione sia i risultati dell'inversione sotto forma di profilo delle onde S con la profondità.

Contemporaneamente all'inversione delle curve di dispersione, sono stati calcolati (in modo approssimato) anche alcuni parametri, utilizzando le seguenti correlazioni a partire dai valori di Vs:

Modulo di taglio dinamico o di rigidità (Costante di Lamé $\mu$ )	$\mu=G$	$\rho V_s^2$
Comprimibilità	k	$\rho \cdot V_s^2 \left[ \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - \frac{4}{3} \right]$
Modulo di Young	E	$\frac{\rho \cdot V_s^2 \left[ 3 \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 4 \right]}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$
Coefficiente di Poisson	$\nu$	$\frac{\frac{1}{2} \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$
Costante di Lamé $\lambda$	$\lambda$	$\rho \cdot V_s^2 \left[ \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2 \right]$

Dove:  $\rho$  = densità;  $V_p$  e  $V_s$  = velocità delle onde di compressione e di taglio.

Deve essere ricordato che la  $V_p$  calcolata da analisi MASW è scarsamente attendibile e dipende in larga misura dal coefficiente di Poisson che viene stimato, prima di lanciare l'inversione, sulla base di dati bibliografici utilizzando la seguente tabella:

Litologia	Coefficiente di Poisson
Limi	0,35 – 0,45
Argille	0,35 – 0,45
Sabbie	0,3 – 0,5
Ghiaie	0,3 – 0,4
Roccia fratturata	0,3 – 0,4
Roccia compatta	0,15 – 0,3

## Risultati delle prove MASW

Le tabelle seguenti mostrano in sintesi i risultati delle prove MASW:

Considered dispersion curve: **Mezzani (PR) Strada Malcantone – MASW 1.cdp**

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio dinamico (MPa)	Vp (m/s) (approssimato)	Coefficiente di Poisson (approssimato)
1	0,0 – 3,8	3,8	137	1,88	35	489	0,46
2	3,8 – 7,2	3,4	144	1,83	38	388	0,42
3	7,2 – 14,6	7,4	233	1,99	108	760	0,45
4	14,6 – 15,7	1,1	316	2,15	215	1506	0,48
5	15,7 – 31,3	15,6	284	2,07	167	1085	0,46
6	31,3 – 35,0	3,7	311	1,98	192	737	0,39

Il valore della Vs<sub>30</sub> è:

Dataset: **MezzaniMW1-2021-05-26 10-19.dat**

**Vs<sub>30</sub> (m/s) = 219**

I terreni appartengono quindi alla **Categoria di sottosuolo di tipo C**

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

Considered dispersion curve: **Mezzani (PR) Strada Malcantone – MASW 2.cdp**

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio dinamico (MPa)	Vp (m/s) (approssimato)	Coefficiente di Poisson (approssimato)
1	0,0 – 3,7	3,7	152	1,91	44	547	0,46
2	3,7 – 7,2	3,5	168	1,97	56	701	0,47
3	7,2 – 14,7	7,5	203	1,98	82	752	0,46
4	14,7 – 15,8	1,1	244	2,05	122	991	0,47
5	15,8 – 32,0	16,2	217	1,93	91	601	0,43
6	32,0 – 35,0	3,0	286	2,11	173	1283	0,47

Il valore della Vs<sub>30</sub> è:

Dataset: **MezzaniMW2-2021-05-26 11-01.dat**

**Vs<sub>30</sub> (m/s) = 197**

I terreni appartengono quindi alla **Categoria di sottosuolo di tipo C**

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

Reggio Emilia 7 giugno 2021

Dott. Stefano Righetti Geologo



ALLEGATI

## MASW 1

### winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

#### Main results

Dataset: **MezzaniMW1-2021-05-26 10-19.dat**

Mean model

Vs (m/s):	137	144	233	316	284	311
Standard deviations (m/s):	4	7	14	77	39	77
Thickness (m):	3.8	3.4	7.4	1.1	15.6	
Standard deviations (m):	0.3	0.3	0.6	0.1	1.0	
Density (g/cm <sup>3</sup> ):	1.88	1.83	1.99	2.15	2.07	1.98
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa):	35	38	108	215	167	192

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: **Mezzani (PR) Strada Malcantone - MASW1.cdp**

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s):	489	388	760	1506	1085	737
Poisson:	0.46	0.42	0.45	0.48	0.46	0.39

### Vs30 (m/s): 219

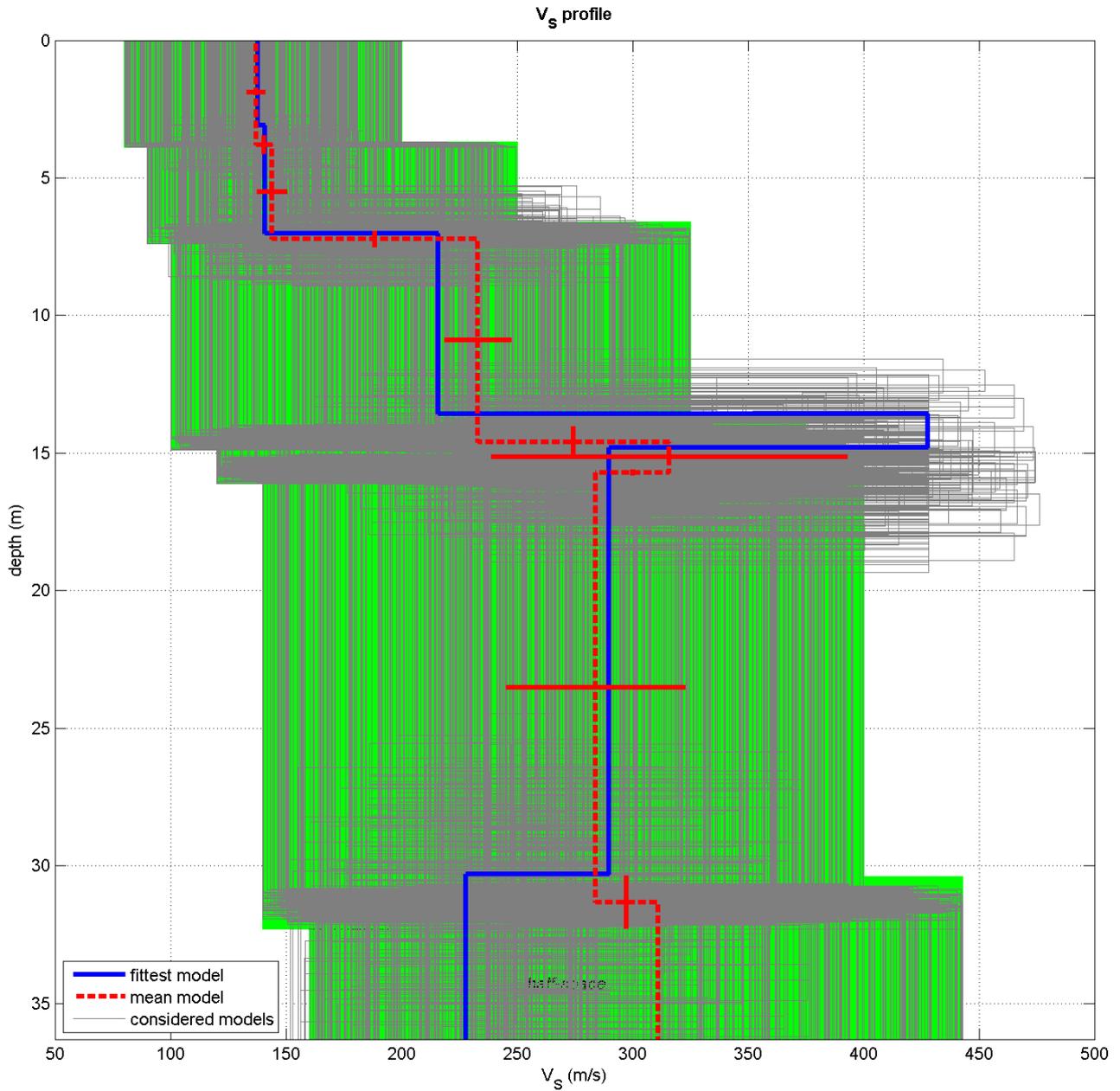
Soil classification: **Categoria di sottosuolo di tipo C**

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

## Prova sismica MASW 1 – Mezzani (PR) – Profilo Vs

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

Data esecuzione prova: 26 maggio 2021



dataset: MezzaniMW1-2021-05-26 10-19.dat

dispersion curve: Mezzani (PR) Strada Malcantone - MASW1.cdp

Vs30 (best model): 221 m/s

Vs30 (mean model): 219 m/s

## Prova sismica MASW 1 – Mezzani (PR) – Sismogramma

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

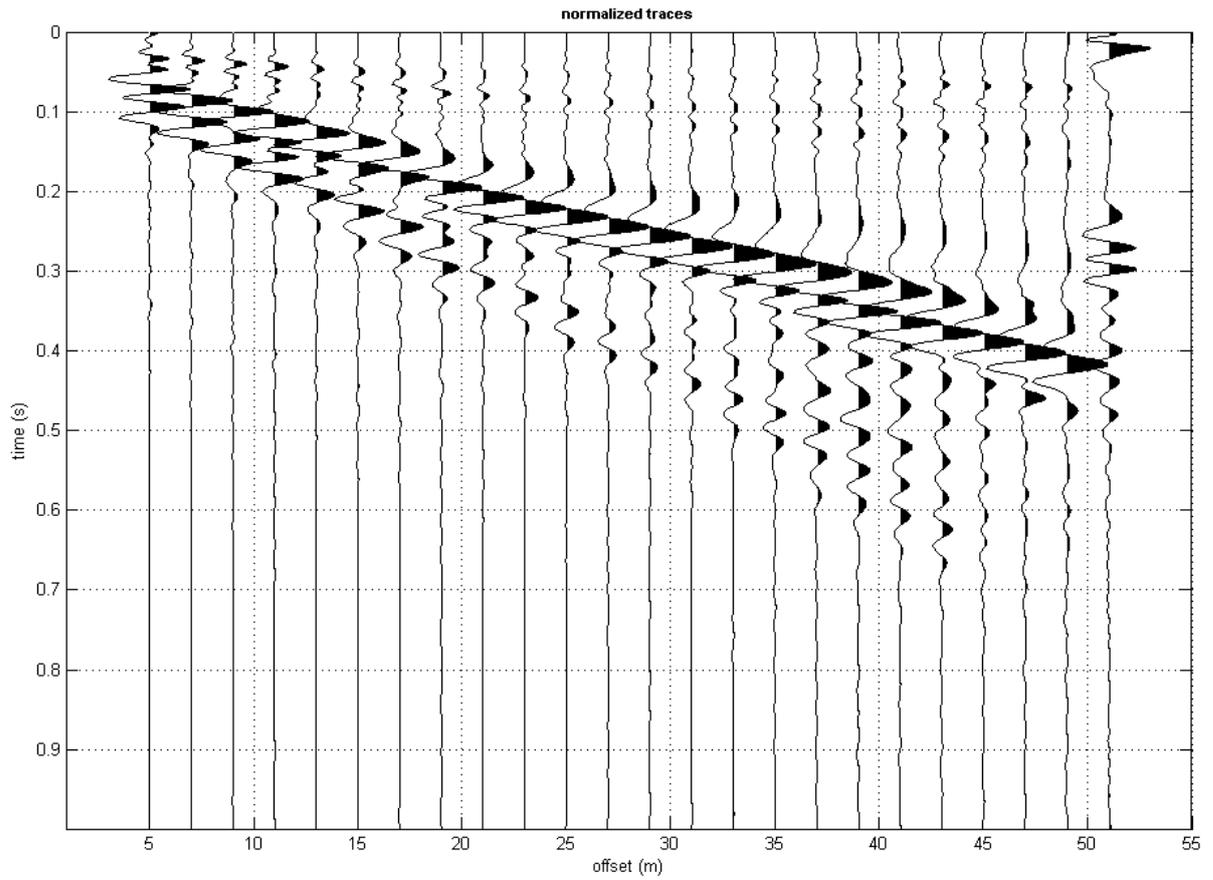
Data esecuzione prova: 26 maggio 2021

dataset: MezzaniMW1-2021-05-26 10-19.dat

sampling: 0.5 ms

minimum offset: 5 m

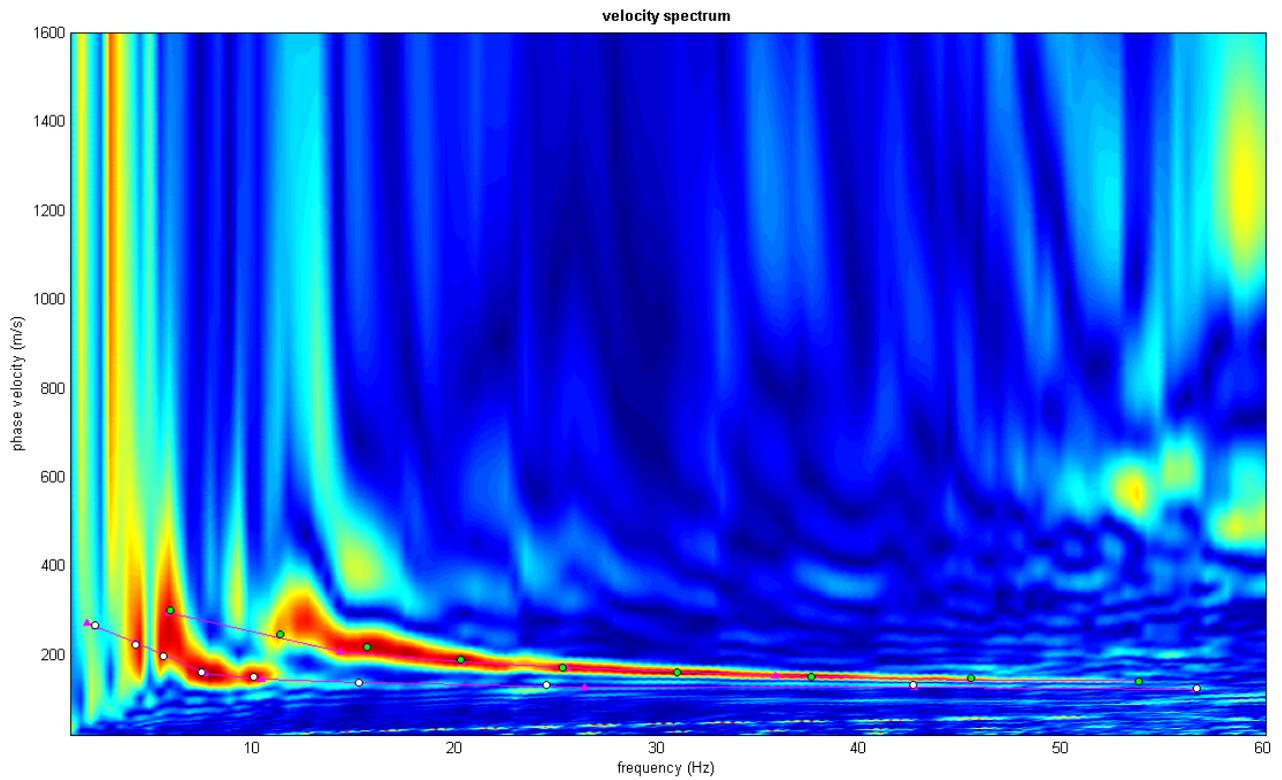
geophone spacing: 2 m



## Prova sismica MASW 1 – Mezzani (PR) – Spettro di Velocità

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

Data esecuzione prova: 26 maggio 2021



## MASW 2

### winMASW - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

#### Main results

Dataset: **MezzaniMW2-2021-05-26 11-01.dat**

Mean model

Vs (m/s):	152	168	203	244	217	286
Standard deviations (m/s):	6	10	19	46	27	60
Thickness (m):	3.7	3.5	7.5	1.1	16.2	
Standard deviations (m):	0.4	0.6	1.0	0.7	1.8	
Density (g/cm <sup>3</sup> ):	1.91	1.97	1.98	2.05	1.93	2.11
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa):	44	56	82	122	91	173

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: **Mezzani (PR) Strada Malcantone - MASW2.cdp**

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson

Vp (m/s):	547	701	752	991	601	1283
Poisson:	0.46	0.47	0.46	0.47	0.43	0.47

### Vs30 (m/s): 197

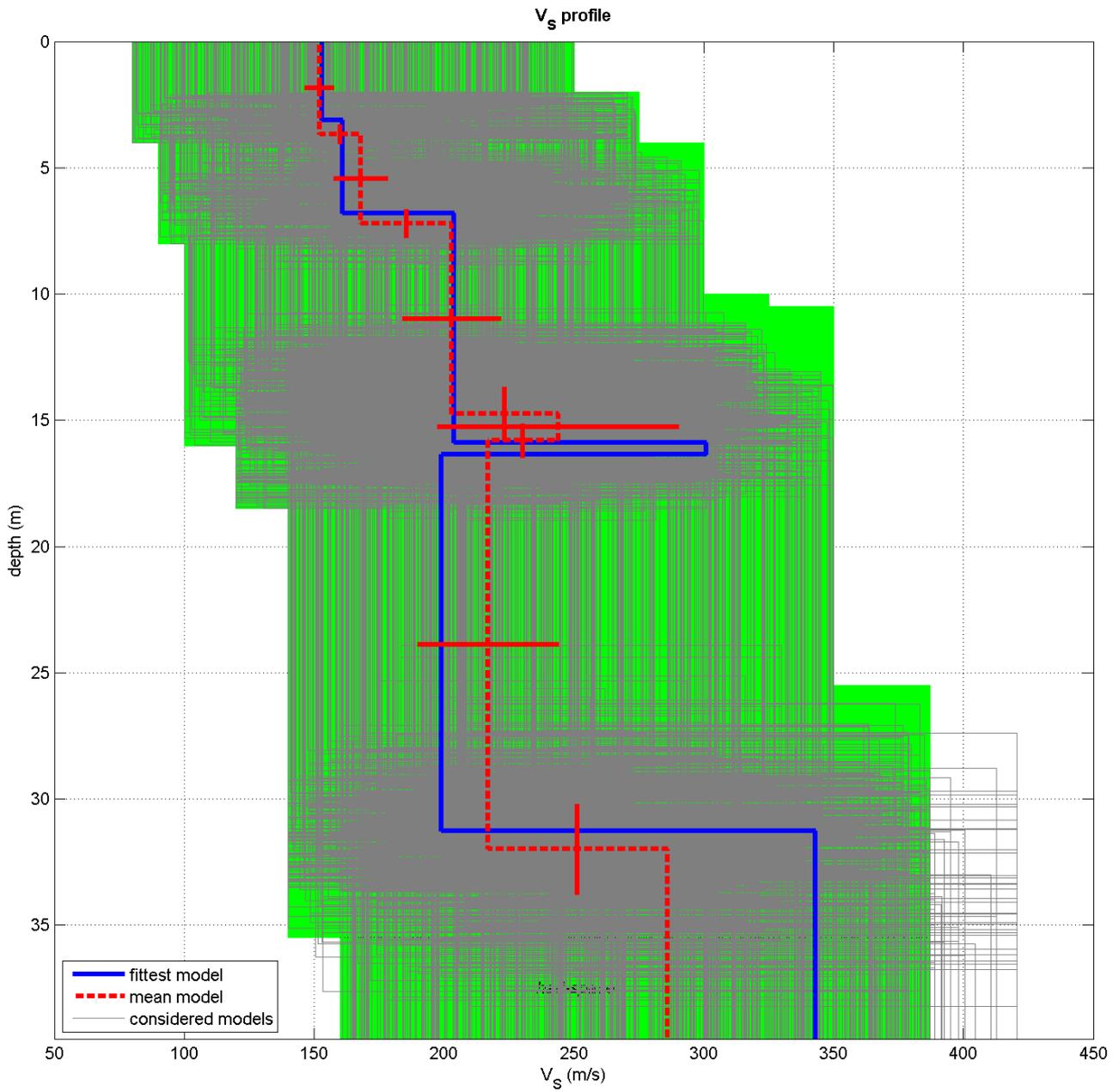
Soil classification: **Categoria di sottosuolo di tipo C**

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

## Prova sismica MASW 2 – Mezzani (PR) – Profilo Vs

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

Data esecuzione prova: 26 maggio 2021



dataset: MezzaniMW2-2021-05-26 11-01.dat

dispersion curve: Mezzani (PR) Strada Malcantone - MASW2.cdp

Vs30 (best model): 190 m/s

Vs30 (mean model): 197 m/s

## Prova sismica MASW 2 – Mezzani (PR) – Sismogramma

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

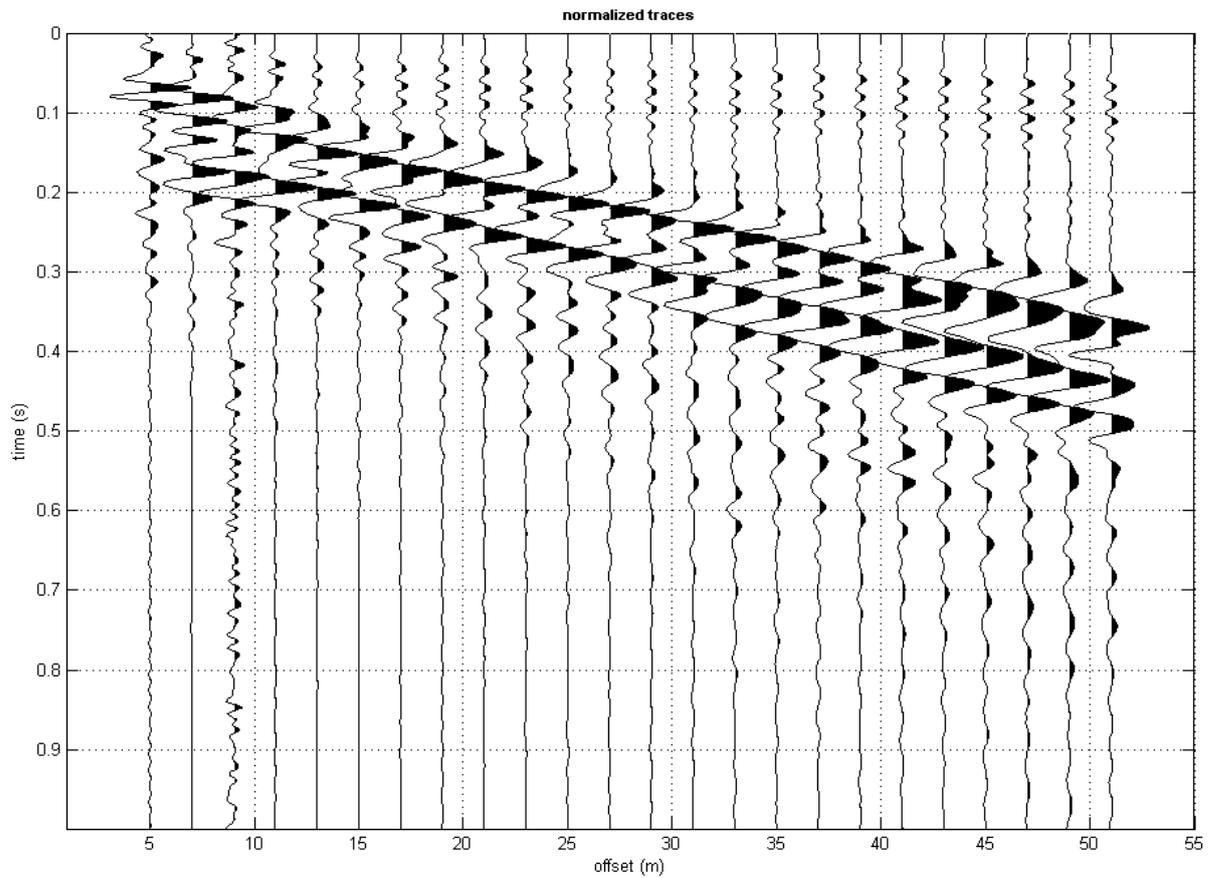
Data esecuzione prova: 26 maggio 2021

dataset: MezzaniMW2-2021-05-26 11-01.dat

sampling: 0.5 ms

minimum offset: 5 m

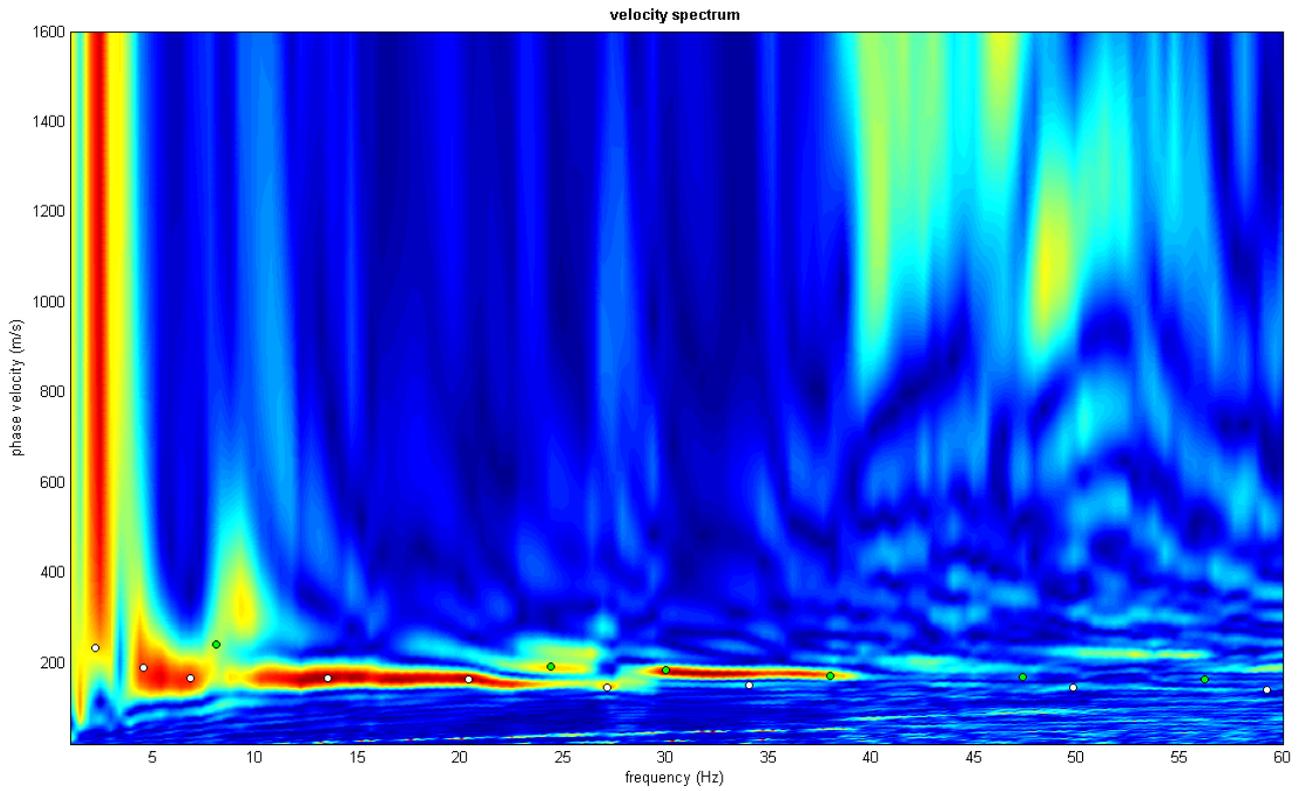
geophone spacing: 2 m



## Prova sismica MASW 2 – Mezzani (PR) – Spettro di Velocità

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

Data esecuzione prova: 26 maggio 2021



## Prove sismiche MASW 1 e MASW 2– Mezzani (PR) – Ubicazione stendimenti

Località: Comune di Mezzani (PR) Strada Malcantone

Data esecuzione prova: 26 maggio 2021

