REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)
2					
1	29/09/2022	3TI S.p.A.	M. BITELLI	D. CORRENTE	PROGETTO DEFINITIVO
0	28/06/2021	3TI S.p.A.	M. BITELLI	D. CORRENTE	PROGETTO DEFINITIVO

FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT)

DIREZIONE INGEGNERIA

PROGETTAZIONE IMPIANTI ACQUA

DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION)

REALIZZAZIONE SOLLEVAMENTO BONZAGNI - CENTO

IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER)	WBS	CODICE CUP (CUP CODE)
	R.2190.11.03.00071	-

3TI PROGETTI ITALIA
INGEGNERIA INTEGRATA S.p.A.
Via delle Sette Chiese 142, 00145 ROMA - ITALIA
tel +39 0655301518 fax +39 0655301522
www.3tiprogetti.it - info@3tiprogetti.it

CODICE DOCUMENTO (CODE)	N° COMMESSA (JOB N.)
DG00RL0001	11700152213
ID DOCUMENTO (DOCUMENT ID)	NOME FILE (FILE NAME)

GRUPPO HERA
HERA S.p.A.
Holding Energia Risorse Ambiente
Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna
tel. 051.287.111
www.gruppohera.it

HERAtech
Società del Gruppo Hera
HERAtech s.r.l.
Viale Carlo Berti Pichat 2/4 40127 Bologna
tel. 051.287.111
www.heratech.it

DENOMINAZIONE DOCUMENTO (DOCUMENT DESCRIPTION)

RELAZIONE GEOLOGICA

SCALA (SCALE)	N° FOGLIO (SHEET N°)	DI (LAST)
--	1	45

INDICE

1 PREMESSA 3

1.1 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO 3

2 DESCRIZIONE DEL SITO IN ESAME 4

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 6

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE 7

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 9

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 10

3.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLITOLOGICO LOCALE 12

4 CLASSIFICAZIONE SISMICA 14

4.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE 17

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA 19

5.1 MODELLAZIONE STRATIGRAFICA 20

5.2 MODELLAZIONE GEOTECNICA DA CPTU 22

5.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DA LABORATORIO 23

5.4 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE CONCLUSIVE 28

5.5 FALDA FREATICA 29

6 MODELLAZIONE SISMICA 29

6.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO 31

6.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA – RAPPORTO HVSR 33

6.3 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE E VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE MASSIMA DEL SITO 33

6.4 VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE 35

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 39

ALLEGATO 1. TECNOSTUDIO SRL - REPORT TECNICO PROVE ESEGUITE

ALLEGATO 2. SCHEDA STRATIGRAFICA CPTU2

ALLEGATO 3. PARAMETRI GEOTECNICI CPTU2

ALLEGATO 4. SCHEDE ELABORAZIONE PARAMETRI LIQUEFAZIONE

1 PREMESSA

Il presente elaborato è indirizzato a fornire un modello geologico del sito, ed è orientato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, ed una modellazione geotecnica sito specifica ai sensi della normativa di riferimento Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”.

1.1 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

DECRETO 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

Circolare 21 gennaio 2019, n 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

D.M. 14.01.2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”.

D.M. 14.09.2005 “Norme tecniche per le costruzioni”.

Circ. Cons. sup. LL.PP. N. 617 del 02.02.2009 “Istruzioni per l’applicazione delle NT di cui al D.M 14.01.08”.

Linee Guida NTC08 redatto da Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi, luglio 2010.

Ordinanza PCM n. 3519 del 28.04.2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.

Ordinanza PCM n. 3274 del 20.03.2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

A.G.I. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini giugno 1977.

A.G.I. “Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici”.

L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico".

D.G.R. Emilia-Romagna N. 112 del 02.05.2007 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica

Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009.

D.G.R. Emilia-Romagna N. 121 del 01/02/2010 “Atto di indirizzo recante individuazione degli interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità ai fini sismici …”

Ordinanza N. 70 del 13.11.2012 “Programma di microzonazione sismica nei comuni colpiti dai terremoti del 20 e 29 maggio 2012 in cui sono stati osservati effetti di intensità macrosismica IMCS•6”.

Ordinanza n. 35 del 20 marzo 2013 “Modalità di applicazione dell’art. 3 comma 10 della legge 122 di conversione del D.L. 74/2012 e cartografia indicativa delle aree in cui è stato raggiunto e superato uno scuotimento del 70% dell’accelerazione spettrale elastica”.

Ordinanza n. 112 del 30 settembre 2013” Modifica dell’Ordinanza 35/2013 “Modalità di applicazione dell’art. 3 comma 10 della legge 122 di conversione del d.l. 74/2012”.

D.G.R. Emilia-Romagna N. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).

D.G.R. Emilia-Romagna N. 476 del 12/04/2021, Aggiornamento dell'"Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49,

L.R. n. 24/2017)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630. Testo coordinato con le modifiche introdotte da: D.G.R. N. 564 del 26/04/2021.

D.G.R. Emilia-Romagna N. 1164 del 23/07/18, Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna.

“Raccomandazioni per la redazione della relazione geologica ai sensi delle N.C.T.” a cura del Centro Studi del C.N.G

2 DESCRIZIONE DEL SITO IN ESAME

L’area di interesse si trova nel Comune di Cento (FE), ubicata nel nucleo centrale dell’abitato di Cento, in corrispondenza dell’incrocio fra Via Marcello Malpighi e Via Quattro Novembre.

Di seguito si riportano una serie di immagini ortofotografiche e cartografiche per un miglior inquadramento dell’area, che risulta inoltre identificata geograficamente dalle seguenti coordinate WGS84, riferite ad un punto centrale del sito:

Latitudine: 44,72973 Longitudine: 11,29348

Figura 2.1: Foto satellitare con identificazione dell'area (Google Earth – Altezza 1000 m)

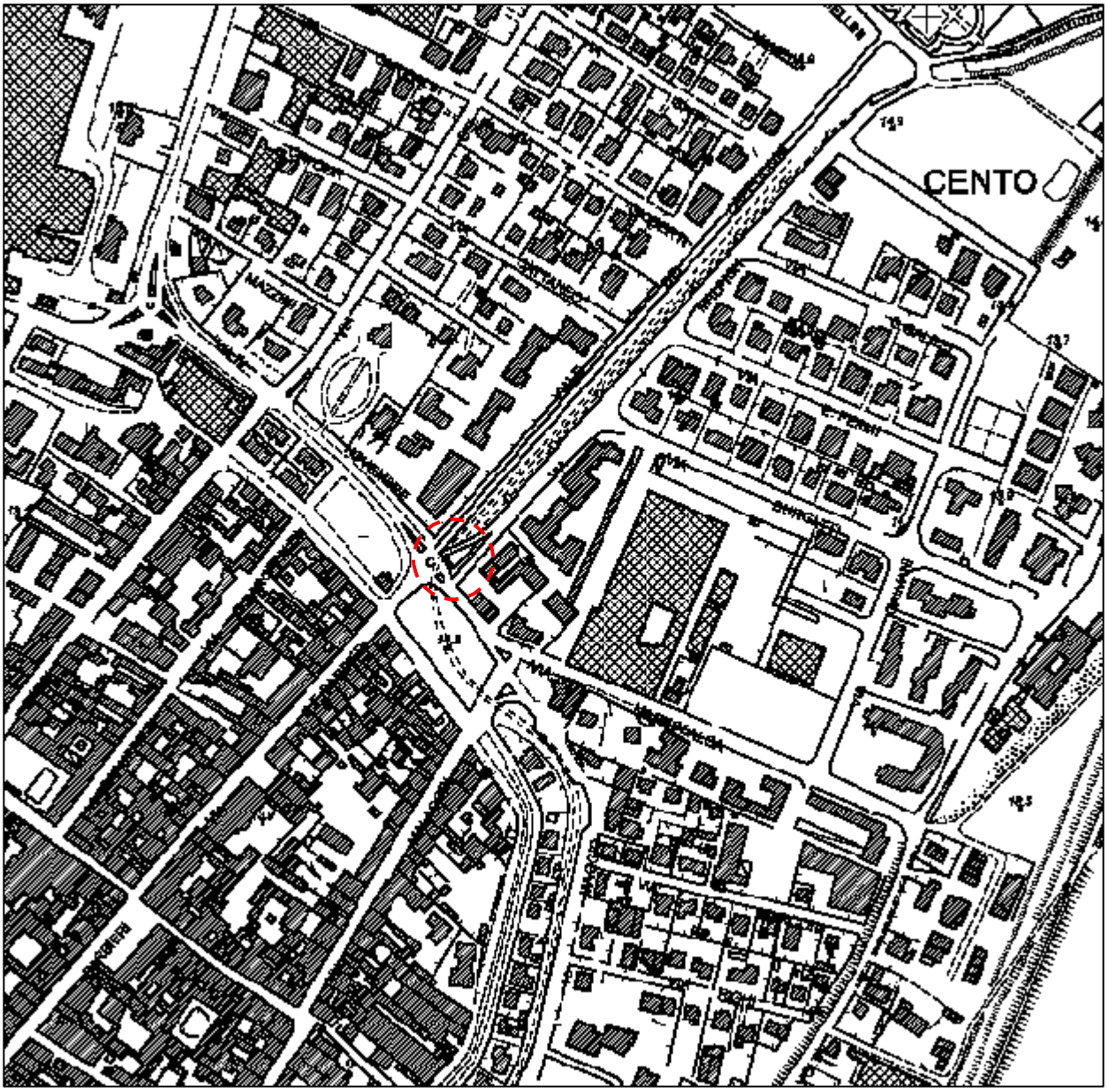


Figura 2.2: stralcio carta tecnica regionale (scala 1:5000)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area di studio ricade nella zona dell'alta pianura ferrarese a copertura alluvionale, con quota altimetrica di circa 14 m s.l.m., ed è caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante con gradienti topografici molto modesti (0.1-0.2%).

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE

La Pianura Padana è un ampio bacino sedimentario la cui genesi ha avuto inizio nel Terziario (65 milioni di anni fa) e rappresenta un'avanfossa per entrambe le catene montuose dalle quali essa è delimitata: le Alpi Meridionali a Nord ed il margine settentrionale degli Appennini a Sud. La sua evoluzione strutturale è connessa con la dinamica degli eventi che hanno interessato la placca litosferica africana ed Eurasiatica, che hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione.

L'evoluzione geologica della Pianura Padana ha lasciato le sue tracce nella struttura tettonica ancor oggi riconoscibile in profondità, sotto la coltre dei sedimenti alluvionali. In particolare, si possono distinguere:

- gruppi di pieghe ad andamento NW-SE, interessati da frequenti ondulazioni assiali asimmetriche, con vergenza verso N e con un'immersione generale verso SE;
- un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S, con la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione (Figura 3.1)

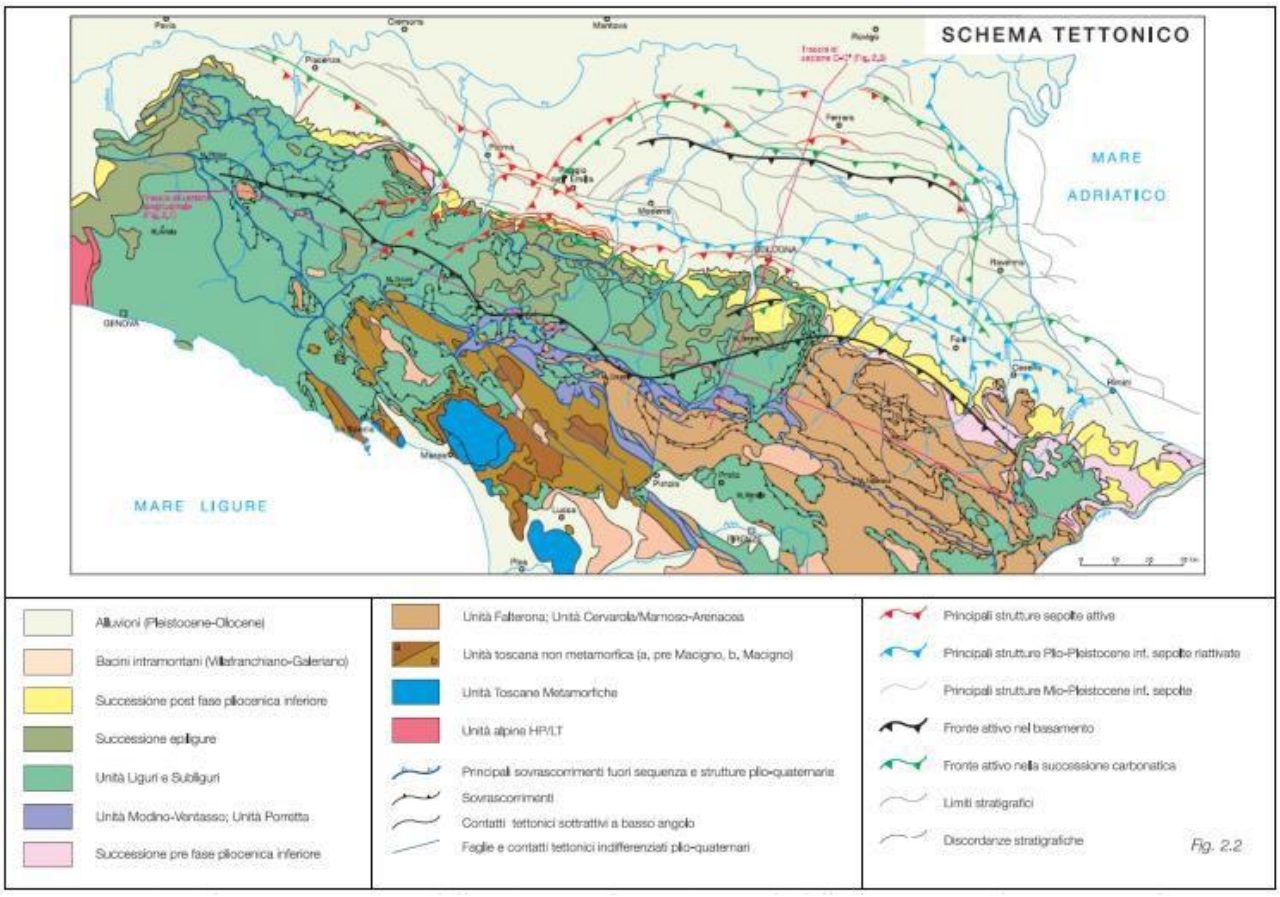


Figura 3.1: schema tettonico della Pianura Padana

Si osserva quindi una contrapposizione tra la grande monoclinale pedealpina e le pieghe appenniniche sepolte riconducibili ai tre archi principali: "Arco del Monferrato" che si estende da Torino a Tortona, "Arco delle pieghe emiliane" che si estende dall'Appennino Vogherese a San Colombano e a Sud sino alla linea del Sillaro e "Arco delle pieghe ferraresi e romagnole" ubicate nella parte Nord-Est dell'Appennino emiliano orientale.

Nell'ambito dell'arco ferrarese-romagnolo si possono distinguere tre gruppi minori di pieghe: ferraresi, romagnole, adriatiche.

Le pieghe ferraresi sono le più esterne, con nucleo mesozoico molto sollevato e tettonizzato; ad esse si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano sulla monoclinale adriatica e sono caratterizzate da forte disarmonia tra clastici e carbonati sottostanti. Nella parte interna (a Sud), l'arco delle pieghe ferraresi ed adriatiche è a contatto con le pieghe romagnole che presentano una forte disarmonia strutturale fra le formazioni terziarie piegate e i sottostanti calcari mesozoici relativamente meno tettonizzati.

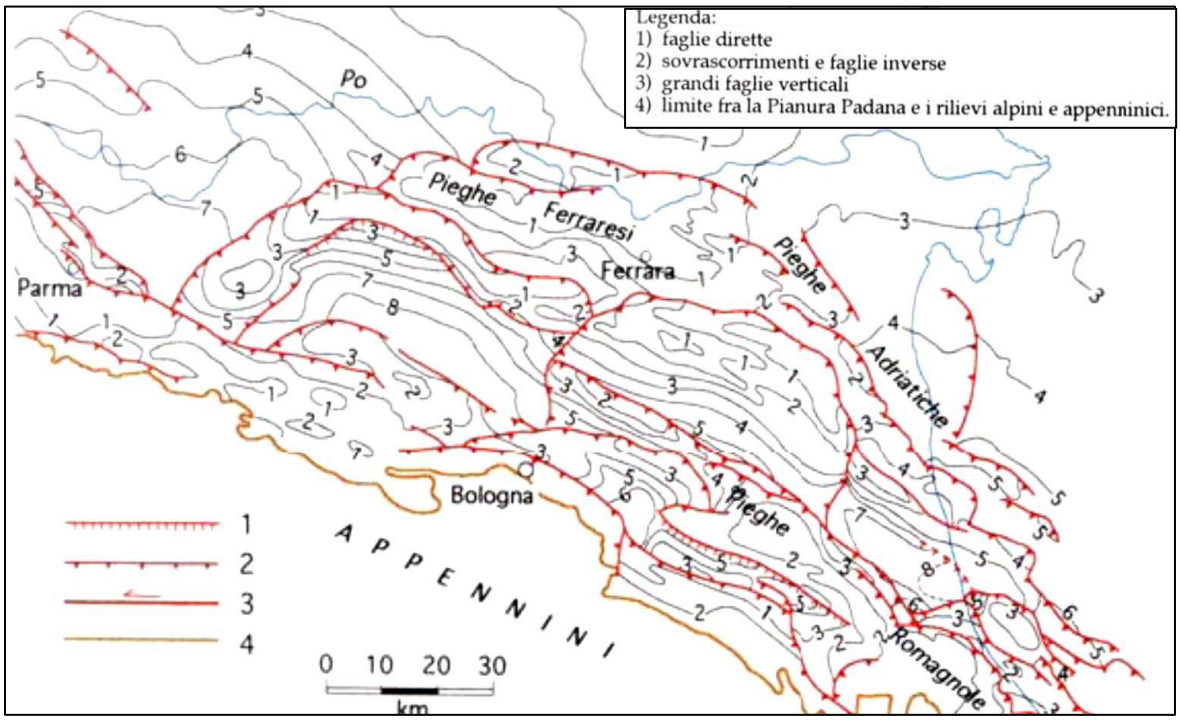


Figura 3.2: carta strutturale della Pianura Padana orientale (PIERI & GROPPI 1981; CNR 1992)

L'unità dominante delle pieghe ferraresi (C.N.R., 1986) è senza dubbio la "Dorsale Ferrarese", costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate ad orientamento WNW-ESE, vergenti verso NNE, la quale già nel Pliocene aveva funzione di alto strutturale. La Dorsale Ferrarese è localizzata nell'area centro-occidentale della provincia ferrarese tra Ferrara e le Valli di Comacchio; le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, di Mirandola e di Novi-Correggio. La peculiarità di questo sistema di pieghe è che costituisce un alto strutturale del substrato calcareo Mesozoico, con riduzione o assenza dei sovrastanti sedimenti terziari, asportati dall'azione dei processi erosivi legati all'emersione dell'area durante il Pleistocene medio. Ai lati della Dorsale si sono impostate, invece, due zone a forte subsidenza: nella regione del delta a Nord e nel Ravennate a Sud; in particolare, a Sud della Dorsale s'individua il bacino Emiliano-Romagnolo dove la base del Pliocene si approfondisce rapidamente, così come a Nord verso la fossa Padano-Adriatica (Masè, 1983). La struttura è disposta secondo la direzione WNW-ESE lungo una linea passante fra

Bondeno e Poggio Rusco dove la profondità della base del Pliocene varia tra i 400 e i 600 m. Gli assi delle pieghe, facenti parte di questo complesso, hanno andamento circa W-E e si individuano faglie inverse con andamento preferenziale vergente verso Nord e perpendicolare agli assi delle pieghe stesse.

In particolare, è distinguibile una dorsale più interna, che ha il massimo sollevamento tra Novi di Modena e Medolla, nota come struttura o alto di Mirandola, e una più esterna che ha il culmine tra Bondeno e Ferrara (Figura 3.3).

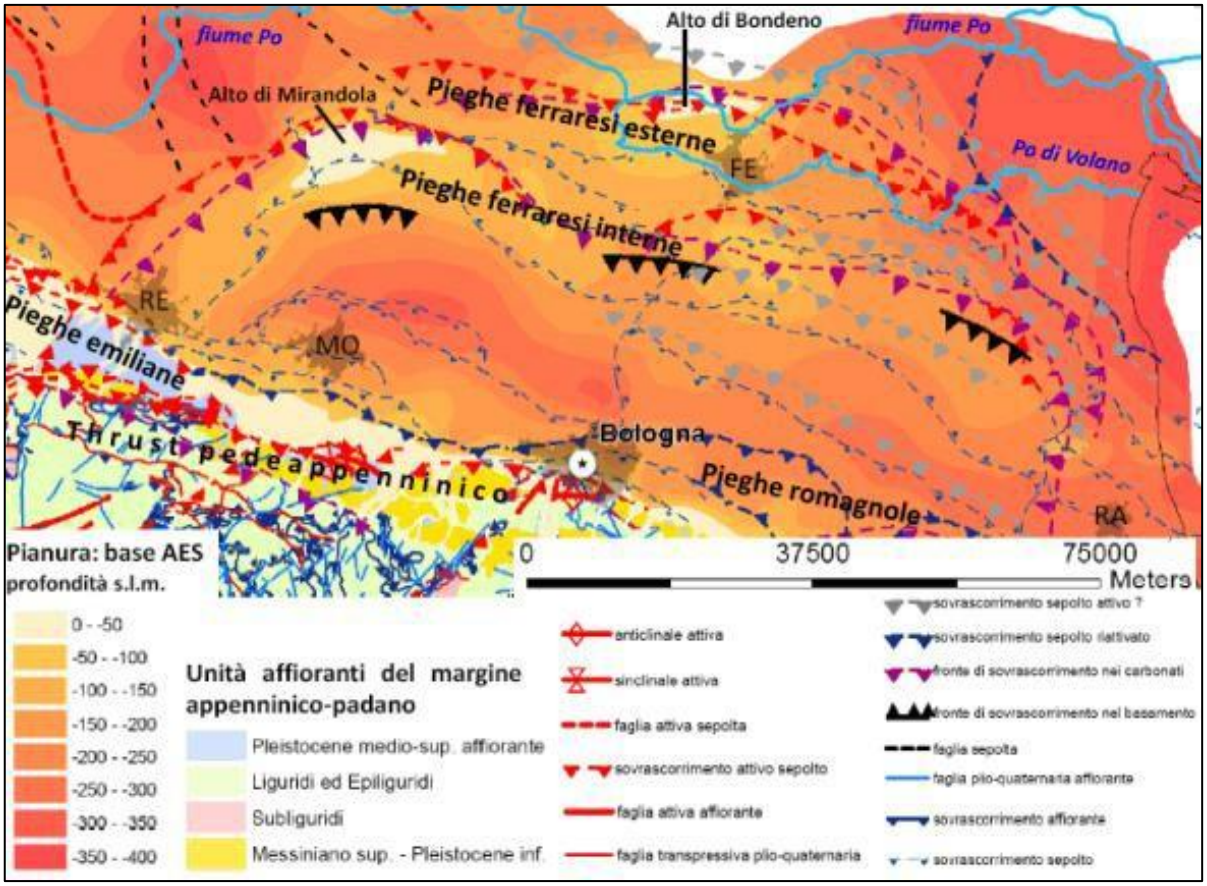


Figura 3.3: schema tettonico della Pianura Padana (Martelli, 2011)

La strutturazione di queste dorsali sepolte è quindi il risultato dell'attività di faglie inverse (thrust) con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (backthrust) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali.

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

In pianura le caratteristiche morfologiche principali sono senza dubbio legate all'evoluzione del sistema idrografico, che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici e dalle strutture geologiche del sottosuolo. In particolare, per quanto riguarda la Pianura Padana si può dire che la sua genesi non è stata un fenomeno regolare in quanto si sono alternati nel tempo numerosi episodi di sommersione ed emersione provocati dalle fluttuazioni eustatiche del livello del mare, connesse alle variazioni

climatiche. Ad ogni glaciazione, infatti, il livello del mare si abbassava (regressione) ed emergevano vaste pianure costiere destinate a venire nuovamente sommerse durante le fasi interglaciali, quando il livello del mare tornava ad alzarsi (trasgressione) e le grandi quantità di sedimenti trasportati dai fiumi colmavano le fasce marine litoranee, determinando un progressivo avanzamento della linea di costa (Ferrari, 1996). L'evoluzione della rete idrografica padana è ovviamente collegata alle suddette variazioni climatiche in quanto dal clima dipendono i processi geomorfologici di erosione, trasporto e sedimentazione dei fiumi.

L'ultima glaciazione wurmiana ha praticamente cancellato tutte le tracce morfologiche o idrografiche preesistenti, rimodellando completamente la superficie della pianura. Possiamo dunque porre come data di nascita della configurazione attuale della Pianura Padana l'ultimo periodo postglaciale, durante il quale i corsi d'acqua, originati dallo scioglimento dei ghiacciai, scendevano verso valle con forte capacità erosiva e sedimentavano imponenti quantità di materiali.

La geomorfologia del territorio risulta piuttosto complessa in quanto essa è costituita da un fitto intreccio di tracce di paleoalvei che si sono intersecati e sovrapposti nel tempo.

Il territorio risulta dominato da un lato da fasce di terreno particolarmente elevate (12/14 m. s.l.m. per i paleo alvei dossivi del PaleoPo e del PaleoReno; 9/11 m. s.l.m per i paleoalvei dossivi di corsi d'acqua secondari) ben riconoscibili in corrispondenza dei corsi fluviali attuali ed estinti, e dall'altro da varie zone depresse e bacini interfluviali (3/6 m. s.l.m.). In particolare, la zona dell'Alto Ferrarese è attraversata da Sud fino alla zona centrale da una complessa rete di dossi, spesso molto pronunciati, legati in prevalenza alle continue diversioni dell'alveo del Reno succedutesi nei secoli, ed intervallati da aree di depressione relativa; mentre, la parte Nord ed Est è caratterizzata da zone di altitudine media con una depressione pronunciata (fino a 3 m. s.l.m. nella Diamantina).

Inoltre, tutta la rete fluviale attuale ed antica e specie gli elementi morfologici dossivi hanno un andamento sinuoso ed un orientamento generale WNW-ESE, cioè subparallelo alle strutture tettoniche profonde della Dorsale Ferrarese, soprattutto nella parte più occidentale, mentre nella parte centro-orientale hanno una direzione prevalentemente N-S, a testimonianza del condizionamento della tettonica profonda sull'evoluzione dei corsi d'acqua.

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Relativamente all'acquifero emiliano-romagnolo, si riconoscono tre gruppi acquiferi (denominati dall'alto al basso A, B e C), separati fra loro da barriere di permeabilità di estensione regionale, che isolano perfettamente i diversi sistemi di circolazione e quindi le risorse allocate nei diversi Gruppi Acquiferi, cosicché ciascuno di essi è caratterizzato da un differente stato quali/quantitativo.

Ciascun gruppo acquifero è stato suddiviso a sua volta in tredici unità idrostratigrafiche gerarchicamente inferiori, denominate complessi acquiferi, secondo un modello di suddivisione gerarchico (ENI-AGIP, 1988), basato sul volume complessivo di acquiferi utili in ciascuna unità e su spessore, continuità ed estensione areale del livello acquitardo di ciascuna unità.

Dal punto di vista genetico, gli acquiferi individuati sono essenzialmente di due tipi (Figura 3.4): a Sud vi sono le ghiaie che i fiumi appenninici depositano ed hanno depositato appena usciti dalle valli, allo sbocco in pianura che formano dei grossi corpi ghiaiosi sovrapposti gli uni agli altri per alcune centinaia di metri di spessore (conoidi); a Nord vi sono le sabbie che il Po ha sedimentato lungo il suo percorso e nel suo apparato deltizio (pianura alluvionale).

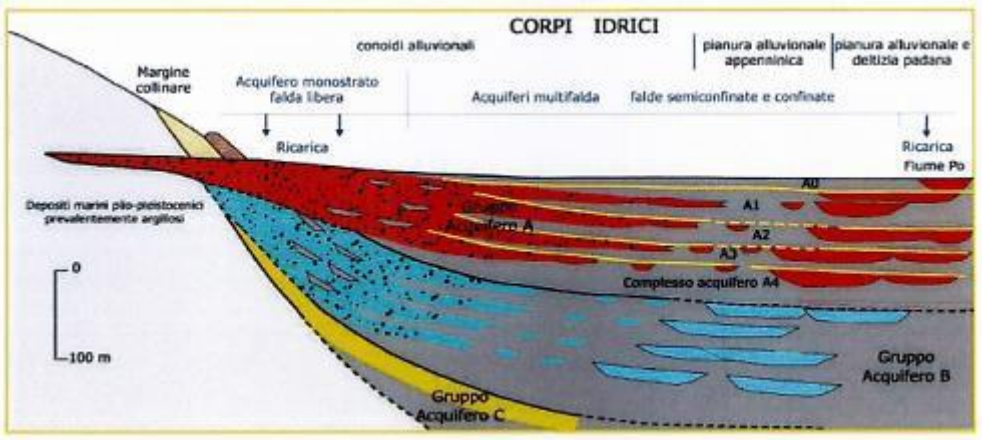


Figura 3.4: distribuzione schematica dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola

Gli acquiferi costituiti dalle ghiaie appenniniche si congiungono lateralmente a quelli formati dalle sabbie padane tra Piacenza e Parma, mentre a partire dal reggiano sino al mare vi è un ampio e spesso corpo di depositi della pianura alluvionale formati prevalentemente da limi ed argille che si interpongono tra essi mantenendoli fisicamente separati ed impedendone il contatto idraulico (acquitardi). La distinzione dei sistemi padani rispetto a quelli appenninici si basa sul fatto che i corpi sabbiosi di origine padana sono molto più abbondanti e più spessi di quelli appenninici ed hanno una maggiore continuità laterale, a scala delle decine di chilometri.

L'area dell'Alto Ferrarese è interessata solo dal secondo tipo di acquifero ed in particolare dal complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana, costituito quasi esclusivamente da sabbie grossolane e medie.

All'interno di questa unità sono comunque riconoscibili alternanze cicliche lungo la verticale, organizzate alloro interno nel modo seguente:

- la base, spessa mediamente una decina di metri, è per lo più costituita da limi-argillosi;
- la porzione intermedia, di spessore decametrico con continuità laterale di decine di chilometri, è composta da depositi limoso-sabbiosi spesso alternati a depositi sabbiosi;
- la parte sommitale, di spessore decametrico con continuità laterale di decine di chilometri, è caratterizzata dalla presenza di depositi sabbiosi.

Localmente, in particolare nelle zone di alto strutturale interne al bacino, lo spessore di depositi grossolani può arrivare a costituire la quasi totalità dello spessore dell'unità. Nonostante, complessivamente, vi sia una elevata percentuale di depositi sabbioso-grossolani, la circolazione idrica all'interno di questi depositi è complessivamente ridotta. Gli scambi fiume-falda sono possibili solamente con gli acquiferi meno profondi (A1), mentre nei sottostanti il flusso avviene in modo francamente compartimentato in condizioni confinate. I valori medi di gradiente idraulico sono quindi pari a circa 0.2-0.3 ‰

3.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLITOLOGICO LOCALE

Da un punto di vista sedimentario affiorano in superficie sedimenti pleistocenici e olocenici di piana alluvionale che si spingono in profondità anche per centinaia di metri sul substrato marino, costituiti dalle alluvioni del Po e dei corsi d'acqua appenninici, che in quest'area sono rappresentati dal fiume Reno.
Il territorio comunale di Cento è caratterizzato in linea generale da una morfologia pressoché sub-pianeggiante con dislivelli generalmente poco accentuati se si esclude l'alveo del fiume Reno che scorre pensile ad una quota di circa 10 m più alta rispetto la campagna circostante. Sono inoltre distinguibili delle fasce strette, allungate generalmente in direzione SO-NE, relativamente più rilevate (dossi) alternate a fasce più ampie e depresse denominate localmente come "valli", all'interno delle quali l'acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica da aree depresse.
Il sito in esame risulta inserito in un territorio pianeggiante privo di fenomeni di dissesto con quote topografiche attorno a 14 m s.l.m. Il centro abitato di Cento si trova in una zona debolmente depressa tra i dossi corrispondenti agli argini del Fiume Reno a sud-est e del paleo-alveo di Via Reno Vecchio a nord-ovest, come si evince dalla Carta geomorfologica a corredo del PSC.

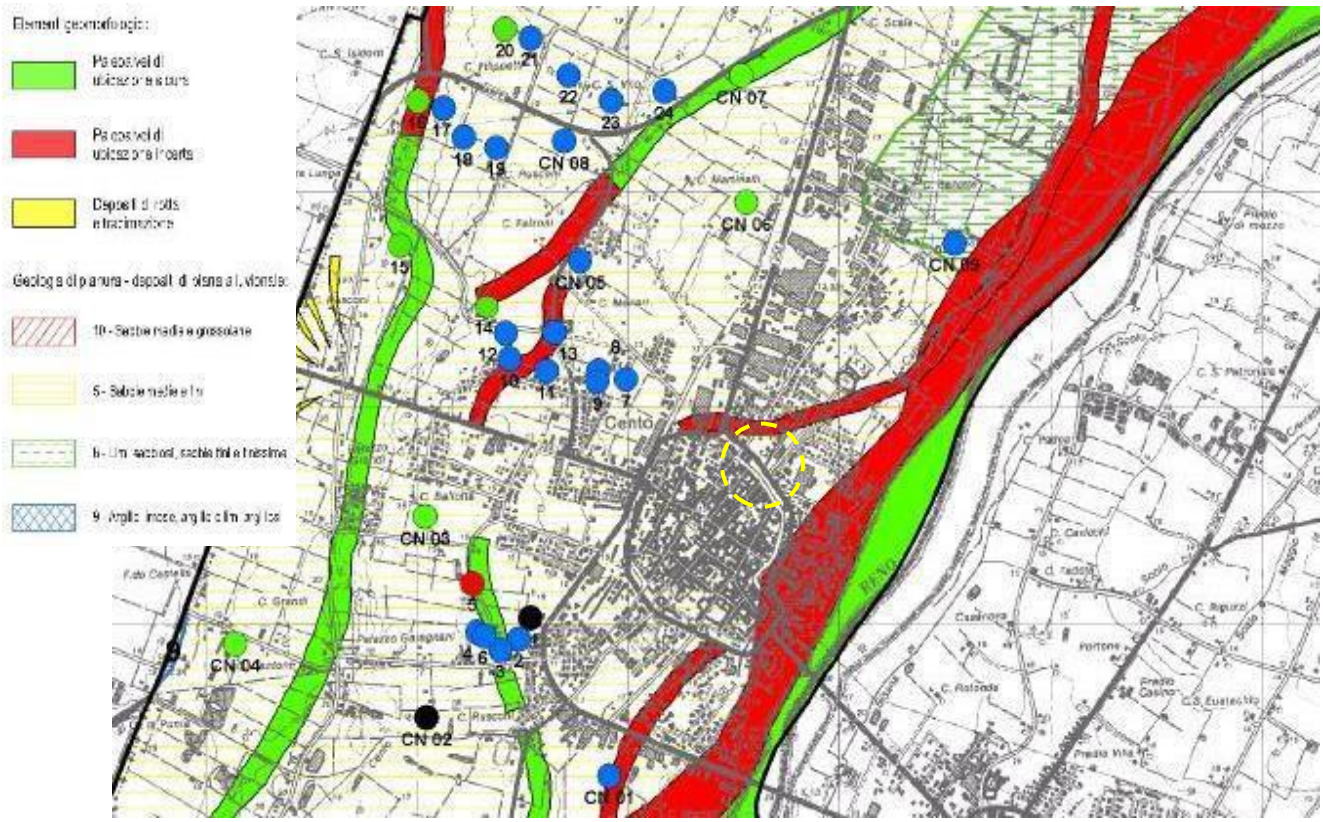


Figura 3.5: stralcio Carta Geomorfologica del PSC Associato (Tav. B2.1 del Quadro conoscitivo)

Sulla base della cartografia della litologia superficiale a corredo del PSC, elaborata sulla base del diagramma ternario di Shepard, l'area risulta inserita in un ampio contesto a litologia fine a prevalenza argillo-limosa.

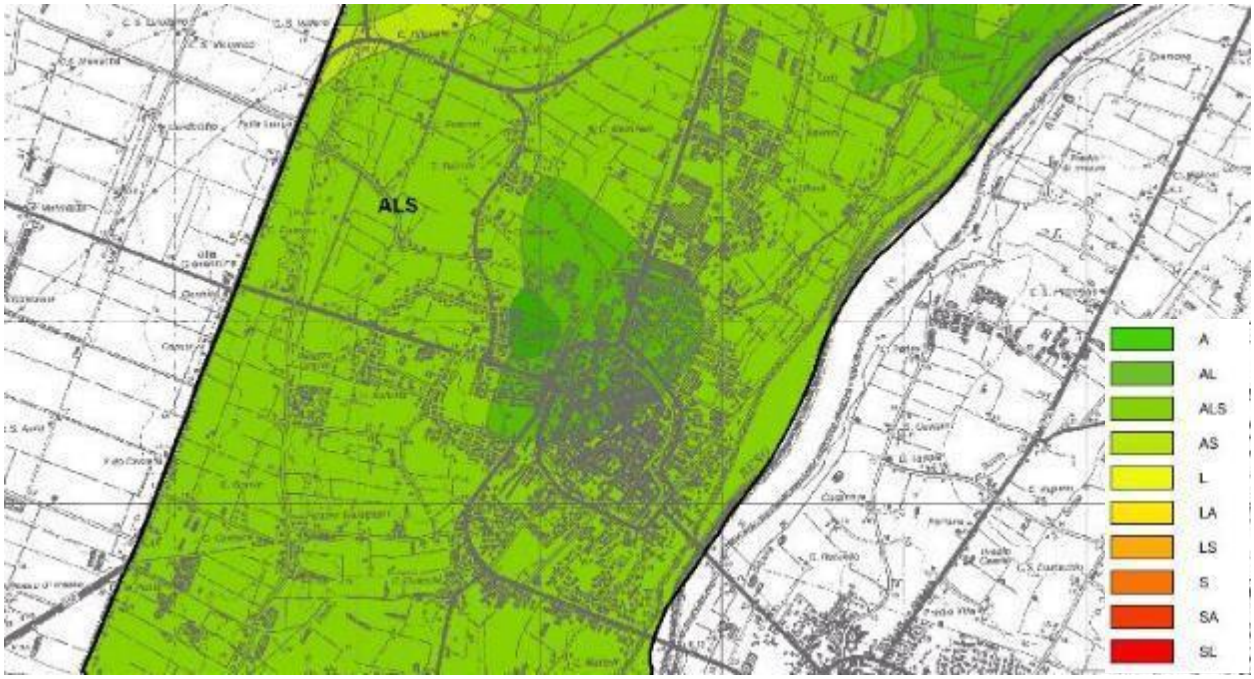


Figura 3.6: stralcio Carta delle Litologie di Superficie del PSC Associato (Tav. B2.2 del Quadro conoscitivo)

Dal punto di vista idrogeologico, nella porzione di territorio in esame, la falda freatica presenta un flusso generale con direzione NE-SO con quota piezometrica di circa 13 m s.l.m. ad indicare una modesta soggiacenza, con potenziali escursioni anche significative.

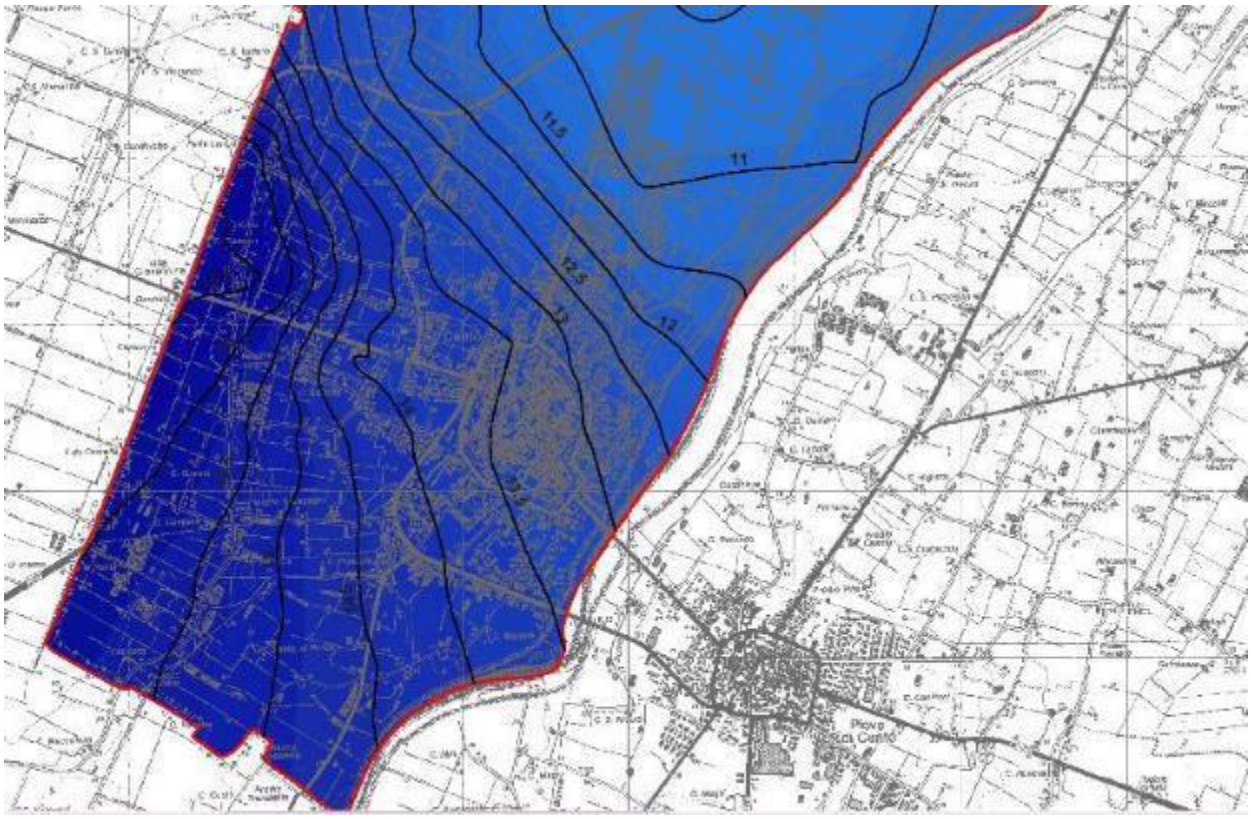


Figura 3.4- stralcio Carta della Superficie Freatica del PSC Associato (Tav. B2.13 del Quadro conoscitivo)

4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali ovvero dall'OPCM n. 3274/2003 che è entrata in vigore dal 25 ottobre 2005, data coincidente con la pubblicazione della prima stesura delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) e dalla successiva OPCM n. 3519/2006. La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sismico sulla base della **Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale** riportata in Fig. 4.1 espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi.

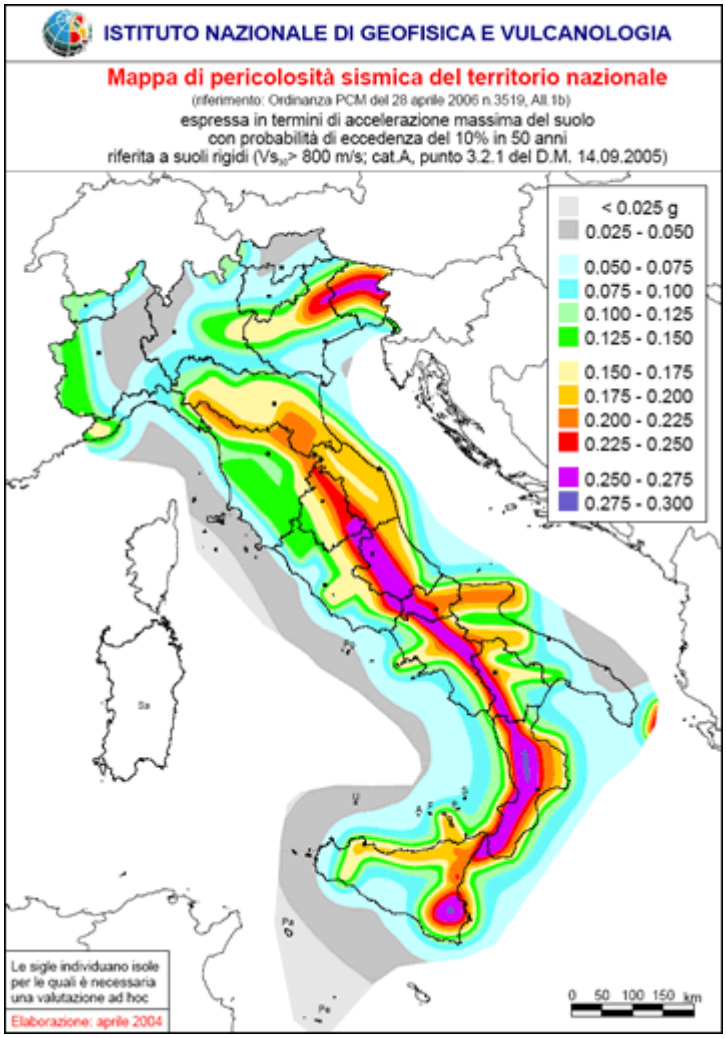


Figura 4.1: mappa di pericolosità sismica – OPCM 3519/06.

.

In relazione alla pericolosità sismica di Fig. 4.1, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità (Tabella 4.1), in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo ag475, ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una

vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da Vs30 > 800 m/s.

Zona 1	$a_{g475} \geq 0.25g$
Zona 2	$0.25 < a_{g475} \leq 0.15g$
Zona 3	$0.15 < a_{g475} \leq 0.05g$
Zona 4	$a_{g475} < 0.05g$

La regione Emilia-Romagna recepisce l'OPCM n. 3274/2003 attraverso la DGR N. 1435 del 2003, recentemente aggiornata dalla DGR N. 1164 del 23/07/2018, la quale tra le modifiche introdotte porta ad includere tutti i comuni della regione all'interno di due sole Zone simiche: la 2 e la 3. Il territorio comunale di Ferrara, sulla base della normativa nazionale e regionale sopra menzionate è stato classificato in Zona sismica 3 (sismicità bassa).

L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di ag475 con una tolleranza 0.025g. Come si evince dalla tabella a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti, le Norme Tecniche per le costruzioni, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/01/2018 e la relativa Circolare del 21/01/2019, n. 7, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune), rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

In Fig. 4.2 è riportato uno stralcio della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" riferita al dettaglio di interesse, redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

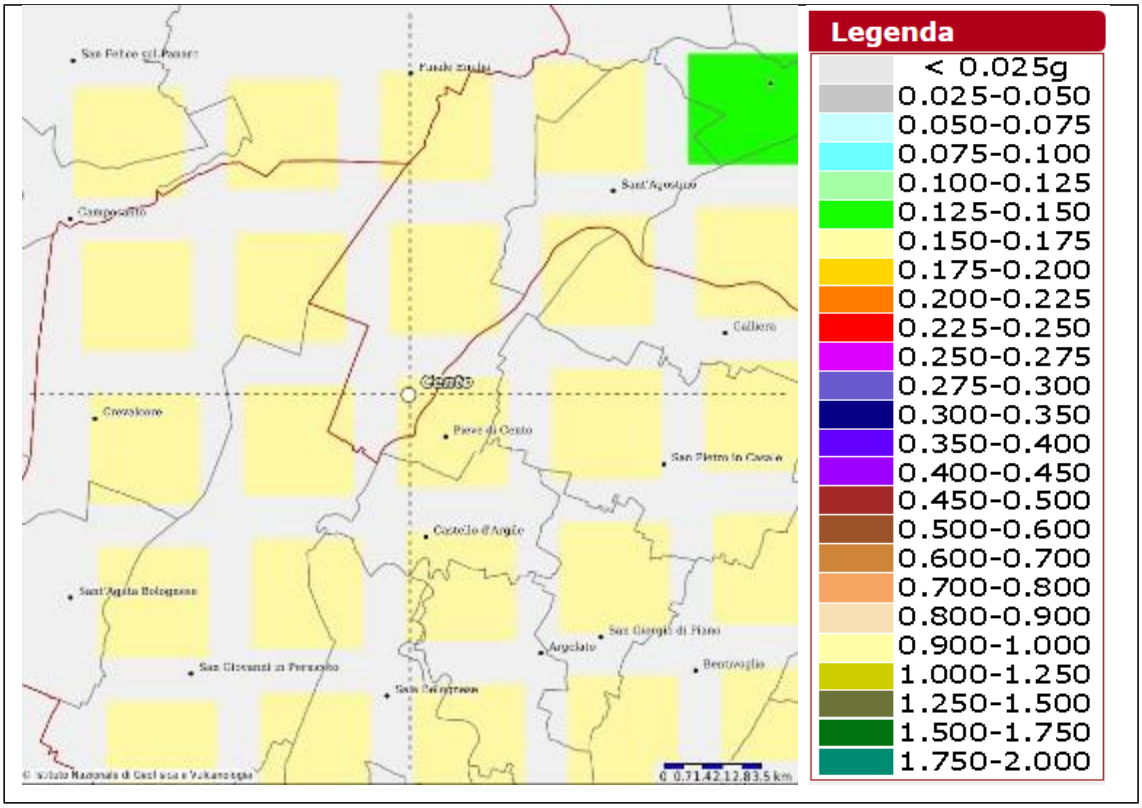


Figura 4.2: Modello di pericolosità sismica (da progetto MPS04 – S1, INGV).

Come si può osservare il territorio comunale di Cento risulta interamente compreso nella fascia di accelerazione (max.) di picco orizzontale variabile da 0,150 ÷ 0,175 g.

A titolo di approfondimento si riporta la stima dell'accelerazione attraverso le modalità indicate nell'Allegato A4 della D.G.R. dell'Emilia-Romagna N. 630/2019 (recentemente aggiornata dalla

D.G.R. 476 del 12/04/21): per il sito in esame è stato stimato un valore di accelerazione massima orizzontale (al bedrock), espressa in funzione dell'accelerazione di gravità g, con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno di 475 anni (arefg) pari a 0,1568 g.

Nel dettaglio il valore di arefg relativo al sito analizzato è stato ottenuto interpolando i valori di arefg più prossimi, definiti dai punti di una maglia avente passo di 0,05° elaborata dall' I.N.G.V. e fornita dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli dell'Emilia-Romagna (Figura 4.3).

Figura 4.3: Mappa maglia elaborata da INGV per la regione Emila Romagna (da S.G.S.S. E.R.)

4.1 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La stima della pericolosità sismica di un territorio dipende principalmente dalle sue caratteristiche geologico strutturali con i relativi cinematismi e aspetto imprescindibile, dalla conoscenza della sua storia sismica intesa come catalogazione dettagliata di tutti gli eventi sismici avvenuti in passato.
La pericolosità sismica a livello nazionale è stata definita attraverso lo studio e l'evoluzione delle conoscenze relative alle diverse strutture tettoniche presenti sul territorio italiano responsabili della sismicità, definite come "zone" o "sorgenti sismogenetiche".
L'ultima zonazione sismogenetica del territorio nazionale è stata prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ed è definita dalla sigla "ZS9" (Meletti & Valenzise 2004), tale studio rappresenta il più recente riferimento per la valutazione della pericolosità sismica del territorio italiano. L'area di studio in riferimento alla suddetta zonazione rientra nella "zona sismogenetica 912", la quale è caratterizzata da un andamento parallelo rispetto all'asse della catena appenninica e deve la sua sismicità ai meccanismi strutturali compressivi che interessano il fronte sepolto più avanzato della catena appenninica. La magnitudo momento massima attribuita a tale zona è pari a 6,14 (Mw).

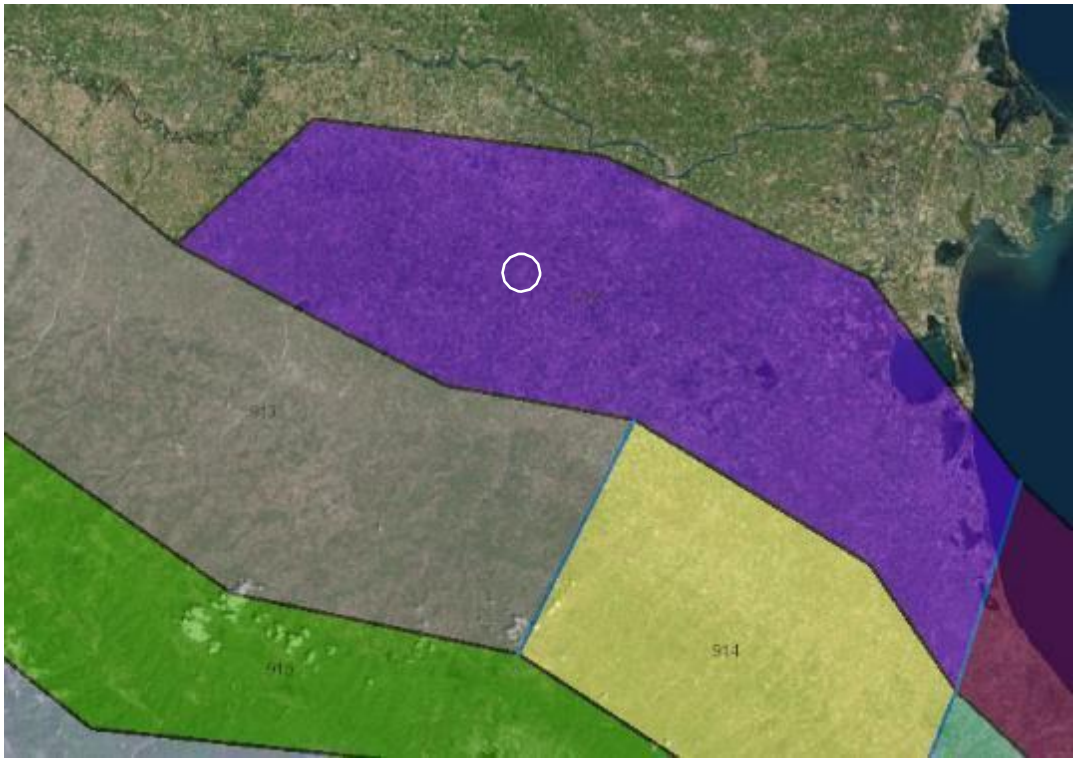


Figura 4.4: stralcio mappa "ZS9" (Meletti & Valenzise 2004), il cerchio bianco identifica l'area di indagine

Nel dettaglio tale zonazione è stata elaborata sulla base delle più recenti informazioni inerenti ai terremoti ed in particolare alle banche dati relative alle sorgenti sismogenetiche italiane, rappresentate ad esempio dal catalogo CPTI e dal DISS. All'interno della "Zona 912" sono presenti diverse zone sismogenetiche, la Figura 4.5 riporta in dettaglio la distribuzione delle sorgenti (ITIS) e zone sismogeniche (ITCS) prossime all'area di studio (database D.I.S.S. Version 3.3).

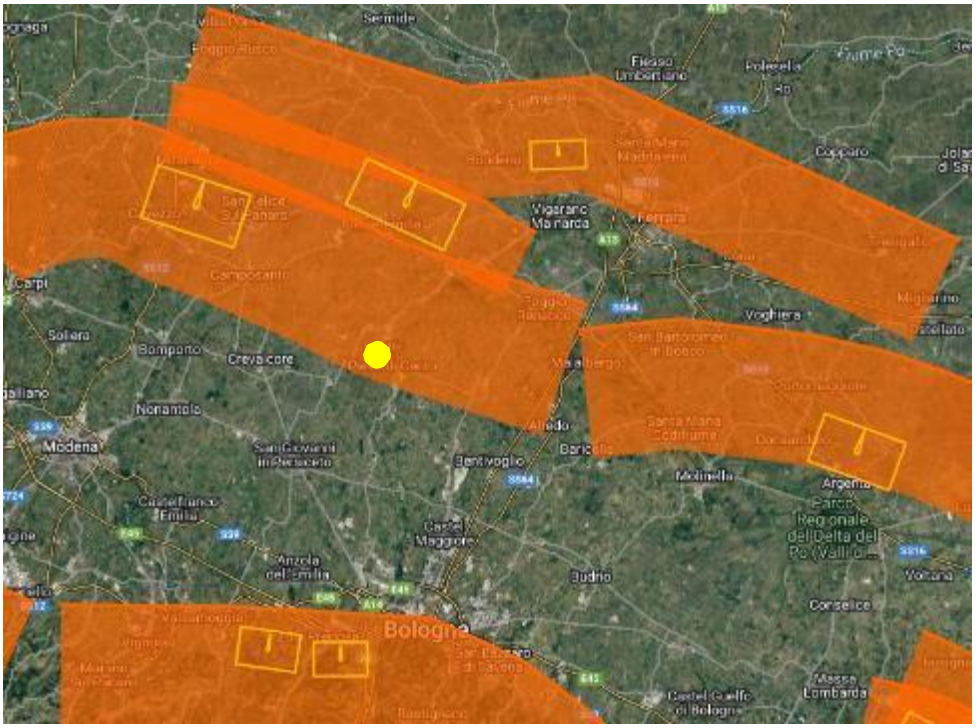


Figura 4.5: Distribuzione sorgenti e zone sismogeniche contenute nel DISS 3.3.0 (ortofoto-GoogleEarth)

La sismicità locale è generata dall'attività delle faglie compressive che costituiscono il sistema delle "Pieghe Ferraresi" (Pieri e Groppi, 1981), il quale è formato da due dorsali principali (sepolte) che si sviluppano con un arco vergente verso nord in un'area compresa tra Reggio Emilia, la costa adriatica e i territori a ridosso della sinistra idrografica del Po ferrarese (Bigi et al., 1990).
Nell'anno 2012 tra il 20 ed il 29 maggio, una vasta porzione di Pianura padana compresa tra le Province di Modena, Ferrara, Bologna, Reggio Emilia e Mantova è stata interessata da una sequenza sismica caratterizzata da forti scosse di cui sette con magnitudo locale (ML) maggiore di 5.0, tra cui le principali avvenute rispettivamente il 20 maggio con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia ed una magnitudo locale (ML) pari a 5.9 ed il 29 maggio con epicentro compreso tra Mirandola e Medolla e magnitudo locale (ML) pari a 5.8.
I maggiori effetti locali osservati sono stati l'amplificazione del moto sismico e fenomeni di liquefazione, diffusi soprattutto in corrispondenza di rami abbandonati dei fiumi appenninici (Reno, Panaro e Secchia), subordinatamente del Po.

5 MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

La modellazione geologica e geotecnica del sito è stata effettuata sulla base dell'indagine geognostica eseguita da Tecnostudio Srl di Este (PD) su incarico di Heratech Srl, ed articolata come di seguito specificato:

- N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinti alla profondità di 30 m dal piano campagna, con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati, ed attrezzato a piezometro
- N. 1 prova penetrometrica statica con piezocono, prevista alla profondità di 20 metri dal piano campagna, ma interrotta a poco meno di 15 m, per raggiunto limite strumentale per eccessivo attrito laterale
- N° 1 indagine sismica HVSR (microtremori)

- N° 1 prospezione sismica a rifrazione MASW
- Prove ed analisi dei campioni presso laboratorio terre

Le indagini sono state eseguite in aree direttamente prossime il sito di intervento, per indisponibilità di spazi operativi sufficienti per la corretta esecuzione delle prove in corrispondenza dell'area di progetto.
Nell'immagine seguente si riporta l'ubicazione delle indagini suddette, nella quale sono inserite anche ulteriori due prove penetrometriche (CPTU1, DPSH) non utilizzate ai fini progettuali in quanto abortire nei primi 2-3 metri quindi geologicamente non rilevanti.

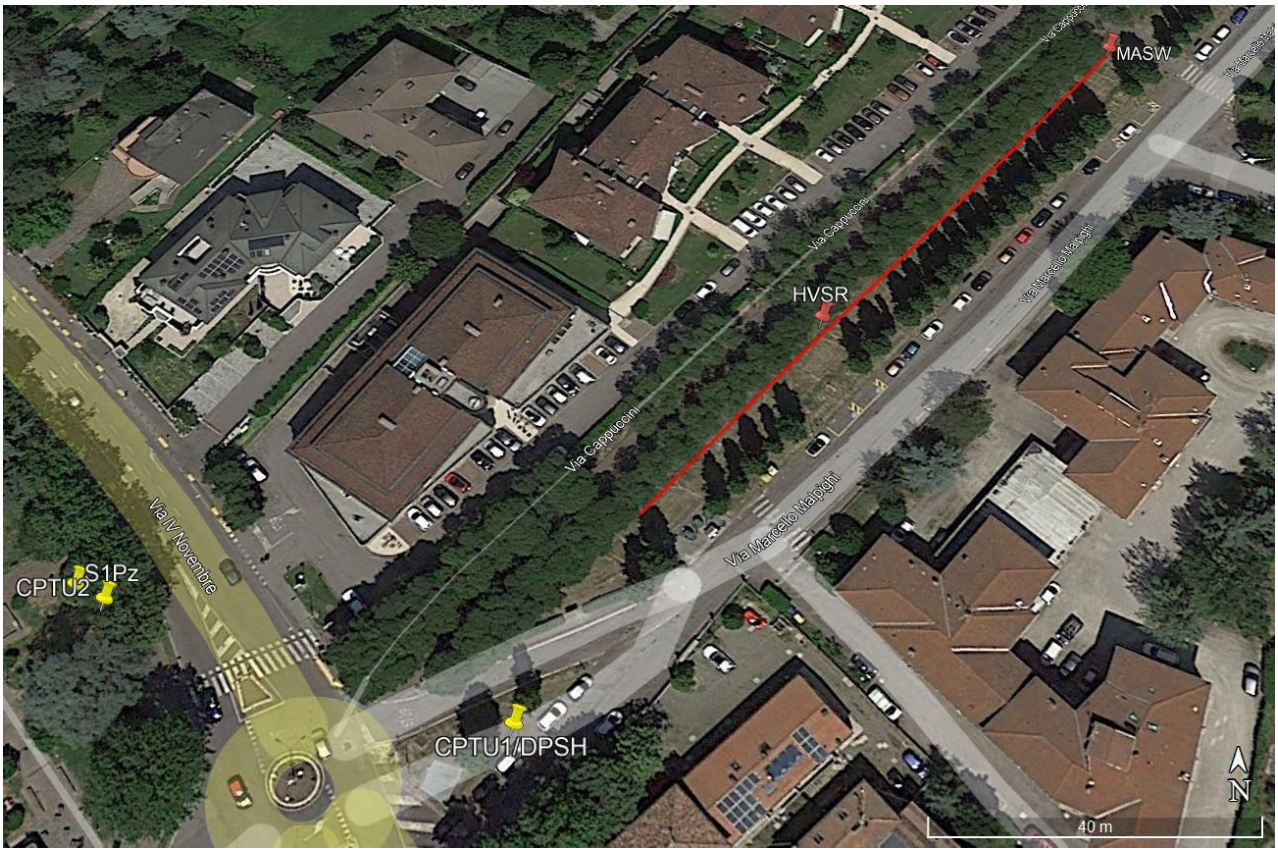


Figura 5.1: Ubicazione prove ed indagini geognostiche

Per le caratteristiche e descrizioni delle tipologie di indagini e risultati preliminari si rimanda al relativo Report Tecnico predisposto da Tecnostudio Srl, riportato in Allegato 1.

5.1 MODELLAZIONE STRATIGRAFICA

La modellazione stratigrafica è stata eseguita, mediante confronto fra la scheda stratigrafica del sondaggio geognostici S1-Pz e la parametrizzazione fisico–meccanica dei valori di resistenza, misurati durante l'esecuzione della prova penetrometrica CPTU2 attraverso il metodo di P.K. Robertson (1990), come graficamente riportato nella sottostante immagine.

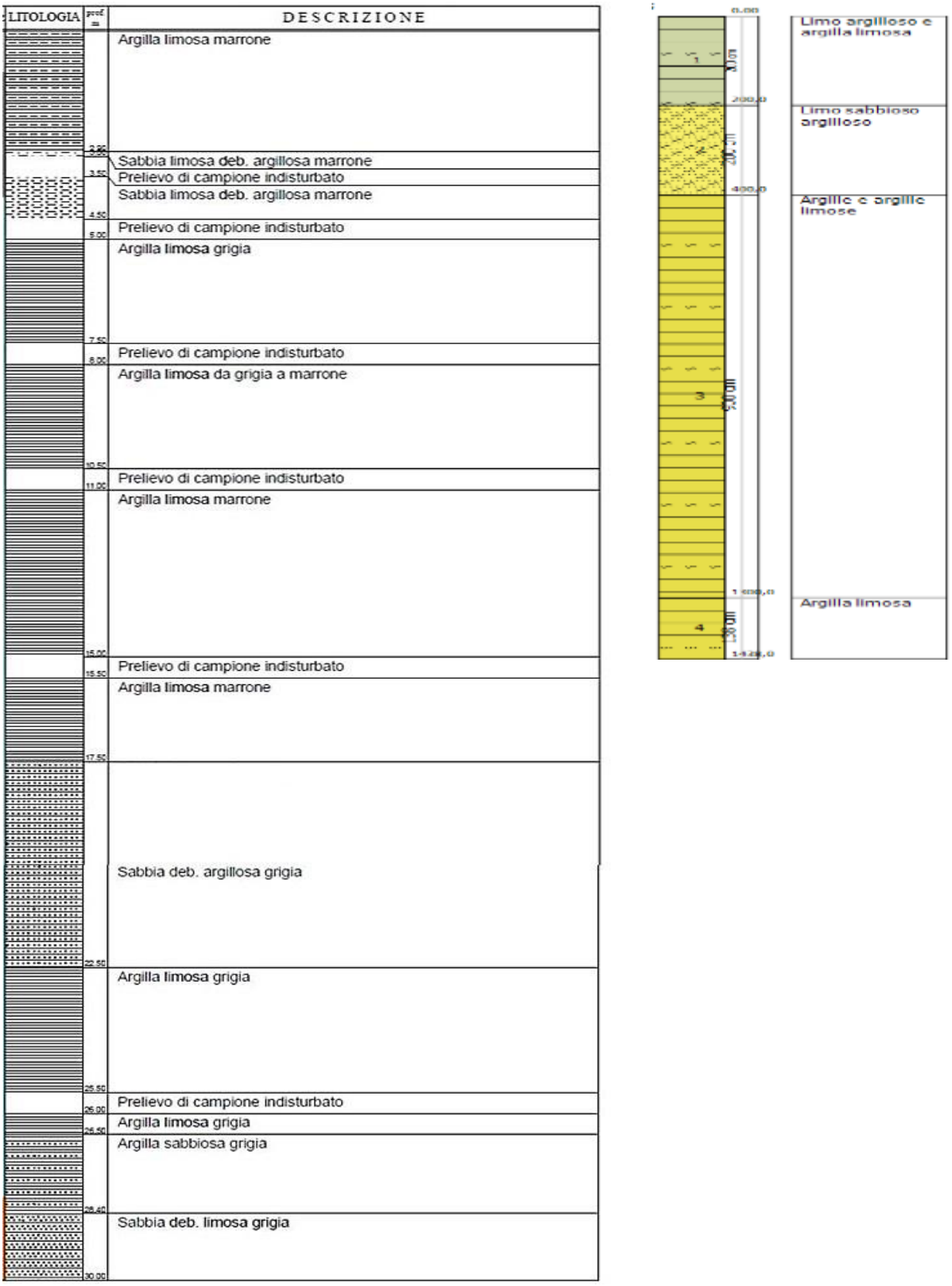


Figura 5.2: Stratigrafie area di studio

L'assetto litostratigrafico rinvenuto nel sottosuolo dell'area indagata può essere quindi così schematizzato:

1. ***Strato antropizzato (strato 1 – da p.c. a 2,0÷3,0 m da p.c)***

Si tratta di un livello di terreni a tessitura prevalentemente fine argillo-limosa, con presenza di inclusi antropici di varia natura (frammenti d'inerti, macerie, laterizi, ecc.), con caratteristiche meccaniche variabili e condizionate dallo stato di umidità/essicazione e dal rimaneggiamento storico antropico.

2. ***Litozona mista granulare-coesiva (strato 2 - da 2,0÷3,0 m a 4,0÷4,5 m da p.c)***

Al di sotto dello strato 1 si rinviene una litozona mista a composizione ternaria sabbiosa-limosa-argillosa di spessore irregolare.

3. ***Litozona coesiva (strato 3 - da 4,0÷4,5 m a 17,5 m da p.c)***

Segue una litozona a permeabilità da bassa a molto bassa, costituita da terreni a tessitura francamente coesiva, quali argille limose, con aumento della consistenza con la profondità. La litozona presenta uno spessore significativo continuo di circa 13 m.

4. ***Litozona granulare (strato 4- da 17,5 m a 22,5 m da p.c)***

Segue una litozona granulare costituita da sabbie medio-fini, con spessore di 5 m circa

5. ***Litozona prevalentemente coesiva (strato 5 - da 22,5 m a 28,5 m da p.c)***

Segue una litozona a tessitura prevalentemente coesiva, quali argille limose passanti alla base ad argille sabbiose.

6. ***Litozona granulare (strato 6 - da 28,5 m a fondo foro)***

Completa la sequenza una litozona granulare costituita da sabbia limosa debolmente argillosa, che si estende fino alla profondità massima di indagine di 30 m.

5.2 MODELLAZIONE GEOTECNICA DA CPTU

È stata effettuata per la prova CPTU2 eseguita, una stima dei principali parametri geotecnici; le tabelle riportate nella pagina seguente, riportano l'andamento dei principali parametri geotecnici, suddivisi in litologie pseudo omogenee. Occorre precisare che la caratterizzazione degli strati omogenei superficiali, può risultare falsata dallo stato di essiccazione dei sedimenti (frazione coesiva) e dal grado di rimaneggiamento antropico subito nel tempo; pertanto, la stima dei parametri attribuibili ai sedimenti attraversati nei primi due metri di profondità circa è da considerarsi non sempre, del tutto attendibile.

Profondità strato [m]	Litologia	Peso unità di volume		Angolo di attrito [°]	Densità Relativa (%)	Coesione non drenata [kPa]	Modulo Edometrico [KPa]
		Naturale	Saturo				
2,00	Limo argilloso e argilla limosa	21.51	22.29	/	/	427.29	18213.33
4,00	Limo sabbioso argilloso	17.65	20.59	28.07	33.77	0.0	4950.4

13,0	Argilla e argilla limosa	18.37	19.15	/	/	61.15	6015.6
14,38	Argilla limosa	19.6	20.38	/	/	128.67	6115.91

I sedimenti coesivi attraversati presentano valori di coesione non drenata discretamente elevati, sempre maggiori di 60 KPa (Cu > 60 KPa), pertanto, potenzialmente difficilmente soggetti a fenomeni di riconsolidazione in caso di sisma.
Il livello a tessitura granulare, o meglio mista, superficiale mostra valori di densità relativa scarsi (Dr*<60%); tuttavia, occorre precisare come questi ultimi data la loro limitata profondità siano soggetti a fenomeni di essiccamento e potenziale rimaneggiamento antropico.
[* correlazioni Dr: Baldi 1978 - Schmertmann 1976; Angolo di Attrito Caquot; Cu: Lunne, Robertson and Powell 1977; Modulo edometrico Mitchell & Gardner (1975)]. Per il dettaglio relativo a diagrammi di resistenza e tabelle parametri geotecnici, si rimanda alle schede in Allegato 3.

5.3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DA LABORATORIO

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico S1, a quote indicativamente preventivamente definite, sono stati prelevati dei campioni di terreno, quindi trasferiti al laboratorio terre per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio. Nella tabella sottostante vengono specificate le profondità dei campioni prelevati.

Sondaggio	Campione	Tipologia	Profondità (m da p.c.)
S13	OST1	Indisturbato – Tipo Osterberg	Da 3,00 a 3,50
	OST2	Indisturbato – Tipo Osterberg	Da 4,50 a 5,00
	OST3	Indisturbato – Tipo Osterberg	Da 7,50 a 8,00
	OST4	Indisturbato – Tipo Osterberg	Da 10,50 a 11.00
	OST5	Indisturbato – Tipo Osterberg	Da 15,00 a 15,50
	RIM6	Rimaneggiato	Da 21,00 a 21,50
	OST7	Indisturbato – Tipo Osterberg	Da 25,50 a 26,00
	RIM8	Rimaneggiato	Da 29,50 a 30,00

Su tutti i campioni sono state eseguite prove ed analisi per la determinazione delle caratteristiche fisico-volumetriche principali, ovvero:

- Umidità Naturale
- Peso di Volume
- Peso Specifico
- Limiti di consistenza
- Analisi granulometrica completa (setacciatura e sedimentazione)

Di seguito si riportano per ciascuna tipologia di determinazione i principali parametri geotecnici ottenuti, distinti in base al sondaggio e all'intervallo di profondità al quale il campione è stato prelevato, per il dettaglio relativo ad ogni singola prova si rimanda ai certificati laboratorio terre, riportati in calce al Report tecnico di Tecnostudio (Allegato 1).

Contenuto d'acqua naturale

Il contenuto d'acqua è una grandezza scalare, definita come la quantità, espressa in percentuale, di acqua presente nel terreno rispetto alla fase solida.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Umidità "w" (%)
OST1	3,00 - 3,50	30,50
OST2	4,50 - 5,00	37,60
OST3	7,50 - 8,00	34,90
OST4	10,50 - 11.00	23,90
OST5	15,00 - 15,50	22,10
RIM6	21,00 - 21,50	23,90
OST7	25,50 - 26,00	24,30
RIM8	29,50 - 30,00	26,90

Peso di volume

La densità del suolo, o massa volumetrica apparente, di un corpo è definita come rapporto tra la massa del corpo (frazione solida) ed il volume dello stesso. La prova, in realtà, serve per determinare il peso specifico dell'unità di volume, che però in condizioni normali di gravità è equivalente alla densità.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Peso di Volume naturale (kN/m^3)	Peso di Volume secco (kN/m^3)	Peso di Volume saturo (kN/m^3)
OST1	3,00 - 3,50	19,10	14,70	19,10
OST2	4,50 - 5,00	18,20	13,20	18,20
OST3	7,50 - 8,00	18,40	13,70	18,50
OST4	10,50 - 11.00	19,60	15,80	19,90
OST5	15,00 - 15,50	20,10	16,50	20,20
RIM6	21,00 - 21,50	20,50	16,30	20,50
OST7	25,50 - 26,00	19,00	15,30	19,50
RIM8	29,50 - 30,00	20,00	15,10	20,00

Peso specifico

Il peso specifico dei grani (Gs) costituenti un terreno può essere definito come il valore medio del peso unitario delle particelle granulari che lo compongono.

Attraverso la determinazione di Gs è possibile ottenere diversi altri parametri naturali di un terreno, utili per la classificazione e la caratterizzazione geotecnica, quali la porosità (n), l'indice dei vuoti (e) ed il grado di saturazione (S).

Campione	Profondità (m da p.c.)	Peso specifico "Gs" (kN/m^3)	Indice dei vuoti "e"	Porosità "n" (%)	Grado saturazione "S" (%)
OST1	3,00 - 3,50	27,00	0,842	45,70	99,80
OST2	4,50 - 5,00	27,00	1,040	51,00	99,80
OST3	7,50 - 8,00	26,90	0,974	49,30	98,50
OST4	10,50 - 11.00	27,00	0,705	41,40	93,10
OST5	15,00 - 15,50	26,30	0,597	37,40	99,50
RIM6	21,00 - 21,50	26,90	0,811	44,80	80,90
OST7	25,50 - 26,00	26,90	0,762	43,30	87,40
RIM8	29,50 - 30,00	27,10	0,957	48,90	77,70

Limiti di consistenza (Atterberg)

La metodologia permette di determinare la relazione tra contenuto d'acqua, caratteristiche minerali delle argille e, conseguentemente, del loro comportamento fisico-meccanico.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Limite di liquidità (%)	Limite di plasticità (%)	Indice di plasticità (%)	Limite di ritiro (%)
OST1	3,00 - 3,50	/	/	/	/
OST2	4,50 - 5,00	46,70	27,90	18,80	13,90
OST3	7,50 - 8,00	53,10	33,70	19,40	16,60
OST4	10,50 - 11.00	50,40	29,30	21,10	14,40
OST5	15,00 - 15,50	53,70	22,20	31,50	11,50
RIM6	21,00 - 21,50	/	/	/	/
OST7	25,50 - 26,00	48,60	31,00	17,60	11,80
RIM8	29,50 - 30,00	/	/	/	/

Analisi granulometrica

L'analisi granulometrica ha lo scopo di determinare la distribuzione percentuale dei grani, per massa, secondo le loro dimensioni. La determinazione viene eseguita mediante crivelli e setacci per la frazione solida di dimensioni maggiori di 0.075 mm (ghiaie e sabbie) mentre per quella di dimensioni inferiori (limi e argille) si ricorre all'analisi per sedimentazione.

Campione	Profondità m da p.c.	Classificazione USCS			
		Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
		>4,75mm	>0,075mm	>2µ	<2µ
OST1	3,00 - 3,50	0,60	80,30	13,20	5,90
OST2	4,50 - 5,00	/	2,90	26,30	70,80
OST3	7,50 - 8,00	0,60	10,10	31,10	58,20
OST4	10,50 - 11.00	5,00	6,10	30,10	58,80
OST5	15,00 - 15,50	/	3,00	36,10	60,90
RIM6	21,00 - 21,50	/	95,30	4,70	
OST7	25,50 - 26,00	/	3,30	34,30	62,40
RIM8	29,50 - 30,00	/	83,20	10,30	6,50

Al fine di integrare e completare la modellazione geotecnica elaborata sulla base dei parametri di resistenza misurati nel corso delle prove penetrometriche sono state eseguite inoltre, nei vari intervalli di campionamento, le seguenti determinazioni:

- Prova triassiale – non consolidata isotropicamente non drenata (UU)
- Prova di espansione laterale libera ELL
- Prova di consolidazione edometrica
- Prova di taglio diretto (CD)

Di seguito si riportano schematicamente i risultati delle prove di caratterizzazione geotecnica, mentre per il dettaglio relativo ad ogni singola prova si rimanda sempre ai certificati laboratorio terre, riportati in calce al Report tecnico di Tecnostudio (Allegato 1).

Prova triassiale UU

Nella prova triassiale UU, non consolidata e non drenata, l'applicazione della tensione verticale rispetto all'asse del campione e della tensione normale, applicata alla superficie laterale del campione, avviene mantenendo chiuse le valvole di drenaggio durante la prova. Si determina quindi il valore della resistenza in termini di coesione Cu.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Coesione Cu (kPa)
OST5	15,00 - 15,50	127

Taglio Diretto

La prova permette di determinare l'inviluppo di rottura del campione, sottoposto alla macchina di taglio, e dei parametri corrispondenti, espressi in termini efficaci, c' (coesione efficace) e f' (angolo di attrito efficace).

Campione	Profondità (m da p.c.)	Coesione efficace c' (kPa)	Angolo di attrito efficace f' (°)
OST1	3,00 - 3,50	12,30	27,60
RIM6	21,00 - 21,50	1,10	28,10
RIM8	29,50 - 30,00	1,10	27,10

Prova di compressione semplice non confinata

La prova di compressione semplice non confinata, detta anche prova di Espansione Laterale Libera (ELL), rappresenta un metodo semplice ed immediato per valutare la resistenza al taglio dei terreni coesivi. La prova consiste nel sottoporre ad una pressione verticale, dall'alto verso il basso, un campione indisturbato di terreno fino a rottura. Il provino non è lateralmente confinato e quindi può espandersi liberamente.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Coesione Cu (kPa)
OST2	4,50 - 5,00	47
OST7	25,50 - 26,00	78

Prova edometrica

La prova edometrica permette di identificare le caratteristiche di deformabilità del materiale sotto vari gradini di carico, permettendo di determinare i parametri di consolidazione e il coefficiente di permeabilità, nonché i parametri di compressibilità volumetrica. Inoltre, tale prova permette di determinare i moduli di deformazione, la pressione, il grado di preconsolidazione e i parametri di rigonfiamento del materiale.

Campione	Profondità (m da p.c.)	Pressione d (kPa)	Indice di compressione Cc	Modulo edometrico E (kPa)	Coefficiente consolidazione Cv (cm^2/sec)	Permeabilità k (cm/sec)
OST3	7,50 - 8,00	12,5 ÷ 25,0 25,0 ÷ 50,0 50,0 ÷ 100,0 100,0 ÷ 200,0 200,0 ÷ 400,0 400,0 ÷ 800,0 800,0 ÷ 1600,0	0,038 0,055 0,133 0,182 0,274 0,316 0,345	2096 2901 2397 3571 4598 8081 14815	- - - - - - - - - 9,60E-04 - - - - - - - - -	- - - - - - - - - 2,64E-08 - - - - - - - - -

OST4	10,50 - 11.00	12,5 ÷ 25,0	0,073	967	- - -	- - -
		25,0 ÷ 50,0	0,065	2284	- - -	- - -
		50,0 ÷ 100,0	0,129	2196	- - -	- - -
		100,0 ÷ 200,0	0,115	4912	1,60E-03	3,25E-08
		200,0 ÷ 400,0	0,156	7273	- - -	- - -
		400,0 ÷ 800,0	0,167	13559	- - -	- - -
		800,0 ÷ 1600,0	0,212	21333	- - -	- - -
		1600, ÷ 3200,0	0,258	35162	- - -	- - -

5.4 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE CONCLUSIVE

Sulla scorta dei risultati delle prove disponibili, per le varie unità stratigrafiche individuate, è stato possibile definire un range di massima delle caratteristiche geotecniche, in modo da dare una "visione" generale dei parametri che caratterizzano l'assetto stratigrafico.
La presente schematizzazione non deve essere intesa in senso assoluto, in quanto rimane importante la valutazione delle singole prove puntuali in relazione alla reale ubicazione delle opere in progetto.
Di seguito si riportano i principali parametri geotecnici correlabili tra prove in situ e prove di laboratorio per la suddivisione stratigrafica definita.

Strato	1	2	3a	3b	4	5	6
Profondità (m da p.c.)	0,0÷2,0/3,0	2,0/3,0÷4,0/4,5	4,0/4,5÷13,0	13,0÷17,5	17,5÷22,5	22,5÷28,4	28,4÷30,0
Litologia	Strato antropizzato argilloso limoso	Sabbia limosa debolmente argillosa	Argilla limosa	Argilla limosa	Sabbia debolmente argillosa	Argilla limosa sabbiosa	Sabbia debolmente limosa
Composizione granulometrica (%)	/	S = 80,9 L = 13,2 A = 5,9	S = 2,9÷10,1 L = 26,3÷31,1 A = 58,2÷70,8	S = 60,9 L = 36,1 A = 3,0	S = 95 L + A = 5	S = 3,3 L = 34,3 A = 62,4	S = 83,2 L = 10,3 A = 6,5
Peso di volume γ (kN/m3)	21,51	17,65÷19,1 [18,4]	18,2÷19,6	19,6÷20,1	20,50	19,00	20,00
Contenuto d'acqua w (%)	/	30,5	23,9÷37,6	22,1	23,9	24,3	26,9
Limite liquido WL (%)	/	/	46,7÷53,1	53,7	/	31,0	/
Indice di plasticità PI (%)	/	/	18,8÷21,1	31,5	/	17,6	/
Densità relativa (%)	/	33,7	/	/	/	/	/

Angolo di attrito φ (°)	27,60	27,60÷28,07	/	/	28,10	/	27,10
Coesione non drenata Cu (kPa)	427	/	47÷61	127÷128,67	/	78	/
Modulo edometrico (MPa)	18,213	4,95	3,57÷6,02	6,12	/	/	/

5.5 FALDA FREATICA

Nella programmazione territoriale massimo interesse assume la prima falda, normalmente indicata come “falda freatica”.

La conoscenza della profondità della prima falda, soprattutto nel massimo livello misurabile durante l’arco dell’anno, è necessaria per eseguire ogni tipo di programmazione sul territorio, sia per la zonizzazione agraria che per la difesa delle acque dell’inquinamento e soprattutto dell’analisi geotecnica per la penalizzazione delle aree edificabili.

Sulla base dei dati di cui alla pianificazione urbanistica, la falda freatica nell’abitato di Cento, è generalmente localizzata ad una profondità di 100-150 cm ed ubicata all’interno di acquifero a ridotta permeabilità, con escursioni piezometriche inferiori al metro, in genere comprese fra 50/80 cm, legate a normali fluttuazioni dovute a maggiori o minori apporti meteorici ed alla regimazione antropica attraverso la rete idrica superficiale consortile.

Al termine dell’esecuzione del sondaggio è stato installato nel foro di prova un piezometro del tipo a tubo aperto di diam. 2”. Le misure eseguite fra agosto e settembre indicano una soggiacenza variabile fra 1,94 e 2,78 m.

I dati di campo relativi alla prova penetrometrica CPTU2 riportano invece una profondità della falda, misurata all’interno del foro di prova, di 4,10 m da p.c., in sensibile contrasto con le indicazioni di pianificazione urbanistica e di monitoraggio piezometro.

Considerando che la misura diretta nel piezometro possa essere ritenuta la più affidabile e che comunque il periodo di misura è coinciso con la stagione estiva sovrapposta ad una fase climatica anomala particolarmente siccitosa, sia per la scarsità di precipitazioni che per l’elevato grado di temperature, si suggerisce di proseguire con il monitoraggio periodico della quota piezometrica, al fine di definire con maggior precisione sia la soggiacenza della tavola d’acqua che la sua escursione nel tempo, mentre per le valutazioni geologiche di cui alla presente relazione si considererà, in via cautelativa, una soggiacenza di 1,0 m da piano campagna.

6 MODELLAZIONE SISMICA

L’azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. Per fare ciò risulta indispensabile definire le caratteristiche geolitologiche e geotecniche dei sottosuoli di fondazione.

La pericolosità sismica è definita nel paragrafo 3.2 del Decreto 17 gennaio 2018 (Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni") in termini di "accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al paragrafo 3.2.2) nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se (T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR".
I dati di input necessari alla definizione degli spettri elastici e di progetto del sito in esame sono:

1. coordinate geografiche del sito
2. classe d'uso e periodo di riferimento
2. vita nominale della struttura
4. topografia

1. Coordinate geografiche (WGS84) riferite ad un punto centrale dell'area di progetto:

LATITUDINE: 44,72973 LONGITUDINE: 11,29348

2. La *vita nominale* di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONE	Valori Minimi di V_N (in anni)
Costruzioni temporanee e provvisorie	≤10
Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	≥ 50
Costruzioni con livelli di prestazioni elevate	≤ 100

3. Le strutture sono poi distinte in classi d'uso a seconda del tipo di affollamento che si prevede ci sarà all'interno della struttura oggetto di analisi.

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica

Per ciascun tipo di classe d'uso è associato un coefficiente d'uso Cu utile al calcolo del periodo di riferimento per l'azione sismica VR. Le azioni sismiche vengono difatti valutate in relazione ad un periodo di riferimento che si ricava, per ciascuna costruzione, moltiplicando la vita nominale per il coefficiente d'uso secondo la formula di seguito riportata:

$$VR=VN \times Cu$$

nella quale i valori di Cu sono riportati di seguito:

CLASSE D'USO.	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0.7	1	1.5	2

Nello specifico si osserva che, considerando vita nominale (VN) pari a 50 anni ed una classe d'uso II (coefficiente Cu pari a 1,0), *il periodo di riferimento (VR)* è dato da:

$$VR = 50 \text{ anni}$$

4. La nuova normativa prende inoltre in considerazione le *condizioni topografiche* sito specifiche, affermando la necessità di predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale nel caso di condizioni topografiche complesse, mentre per configurazioni superficiali semplici può essere adottata la seguente classificazione.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza di cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15°≤ i ≤30°
T4	Rilievi con larghezza di cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

6.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Il capitolo 3.2.2 del Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" attraverso l'approccio semplificato definisce le categorie di sottosuolo, in relazione ai valori della velocità sismica equivalente Vs,eq, (m/s) relativa alla propagazione delle onde di taglio. Nello specifico trattandosi di depositi con profondità del substrato H superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio, è definita dal parametro VS30, il quale prende in considerazione i primi 30 m di profondità (H=30) al di sotto del piano di posa delle fondazioni o testa dei pali.
Durante l'esecuzione delle indagini geologiche al fine di integrare la suddetta modellazione sismica, è stata eseguita una prospezione sismica superficiale tipo MASW (per i dettagli metodologici e tecnici si rimanda al Report di Tecnostudio in Allegato 1), che hanno permesso di determinare la Vs equivalente.
Il modello sismico del sottosuolo è stato definito sulla base della variazione con la profondità della velocità delle onde di taglio vs ricavata con la prova sismica MASW.

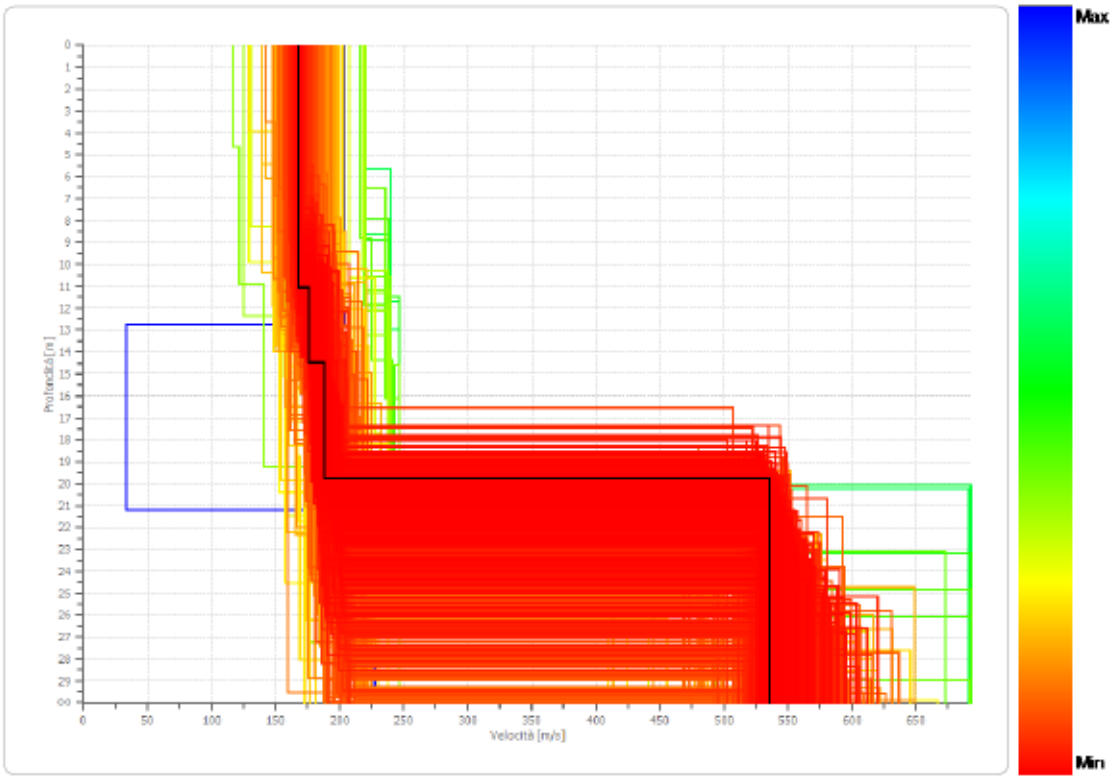


Figura 6.1: Profilo delle velocità

Dall'analisi del grafico e dai dati di prova è possibile ricostruire un modello sismico della zona esaminata, come di seguito riportato.

STRATO 1: prof. 0.00÷11,08 m Vs = 168,4 m/s
STRATO 2: prof. 11,08÷14,51 m Vs = 176,2 m/s
STRATO 3: prof. 14,51÷19,79 m Vs = 188,4 m/s
STRATO 4: prof. 19,79÷>>30 m Vs = 536,0 m/s

attraverso il quale è stata quindi determinata la velocità equivalente delle onde di taglio, definita dalla seguente espressione:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

in cui:
h_i è lo spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità
V_i è la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
N è il numero di strati di terreni compresi nei primi 30 m di profondità.

Dai calcoli si ottiene una velocità equivalente Vs,30 pari a **226,69 m/s**.

In riferimento alla tabella 3.2.2, il sito esaminato presenta un sottosuolo di tipo C ovvero: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con

spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

6.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA – RAPPORTO HVSR

Allo scopo di definire gli spettri e le relative frequenze del terreno, il potenziale periodo di risonanza e fornire informazioni circa la sequenza sismo-stratigrafica locale, al fine di definire il profilo verticale VS nelle porzioni più profonde, è stata effettuata una misurazione di microtremori (per i dettagli metodologici e tecnici si rimanda al Report di Tecnostudio in allegato 1).
La curva HVSR e gli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e verticale), riportate in Figura 6.2, sono state ottenute attraverso l'analisi delle registrazioni acquisite ad una frequenza di 300 Hz considerando dodici finestre di misura di 20 sec cadauna.

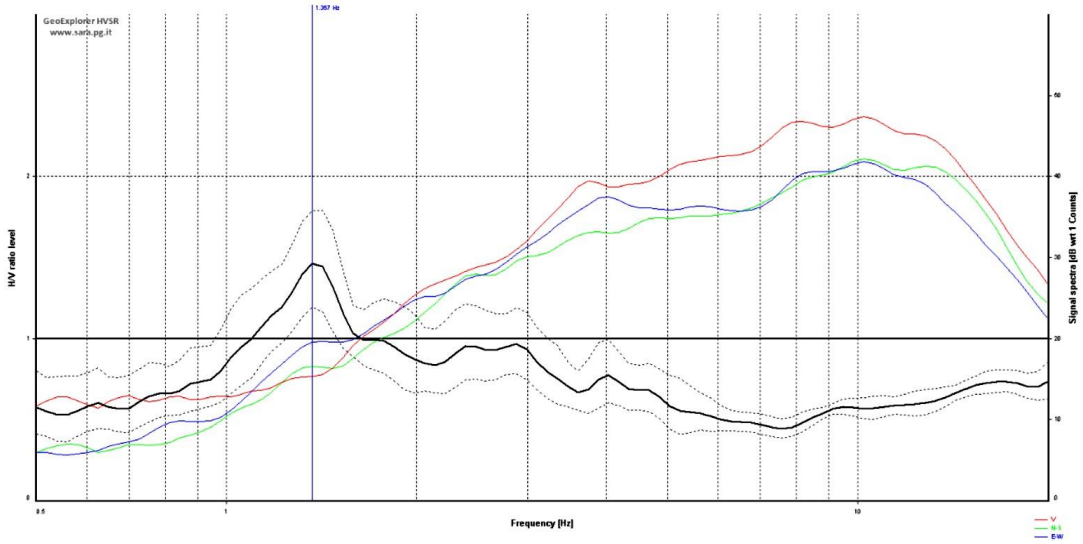


Figura 6.2: Rapporto spettrale H/V

Dall'analisi della curva ottenuta emerge come questa presenti un andamento abbastanza lineare, con assenza di picchi del rapporto H/V, almeno nel range di frequenze di interesse ingegneristico, a causa di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, caratteristica tipica di sottosuolo di area alluvionale fine con basamento sismico molto profondo.
In tale situazione il sottosuolo risulta tendenzialmente privo di una propria e determinata frequenza di oscillazione: la struttura sovrastante non subirà pertanto amplificazioni di oscillazione nel campo delle frequenze tipiche delle strutture.

6.3 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE E VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE MASSIMA DEL SITO

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.
La valutazione della pericolosità sismica locale è stata definita utilizzando la procedura indicata nel Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2018), in tal senso la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido (Vs>800 m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente".

La normativa stabilisce il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si valutano in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di categoria A (aag) e del corrispondente spettro di risposta elastico.
Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una certa probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR. Il periodo di riferimento VR viene determinato come prodotto della vita nominale della costruzione VN e del coefficiente d'uso CU. La vita nominale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il valore del coefficiente d'uso dipende dalla gravità delle perdite dovute al raggiungimento di un determinato stato limite e quindi riguarda "l'importanza" della struttura. La coppia PVR, VR che identifica l'accelerazione massima di riferimento per le azioni si può sintetizzare nel periodo di ritorno TR. Per definire lo spettro elastico in accelerazione oltre ad ag, sono necessari altri due parametri: Fo il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima ed ha un valore minimo pari a 2.2 (amplificazione spettrale) e Tc*, il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Considerando i seguenti valori: Vita nominale VN = 50 anni (Rif. Tab. 2.4. I – Decreto 17 gennaio 2018), Classe d'uso II (Rif. Paragrafo 2.4.II - Decreto 17 gennaio 2018) e Coefficiente d'uso CU pari a 1 (Rif. Tab. 2.4.III - Decreto 17 gennaio 2018) i periodi di riferimento VR risultano pari a 50 anni. L'area in oggetto è identificata dalle coordinate (ED 50):

Latitudine: 44,730664 [°] Longitudine: 11,294478 [°]

Le forme spettrali previste dalla normativa, definite dai parametri ag, Fo, e Tc* riferiti ai periodi di ritorno TR e Stato Limite Ultimo, calcolati con il programma "Geostru PS Pro", sono riportati nella tabella sottostante:

STATO LIMITE	TR [anni]	Ag [g]	FO [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,509	0,256
SLD	50	0,056	2,482	0,269
SLV	475	0,157	2,591	0,273
SLC	975	0,209	2,536	0,279

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} si ricava dal valore dell'accelerazione orizzontale massima del sito ag su suolo rigido con la seguente relazione:

$$a_{max} = ag \cdot SS \cdot ST$$

dove:

SS: coefficiente di amplificazione stratigrafica indicato nella Tab. 3.2.IV del Decreto 17 gennaio 2018, relativo a ciascuna classe di sottosuolo.
ST: coefficiente di amplificazione topografica riportato nella Tab. 3.2.V del Decreto 17 gennaio 2018.

Le accelerazioni orizzontali massime del sito riferite agli SLO, SLD SLV e SLC considerando un suolo tipo C (Ss= 1,38-1,46 [SLU] ÷ 1,50 [SLE]) ed essendo la morfologia dell'area pianeggiante (ST=1), risultano le seguenti:

STATO LIMITE		a_{max} [g]
Stati limite di esercizio	SLO	0,066
	SLD	0,084
Stati limite ultimi	SLV	0,229
	SLC	0,288

Di seguito si riportano i coefficienti sismici sito specifici:

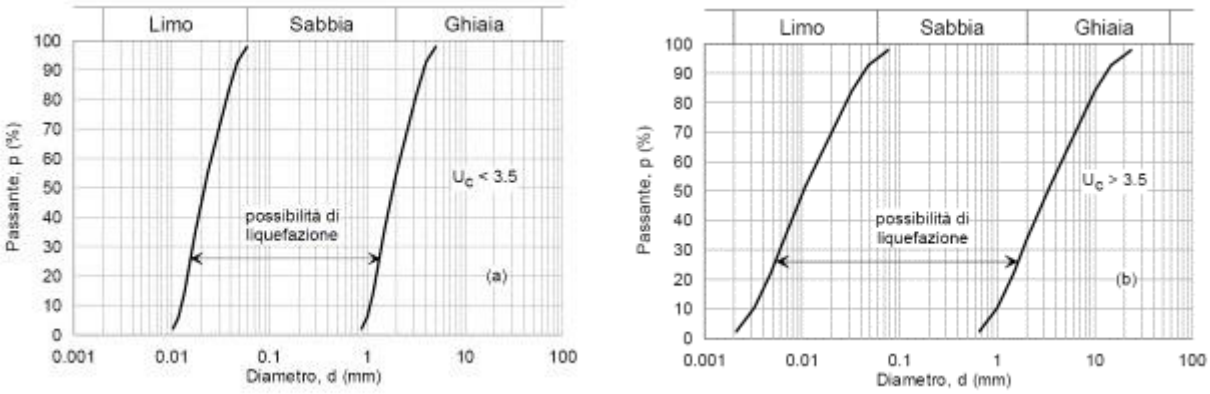
Stato limite	a_{max} [m/s^2]	Beta [-]	Kh [-]	Kv [sec]
SLO	0,641	0,200	0,013	0,007
SLD	0,822	0,200	0,017	0,008
SLV	2,245	0,240	0,055	0,027
SLC	2,833	0,280	0,081	0,040

6.4 VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Un altro importante aspetto della determinazione delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei suoli in esame, è lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei depositi presenti. Il termine liquefazione indica quei fenomeni di sollecitazione transitoria ma ripetuta che danno luogo alla perdita di resistenza al taglio o di accumulo di deformazioni plastiche in terreni incoerenti e saturi.
Il verificarsi di fenomeni di liquefazione non necessariamente produce una perdita di funzionalità o un collasso delle strutture interagenti con il terreno. Quando il fenomeno è innescato, riduzioni significative di capacità portante e cedimenti relativi sono in funzione dei diversi parametri sito specifici tra cui lo spessore e l'estensione areale dello strato liquefatto, lo spessore del materiale non soggetto a liquefazione che ricopre lo strato liquefatto, la pendenza del terreno e l'eventuale prossimità di una superficie libera.
Secondo la normativa italiana il sito presso il quale deve essere ubicato un manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.
Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii e/o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili a liquefazione.
La probabilità che nei terreni sabbiosi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni (Paragrafo 7.11.3.4.2 – Decreto 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"):

- ✓ Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- ✓ Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- ✓ Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60>30 oppure
- ✓ qc1N>180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa;

✓ distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla figura 6.3 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc<3.5 (sx) e di terreni con coefficiente di uniformità Uc>3.5 (dx).



✓ ***Figura 6.3: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione***

La normativa impone che quando nessuna delle precedenti condizioni risulta soddisfatta si debba procedere alla verifica mediante i metodi generalmente accettati dalla Ingegneria Geotecnica.
Sulla base delle indagini eseguite nell'area di intervento è stata elaborata l'analisi di rischio liquefazione con profondità critica pari a 14.38 metri (Zcrit), corrispondente alla massima profondità raggiunta con la prova penetrometrica, attraverso i metodi semplificati proposti da Idriss e Boulanger (2014), quest'ultimo raccomandato anche dalla Del. Reg. 2193/2015 e recente D.G.R. 476 del 12/04/21 (Regione Emilia-Romagna).
Il calcolo del coefficiente di sicurezza Fs e l'Indice di potenziale liquefazione sono stati determinati mediante calcolo automatico attraverso il software "Liquiter" sviluppato da Geostru, l'analisi è stata eseguita, sulla classificazione litologica elaborata attraverso le correlazioni di P.K. Robertson (1990).
Nel calcolo del Fs a liquefazione sono state considerate le seguenti condizioni di input:

- Utilizzo di suolo tipo C, sulla base di prospezione MASW, con valore della Vs30 = 226,69 m/s;
- Morfologia T1: superficie pianeggiante
- Coefficiente amplificazione topografica (ST): 1
- Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS): 1,5
- Si è utilizzata un'accelerazione sismica massima pari a 0,2352, data dal prodotto del valore 0,1568 (cap. 4), definita per il sito in esame, per il valore del fattore di amplificazione S.S. di 1,5
- Sulla base del contesto idrogeologico locale, pur avendo dati discordanti derivanti dalle prove eseguite, in via cautelativa e comunque più realistico, è stato considerato il dato derivante dalla pianificazione territoriale, ovvero una soggiacenza della falda di 1,0 m
- Sulla base della pericolosità sismica di base ZS9, viene posta come magnitudo attesa massima il valore 6,14. Nei tempi storici erano stati stimati eventi con magnitudo di 5,6. Durante gli eventi del maggio 2012 si sono liberate energie sismiche sulla dorsale ferrarese con magnitudo di 5,9 (che è stato stimato da Picotti, 2013, come evento con TR di 1000 anni). Conservativamente lo scrivente adotterà per le analisi della liquefazione la magnitudo di 6,14. Il coefficiente correttivo MSF utilizzato è quello di riferimento per i metodi di calcolo utilizzati pari a 1,1 per il metodo di Boulanger e Idriss 2014

Il **coefficiente di sicurezza Fs**, indica con Fs < 1,0 la possibilità che avvenga liquefazione, Fs compreso fra 1,0 e 1,2 una ridotta possibilità che avvenga liquefazione, mentre Fs > 1,0 esclude la

possibilità di fenomeni di liquefazione. Nel dettaglio il valore del coefficiente di sicurezza (Fs) è stato stimato in ogni verticale di prova per strati minimi di 20 cm.
In Allegato 3 si riporta il calcolo del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione per ogni intervallo individuato come potenzialmente liquefacibile: da letteratura si considera come livello potenzialmente liquefacibile uno strato di spessore almeno superiore al metro, mentre nello specifico caso, in via cautelativa, il calcolo è stato eseguito per strati continui con spessore di almeno 20 cm. Sulla verticale di indagine, considerando in via estremamente cautelativa tutti i valori, anche quindi quelli riferiti ad orizzonti stratigrafici superiori a 20 cm di spessore, si è quindi proceduto con la valutazione dell'indice del potenziale di liquefazione IL di seguito definito.

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

in cui:
z è la profondità dal p.c.
w(z) = 200/zcrit x (1 – z/zcrit)
F(z) = 0 per FL≥1,2 F(z) = 2·106·exp(-18.427·FL) per 1,2>FL≥0,95 F(z) = 1 – FL per FL≤0,95

In base al valore risultante di IL si può stimare il potenziale di liquefazione e conseguentemente le seguenti classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

0 < IL ≤ 2	Potenziale basso
2 < IL ≤ 5	Potenziale moderato
5 < IL ≤ 15	Potenziale alto
15 < IL	Potenziale molto alto

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati per la verticale di prova CPTU2.

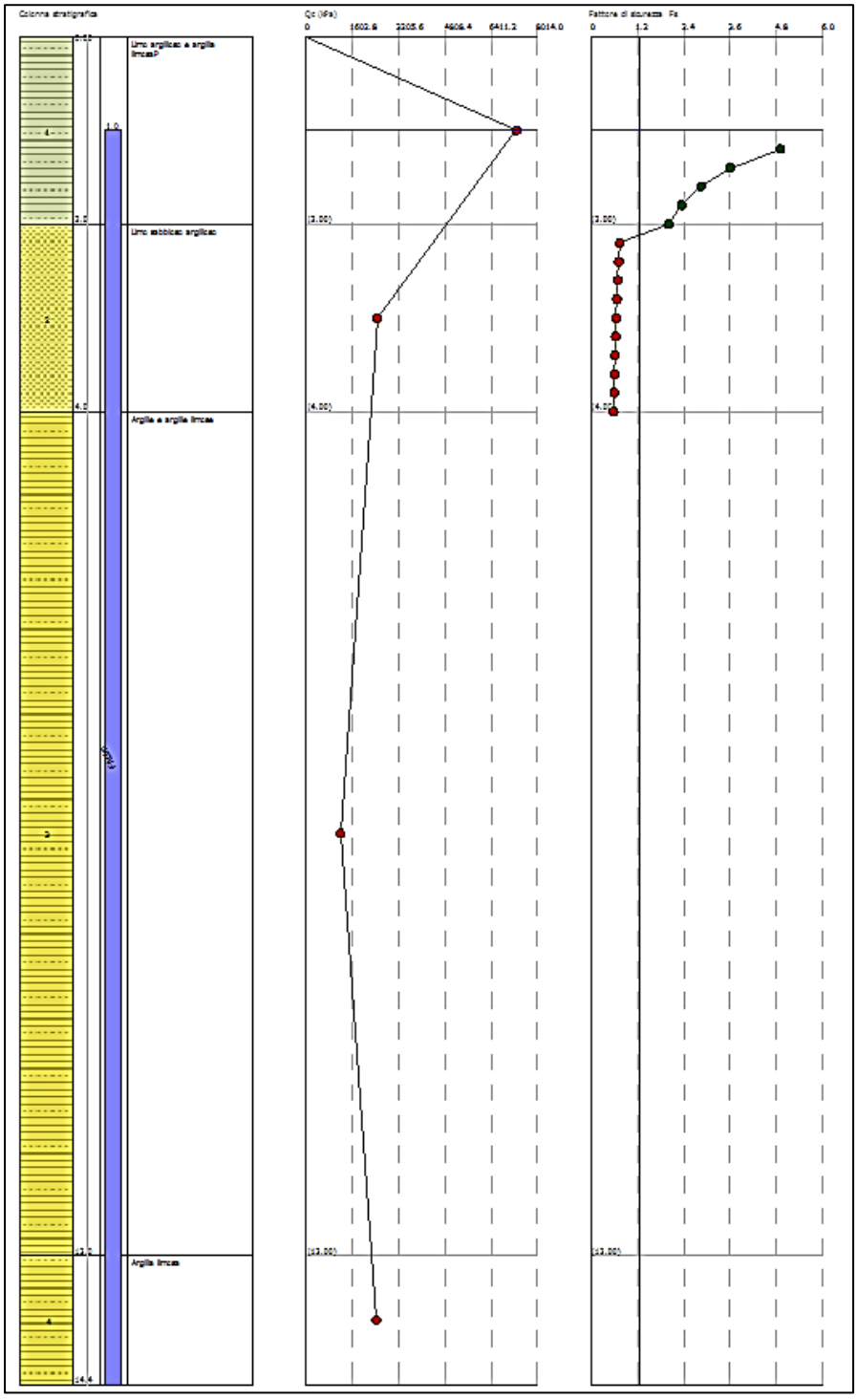


Figura 6.4: Metodo semplificato secondo Boulanger e Idriss (2014)

Il grafico riportato sopra a destra mostra l'andamento del Fattore di Sicurezza (Fs) lungo la verticale di indagine, tale modellazione è stata implementata attraverso il metodo di Robertson (2009). L'analisi dei risultati mette in evidenza come le criticità principali siano localizzate tra 2,20÷4,00 m circa con valori di molto inferiori allo zero, compresi fra 0,589 e 0,746.

L'indice del Potenziale di Liquefazione (IL) è pari a: 5,83, pertanto il rischio che avvenga liquefazione secondo il metodo di Sonmez (2003) è da considerarsi **alto**.

Nel contesto dell'intervento di progetto, è prevista la realizzazione di una vasca interrata che si attesta ad una quota di posa variabile da 5,15 a 6,95 m rispetto il piano stradale: in tale prospettiva è evidente che lo strato risultato potenzialmente liquefacibile, ovvero quello compreso fra 2,20 e 4, 0 m da p.c., verrà completamente rimosso e sostituito dall'opera stessa, per cui andrà a decadere il correlato rischio liquefazione.

Dal punto di vista granulometrico potrebbe essere potenzialmente liquefacibile anche la litozona 4, individuata solo con il sondaggio alla profondità compresa fra 17,5 m e 22,5 m da p.c. e purtroppo non indagata puntualmente con la prova penetrometrica per raggiunti limiti operativi del penetrometro. È comunque importante valutare le conseguenze dell'eventuale liquefazione di questa litozona, tenendo presente che:

- lo strato liquefacibile deve avere spessore maggior di 3 metri, oppure due contorni impermeabili;
- la liquefazione degli strati più profondi può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione, è inferiore ai 3 metri.

Osservando il modello geotecnico e i diagrammi elaborati della prova effettuata e riportati negli allegati, si evidenzia come la litozona 4, anche nel caso risultasse potenzialmente liquefacibile, risulta "confinata" superiormente da un livello non soggetto a liquefazione dello spessore di ben 13 metri, che contribuisce ad inibire il fenomeno della liquefazione che potrebbe avere ripercussioni su sistemi fondazionali superficiali.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio condotto ha permesso di definire la tipologia ed il comportamento del sottosuolo presente nell'area di studio, sulla base dei dati e delle elaborazioni relativa alla campagna di indagine eseguita da Tecnostudio Srl.
Di seguito i punti salienti emersi:

- *Successione stratigrafica*
  Il sottosuolo naturale indagato è caratterizzato dalla presenza prevalente di terreni coesivi limo- argillosi, tipici dei depositi di piana alluvionale.
  Oltre il livello superficiale dei primi 2,0/3,0 m di suolo, identificabile come strato antropizzato per la presenza di inclusi antropici, lo spessore indagato presenta due livelli granulari significati, uno più superficiale, "litozona 2", in realtà a composizione ternaria sabbiosa-limosa-argillosa, ed uno più profondo, "litozona 4" sabbioso limoso, attribuibile a deposito di facies canale fluviale. Un terzo livello, meno significativo, è stato rinvenuto nella parte finale del sondaggio geognostico, oltre i 28,5 m di profondità.
  La caratterizzazione geologica e geotecnica della sequenza stratigrafica sito specifica, è stata eseguita sulla base di una prova penetrometrica statica tipo CPTU e di un sondaggio geognostico con prelievo di campioni e prove di laboratorio, per la cui rappresentazione e schematizzazione si rimanda al dettaglio riportato nel cap. 5.

- *Falda Freatica*

Sulla base dei dati di inquadramento urbanistico, la falda freatica risulta localizzata entro il primo metro e mezzo di profondità, con escursioni piezometriche generalmente modeste.
Sulla base dei dati di campo, la falda è risultata invece posizionata a 4,1 m, da prova CPTU2, e a 1,94-2,78 m, da misure piezometriche in S1.
La significativa differenza rispetto i dati di pianificazione territoriale, non si esclude possa essere dovuta al particolare contesto stagionale e soprattutto climatico del periodo di studio, caratterizzato da una importante anomalia con più mesi praticamente siccitosi sia per la scarsità di precipitazioni che per l'elevato grado di temperature, che può aver dato luogo a condizioni piezometriche anomale anche rispetto la storicità dei dati utilizzati in pianificazione territoriale. A tal proposito si consiglia di proseguire con il monitoraggio periodico della falda attraverso il piezometro installato nel sondaggio S1, al fine di verificare le effettive escursioni e/o eventuale ripresa della quota idrostatica considerabile normale.
A fronte di tali considerazioni, in via cautelativa, per le valutazioni geologiche di cui alla presente relazione è stata comunque considerata una soggiacenza di 1,0 m da piano campagna.

- *Classificazione sismica*

Per la natura dei terreni individuata, la collocazione geografica del sito ed a seguito dell'elaborazione delle indagini effettuate i principali parametri sismici risultano i seguenti:

- Zona: 3 (da OPCM 3519/06 e DGR Emilia-Romagna N. 1164 del 23/07/2018);
- Accelerazione massima orizzontale (bedrock) pari a 0,1568 (CU II, SLV NTC 2018 e valutazioni sito specifiche);
- Accelerazione massima al suolo amax riferita allo S.L.V. per un periodo di ritorno TR di 475 anni (CU II) è pari a 0,23 (g);
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica S.S impiegato pari a 1,5 (SLV NTC 2018 e valutazioni sito specifiche);
- Categoria suolo tipo C con Vs30 pari a 226,69 m/s

- *Effetti di sito*

Sulla base delle risultanze emerse dalle simulazioni, e dal contesto stratigrafico che caratterizza l'area oggetto di indagine, è stata eseguita la verifica a liquefazione, ai sensi della più recente DGR 476/2021. Le determinazioni effettuate hanno evidenziato, per la verticale di prova CPTU2, un rischio di liquefazione alto a fronte di un potenziale di liquefazione definito dal valore di IL = 5,83, a carico esclusivamente della litozona 2 superficiale.
In considerazione però della tipologia di intervento, che prevede l'asportazione dei primi, almeno, 5 metri di terreno per la realizzazione dell'opera, compreso quindi l'intero spessore critico, si può considerare l'intervento stesso come mitigatorio andando di fatto a rimuovere la problematica del rischio liquefazione a carico di suddetta litozona.
Per quanto riguarda invece la" litozona 4", avente caratteristiche granulometriche rientranti nei fusi liquefacibili, non è stato possibile eseguire verifiche puntuali per mancanza di dati geotecnici specifici. In ogni caso, considerando la profondità di detta litozona, si evidenzia come la presenza superiormente di un banco di circa 13 metri di potenza di terreni coesivi non soggetti al fenomeno della liquefazione, contribuisca significativamente ad inibire il fenomeno della potenziale liquefazione che potrebbe avere ripercussioni su sistemi fondazionali superficiali.

Infine, in considerazione della non diretta coincidenza fra area esecuzione prove ed area di intervento, si ricorda in ogni caso la necessità, in corso d'opera, di verificare la conformità tra la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica desunta da questo documento tecnico e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il progetto esecutivo.

dott. geol. Sefano Malaguti

ALLEGATO 1. TECNOSTUDIO SRL - REPORT TECNICO PROVE ESEGUITE

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

HERATECH SRL

CENTO (FE)

Report indagine geognostica

REVISIONE N° 00 DATA DI EMISSIONE: 26/08/2022

REDATTA DA: dott. A. Freddo geologo

APPROVATA DA: dott. E. Fornasiero ingegnere
Direttore Tecnico

HERATECH SRL

CENTO (FE)

REPORT INDAGINE GEOGNOSTICA

INDICE

1. INTRODUZIONE

2. INDAGINE GEOGNOSTICA
   2.1 Sondaggi a carotaggio continuo
   2.2 Prove SPT
   2.3 Prelievo dei campioni per indagini geotecniche
   2.4 Posa piezometro
   2.5 Prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono CPTU

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA
   3.1 Prospezione sismica ai microtremori HVSR
   3.2 Prospezione sismica a rifrazione MASW

4. ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

TAVOLE TECNICHE

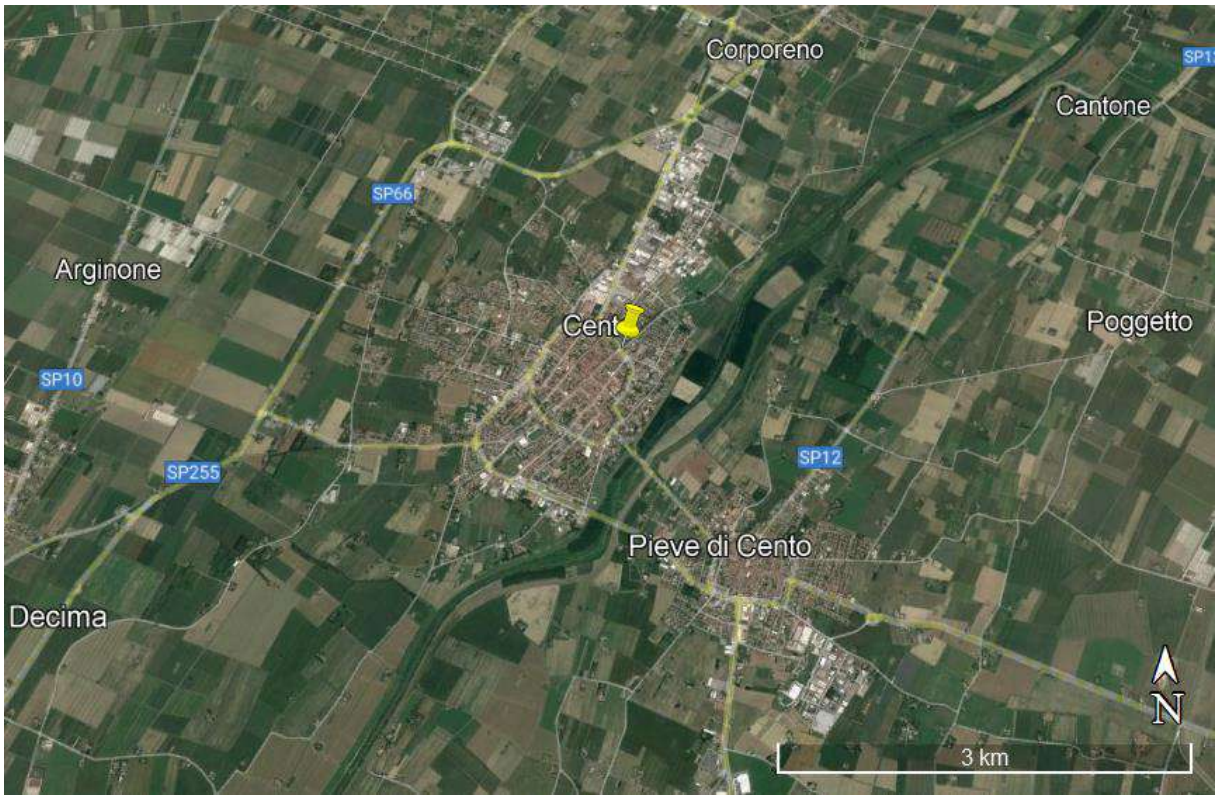
N° 1 FOGLIO PLANIMETRICO
N° 1 FOGLIO STRATIGRAFICO
N° 6 FOTOGRAFIE DELLE CASSETTE CATALOGATRICI

ALLEGATO

CERTIFICATI DI LABORATORIO TERRE

1. INTRODUZIONE

Su incarico di HERATECH SRL, nella presente relazione si riportano i risultati ottenuti dall'indagine geognostica eseguita in Comune di Cento (FE) in località Piazzale Bonzaghi in corrispondenza dei terreni sui quali è previsto il progetto della vasca di raccolta acque meteoriche.



Vista aerea del sito (Google Earth)

Finalità dell'indagine è l'individuazione delle caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche del sottosuolo, a tale scopo sono state eseguite:

- N° 1 sondaggio a carotaggio continuo con posa di piezometro;
- N° 2 prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono CPTU;
- N° 1 indagine sismica HVSR (microtremori);
- N° 1 Prospezione sismica a rifrazione MASW;
- Prove di laboratorio geotecnico.

2. INDAGINE GEOGNOSTICA

L’ubicazione delle prove, come riportato nella planimetria allegata, è stata scelta in accordo con la committente e compatibilmente alle effettive possibilità di accesso ai punti d’indagine.

In corrispondenza del punto individuato dalla committente per la prova penetrometrica statica elettrica con piezocono CPTU è stato riscontrato un substrato rigido probabilmente dovuto alla presenza di un canale tombinato alla profondità di circa 2,5 m dal piano campagna. Dopo due tentativi di eseguire la prova, in accordo con la committente, è stato programmata una seconda indagine nel punto indicato in planimetria con CPTU2

2.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio è stato eseguito in conformità alle norme ANISIG e sotto il diretto controllo in cantiere di tecnici e responsabili della scrivente ditta.
I risultati, nel dettaglio, sono riportati nelle tavole tecniche allegate. Nel foglio stratigrafico la rappresentazione grafica del terreno è stata eseguita con le simbologie comunemente in uso e secondo le raccomandazioni dell'ANISIG e, su apposite colonne, tipo, numero di campioni prelevati e prove eseguite in foro.
Il terreno, prelevato senza soluzione di continuità, è stato accuratamente analizzato, catalogato, fotografato e riposto in apposite cassette catalogatrici per la sua conservazione.

2.2 Prove S.P.T.

Le prove S.P.T. sono state eseguite in avanzamento alla profondità richiesta dalla committente.
La prova S.P.T. consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso dal fondo di un foro di sondaggio.
La resistenza è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno. La prova consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63,5 kg, da un’altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore di dimensioni standardizzate.

Il numero di colpi (N_{SPT}) necessario per una penetrazione del campionatore pari a 300 mm, è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione.
La prova è stata eseguita nel rispetto degli standard ASTM (D.1586-67 riapprovati nel 1974).

2.3 Prelievo dei campioni per indagini geotecniche

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati campioni di terreno alla profondità richiesta dalla committente.
I campioni rimaneggiati sono stati prelevati direttamente con campionatore semplice e riposti immediatamente in sacchetti in polietilene sigillati ermeticamente e contrassegnati.
I campioni indisturbati sono stati prelevati dal sottosuolo con l'utilizzo di campionatore a pressione Osterberg e fustella metallica. Una volta prelevato, il campione è stato sigillato ermeticamente con paraffina e tappi di testa e di fondo, dopodiché è stato contrassegnato con indicazione di località del prelievo, numero di sondaggi e profondità.
I campioni prelevati sono stati consegnati al laboratorio terre della scrivente per l'esecuzione delle prove geotecniche richieste.

2.4 Posa piezometro

I fori di sondaggio indicati dalla committente sono stati attrezzati a piezometro a tubo aperto. Nella stratigrafia allegata alle tavole tecniche è indicato il diametro del tubo in PVC che costituisce il piezometro, l'estensione del tratto cementato, del tratto cieco e del tratto microfessurato oltre alla soluzione scelta per la protezione testa tubo.

2.5 Prova penetrometrica statica elettrica con piezocono CPTU

La prova penetrometrica statica CPTU (di tipo elettrico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante di 2 cm/sec.
Secondo la Norma ASTM D-3441 La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (penetrometro) opportunamente ancorato al suolo. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di celle di carico e trasferito elettronicamente alla centralina di acquisizione.

La punta conica è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale, tra punta e manicotto viene inserito un setto poroso per la misura delle pressioni neutrali.

I dati rilevati della prova sono una terna di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta), LT (Lettura della punta + manicotto) e U (pressione neutra). Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta RP) e **Ql** (Resistenza laterale RL) vengono desunte sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale.

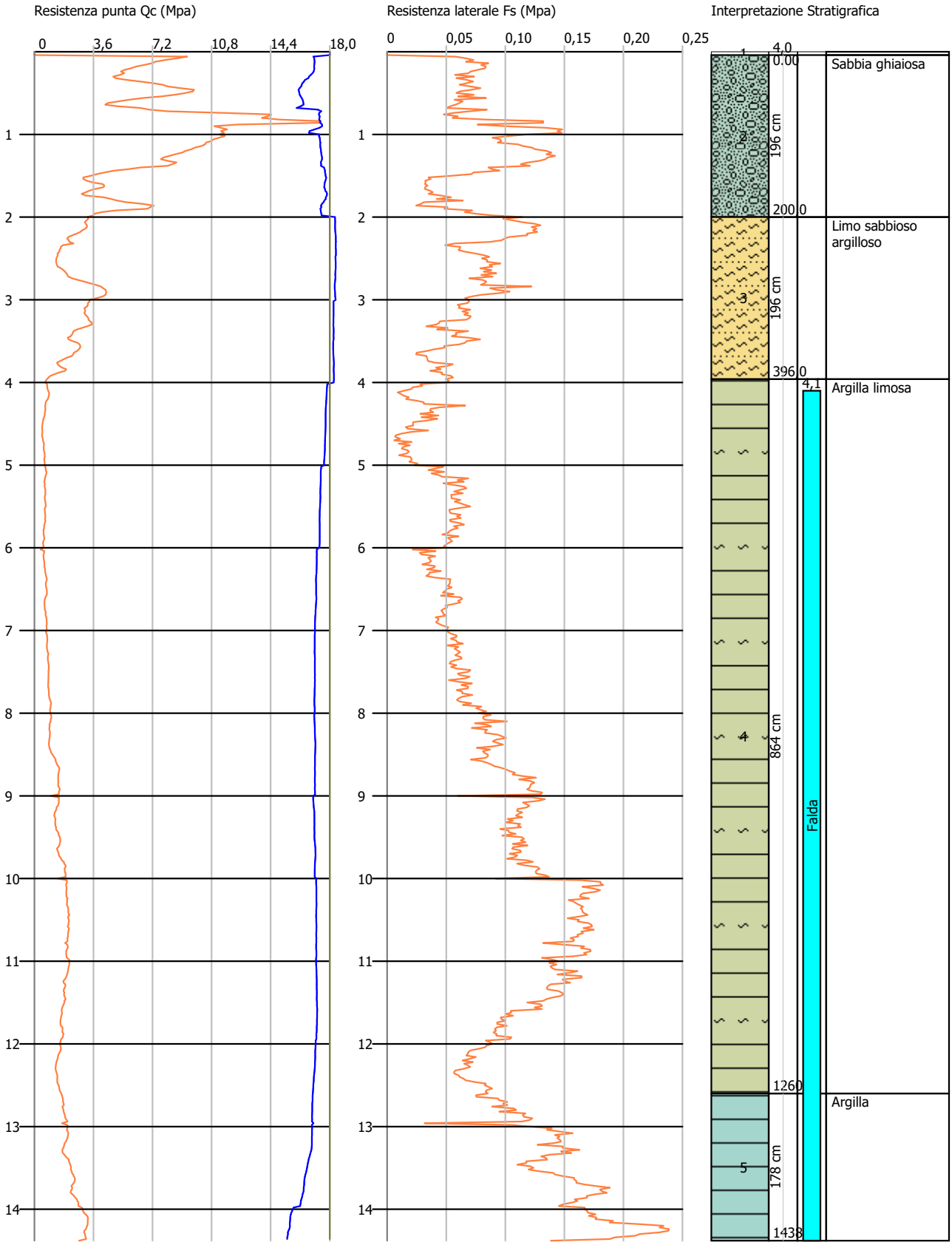
La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati per la caratterizzazione stratigrafica. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria
Via Rovigo. 61
35042 Este (PD)
www.tecnostudio.pd.it

Probe CPTU - Piezocone CPTU2
Strumento utilizzato TECNO PENTA TP CPL2IN

Committente: Heratech S.r.l.
Cantiere:
Località: Cento (FE)

Data: 27/07/2022

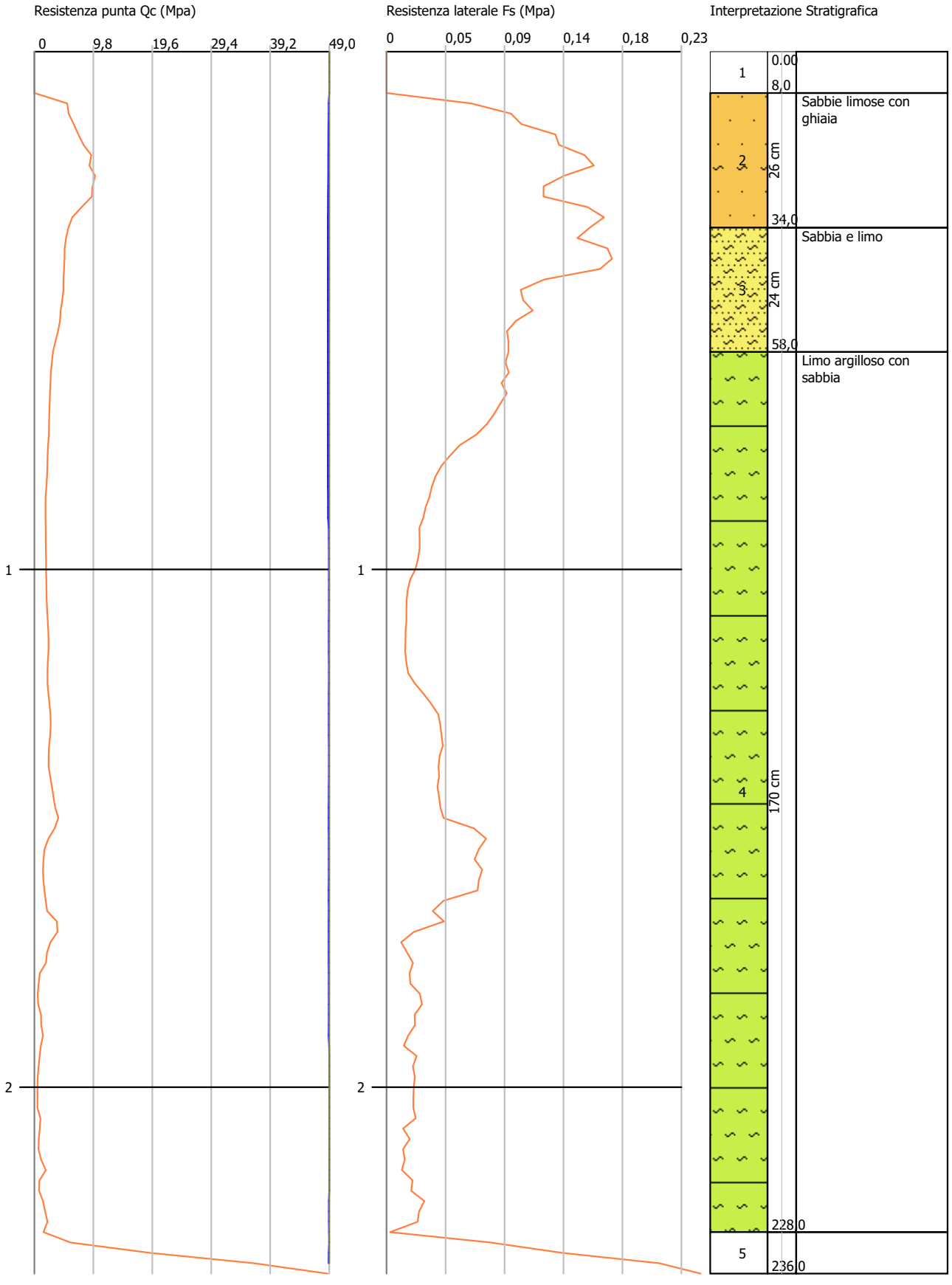


TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria
Via Rovigo. 61
35042 Este (PD)
www.tecnostudio.pd.it

Probe CPTU - Piezocone CPTU1
Strumento utilizzato TECNO PENTA TP CPL2IN

Committente: Heratech S.r.l.
Cantiere:
Località: Cento (FE)

Data: 28/06/2022



TecnoStudio S.r.l. società di ingegneria
Via Rovigo. 61
35042 Este (PD)
www.tecnostudio.pd.i

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: HERATECH S.R.L.
Descrizione:
Localita': CENTO (FE)

28-06-2022

Scala 1:13

3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

3.1 Prospezione sismica ai microtremori HVSR

Tramite la tecnica HVSR si può valutare i la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono;

1. una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
2. assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
3. le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Nella prima fase in campagna si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

In fase di elaborazione si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali pari almeno a 20 secondi. Queste finestre vengono poi filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia e lo spettro nella direzione verticale Z. Si ricava quindi il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

MISURAZIONI

Dati generali:

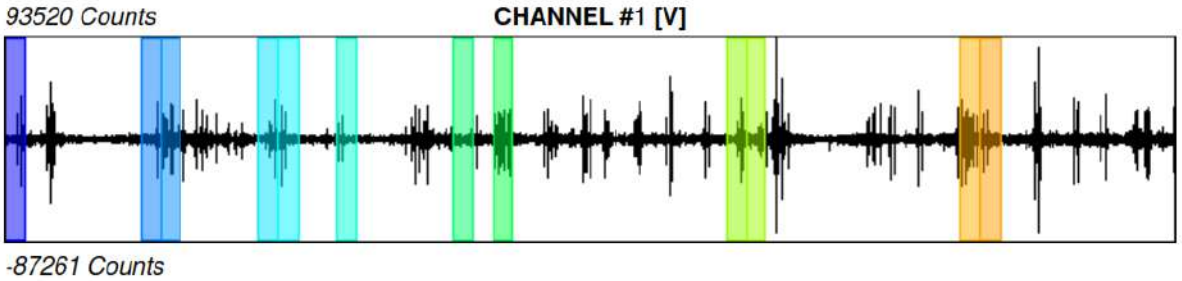
Cantiere:	Cento (FE)
Data:	28/06/2022
Orientamento:	Asse Y verso Nord magnetico
Condizioni climatiche:	Sereno – vento assente

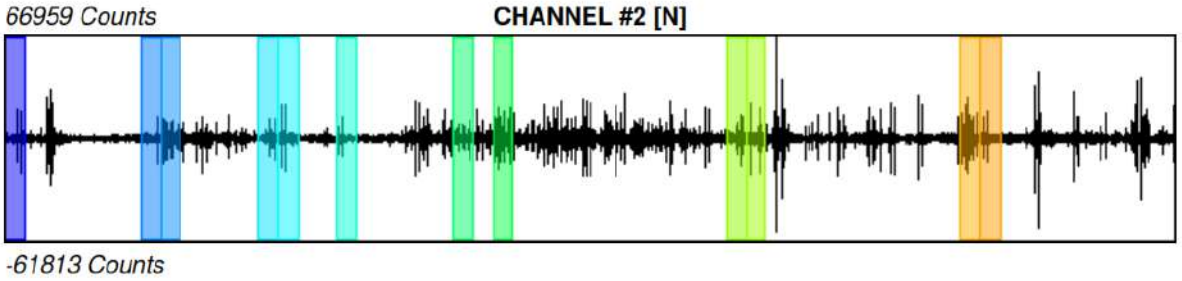
Tracce in input:

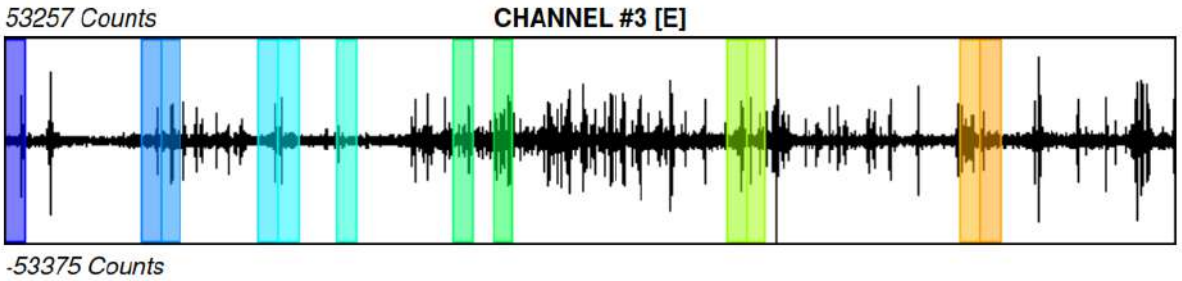
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	20 min
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Grafici tracce e finestre selezionate:





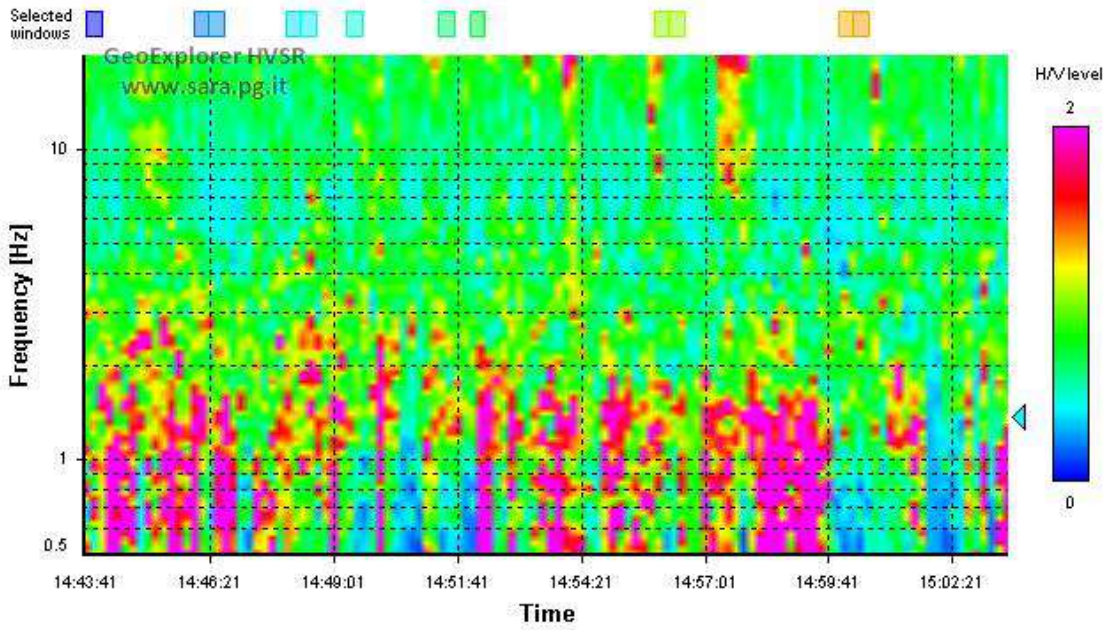


Finestre selezionate

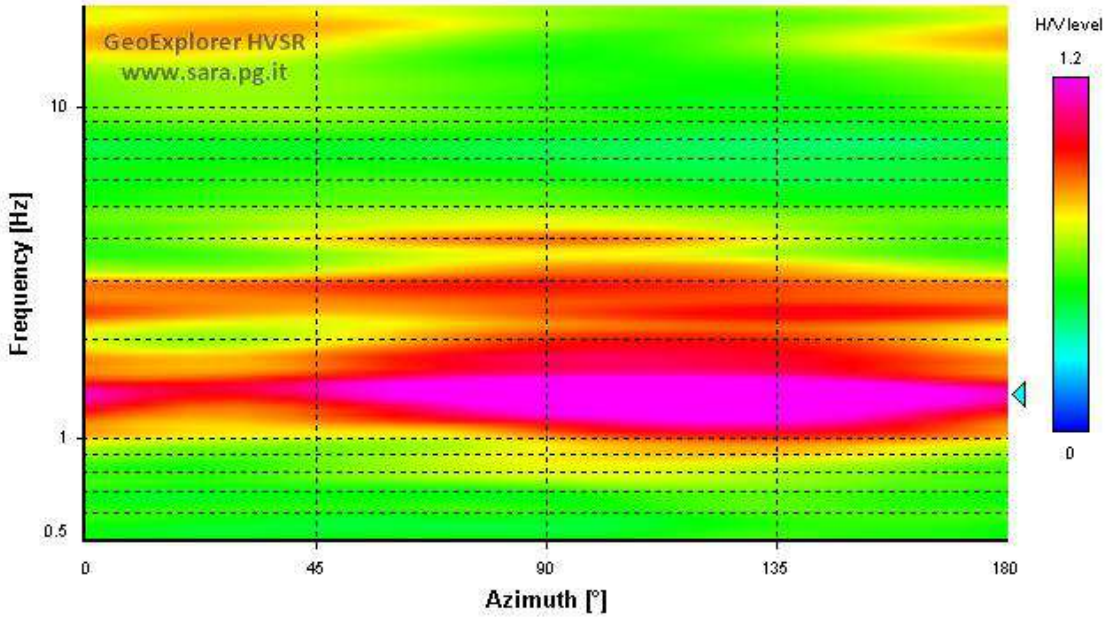
Dati riepilogativi:

Numero finestre incluse nel calcolo:	12
Dimensione temporale finestre:	20.000 s
Tipo di lisciamento:	Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)
Percentuale di lisciamento:	-- %

Grafici degli spettri:



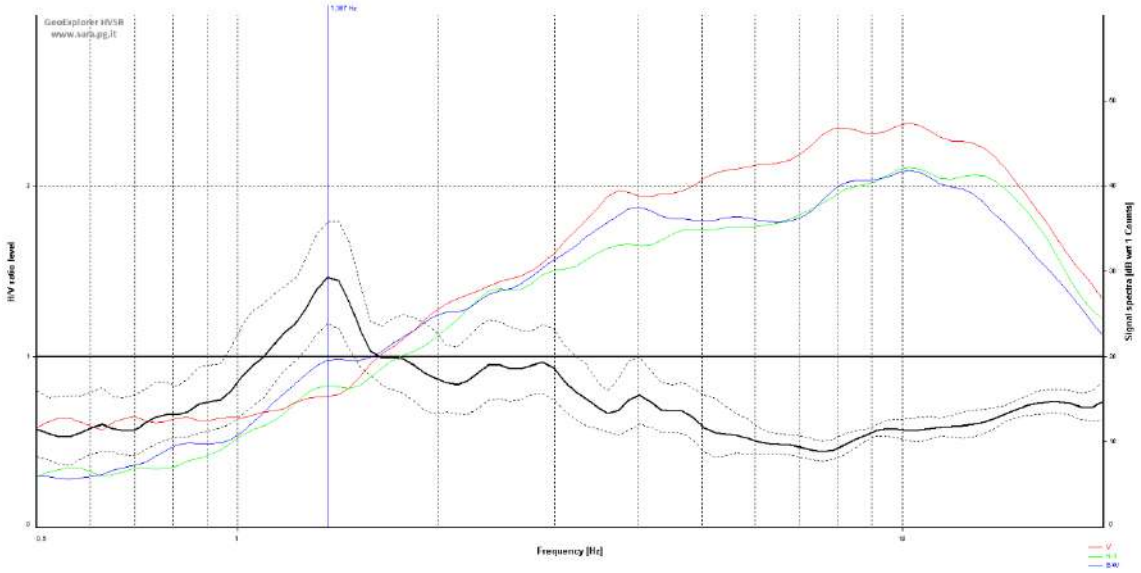
Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Frequenza del picco del rapporto H/V: Assente



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia – Spettri medi nelle tre direzioni

Verifiche SESAME:

HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	12 valid windows (length > 7.31 s) out of 12	OK
$n_c(f_0) > 200$	328.18 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 37	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists\ f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	0.87439 Hz	OK
$\exists\ f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	3.47101 Hz	OK
$A_0 > 2$	1.46 <= 2	NO
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.18139 >= 0.13674	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.22466 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		NO

Di seguito si hanno i vari parametri precedentemente usati nelle verifiche:

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

$\sigma_{logH/V}(f)$ deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$ valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Analisi dei risultati

Dall'analisi delle curve H/V si evidenziano le seguenti conclusioni:

non si ha nessun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico: 0,5-20 Hz a causa di una evidente assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. Risultati di tale tipo sono caratteristici di misure effettuate su due tipologie di sottosuolo:

- roccia affiorante
- zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo.

Nel caso in analisi si è senza dubbio nella seconda tipologia di sottosuolo avendo quindi una curva H/V piatta nel campo di frequenze di interesse ingegneristico.

In tale caso, essendo la curva H/V piatta, si può concludere che il sottosuolo non tende ad avere una ben determinata frequenza propria di oscillazione. Pertanto la struttura sovrastante non subirà amplificazioni di oscillazione nel campo delle frequenze tipiche delle strutture (1-10Hz in base alla tipologia di struttura).

In tale tipologia di terreno non è risultato dunque possibile stimare tramite la prova HVSR la stratigrafia del sottosuolo e la $V_{s,eq}$.

Dati riepilogativi:

Frequenza fondamentale di sito f_0 :	Non presente
Valore $V_{s,30}$:	Non rilevabile
Stratigrafia:	Non rilevabile

3.2 Prospezione sismica a rifrazione MASW

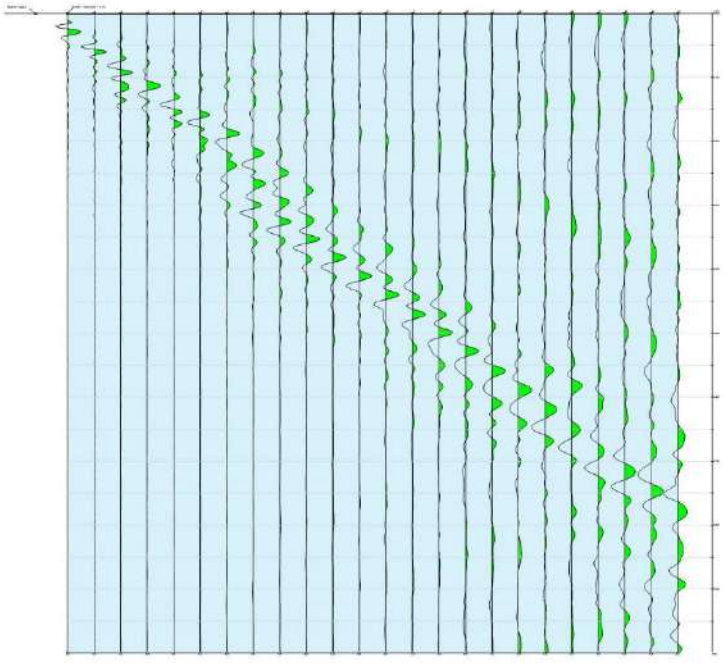
La prova MASW permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.
Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo":

1) Nel "metodo attivo" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "metodo passivo" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori").

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 30 m di profondità), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato, come sistema di energizzazione, una mazza di 15 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking).



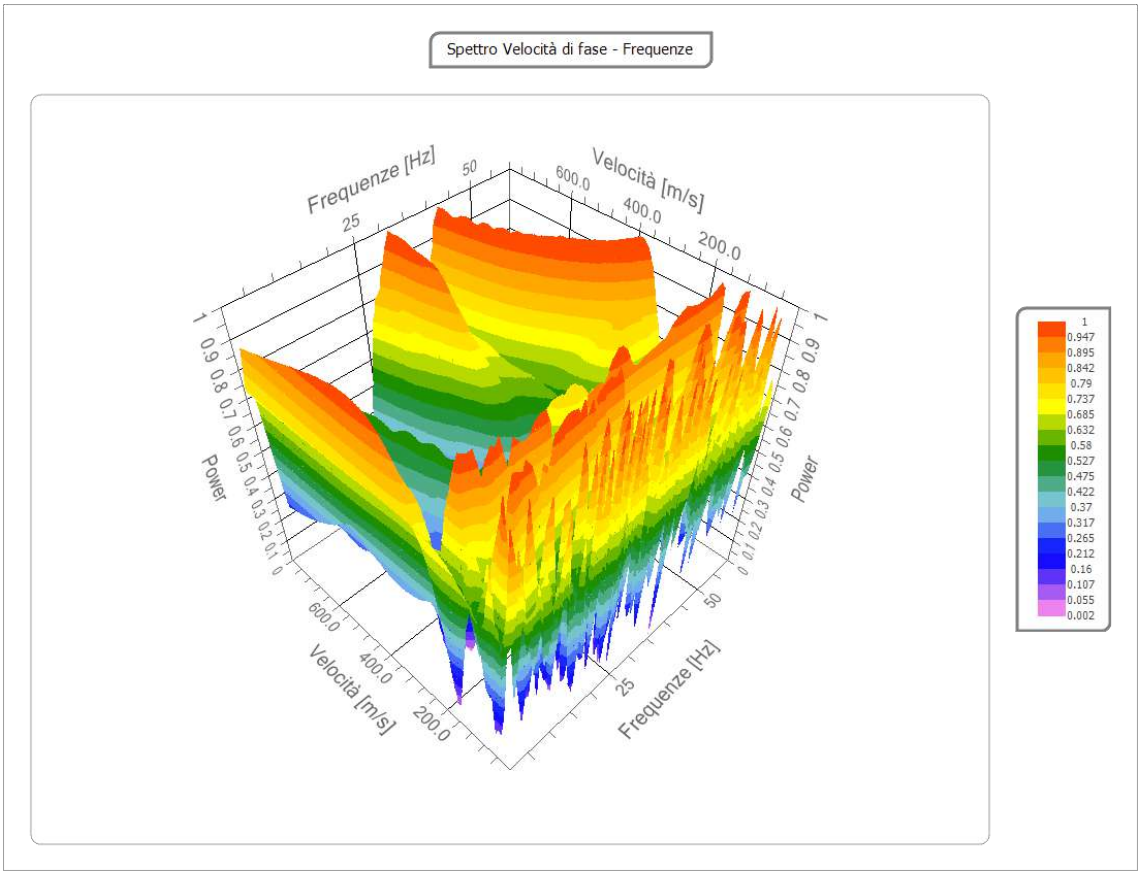
Schema dello stendimento MASW

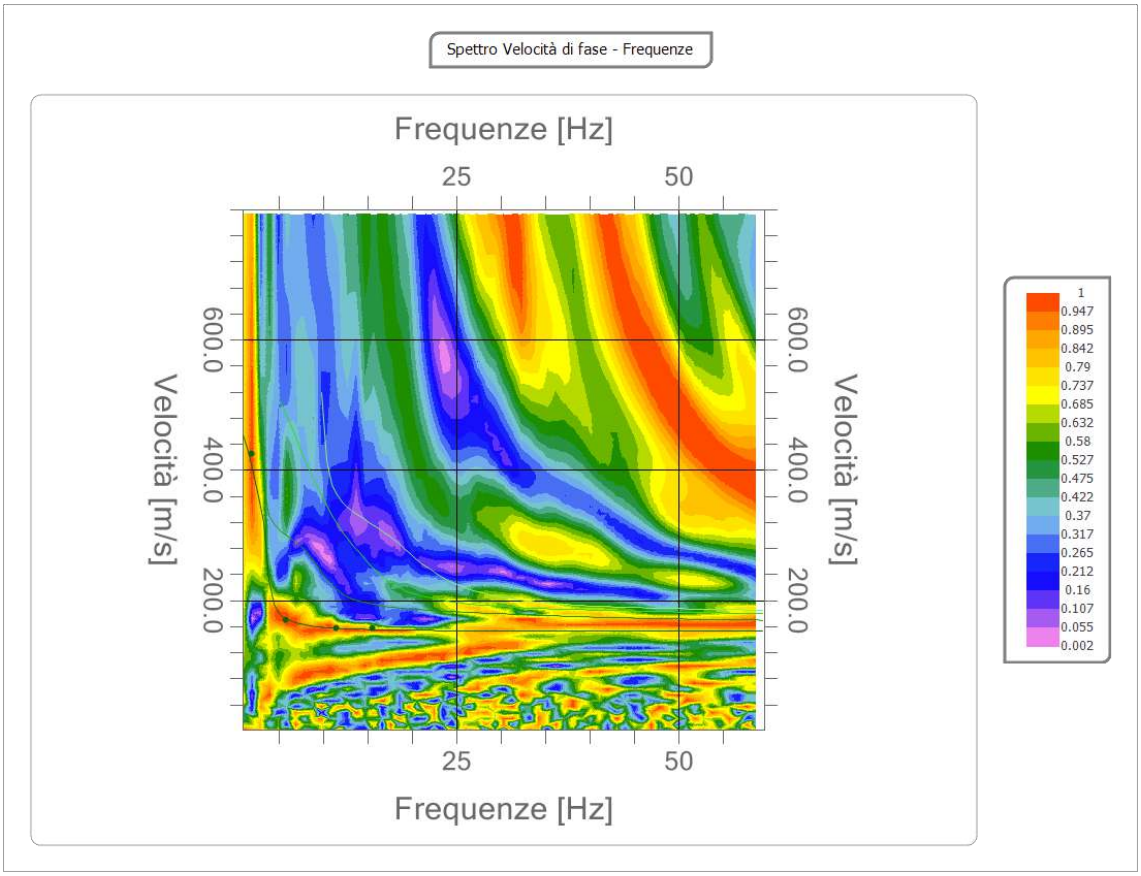
TRACCE Dati di base

N° tracce	24
Durata di acquisizione	1000 msec
Interdistanza geofoni	5.00 m
Periodo di campionamento	2.00 msec

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione	1 Hz
Frequenza massima di elaborazione	60 Hz
Velocità minima di elaborazione	1 m/sec
Velocità massima di elaborazione	800 m/sec
Intervallo velocità	1 m/sec


Spettro Velocità di fase - Frequenze
Frequenze [Hz]
25
50
Velocità [m/s]
600.0
400.0
200.0
Power
1
0.947
0.895
0.842
0.79
0.737
0.685
0.632
0.58
0.527
0.475
0.422
0.37
0.317
0.265
0.212
0.16
0.107
0.055
0.002


Spettro Velocità di fase - Frequenze
Frequenze [Hz]
25
50
Velocità [m/s]
600.0
400.0
200.0
1
0.947
0.895
0.842
0.79
0.737
0.685
0.632
0.58
0.527
0.475
0.422
0.37
0.317
0.265
0.212
0.16
0.107
0.055
0.002

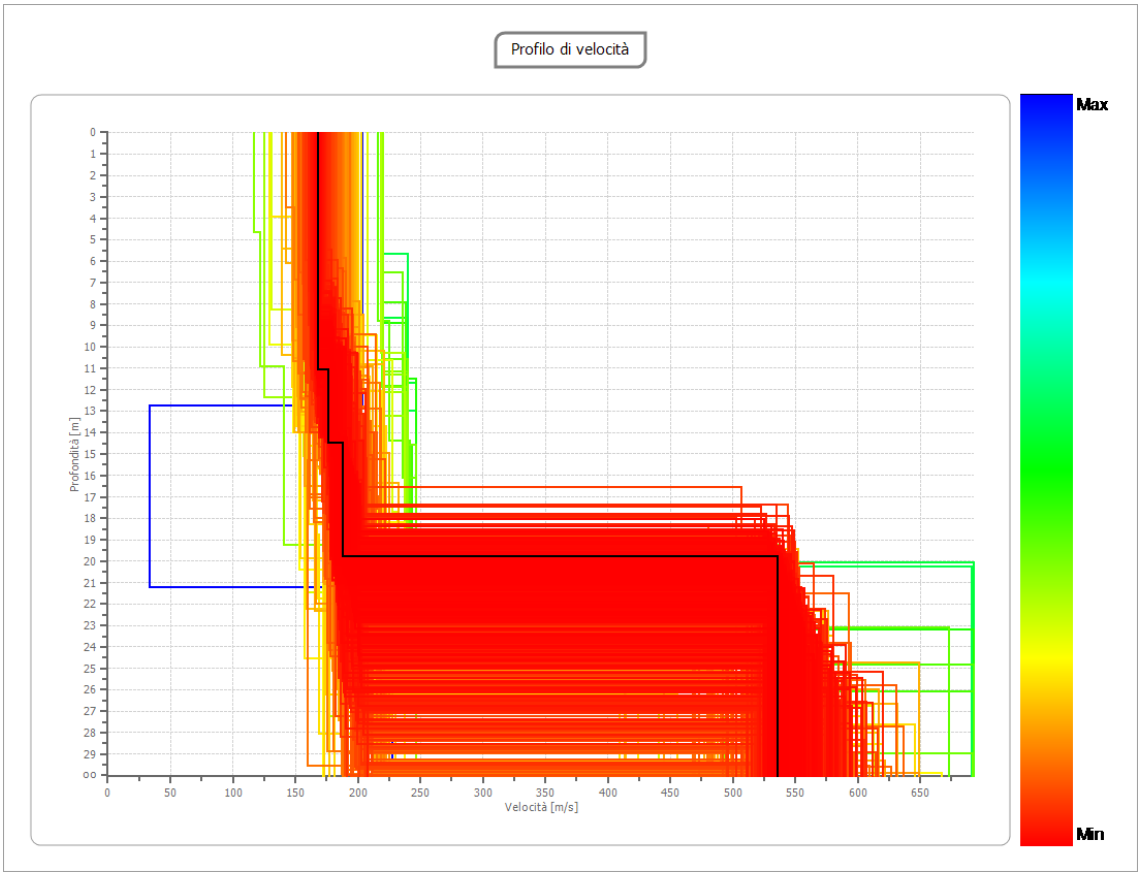
Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.0	425.6	0
2	5.8	169.8	0
3	11.4	156.6	0
4	15.5	156.6	0

Inversione e interpretazione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	11.08	11.08	315.0	168.4
2	14.51	3.43	329.7	176.2
3	19.79	5.28	352.4	188.4
4	oo	oo	1002.8	536.0

Percentuale di errore 0.000 %
Fattore di disadattamento della soluzione 0.002



Profilo delle velocità

STIMA $V_{s,eq}$

Dal profilo sismo stratigrafico è possibile calcolare il parametro $V_{s,eq}$ attraverso la seguente espressione, quindi stimare la categoria del suolo di fondazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^{N} \frac{h(strato)}{v_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h(strato) e dalla velocità delle onde S Vs(strato).

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. In base alle determinazioni svolte si evince che la velocità media delle onde di taglio fino alla profondità di 30 m dal piano di fondazione o piano campagna risulta:

$V_{s,eq\ (H=30m)}$: 226,69 m/sec

pertanto la categoria del sottosuolo può essere classificata come segue:

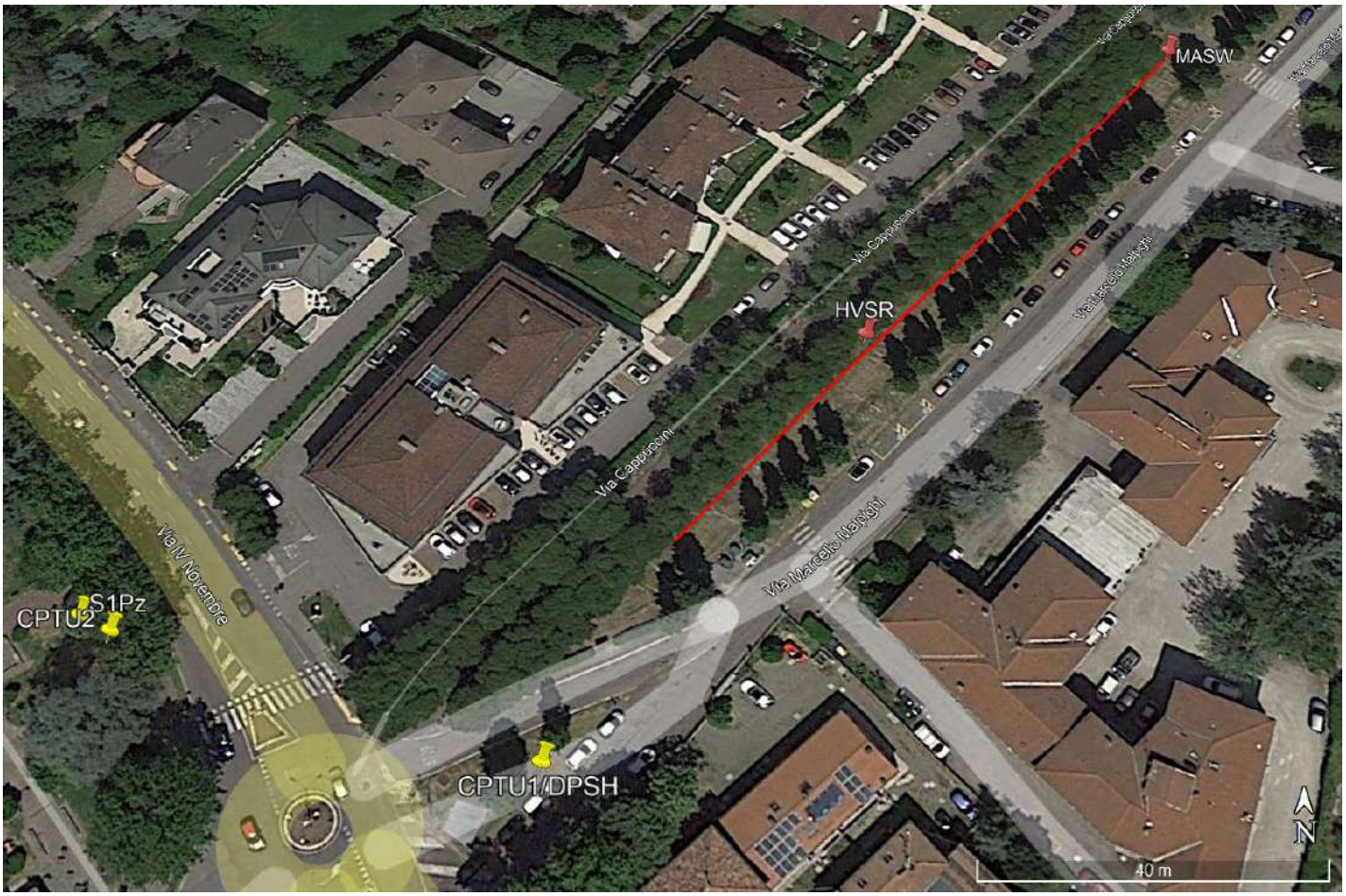
Categoria C

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.

4. ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

I campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio sono stati catalogati e su di essi, date le caratteristiche degli stessi e secondo le indicazioni della Committenza, sono state eseguite le prove richieste.
Le prove sono eseguite secondo le normative vigenti dal nostro laboratorio terre autorizzato per il Settore “A” dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto 0000011 del 13/02/2017 secondo l’art. 59 del DPR n. 380/2001 circolare 7618 STC 2010.

TAVOLE TECNICHE



Ubicazione planimetrica delle indagini

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

Committente: Heratech Srl	Sondaggio: S1-Pz
Riferimento: Progetto vasca raccolta acque meteoriche, Cento (FE)	Data: 29/06/2022-04/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA

Cass.	Campioni	Standard Penetration Test m	Standard Penetration Test S.P.T.	Standard Penetration Test N	RP KPa	VT KPa	metri batt.	A	Pz	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
												Argilla limosa marrone
1	1) Ost < 3.00 3.50						1 2 3				2.90 3.00	
												Sabbia limosa deb. argillosa marrone
											3.50	Prelievo di campione indisturbato
												Sabbia limosa deb. argillosa marrone
	2) Ost < 4.50 5.00						4 5				4.50 5.00	Prelievo di campione indisturbato
2	3) Ost < 7.50 8.00				150 125 150	55 60 55	6 7				7.50	Argilla limosa grigia
							8				8.00	Prelievo di campione indisturbato
					175 200 250	50 >100 >100	9 10					Argilla limosa da grigia a marrone
	4) Ost < 10.50 11.00				250	>100					10.50	
							11				11.00	Prelievo di campione indisturbato
3					275 225 250	>100 >100 90	12 13					Argilla limosa marrone
	5) Ost < 15.00 15.50				300	>100	14 15				15.00	
											15.50	Prelievo di campione indisturbato
4					350 325 300	>100 >100 >100	16 17				17.50	Argilla limosa marrone
							18 19 20					Sabbia deb. argillosa grigia

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

Committente: Heratech Srl	Sondaggio: S1-Pz
Riferimento: Progetto vasca raccolta acque meteoriche, Cento (FE)	Data: 29/06/2022-04/07/2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

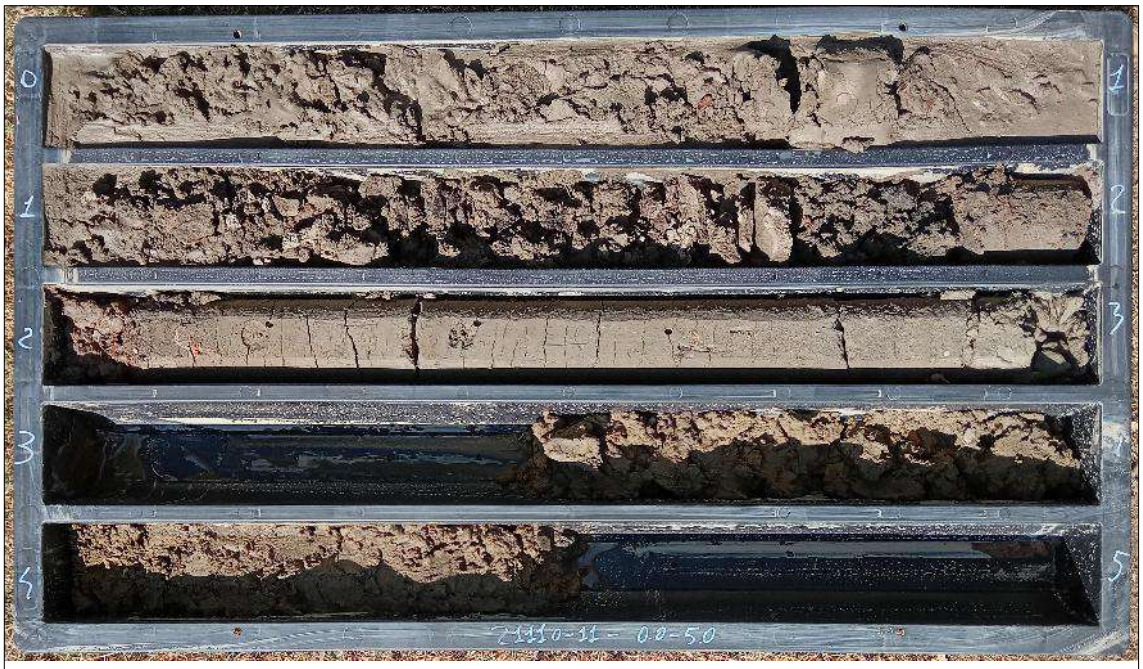
SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA

Cass.	Campioni	Standard Penetration Test m	S.P.T.	N	RP KPa	VT KPa	metri batt.	A	Pz	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
5	6) Rim < 21.00 / 21.50	21.0	18-25-30	55			21					Sabbia deb. argillosa grigia
							22				22.50	
					250	>100	23					Argilla limosa grigia
					225	>100	24					
	7) Ost < 25.50 / 26.00						25				25.50	
							26				26.00	Prelievo di campione indisturbato
											26.50	Argilla limosa grigia
6							27					Argilla sabbiosa grigia
							28				28.40	
	8) Rim < 29.50 / 30.00	29.5	19-23-27	50			29					Sabbia deb. limosa grigia
							30				30.00	

Terreno conservato in N° 6 cassette catalogatrici.
Foto delle cassette catalogatrici.
Fornitura e posa di tubo piezometrico in PVC diametro 2".
Fornitura e posa di chiusino carrabile.

Committente: Heratech Srl	Sondaggio: S1-Pz
Riferimento: Progetto vasca raccolta acque meteoriche, Cento (FE)	Data: 29/06/2022-04/07/2022

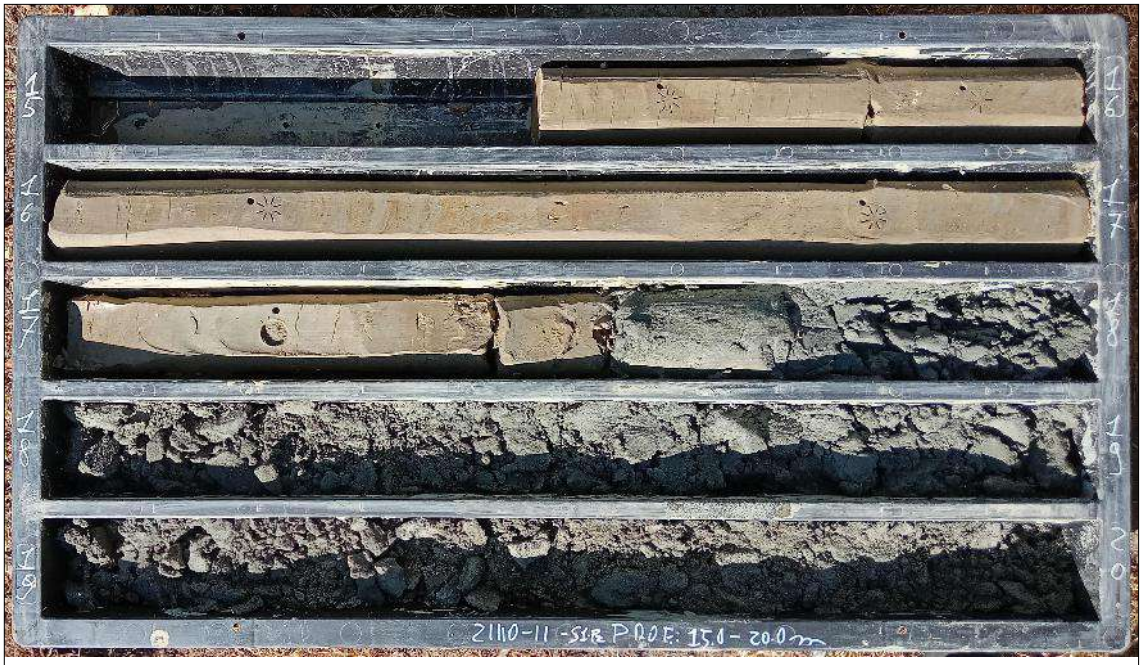


Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00

Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

Committente: Heratech Srl	Sondaggio: S1-Pz
Riferimento: Progetto vasca raccolta acque meteoriche, Cento (FE)	Data: 29/06/2022-04/07/2022

Cassetta n° 3 - profondità da m 10.00 a m 15.00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00

Committente: Heratech Srl	Sondaggio: S1-Pz
Riferimento: Progetto vasca raccolta acque meteoriche, Cento (FE)	Data: 29/06/2022-04/07/2022

Cassetta n° 5 - profondità da m 20.00 a m 25.00

Cassetta n° 6 - profondità da m 25.00 a m 30.00

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	30,5	%
Peso di volume	19,1	kN/m³
Peso di volume secco	14,7	kN/m³
Peso di volume saturo	19,1	kN/m³
Peso specifico	27,0	kN/m³
Indice dei vuoti	0,842	
Porosità	45,7	%
Grado di saturazione	99,8	%

FOTOGRAFIA

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	Non determinabile
Limite di plasticità	Non plastico
Indice di plasticità	Non determinabile
Indice di consistenza	
Passante al set. n° 40	

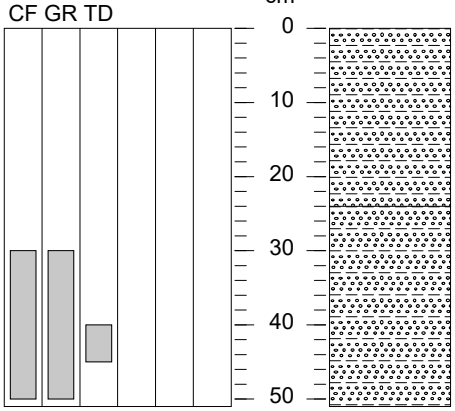
ANALISI GRANULOMETRICA

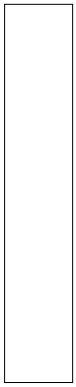
Ghiaia	0,6	%
Sabbia	80,3	%
Limo	13,2	%
Argilla	5,9	%

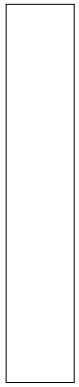
TAGLIO DIRETTO

Coesione:	12,3	kPa
Angolo di attrito interno:	27,6	°

Posizione delle prove
CF GR TD







cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
24	Sabbia limosa.
51	Sabbia debolmente limosa.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11284	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	19/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	19/07/22	Fine analisi:	20/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 30,5 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11285	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	19/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	19/07/22	Fine analisi:	19/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,1 kN/m³

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11286	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	19/07/22	Fine analisi:	21/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 27,0 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 27,0 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,2 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11287 Pagina 1/1		DATA DI EMISSIONE: 28/07/22	Inizio analisi: 19/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione: 19/07/22	Fine analisi: 21/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

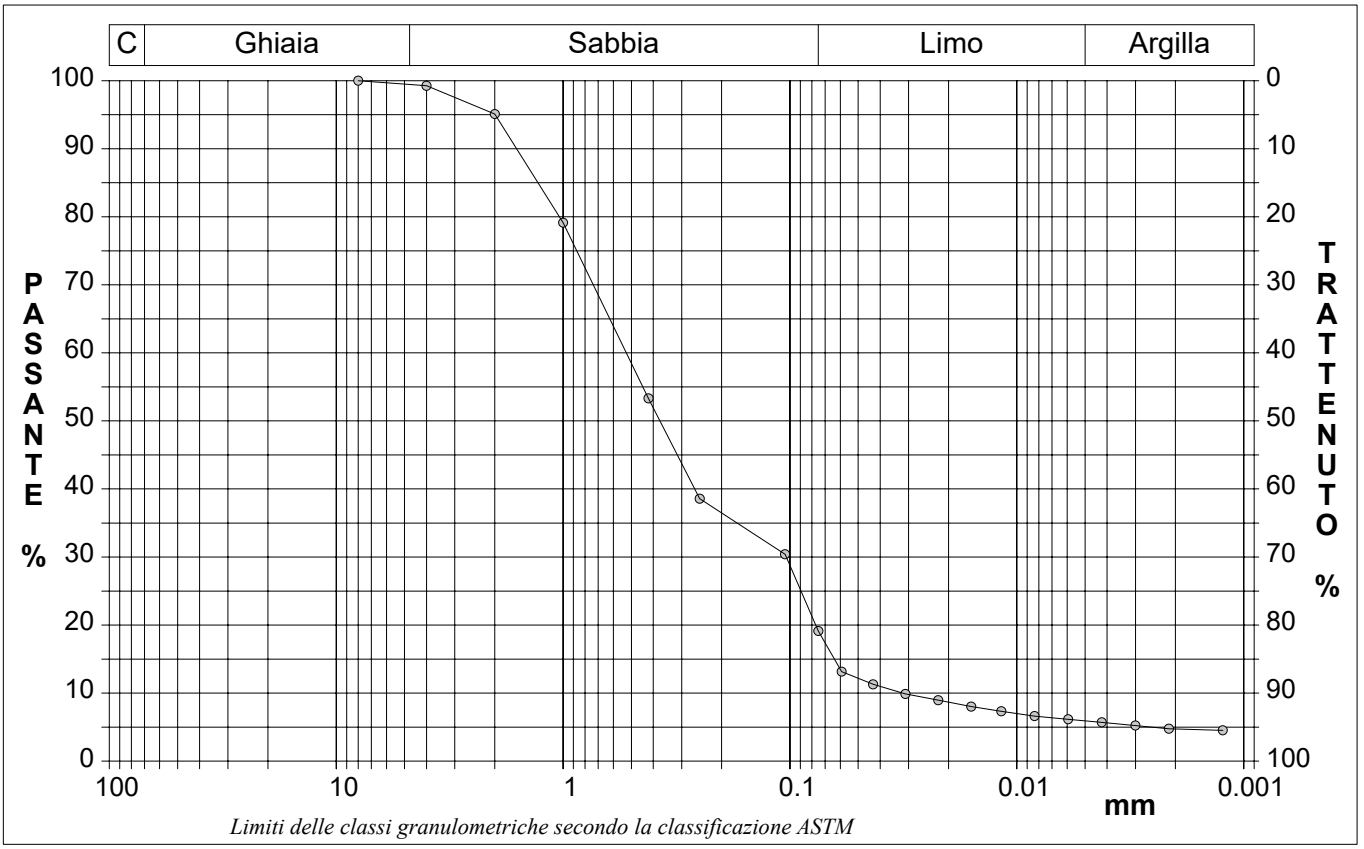
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,6 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	95,1 %	D_{10}	0,03179 mm
Sabbia	80,3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	53,3 %	D_{30}	0,10375 mm
Limo	13,2 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	19,1 %	D_{50}	0,37377 mm
Argilla	5,9 %			D_{60}	0,52581 mm
Coefficiente di uniformità	16,54	Coefficiente di curvatura	0,64	D_{90}	1,60240 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8,0000	100,00	0,2500	38,58	0,0310	9,89	0,0059	6,17		
4,0000	99,26	0,1050	30,40	0,0222	8,96	0,0042	5,70		
2,0000	95,11	0,0750	19,13	0,0159	8,03	0,0030	5,24		
1,0000	79,13	0,0592	13,15	0,0117	7,33	0,0021	4,77		
0,4200	53,31	0,0430	11,29	0,0084	6,63	0,0012	4,54		

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11288	Pagina 1/2	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	19/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	19/07/22	Fine analisi:	25/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

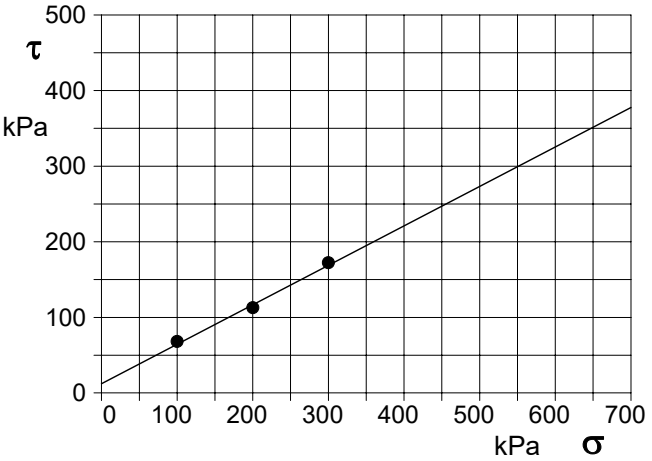
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Ricostituito	Ricostituito	Ricostituito
Pressione verticale (kPa):	100	200	300
Tensione a rottura (kPa):	68	113	172
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	4,50	3,50	4,00
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,17	0,14	0,18
Umidità naturale (%):	- - -	- - -	- - -
Peso di volume (kN/m³):	- - -	- - -	- - -

DIAGRAMMA
Tensione - Pressione verticale

Coesione:	12,3 kPa
Angolo di attrito interno:	27,6 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,037 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



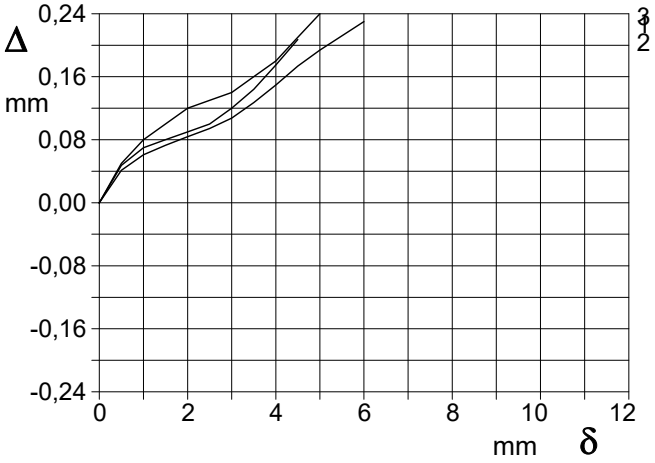


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

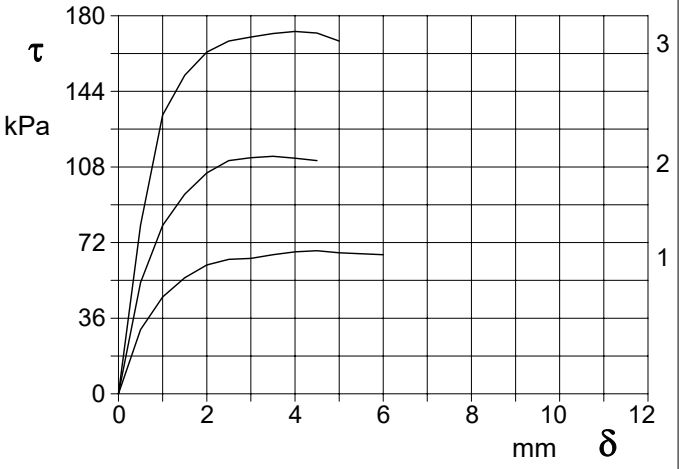


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11288	Pagina 2/2	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	19/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	19/07/22	Fine analisi:	25/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 3,00 - 3,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-03

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,927
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	13,4
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,052

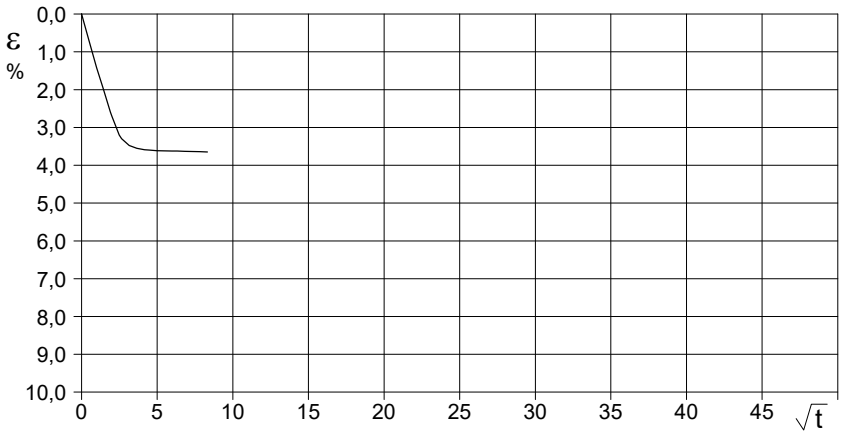


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,880
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	14,4
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,049

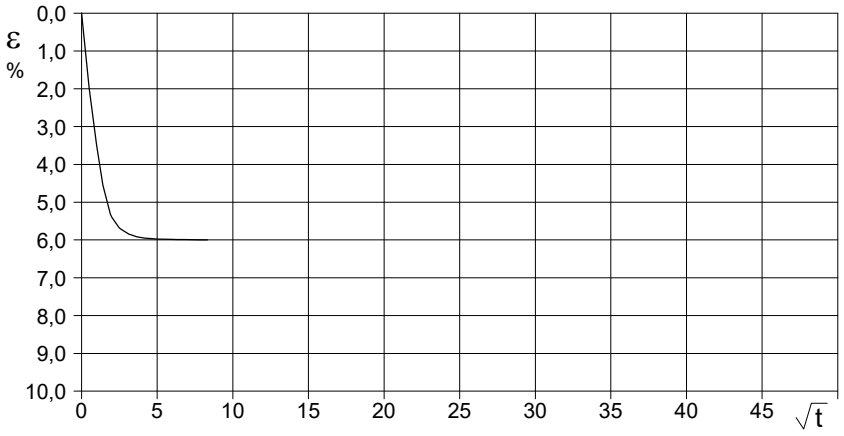
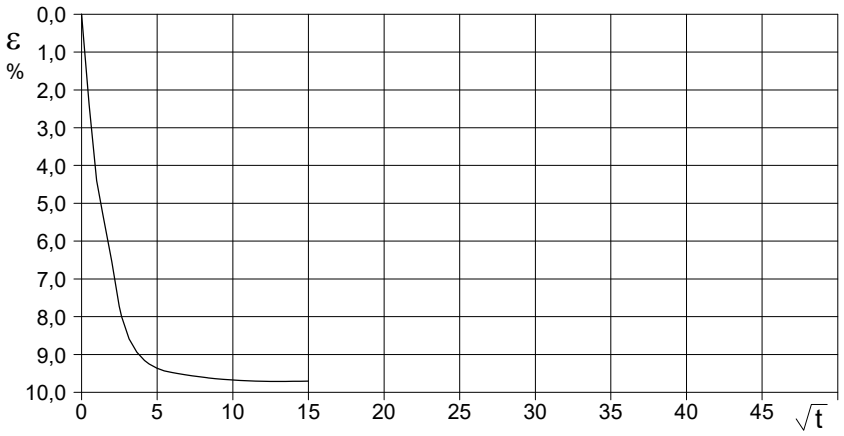


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,806
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	60,9
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,011



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	37,6	%
Peso di volume	18,2	kN/m³
Peso di volume secco	13,2	kN/m³
Peso di volume saturo	18,2	kN/m³
Peso specifico	27,0	kN/m³
Indice dei vuoti	1,040	
Porosità	51,0	%
Grado di saturazione	99,8	%

FOTOGRAFIA

LIMITI DI CONSISTENZA

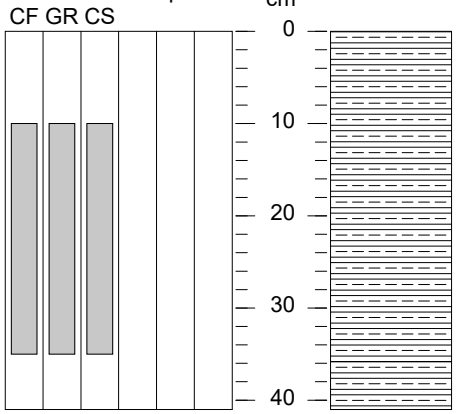
Limite di liquidità	46,7	%
Limite di plasticità	27,9	%
Indice di plasticità	18,8	%
Indice di consistenza	0,48	
Passante al set. n° 40	NO	
Limite di ritiro	13,9	%

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	2,9	%
Limo	26,3	%
Argilla	70,8	%

COMPRESSIONE

Resistenza a compressione	94	kPa
Coesione non drenata	47	kPa



Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
120			Argilla limosa con qualche resto carbonioso.
110			
120		41	

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere N°1712 Padova

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 certificato da "q c b Italia"

certificazione ufficiale - settore " A " - prove di laboratorio sulle terre e aggregati
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
decreto 0000011 del 13/02/2017 art.59 DPR 380/2001 circol. 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11289 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 21/07/22	Fine analisi:	22/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 37,6 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11290	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	21/07/22	Fine analisi:	21/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 18,2 kN/m³

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11291	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	25/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	21/07/22	Fine analisi:	25/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 27,0 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 27,0 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,4 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11292	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	21/07/22	Fine analisi:	22/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

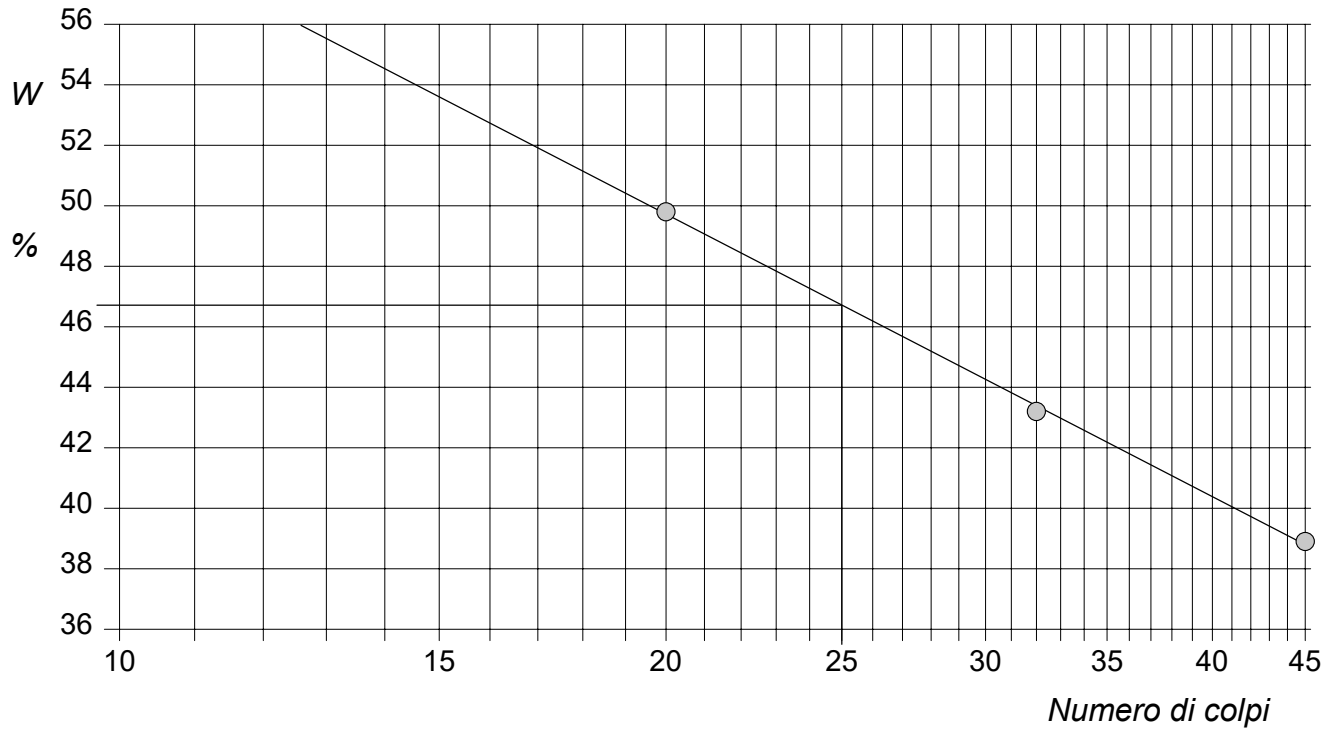
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	46,7	%
Limite di plasticità	27,9	%
Indice di plasticità	18,8	%

LIMITE DI LIQUIDITA'					
Numero di colpi	20	32	45		
Umidità (%)	49,8	43,2	38,9		

LIMITE DI PLASTICITA'		
Umidità (%)	28,4	27,4
Umidità media	27,9	

Determinazione del Limite di liquidità



SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11292	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	21/07/22	Fine analisi:	22/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

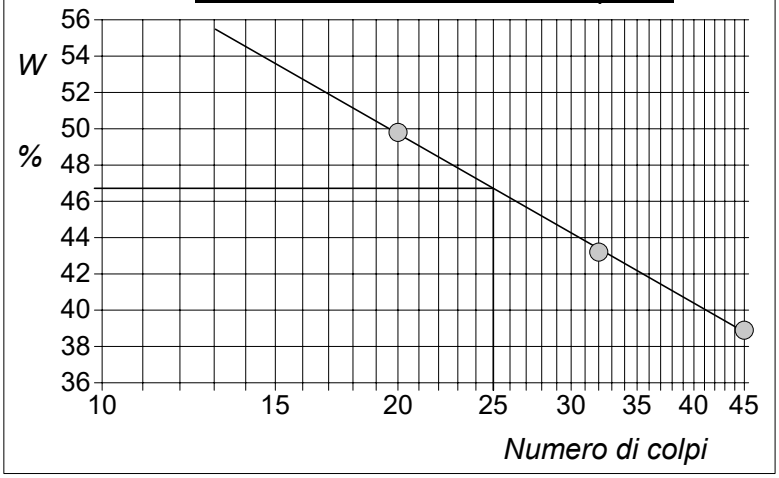
SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	46,7	%
Limite di plasticità	27,9	%
Indice di plasticità	18,8	%
Indice di consistenza	0,48	
Passante al set. n° 40	NO	

Determinazione del Limite di liquidità



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	**I - Media compressibilità**
O - Argille e limi organici	H - Alta compressibilità

ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

I.P. = 0.73 · (L.L. - 20)

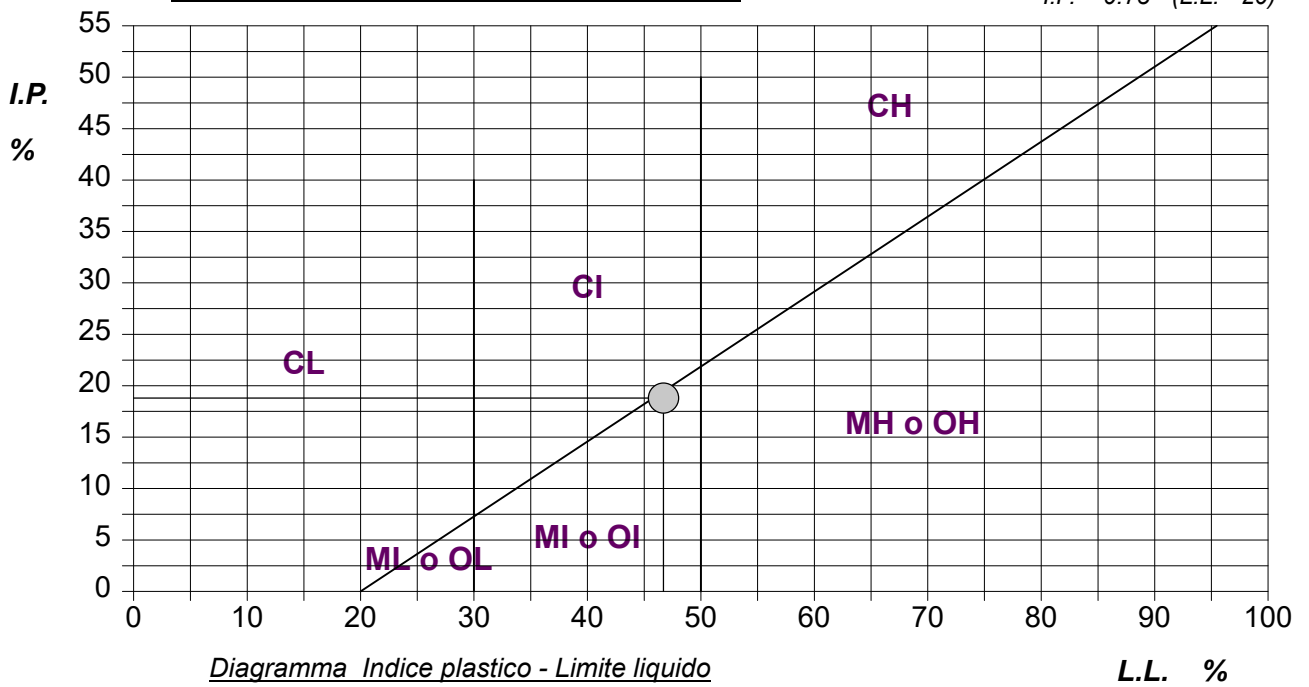


Diagramma Indice plastico - Limite liquido

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11293	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	25/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	21/07/22	Fine analisi:	26/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

LIMITE DI RITIRO

Modalità di prova: Norma ASTM D 427-04

Materiale passante al setaccio n° 40 (0.420 mm): 99 %

Limite di ritiro = 13,9 %

Coefficiente di ritiro = 1,62

Ritiro di volume = 2,55

Ritiro lineare = 0,83

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11294 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 21/07/22	Fine analisi:	25/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

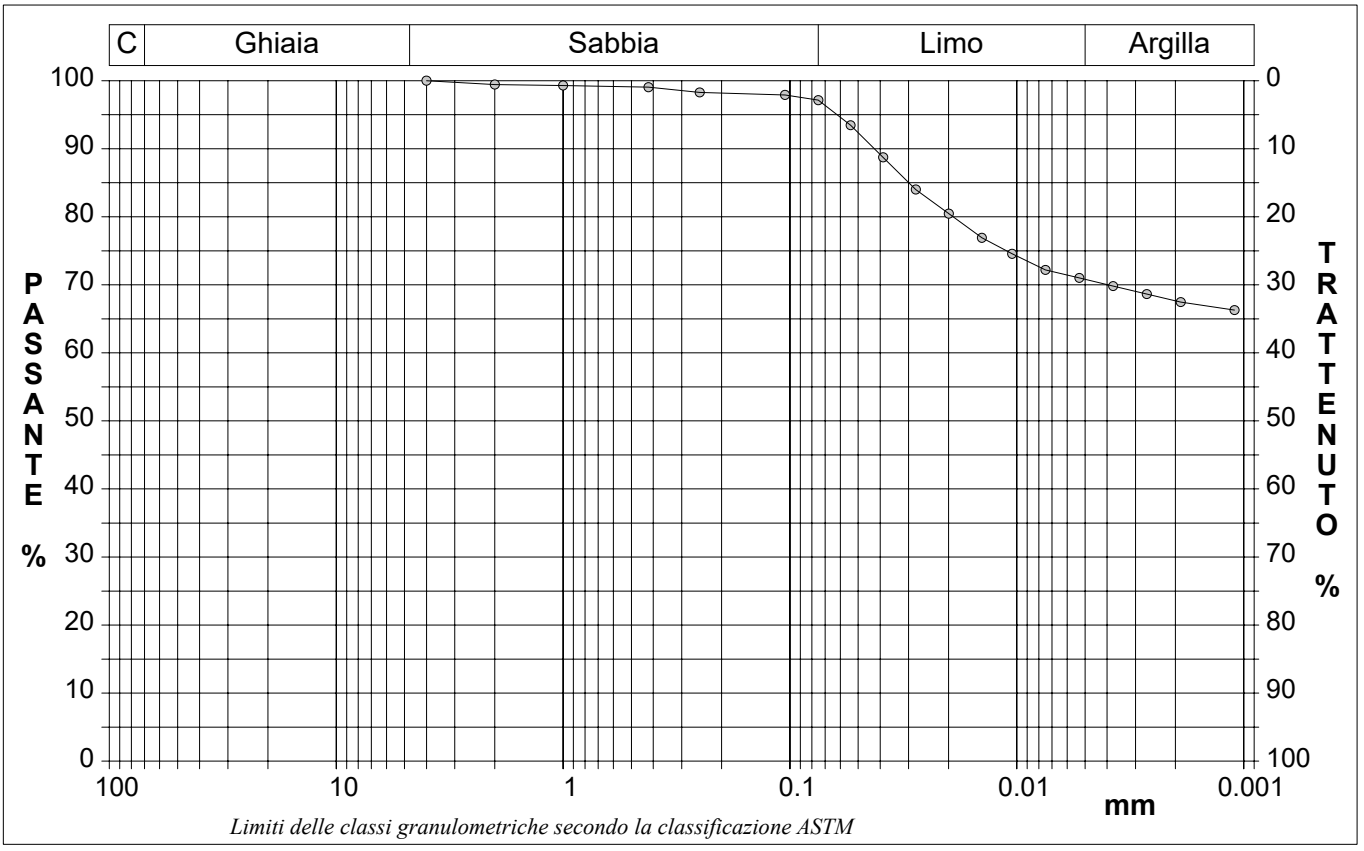
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,4 %	D_{10}	--- mm
Sabbia	2,9 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,0 %	D_{30}	--- mm
Limo	26,3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	97,1 %	D_{50}	--- mm
Argilla	70,8 %			D_{60}	--- mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D_{90}	0,04244 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1050	97,90	0,0199	80,46	0,0038	69,83		
2,0000	99,43	0,0750	97,14	0,0143	76,92	0,0027	68,65		
1,0000	99,29	0,0540	93,45	0,0105	74,55	0,0019	67,47		
0,4200	99,05	0,0388	88,73	0,0075	72,19	0,0011	66,29		
0,2500	98,28	0,0279	84,00	0,0053	71,01				

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11295	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	28/07/22	Inizio analisi:	21/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	21/07/22	Fine analisi:	26/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 2 PROFONDITA': m 4,50 - 5,00

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166-00

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Velocità di deformazione (mm/min):	0,500	0,500	0,500
Altezza (cm):	7,63	7,63	7,63
Sezione (cm²):	11,55	11,55	11,55
Peso di volume (kN/m³):	18,2	18,2	18,2
Umidità naturale (%):	35,4	-----	36,5
Deformazione a rottura (%):	8,52	7,21	6,55
Sforzo a rottura (kPa):	93,1	96,4	93,8

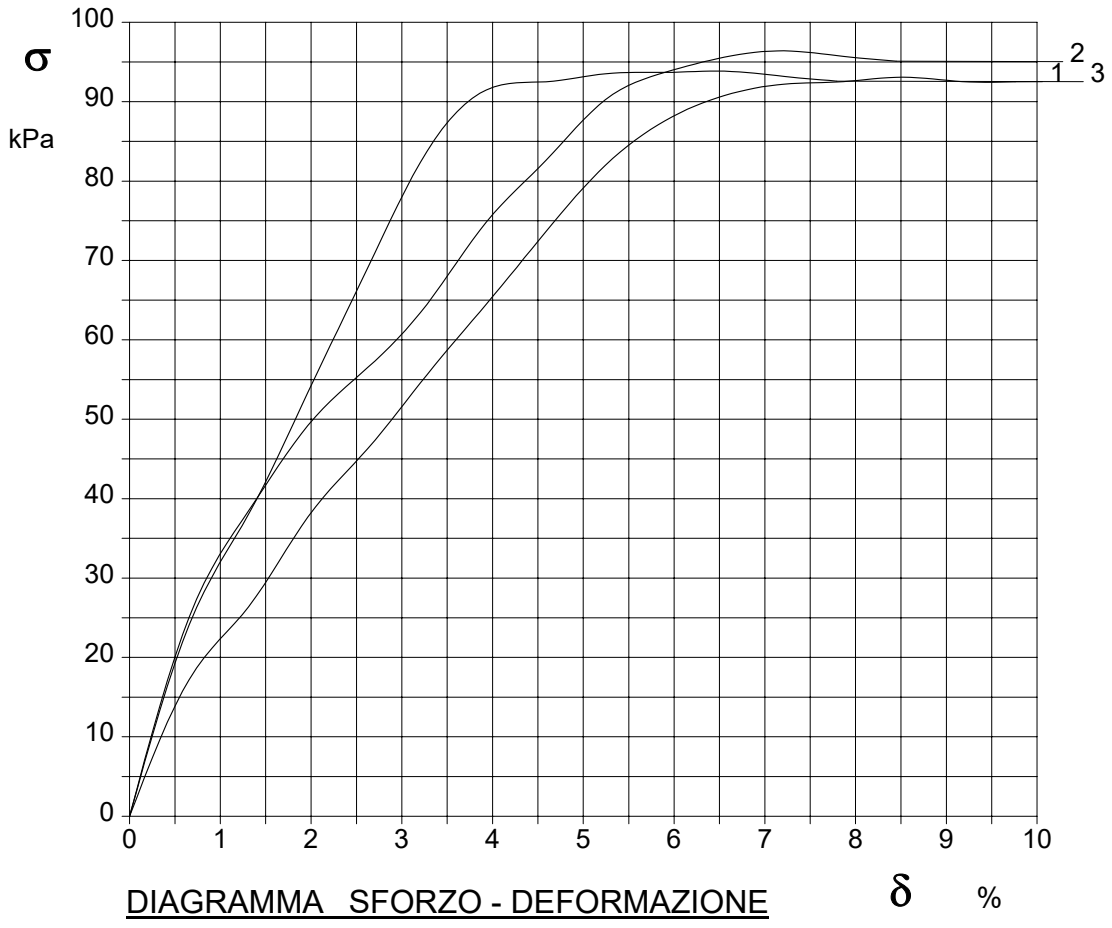


DIAGRAMMA SFORZO - DEFORMAZIONE

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	34,9	%
Peso di volume	18,4	kN/m³
Peso di volume secco	13,7	kN/m³
Peso di volume saturo	18,5	kN/m³
Peso specifico	26,9	kN/m³
Indice dei vuoti	0,974	
Porosità	49,3	%
Grado di saturazione	98,5	%

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
12,5 ÷ 25,0	2096	- - -	- - -
25,0 ÷ 50,0	2901	- - -	- - -
50,0 ÷ 100,0	2397	- - -	- - -
100,0 ÷ 200,0	3571	0,000960	2,64E-08
200,0 ÷ 400,0	4598	- - -	- - -
400,0 ÷ 800,0	8081	- - -	- - -
800,0 ÷ 1600,0	14815	- - -	- - -

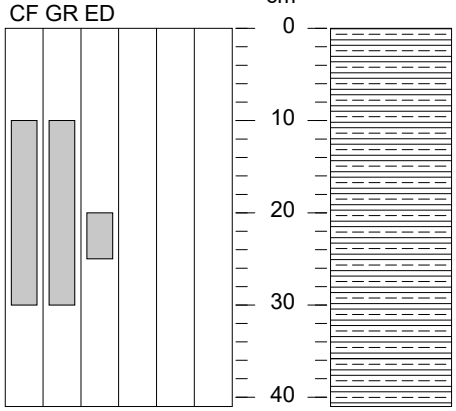
LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	53,1	%
Limite di plasticità	33,7	%
Indice di plasticità	19,4	%
Indice di consistenza	0,94	
Passante al set. n° 40	NO	
Limite di ritiro	16,6	%

FOTOGRAFIA

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	0,6	%
Sabbia	10,1	%
Limo	31,1	%
Argilla	58,2	%



Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
110			Argilla limosa con qualche punto debolmente sabbioso e rari resti carboniosi con concrezioni calcaree.
100			
110		41	

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 certificato da "q c b Italia"

certificazione ufficiale - settore " A " - prove di laboratorio sulle terre e aggregati
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
decreto 0000011 del 13/02/2017 art.59 DPR 380/2001 circol. 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11381	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	12/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 34,9 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11382	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	11/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 18,4 kN/m³

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11383	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	18/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,9 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,9 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,4 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11384	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	19/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

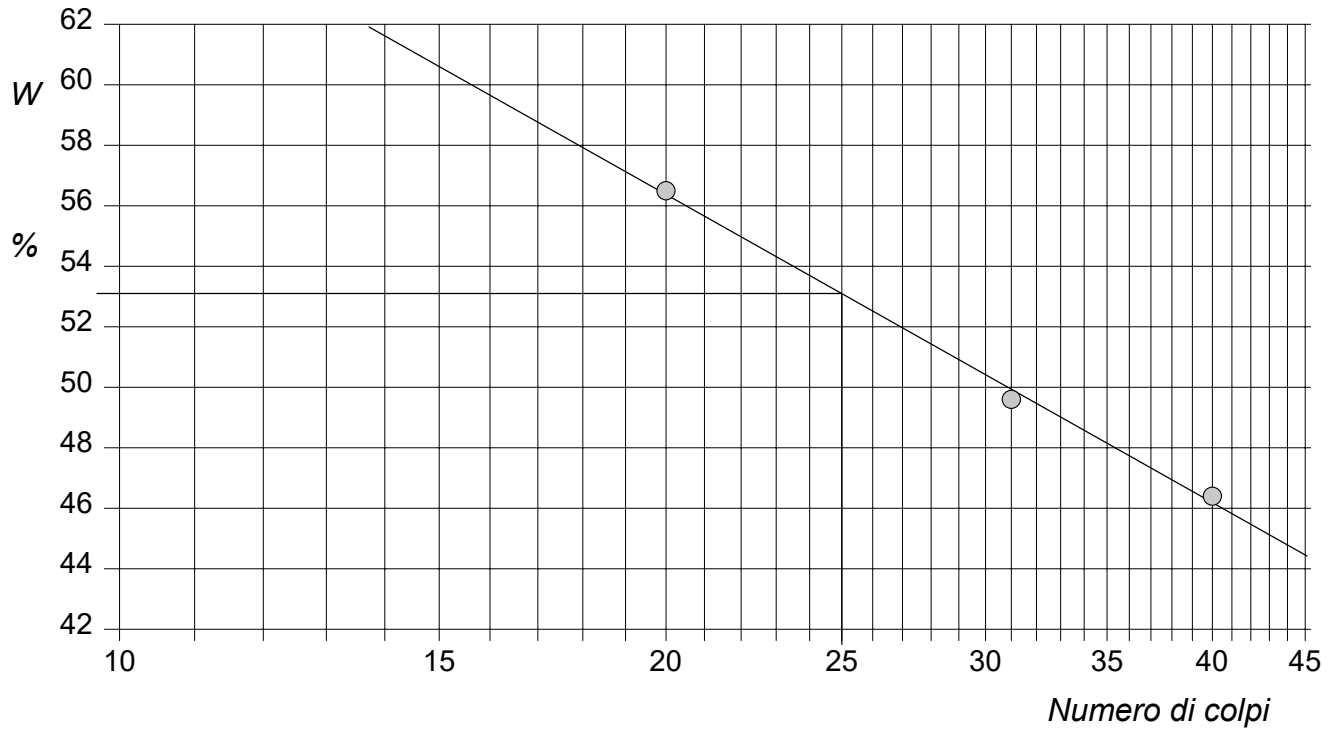
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	53,1	%
Limite di plasticità	33,7	%
Indice di plasticità	19,4	%

LIMITE DI LIQUIDITA'					
Numero di colpi	20	31	40		
Umidità (%)	56,5	49,6	46,4		

LIMITE DI PLASTICITA'		
Umidità (%)	35,2	32,2
Umidità media	33,7	

Determinazione del Limite di liquidità



RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11384	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	19/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	53,1	%
Limite di plasticità	33,7	%
Indice di plasticità	19,4	%
Indice di consistenza	0,94	
Passante al set. n° 40	NO	

Determinazione del Limite di liquidità

C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	**H - Alta compressibilità**

ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

I.P. = 0.73 · (L.L. - 20)

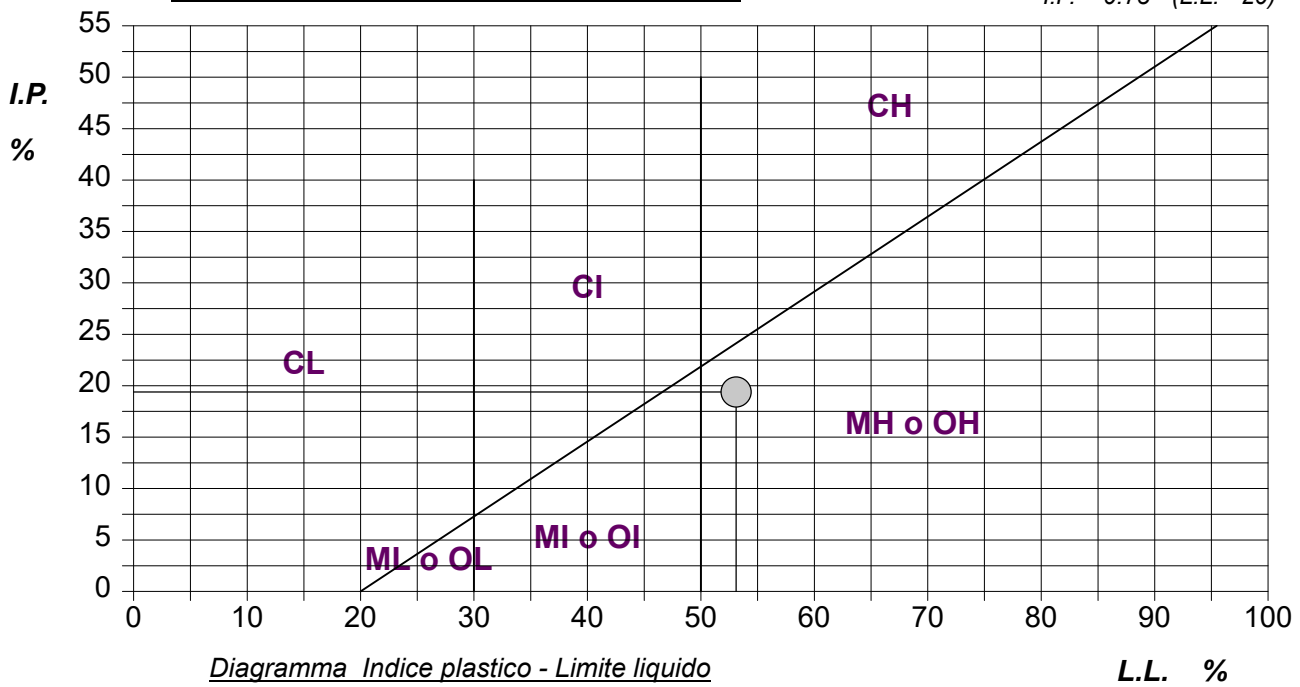


Diagramma Indice plastico - Limite liquido

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11385	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	19/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	20/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

LIMITE DI RITIRO

Modalità di prova: Norma ASTM D 427-04

Materiale passante al setaccio n° 40 (0.420 mm): 98 %

Limite di ritiro = 16,6 %

Coefficiente di ritiro = 1,51

Ritiro di volume = 1,47

Ritiro lineare = 0,49

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11386 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 22/08/22	Inizio analisi:	13/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 11/07/22	Fine analisi:	15/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

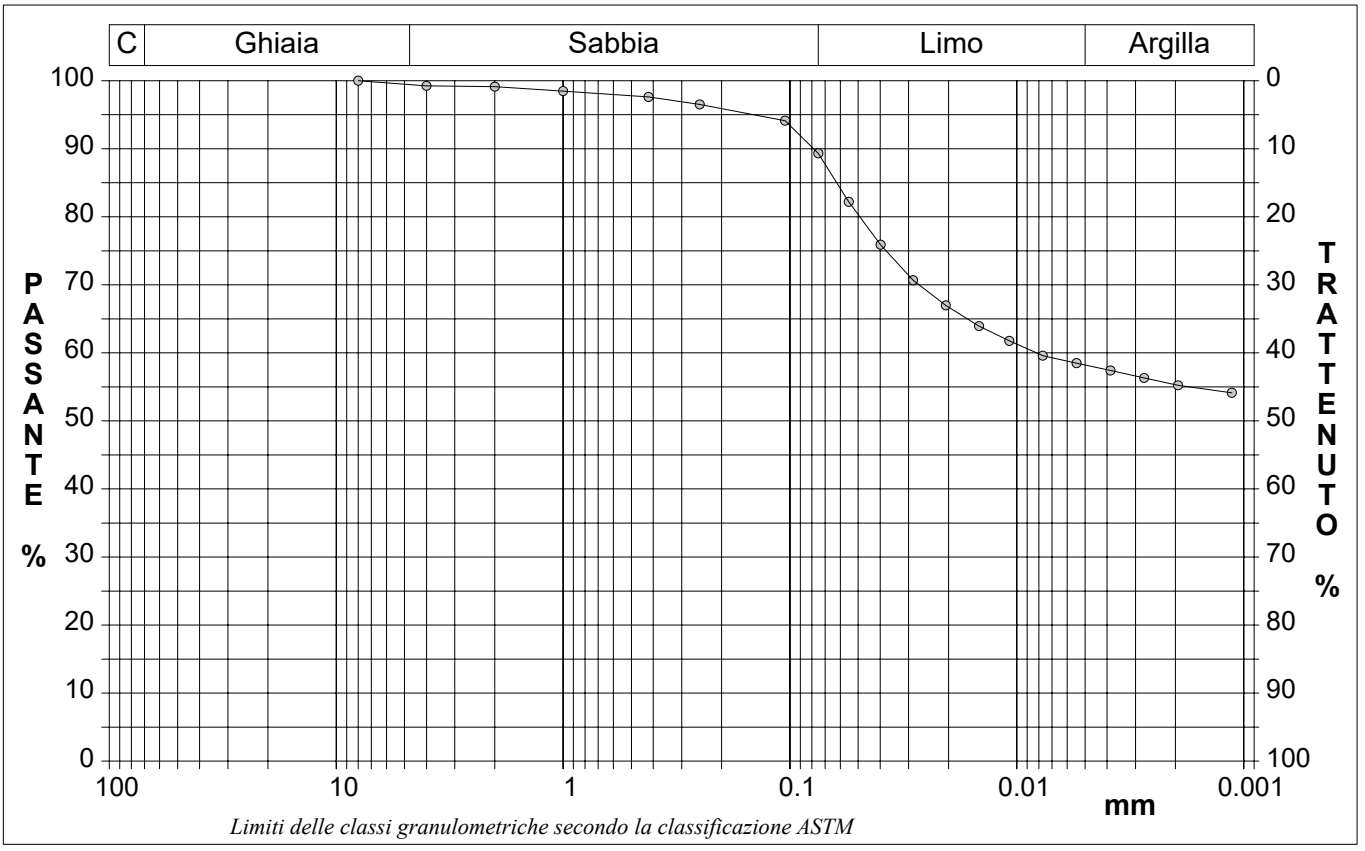
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,6 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,1 %	D_{10}	--- mm
Sabbia	10,1 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	97,6 %	D_{30}	--- mm
Limo	31,1 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	89,3 %	D_{50}	--- mm
Argilla	58,2 %			D_{60}	0,00820 mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D_{90}	0,07864 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8,0000	100,00	0,2500	96,51	0,0287	70,68	0,0055	58,50		
4,0000	99,24	0,1050	94,12	0,0205	66,98	0,0039	57,41		
2,0000	99,13	0,0750	89,32	0,0147	63,94	0,0027	56,32		
1,0000	98,47	0,0551	82,21	0,0108	61,76	0,0019	55,23		
0,4200	97,60	0,0399	75,90	0,0077	59,58	0,0011	54,14		

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11387 Pagina 1/3	DATA DI EMISSIONE: 22/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 11/07/22	Fine analisi:	26/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-02

Caratteristiche del campione

Peso di volume (kN/m³)	18,42
Umidità (%)	34,8
Peso specifico (kN/m³)	26,95
Altezza provino (cm)	2,00
Diametro provino (cm)	5,05
Sezione provino (cm²)	20,03
Volume provino (cm³)	40,06
Volume dei vuoti (cm³)	19,74
Indice dei vuoti	0,97
Porosità (%)	49,29
Saturazione (%)	98,3

DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI

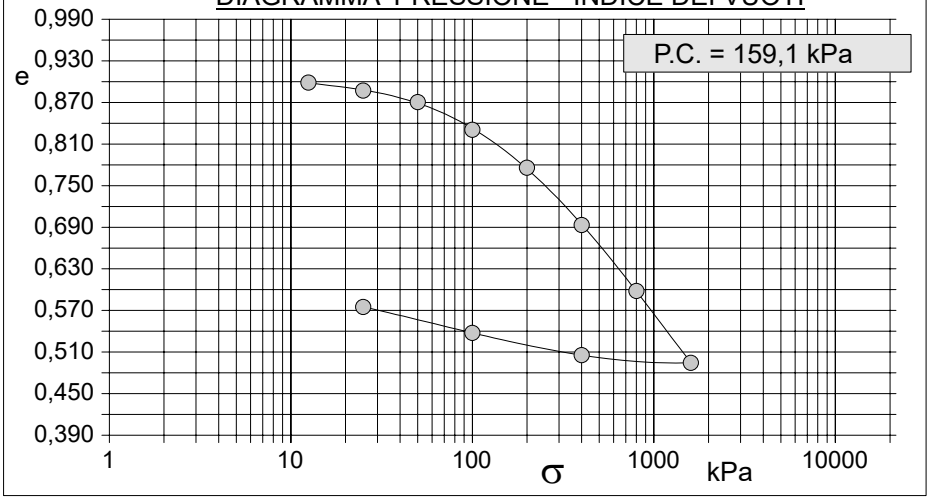
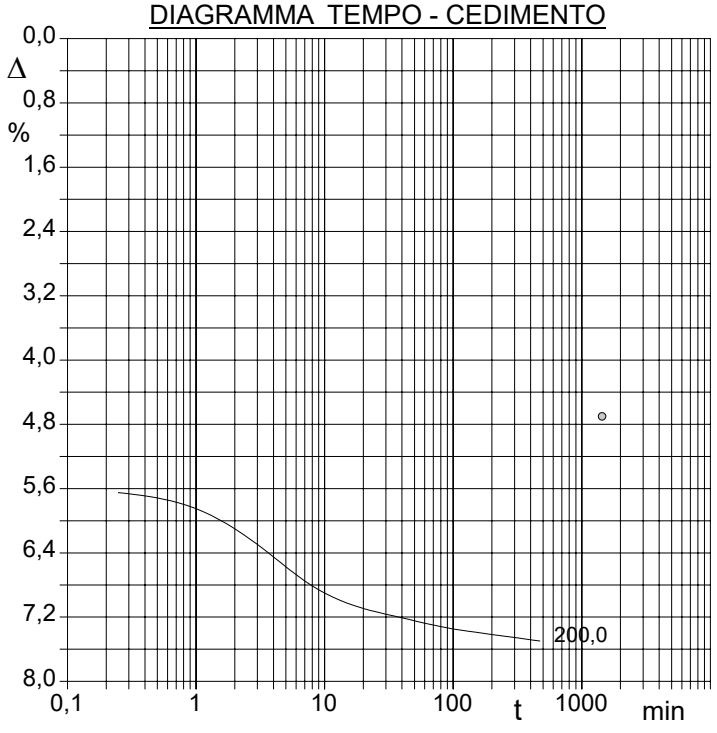
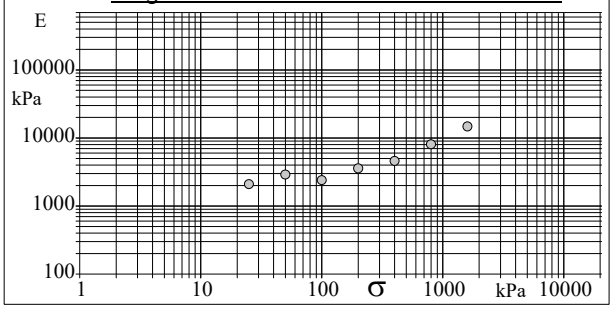


DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO



Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
12,5	23,1	0,899				
25,0	35,0	0,887	0,038	2096		
50,0	52,3	0,871	0,055	2901		
100,0	94,0	0,831	0,133	2397		
200,0	150,0	0,776	0,182	3571	0,000960	2,64E-08
400,0	237,0	0,693	0,274	4598		
800,0	336,0	0,598	0,316	8081		
1600,0	444,0	0,494	0,345	14815		
400,0	432,6	0,505				
100,0	399,1	0,537				
25,0	360,0	0,575				

Diagramma Pressione - Modulo edometrico



SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11387	Pagina 2/3	DATA DI EMISSIONE:	22/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	26/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

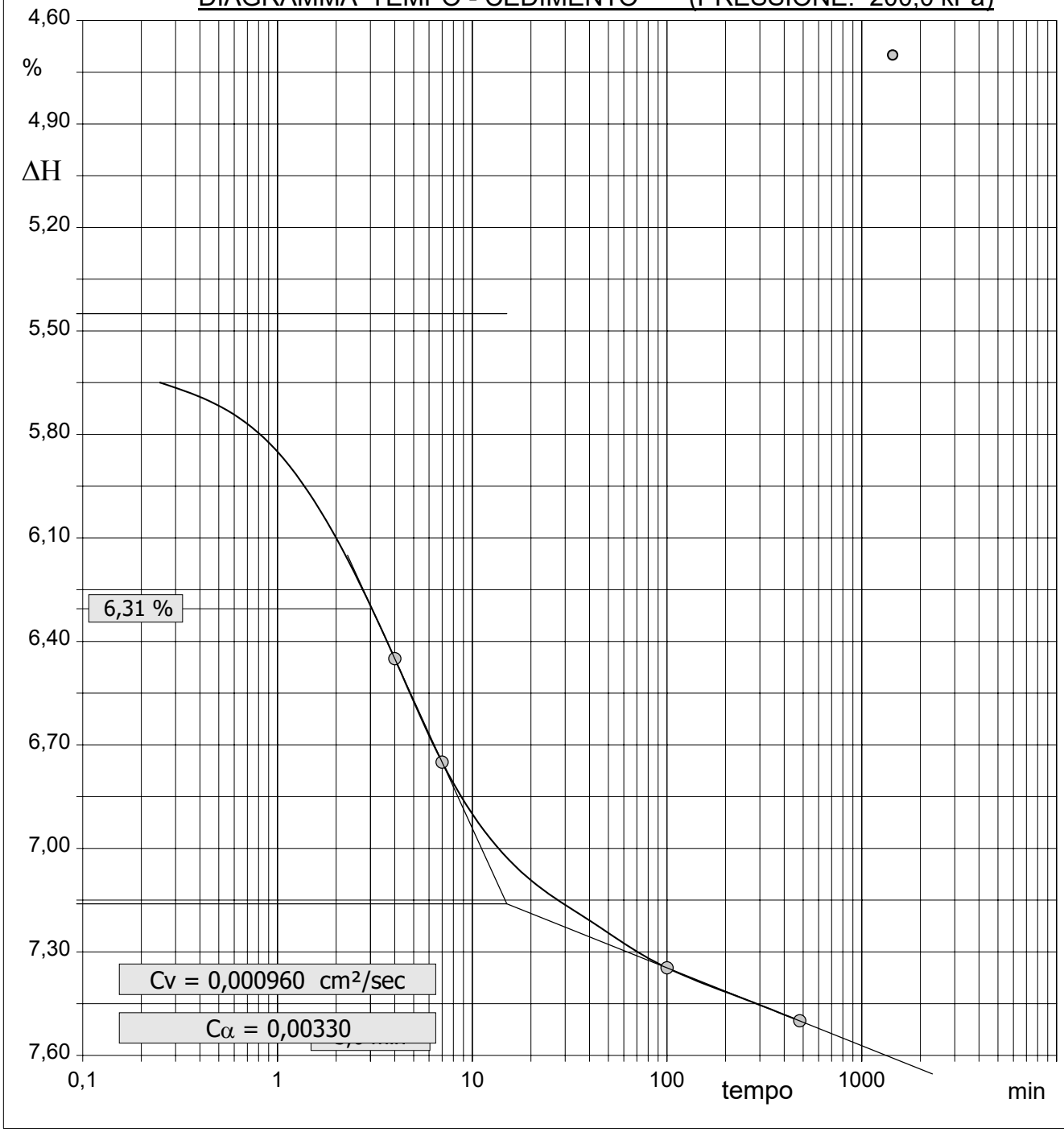
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 7,50 - 8,00

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-02

DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO (PRESSIONE: 200,0 kPa)



SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	23,9	%
Peso di volume	19,6	kN/m³
Peso di volume secco	15,8	kN/m³
Peso di volume saturo	19,9	kN/m³
Peso specifico	27,0	kN/m³
Indice dei vuoti	0,705	
Porosità	41,4	%
Grado di saturazione	93,1	%

LIMITI DI CONSISTENZA

Limite di liquidità	50,4	%
Limite di plasticità	29,3	%
Indice di plasticità	21,1	%
Indice di consistenza	1,26	
Passante al set. n° 40	NO	
Limite di ritiro	14,4	%

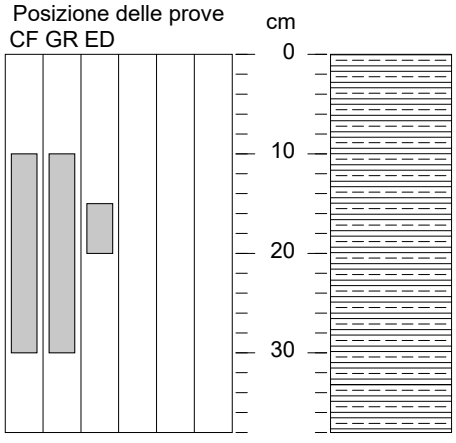
ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	5,0	%
Sabbia	6,1	%
Limo	30,1	%
Argilla	58,8	%

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
12,5 ÷ 25,0	967	- - -	- - -
25,0 ÷ 50,0	2284	- - -	- - -
50,0 ÷ 100,0	2196	- - -	- - -
100,0 ÷ 200,0	4912	0,001627	3,25E-08
200,0 ÷ 400,0	7273	- - -	- - -
400,0 ÷ 800,0	13559	- - -	- - -
800,0 ÷ 1600,0	21333	- - -	- - -
1600,0 ÷ 3200,0	35165	- - -	- - -

FOTOGRAFIA



Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
260			Argilla limosa con poche concrezioni calcaree grossolane.
300		38	

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11388	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	12/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 23,9 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11389	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	11/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,6 kN/m³

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11390	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	14/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	14/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 27,0 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,9 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,9 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11391 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	14/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 11/07/22	Fine analisi:	15/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

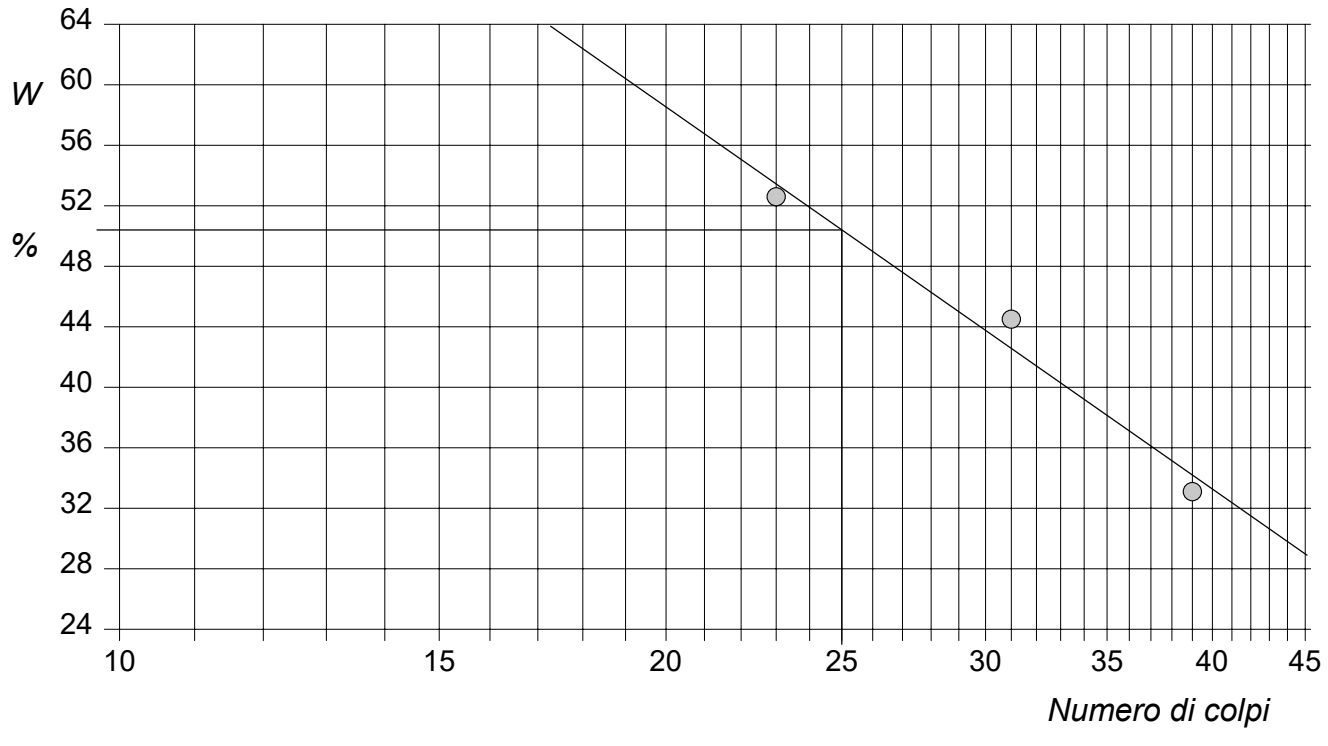
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	50,4	%
Limite di plasticità	29,3	%
Indice di plasticità	21,1	%

LIMITE DI LIQUIDITA'					
Numero di colpi	23	31	39		
Umidità (%)	52,6	44,5	33,1		

LIMITE DI PLASTICITA'		
Umidità (%)	29,5	29,0
Umidità media	29,3	

Determinazione del Limite di liquidità



RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11391	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	14/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	15/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

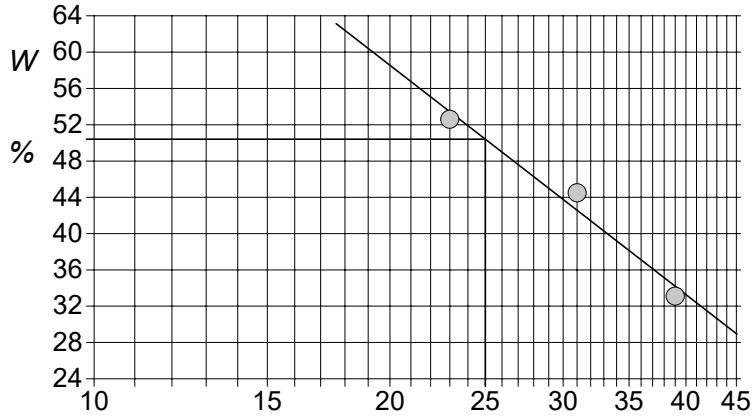
SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	50,4	%
Limite di plasticità	29,3	%
Indice di plasticità	21,1	%
Indice di consistenza	1,26	
Passante al set. n° 40	NO	

Determinazione del Limite di liquidità



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	**H - Alta compressibilità**

ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

I.P. = 0.73 · (L.L. - 20)

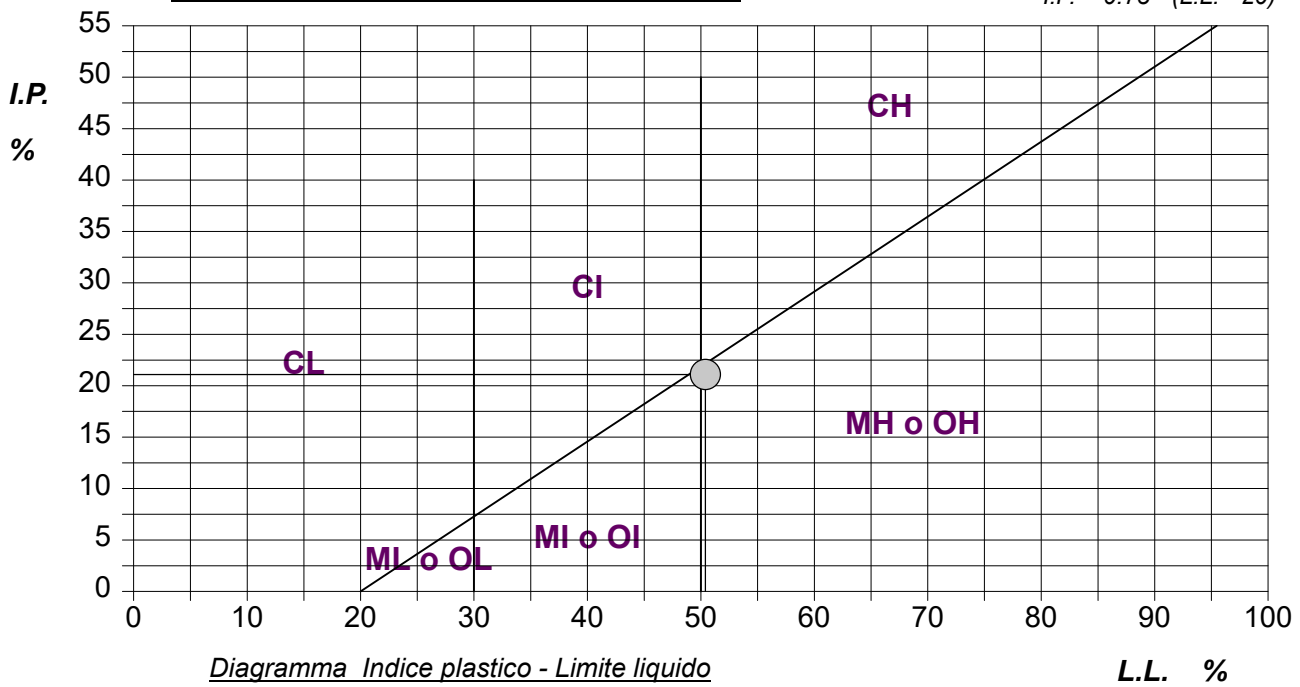


Diagramma Indice plastico - Limite liquido

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11392	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	19/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

LIMITE DI RITIRO

Modalità di prova: Norma ASTM D 427-04

Materiale passante al setaccio n° 40 (0.420 mm): 93 %

Limite di ritiro = 14,4 %

Coefficiente di ritiro = 1,70

Ritiro di volume = 3,94

Ritiro lineare = 1,28

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11393 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 11/07/22	Fine analisi:	14/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

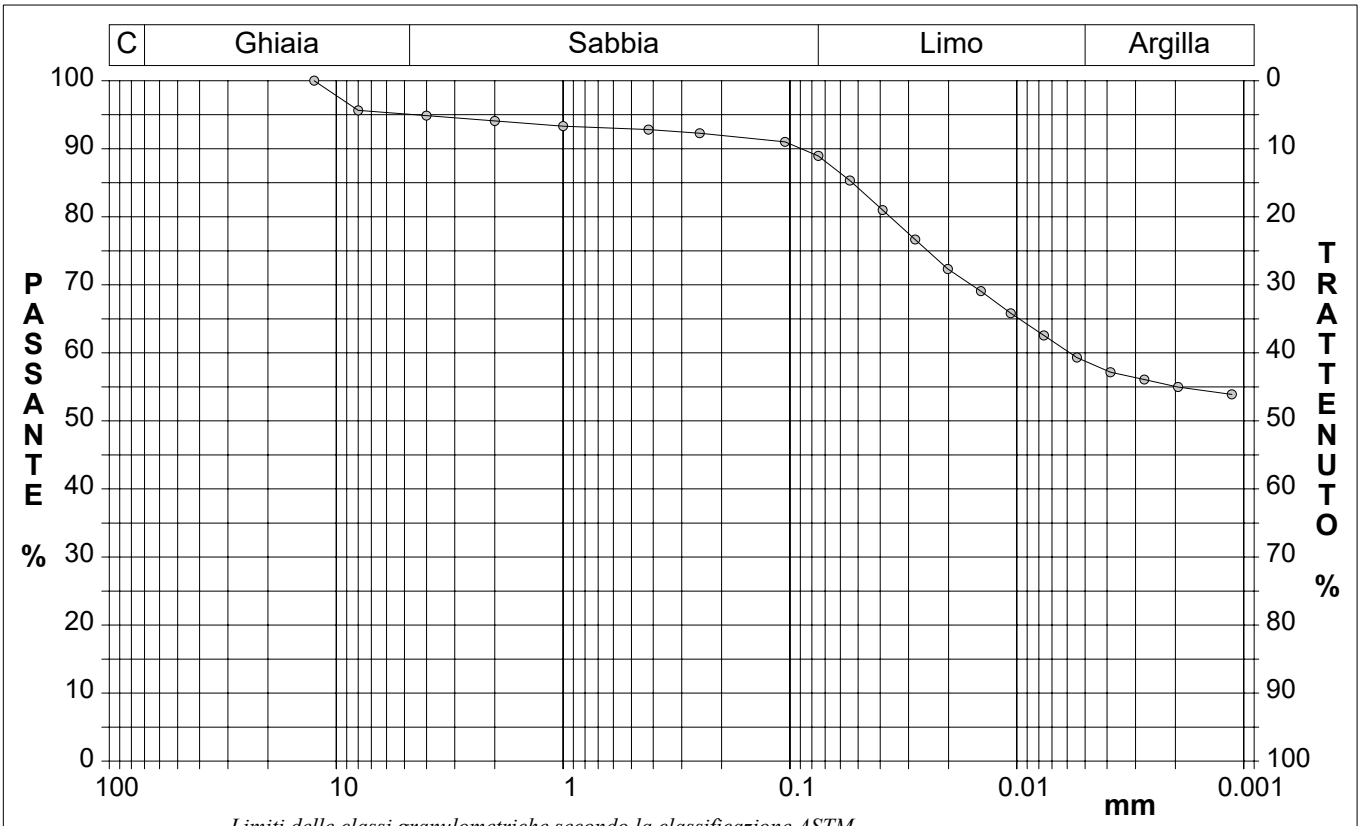
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	5,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	94,1 %	D_{10}	--- mm
Sabbia	6,1 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	92,8 %	D_{30}	--- mm
Limo	30,1 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	88,9 %	D_{50}	--- mm
Argilla	58,8 %			D_{60}	0,00583 mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D_{90}	0,08912 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
12,5000	100,00	0,4200	92,80	0,0391	80,98	0,0076	62,57	0,0011	53,91
8,0000	95,63	0,2500	92,29	0,0281	76,65	0,0054	59,32		
4,0000	94,86	0,1050	91,00	0,0202	72,32	0,0039	57,16		
2,0000	94,09	0,0750	88,95	0,0144	69,07	0,0027	56,07		
1,0000	93,32	0,0544	85,32	0,0106	65,82	0,0019	54,99		

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11394 Pagina 1/2	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 11/07/22	Fine analisi:	27/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-02

Caratteristiche del campione

Peso di volume (kN/m³)	19,58
Umidità (%)	23,8
Peso specifico (kN/m³)	26,96
Altezza provino (cm)	2,00
Diametro provino (cm)	5,00
Sezione provino (cm²)	19,63
Volume provino (cm³)	39,27
Volume dei vuoti (cm³)	16,23
Indice dei vuoti	0,70
Porosità (%)	41,33
Saturazione (%)	93,0

DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI

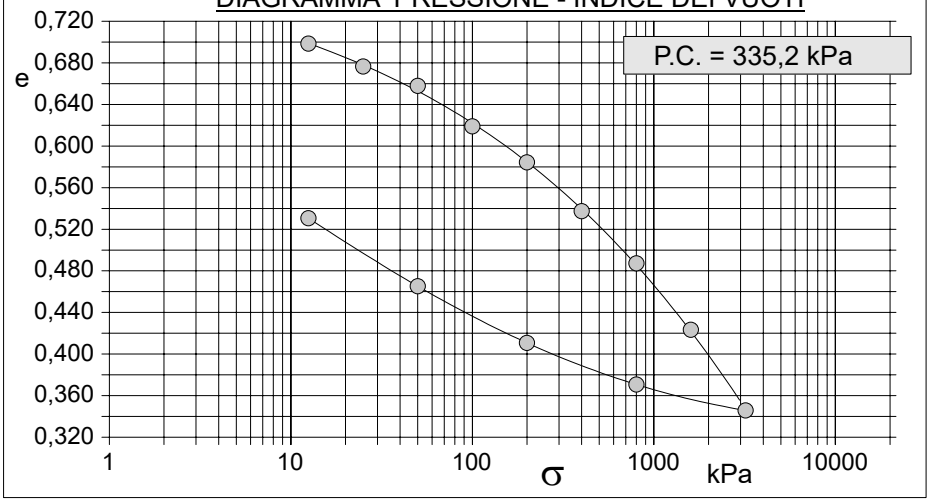
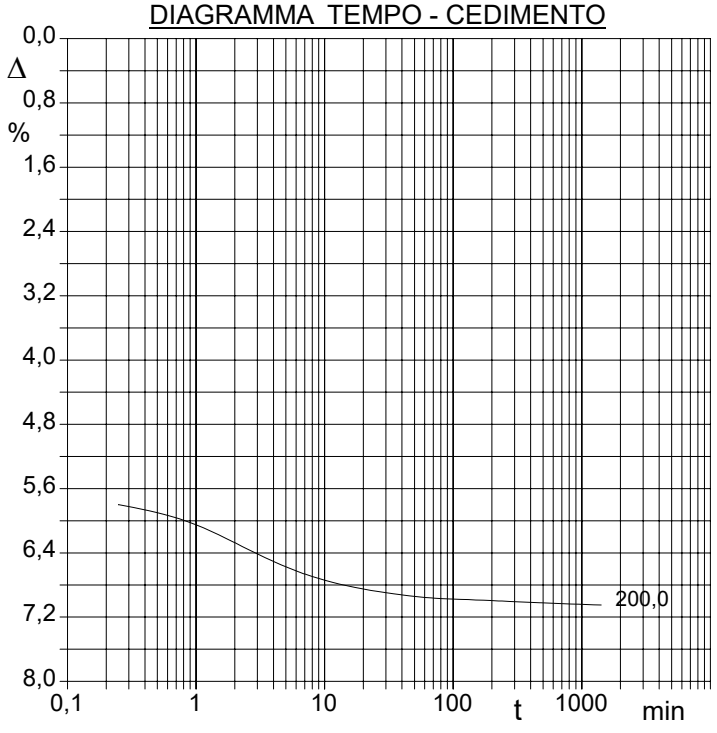
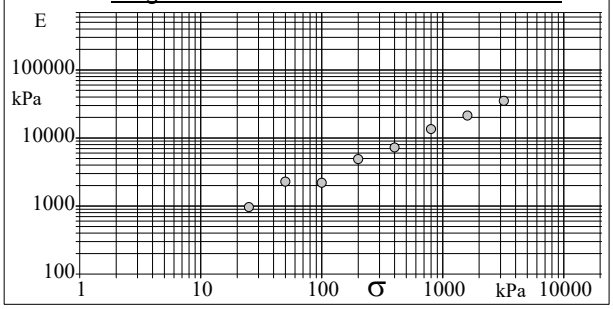


DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO



Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
12,5	7,0	0,699				
25,0	32,9	0,676	0,073	967		
50,0	54,7	0,658	0,062	2284		
100,0	100,3	0,619	0,129	2196		
200,0	141,0	0,584	0,115	4912	0,001627	3,25E-08
400,0	196,0	0,537	0,156	7273		
800,0	255,0	0,487	0,167	13559		
1600,0	330,0	0,423	0,212	21333		
3200,0	421,0	0,346	0,258	35165		
800,0	391,8	0,371				
200,0	344,8	0,411				
50,0	280,8	0,465				
12,5	204,0	0,531				

Diagramma Pressione - Modulo edometrico



SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11394	Pagina 2/2	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	27/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

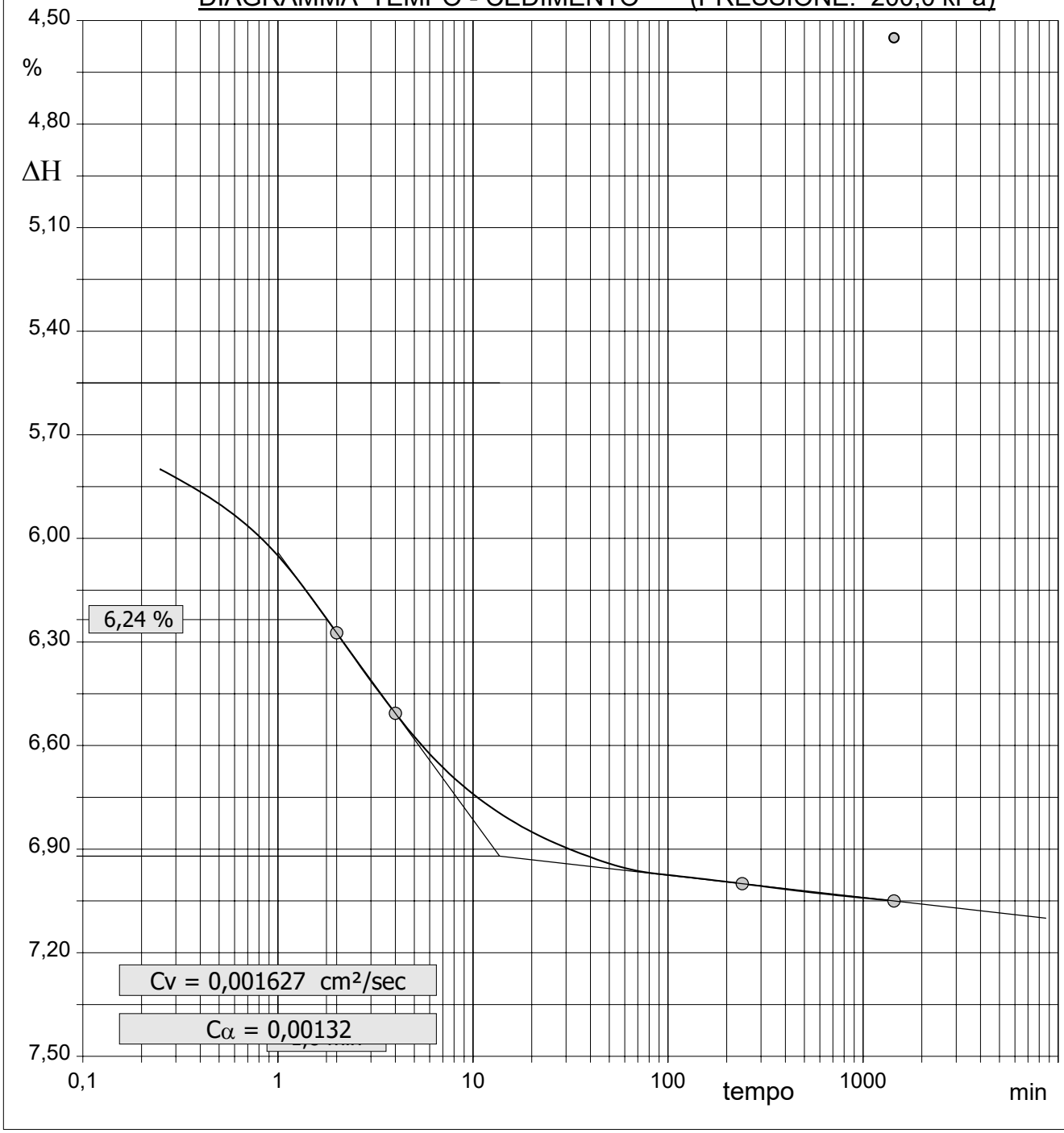
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 4 PROFONDITA': m 10,50 - 11,00

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-02

DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO (PRESSIONE: 200,0 kPa)



SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	22,1	%
Peso di volume	20,1	kN/m³
Peso di volume secco	16,5	kN/m³
Peso di volume saturo	20,2	kN/m³
Peso specifico	26,3	kN/m³
Indice dei vuoti	0,597	
Porosità	37,4	%
Grado di saturazione	99,5	%

FOTOGRAFIA

LIMITI DI CONSISTENZA

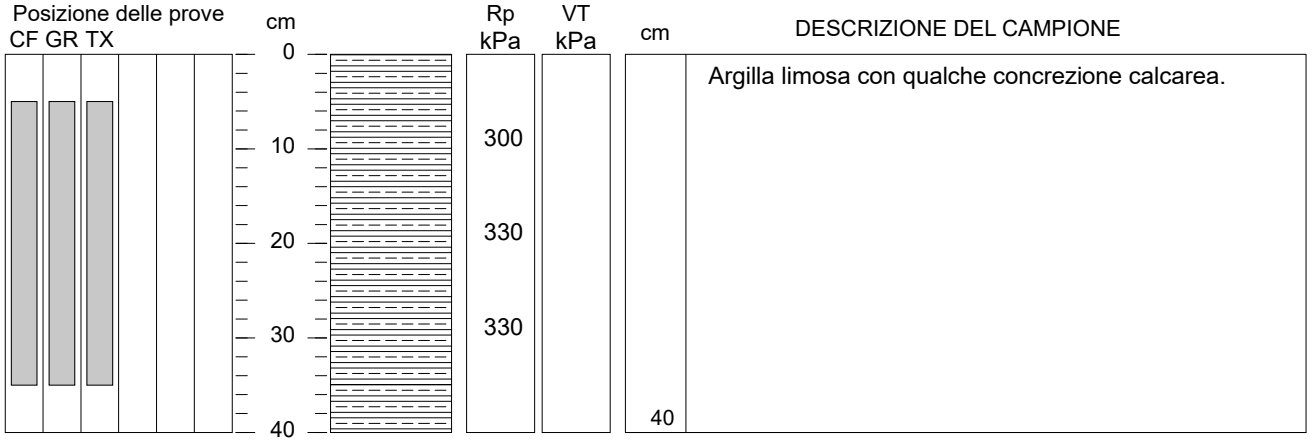
Limite di liquidità	53,7	%
Limite di plasticità	22,2	%
Indice di plasticità	31,5	%
Indice di consistenza	1,00	
Passante al set. n° 40	NO	
Limite di ritiro	11,5	%

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	3,0	%
Limo	36,1	%
Argilla	60,9	%

COMPRESSIONE TRIASSIALE U.U.

Coesione: (c_u)	126,9	kPa



SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 certificato da "q c b Italia"

certificazione ufficiale - settore " A " - prove di laboratorio sulle terre e aggregati
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
decreto 0000011 del 13/02/2017 art.59 DPR 380/2001 circol. 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11412	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	29/08/22	Inizio analisi:	26/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	26/07/22	Fine analisi:	27/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 22,1 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11413	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	29/08/22	Inizio analisi:	26/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	26/07/22	Fine analisi:	26/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 20,1 kN/m³

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11414	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	29/08/22	Inizio analisi:	04/08/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	26/07/22	Fine analisi:	04/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,3 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,3 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,8 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11415 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 29/08/22	Inizio analisi:	04/08/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 26/07/22	Fine analisi:	05/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

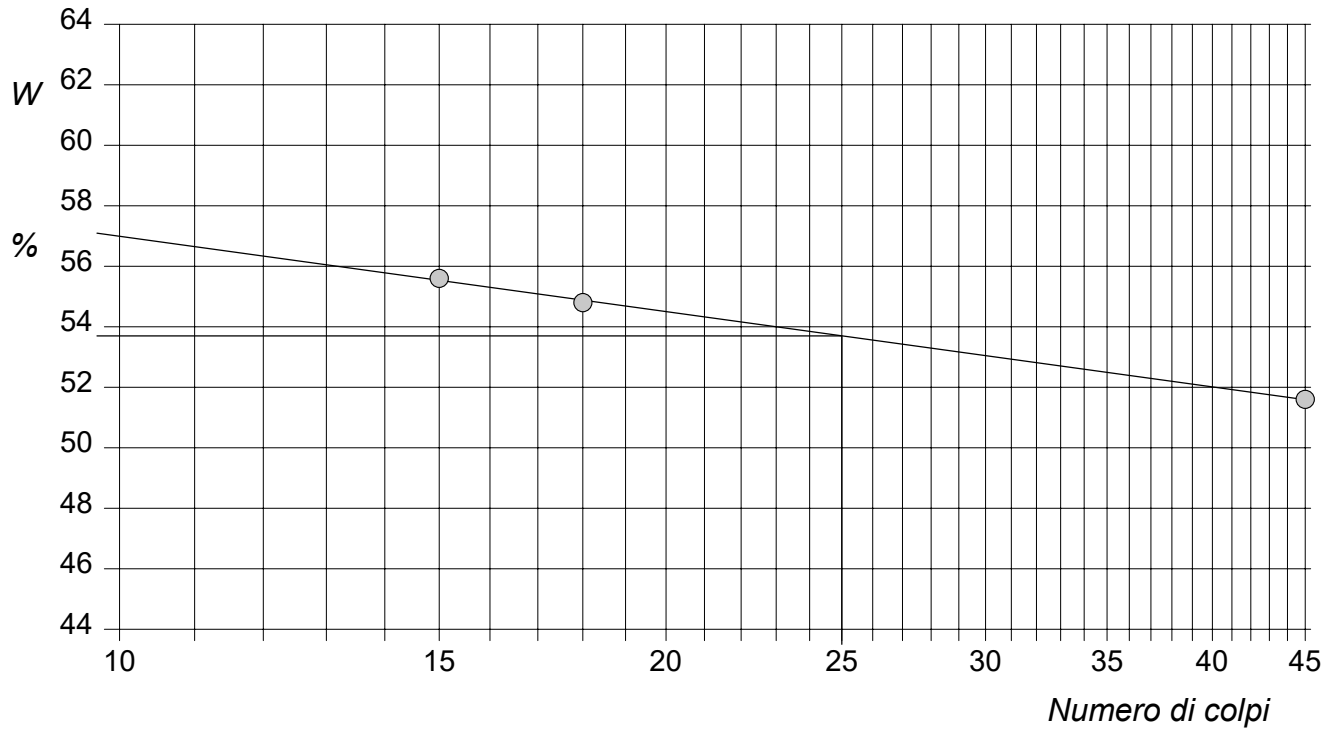
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	53,7	%
Limite di plasticità	22,2	%
Indice di plasticità	31,5	%

LIMITE DI LIQUIDITA'					
Numero di colpi	15	18	45		
Umidità (%)	55,6	54,8	51,6		

LIMITE DI PLASTICITA'		
Umidità (%)	21,6	22,7
Umidità media	22,2	

Determinazione del Limite di liquidità



RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11415	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE:	29/08/22	Inizio analisi:	04/08/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	26/07/22	Fine analisi:	05/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

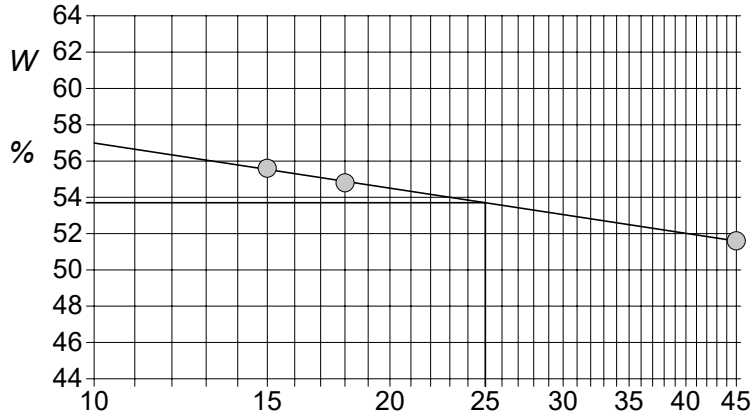
SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	53,7	%
Limite di plasticità	22,2	%
Indice di plasticità	31,5	%
Indice di consistenza	1,00	
Passante al set. n° 40	NO	

Determinazione del Limite di liquidità



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	I - Media compressibilità
O - Argille e limi organici	**H - Alta compressibilità**

ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

I.P. = 0.73 · (L.L. - 20)

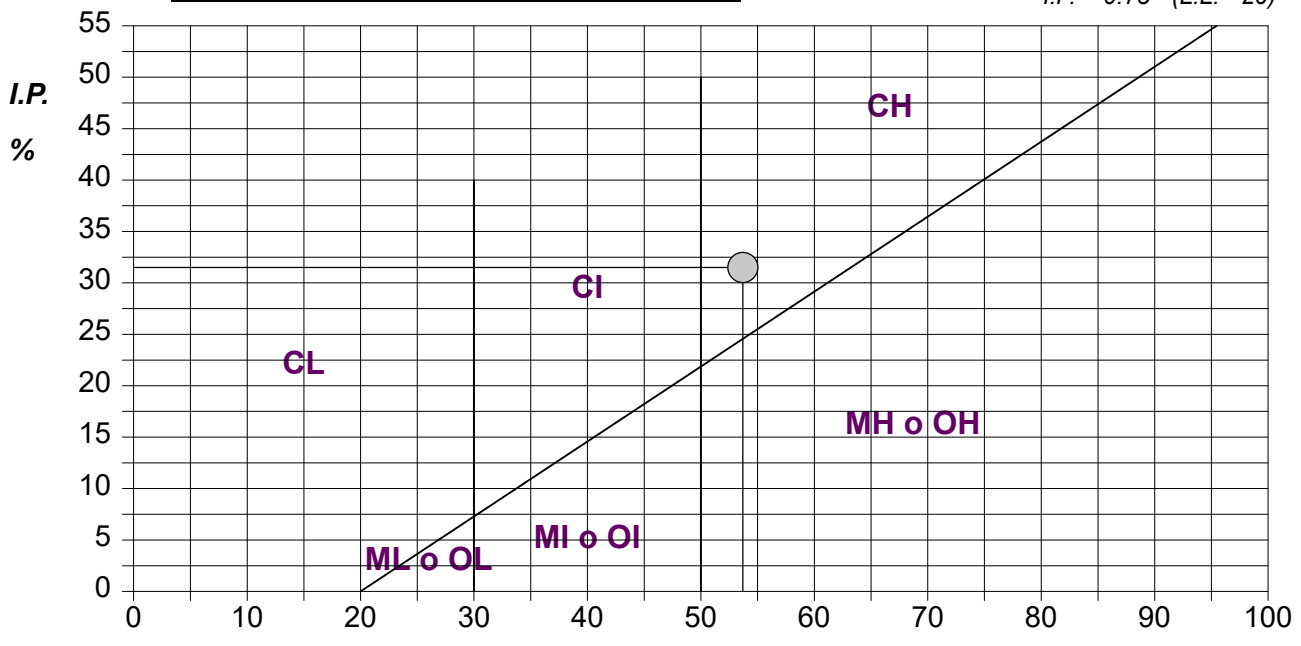


Diagramma Indice plastico - Limite liquido

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11416	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	29/08/22	Inizio analisi:	05/08/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	26/07/22	Fine analisi:	26/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

LIMITE DI RITIRO

Modalità di prova: Norma ASTM D 427-04

Materiale passante al setaccio n° 40 (0.420 mm): 100 %

Limite di ritiro = 11,5 %

Coefficiente di ritiro = 1,79

Ritiro di volume = 2,33

Ritiro lineare = 0,76

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11417 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 29/08/22	Inizio analisi:	02/08/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 26/07/22	Fine analisi:	04/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

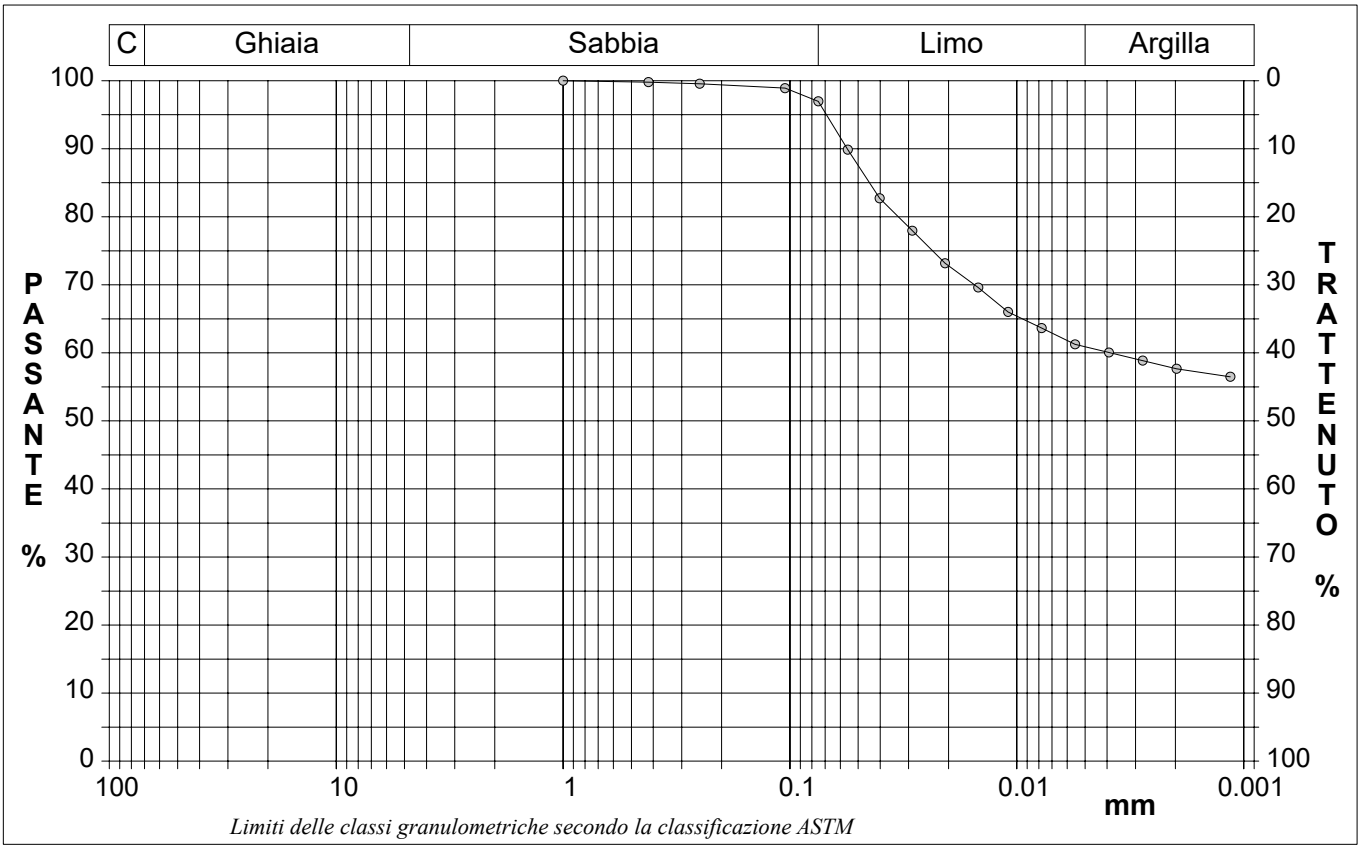
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D_{10}	--- mm
Sabbia	3,0 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,8 %	D_{30}	--- mm
Limo	36,1 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	97,0 %	D_{50}	--- mm
Argilla	60,9 %			D_{60}	0,00386 mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D_{90}	0,05589 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
1,0000	100,00	0,0556	89,87	0,0109	66,02	0,0020	57,68		
0,4200	99,79	0,0402	82,71	0,0078	63,64	0,0011	56,49		
0,2500	99,54	0,0289	77,94	0,0055	61,25				
0,1050	98,91	0,0207	73,18	0,0039	60,06				
0,0750	96,96	0,0148	69,60	0,0028	58,87				

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11418 Pagina 2/1	DATA DI EMISSIONE: 29/08/22	Inizio analisi:	26/08/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 26/07/22	Fine analisi:	29/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 5 PROFONDITA': m 15,00 - 15,50

PROVA DI COMPRESSIONE TRIASSIALE U.U.

Modalità di prova: Norma ASTM D 2850-95

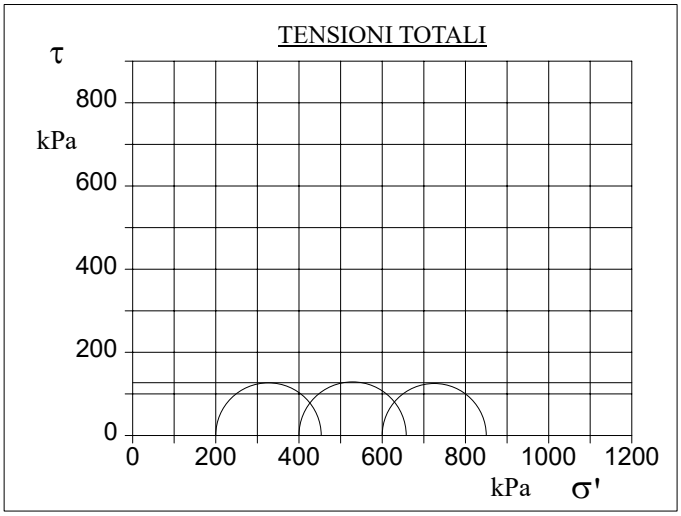
Pr.	Dimensioni		Caratteristiche fisiche				Consolidazione			Valori finali o a rottura			
n°	H_o cm	ϕ cm	γ kN/m³	γ_s kN/m³	w %	S_o %	σ_3 kPa	u_o kPa	σ'_3 kPa	δ_f %	$\sigma_1-\sigma_3$ kPa	$\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}$ kPa	$\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}$ kPa
1	7,63	3,84	20,2	26,3	21,6	99,0	200	0	200	18,3	254	327	127
2	7,63	3,84	20,2	26,3	22,5	100,0	400	0	400	17,0	258	529	129
3	7,63	3,84	20,1	26,3	22,0	99,4	600	0	600	18,3	250	725	125

H_o ϕ - Altezza e diametro provini
w - Umidità dei provini

γ γ_s - Peso di volume e peso specifico
S - Grado di saturazione

σ_3 - Pressione di cella
u_o - Back pressure

δ_f - Deformazione a rottura
σ_1 σ_3 - Tensioni totali

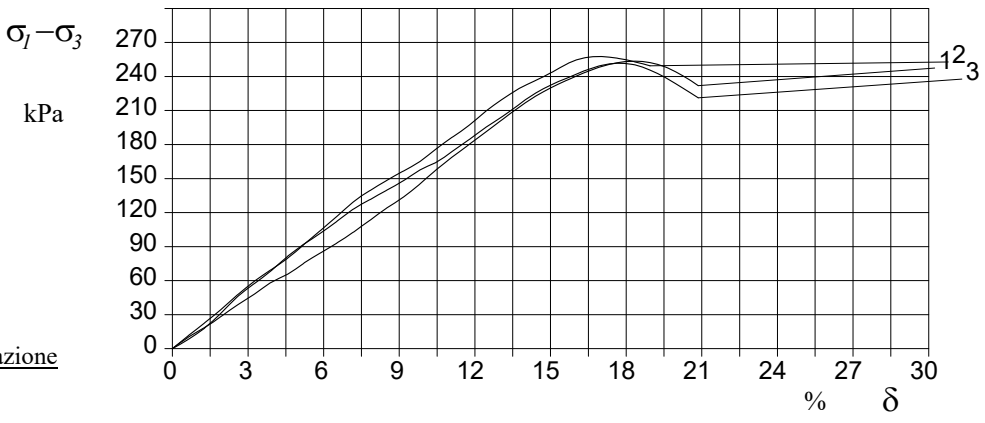


Velocità di deformazione: 0,500 mm/min

cu = 127 kPa

Diagramma

Tensione totale - Deformazione



RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)
SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	23,9	%
Peso di volume minimo	16,3	kN/m³
Peso di volume massimo	20,5	kN/m³
Peso specifico	26,9	kN/m³
Indice dei vuoti	0,811	
Porosità	44,8	%
Grado di saturazione	80,9	%

FOTOGRAFIA

LIMITI DI CONSISTENZA

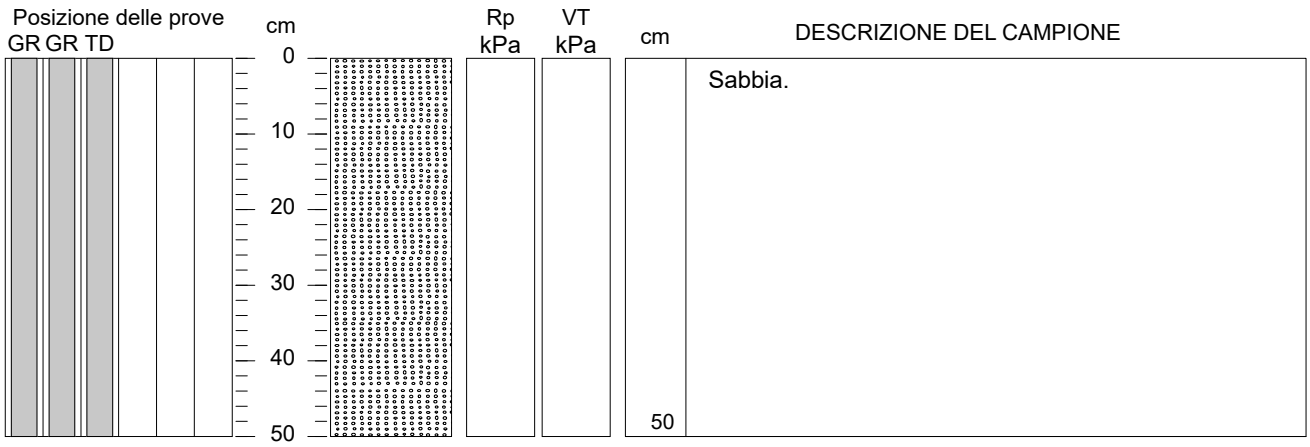
Limite di liquidità	Non determinabile
Limite di plasticità	Non plastico
Indice di plasticità	Non determinabile
Indice di consistenza	
Passante al set. n° 40	

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	95,3	%
Limo-Argilla	4,7	%

TAGLIO DIRETTO

Coesione:	1,1	kPa
Angolo di attrito interno:	28,1	°



DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11395	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	12/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 23,9 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11396	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	11/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	11/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

PESO DI VOLUME MINIMO E MASSIMO

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume minimo = 16,3 kN/m³

Peso di volume massimo = 20,5 kN/m³

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11397	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	20/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	20/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,9 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,9 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 26,9 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11398 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 11/07/22	Fine analisi:	20/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

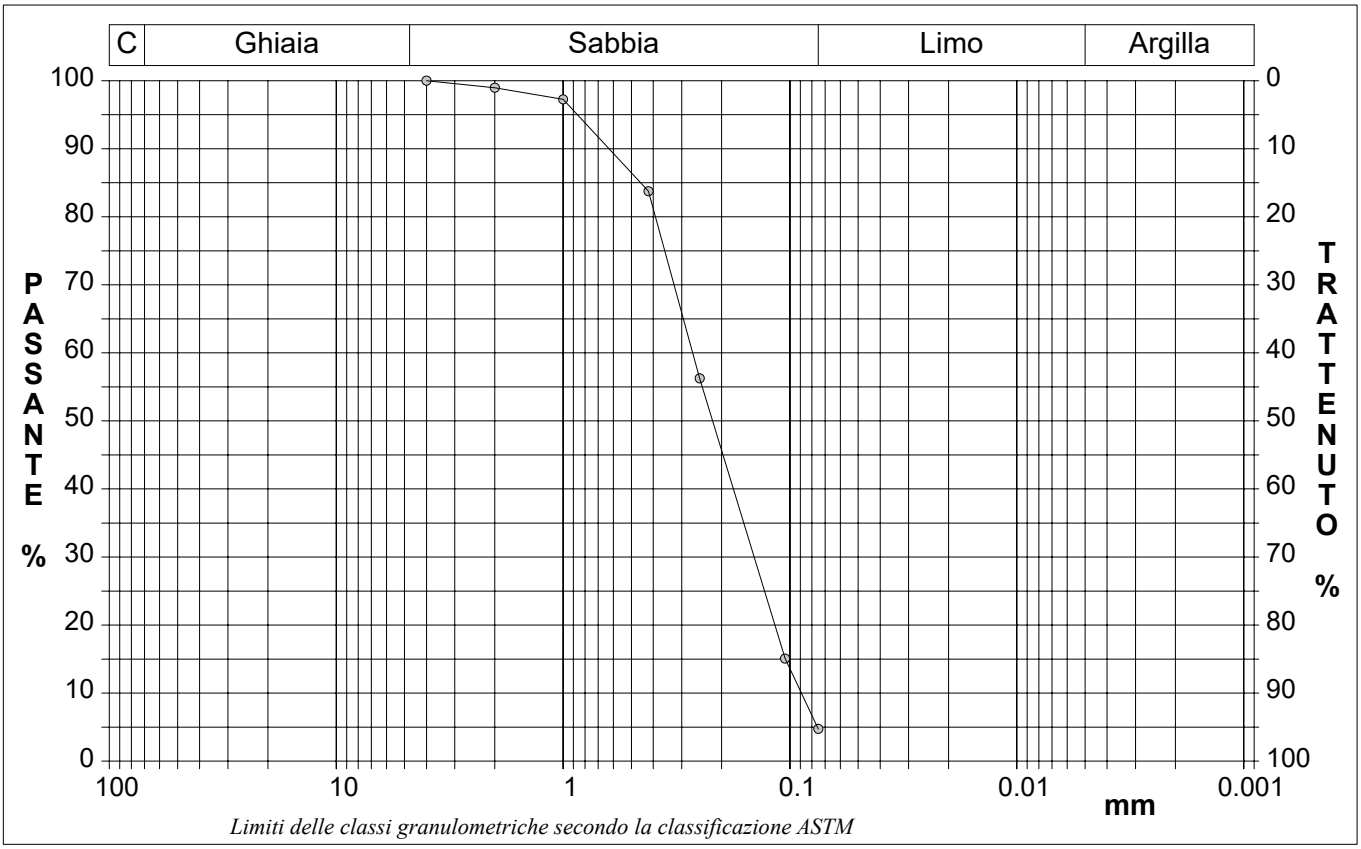
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,0 %	D_{10}	0,08899 mm
Sabbia	95,3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	83,8 %	D_{30}	0,14376 mm
Limo-Argilla	4,7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	4,7 %	D_{50}	0,21909 mm
				D_{60}	0,26825 mm
Coefficiente di uniformità	3,01	Coefficiente di curvatura	0,87	D_{90}	0,62715 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,0000	100,00	0,1050	15,09						
2,0000	98,97	0,0750	4,74						
1,0000	97,26								
0,4200	83,76								
0,2500	56,27								

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11399	Pagina 1/2	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	26/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	03/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

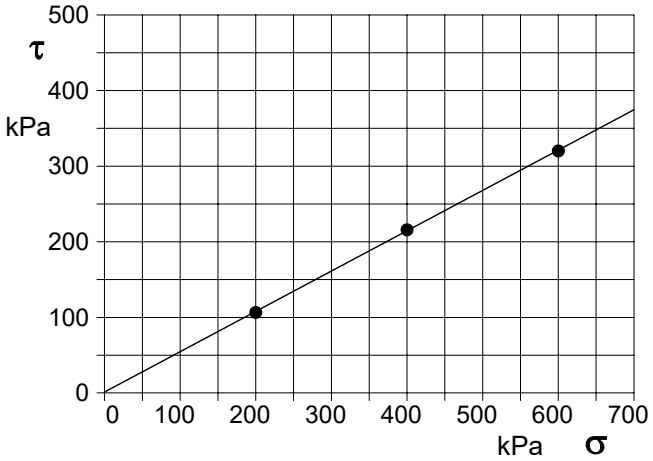
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Ricostituito	Ricostituito	Ricostituito
Pressione verticale (kPa):	200	400	600
Tensione a rottura (kPa):	107	216	320
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	4,50	4,50	4,50
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,42	0,39	0,27
Umidità naturale (%):	- - -	- - -	- - -
Peso di volume (kN/m³):	- - -	- - -	- - -

DIAGRAMMA
Tensione - Pressione verticale

Coesione:	1,1 kPa
Angolo di attrito interno:	28,1 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,044 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



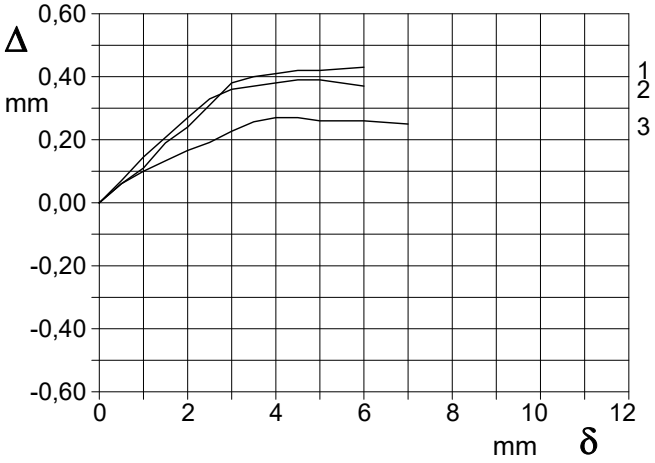


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

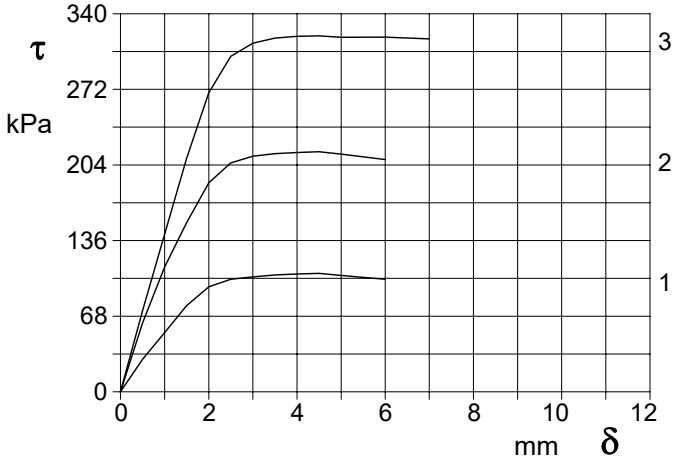


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11399	Pagina 2/2	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	26/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	11/07/22	Fine analisi:	03/08/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 6 PROFONDITA': m 21,00 - 21,50

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-03

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,889
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	23,1
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,030

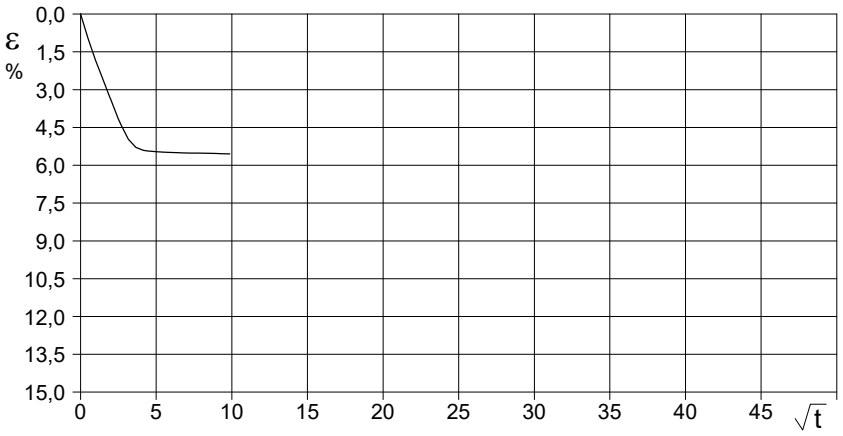


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	400
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,838
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	15,8
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,044

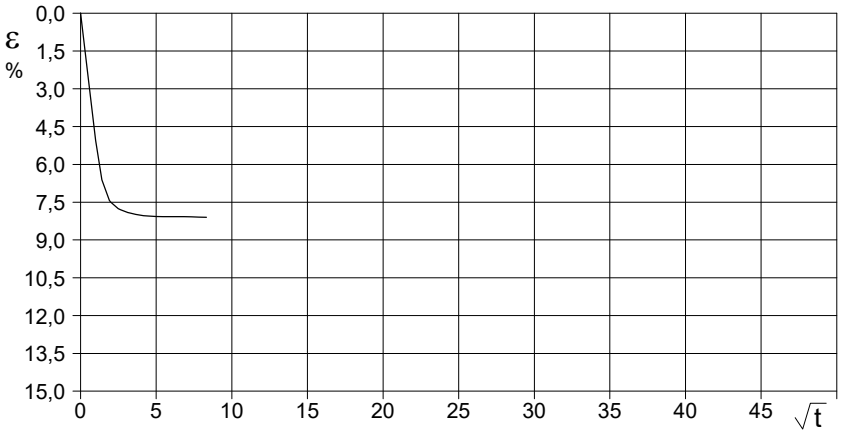
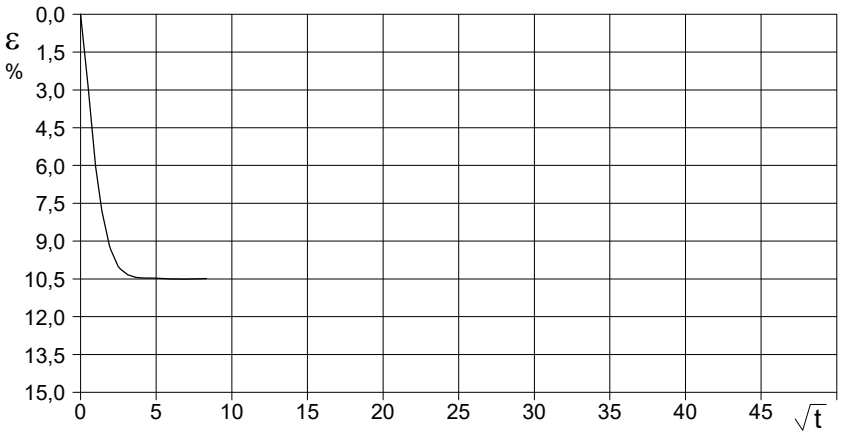


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	600
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,790
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	12,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,059



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	24,3	%
Peso di volume	19,0	kN/m³
Peso di volume secco	15,3	kN/m³
Peso di volume saturo	19,5	kN/m³
Peso specifico	26,9	kN/m³
Indice dei vuoti	0,762	
Porosità	43,3	%
Grado di saturazione	87,4	%

FOTOGRAFIA

LIMITI DI CONSISTENZA

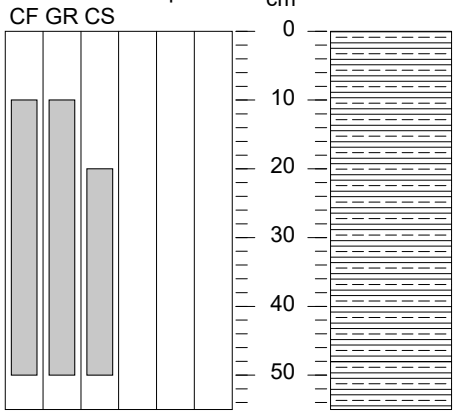
Limite di liquidità	48,6	%
Limite di plasticità	31,0	%
Indice di plasticità	17,6	%
Indice di consistenza	1,38	
Passante al set. n° 40	NO	
Limite di ritiro	11,8	%

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	3,3	%
Limo	34,3	%
Argilla	62,4	%

COMPRESSIONE

Resistenza a compressione	156	kPa
Coesione non drenata	78	kPa



Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
200			Argilla limosa.
195			
220			
220		55	

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

TECNOSTUDIO
Società di ingegneria

AZIENDA CON SISTEMA GESTIONE QUALITA' UNI EN ISO 9001:2015 certificato da "q c b Italia"

certificazione ufficiale - settore " A " - prove di laboratorio sulle terre e aggregati
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
decreto 0000011 del 13/02/2017 art.59 DPR 380/2001 circol. 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11400 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	25/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 25/07/22	Fine analisi:	26/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 24,3 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11401	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	25/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	25/07/22	Fine analisi:	25/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,0 kN/m³

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11402	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	27/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	25/07/22	Fine analisi:	27/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 26,9 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 26,9 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,9 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11403 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	27/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 25/07/22	Fine analisi:	28/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

LIMITI DI CONSISTENZA LIQUIDO E PLASTICO

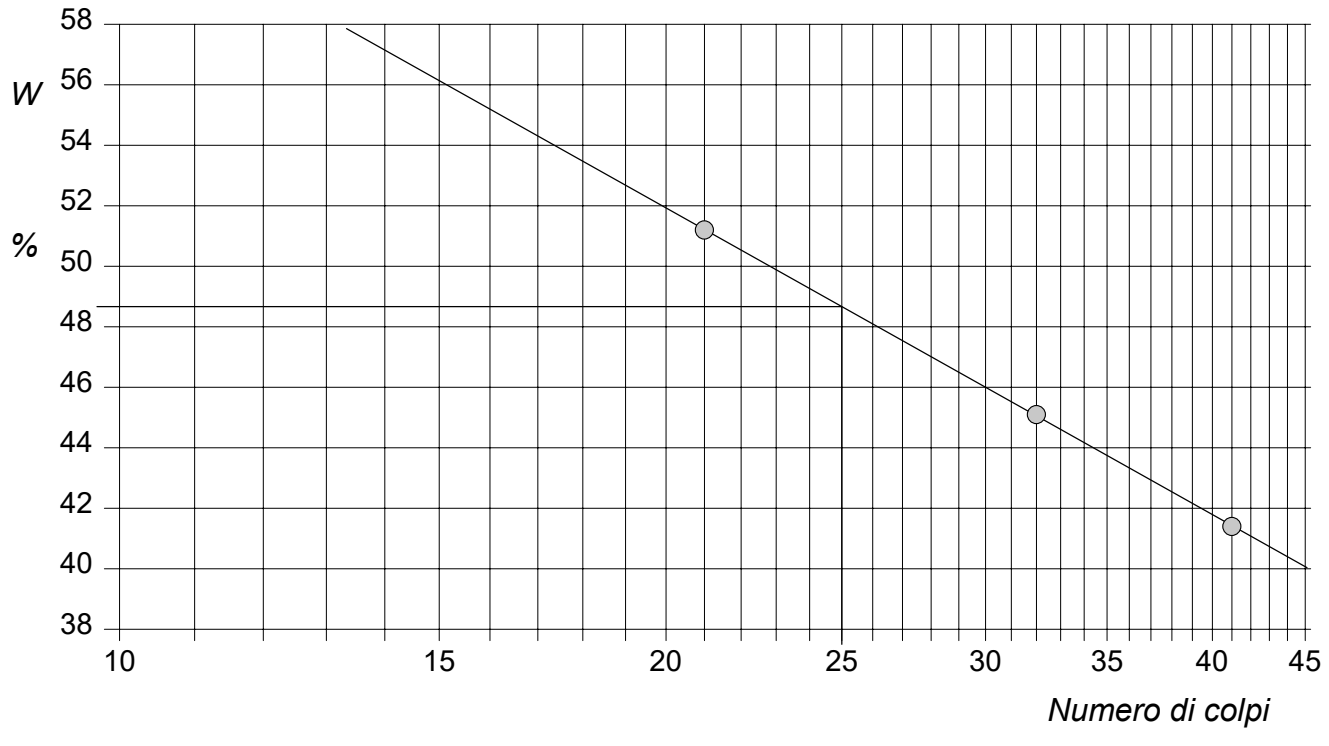
Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	48,6	%
Limite di plasticità	31,0	%
Indice di plasticità	17,6	%

LIMITE DI LIQUIDITA'					
Numero di colpi	21	32	41		
Umidità (%)	51,2	45,1	41,4		

LIMITE DI PLASTICITA'		
Umidità (%)	31,3	30,6
Umidità media	31,0	

Determinazione del Limite di liquidità



RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11403	Allegato 1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	27/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	25/07/22	Fine analisi:	28/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

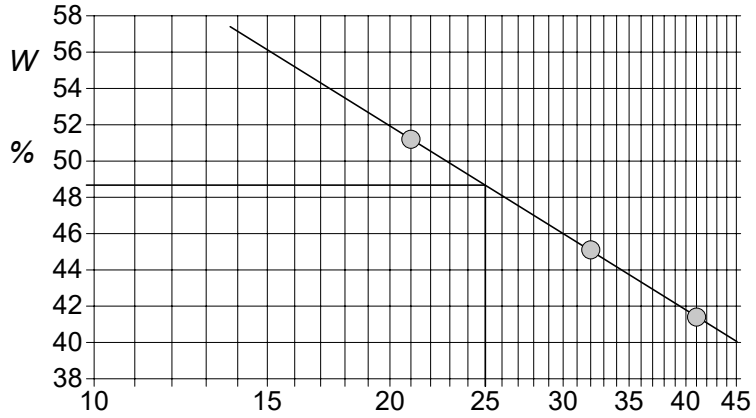
SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

ABACO DI CASAGRANDE

Modalità di prova: Norma ASTM D 4318-00

Limite di liquidità	48,6	%
Limite di plasticità	31,0	%
Indice di plasticità	17,6	%
Indice di consistenza	1,38	
Passante al set. n° 40	NO	

Determinazione del Limite di liquidità



C - Argille inorganiche	L - Bassa compressibilità
M - Limi inorganici	**I - Media compressibilità**
O - Argille e limi organici	H - Alta compressibilità

ABACO DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE

I.P. = 0.73 · (L.L. - 20)

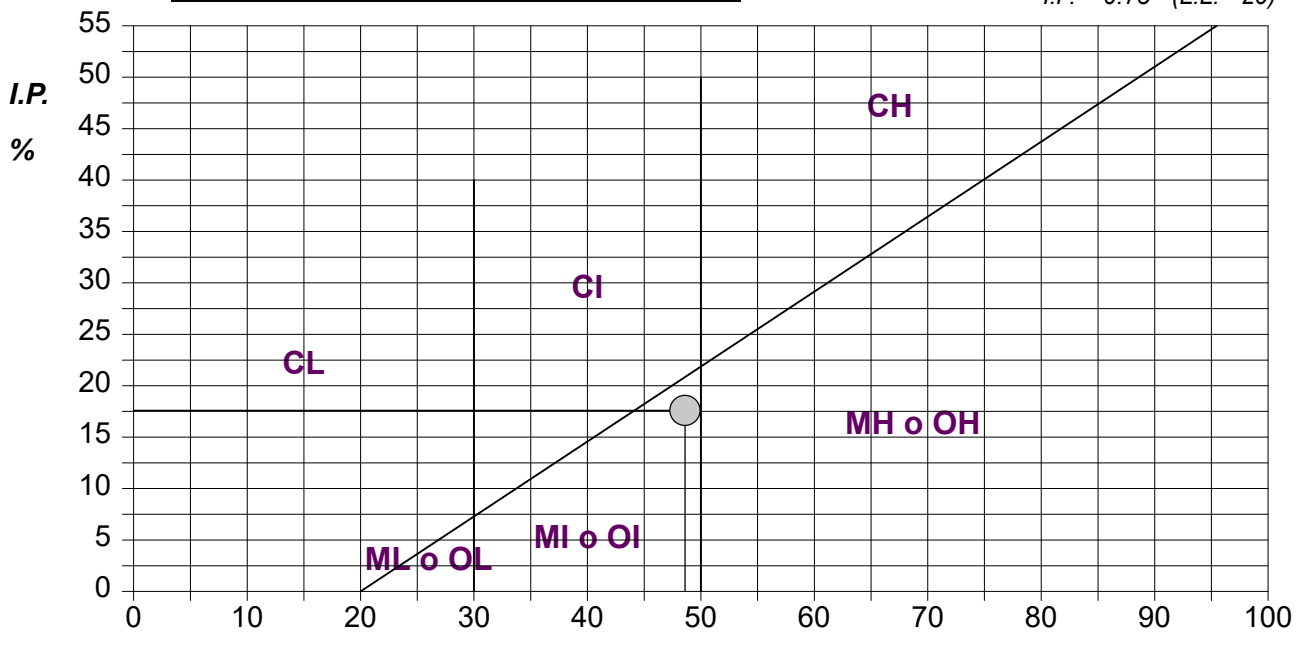


Diagramma Indice plastico - Limite liquido

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11404	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	28/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	25/07/22	Fine analisi:	29/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

LIMITE DI RITIRO

Modalità di prova: Norma ASTM D 427-04

Materiale passante al setaccio n° 40 (0.420 mm): 100 %

Limite di ritiro = 11,8 %

Coefficiente di ritiro = 1,63

Ritiro di volume = 2,86

Ritiro lineare = 0,93

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11405	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	23/08/22	Inizio analisi:	25/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	25/07/22	Fine analisi:	27/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

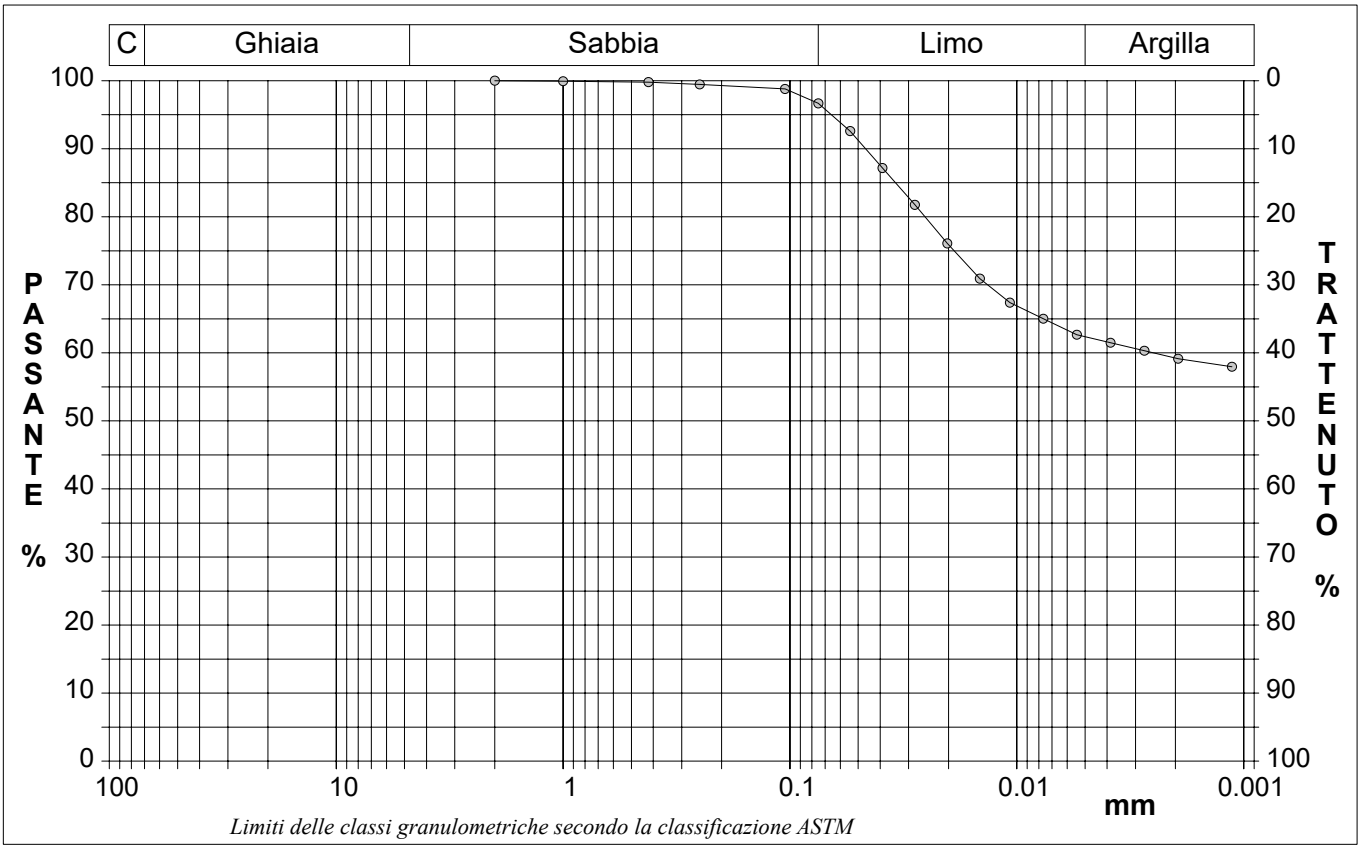
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D_{10}	--- mm
Sabbia	3,3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,8 %	D_{30}	--- mm
Limo	34,3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	96,7 %	D_{50}	--- mm
Argilla	62,4 %			D_{60}	0,00250 mm
Coefficiente di uniformità	---	Coefficiente di curvatura	---	D_{90}	0,04639 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
2,0000	100,00	0,0750	96,67	0,0145	70,92	0,0027	60,32		
1,0000	99,92	0,0543	92,59	0,0107	67,38	0,0019	59,14		
0,4200	99,79	0,0391	87,17	0,0076	65,03	0,0011	57,96		
0,2500	99,45	0,0281	81,75	0,0054	62,67				
0,1050	98,78	0,0203	76,10	0,0039	61,49				

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11406 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 23/08/22	Inizio analisi:	25/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 25/07/22	Fine analisi:	29/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 7 PROFONDITA': m 25,50 - 26,00

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166-00

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Velocità di deformazione (mm/min):	0,500	0,500	0,500
Altezza (cm):	7,63	7,63	7,63
Sezione (cm²):	11,55	11,55	11,55
Peso di volume (kN/m³):	19,2	19,1	19,3
Umidità naturale (%):	24,7	-----	24,0
Deformazione a rottura (%):	8,52	7,86	8,52
Sforzo a rottura (kPa):	155,2	155,5	156,0

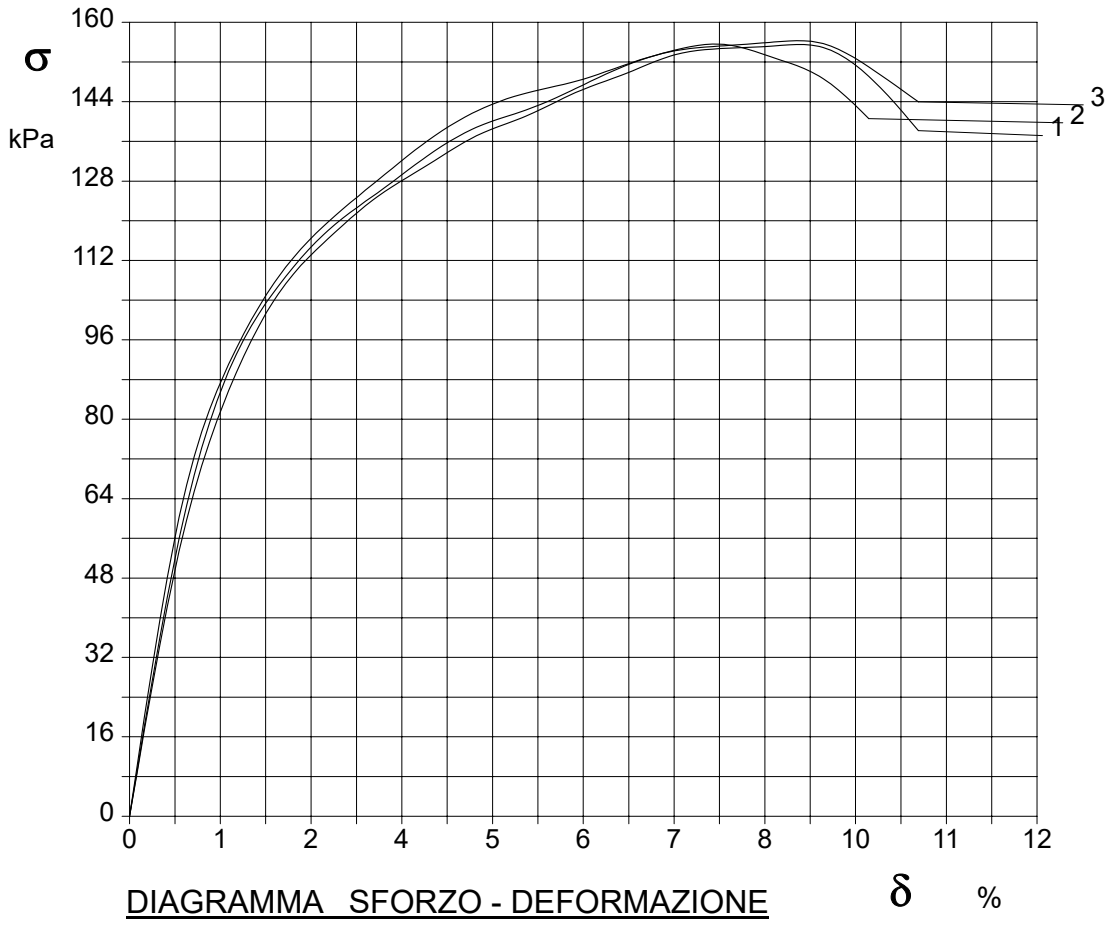


DIAGRAMMA SFORZO - DEFORMAZIONE

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	26,9	%
Peso di volume minimo	15,1	kN/m³
Peso di volume massimo	20,0	kN/m³
Peso specifico	27,1	kN/m³
Indice dei vuoti	0,957	
Porosità	48,9	%
Grado di saturazione	77,7	%

FOTOGRAFIA

LIMITI DI CONSISTENZA

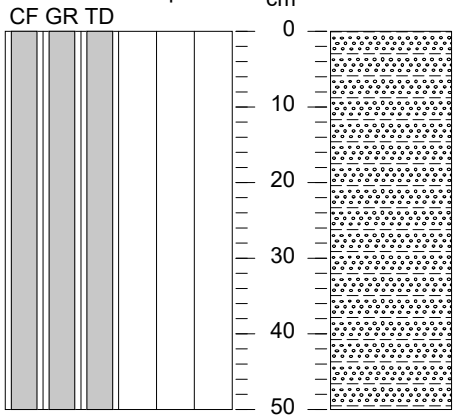
Limite di liquidità	Non determinabile
Limite di plasticità	Non plastico
Indice di plasticità	Non determinabile
Indice di consistenza	
Passante al set. n° 40	

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	83,2	%
Limo	10,3	%
Argilla	6,5	%

TAGLIO DIRETTO

Coesione:	1,1	kPa
Angolo di attrito interno:	27,1	°



Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
		50	Sabbia anche debolmente limosa.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11407	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	24/08/22	Inizio analisi:	12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	12/07/22	Fine analisi:	13/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma CNR UNI 10008

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 26,9 %

Struttura del materiale:
- ◉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11408	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	24/08/22	Inizio analisi:	14/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	12/07/22	Fine analisi:	14/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

PESO DI VOLUME MINIMO E MASSIMO

Modalità di prova: Norma CNR 40-1973

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume minimo = 15,1 kN/m³

Peso di volume massimo = 20,0 kN/m³

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11409	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	24/08/22	Inizio analisi:	15/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	12/07/22	Fine analisi:	15/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854-02

γ_s = Peso specifico dei granuli (media delle due misure) (kN/m³) = 27,1 kN/m³

γ_{sc} = Peso specifico dei granuli corretto a 20° (kN/m³) = 27,0 kN/m³

Metodo: ☉ A ☐ B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 27,4 °C

Disaerazione eseguita sotto vuoto

SGEO - Laboratorio 6.3 - 2021

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11410 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 24/08/22	Inizio analisi:	12/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22	Apertura campione: 12/07/22	Fine analisi:	14/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

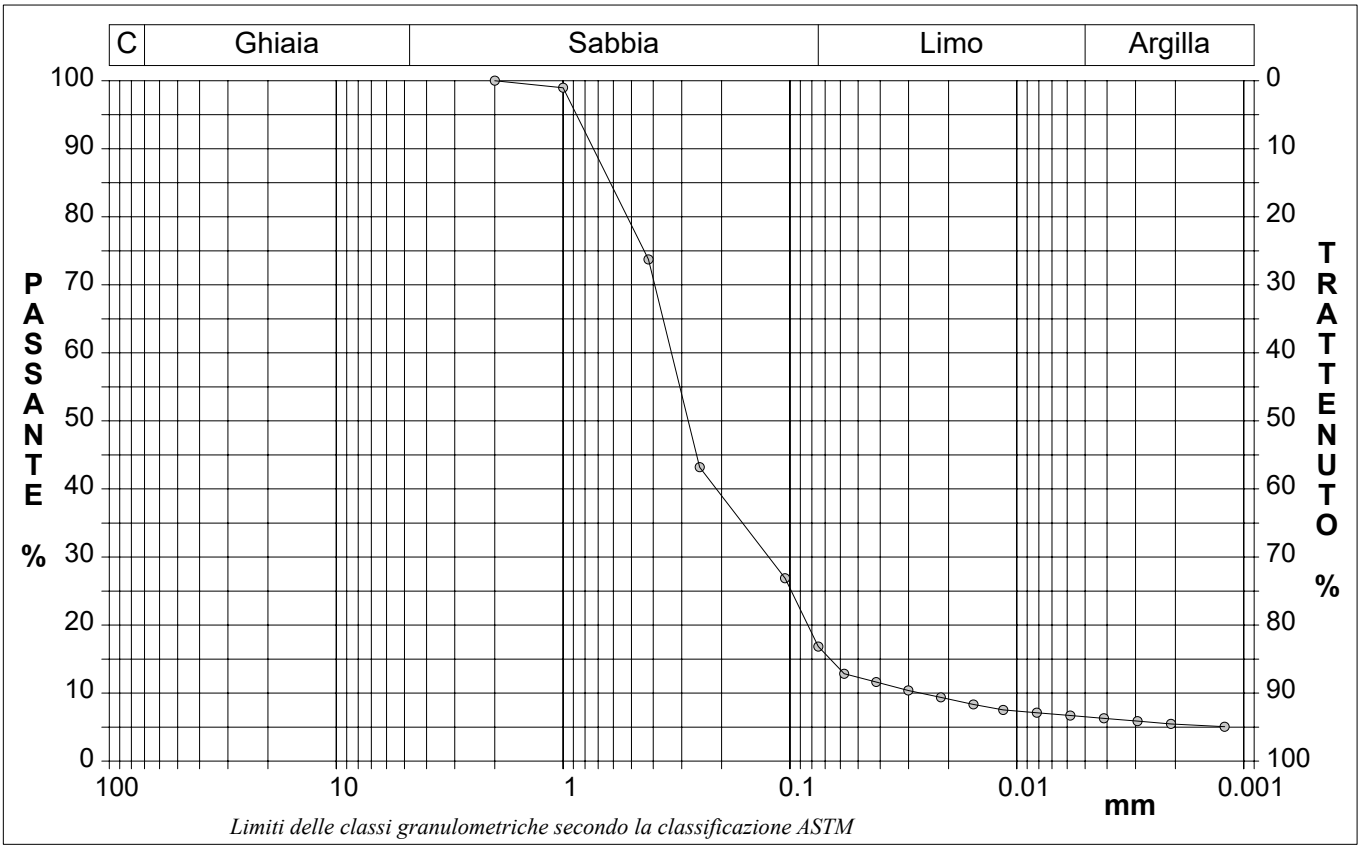
RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma UNI EN 933-1 / 933-2

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D_{10}	0,02648 mm
Sabbia	83,2 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	73,7 %	D_{30}	0,12397 mm
Limo	10,3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	16,8 %	D_{50}	0,28059 mm
Argilla	6,5 %			D_{60}	0,33254 mm
Coefficiente di uniformità	12,56	Coefficiente di curvatura	1,75	D_{90}	0,73460 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione ASTM

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
2,0000	100,00	0,0750	16,85	0,0155	8,35	0,0029	5,89		
1,0000	98,97	0,0577	12,85	0,0115	7,53	0,0021	5,48		
0,4200	73,75	0,0417	11,62	0,0082	7,12	0,0012	5,07		
0,2500	43,20	0,0301	10,39	0,0058	6,71				
0,1050	26,87	0,0216	9,37	0,0041	6,30				

Analisi granulometrica per via umida.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11411	Pagina 1/2	DATA DI EMISSIONE:	24/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	12/07/22	Fine analisi:	21/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

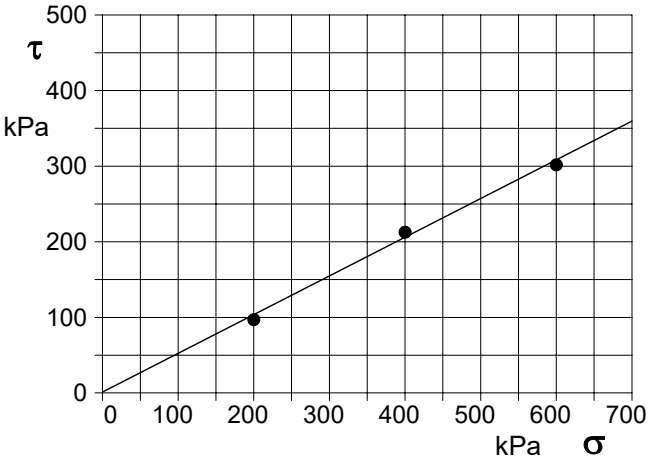
Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-03

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Ricostituito	Ricostituito	Ricostituito
Pressione verticale (kPa):	200	400	600
Tensione a rottura (kPa):	97	213	302
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	5,00	6,00	7,00
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,18	0,32	0,38
Umidità naturale (%):	- - -	- - -	- - -
Peso di volume (kN/m³):	- - -	- - -	- - -

DIAGRAMMA
Tensione - Pressione verticale

Coesione:	1,1 kPa
Angolo di attrito interno:	27,1 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,024 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



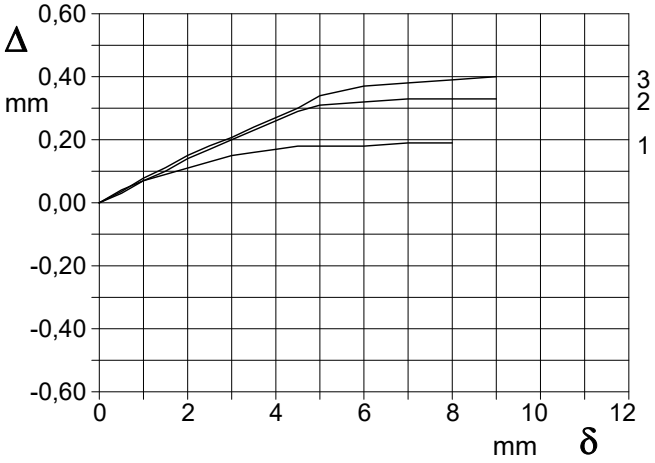


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

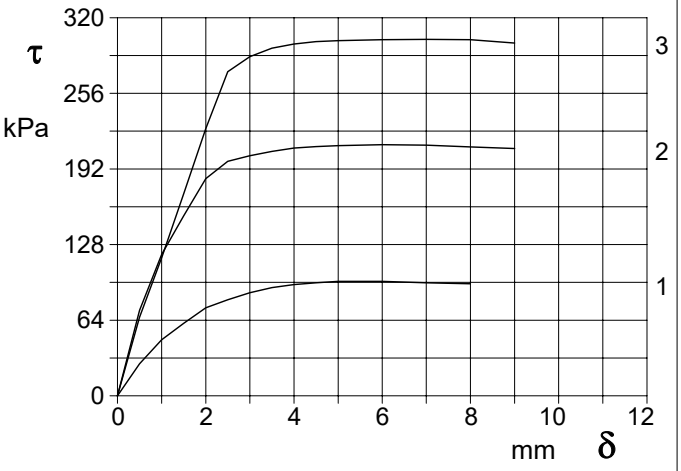


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

CERTIFICATO DI PROVA N°: 11411	Pagina 2/2	DATA DI EMISSIONE:	24/08/22	Inizio analisi:	18/07/22
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 3352110011 del 08/07/22		Apertura campione:	12/07/22	Fine analisi:	21/07/22

COMMITTENTE: HERATECH S.R.L.

RIFERIMENTO: Progetto vasca raccolta acquae meteoriche, CENTO (FE)

SONDAGGIO: S1-Pz CAMPIONE: 8 PROFONDITA': m 29,50 - 30,00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-03

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,932
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	33,4
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,021

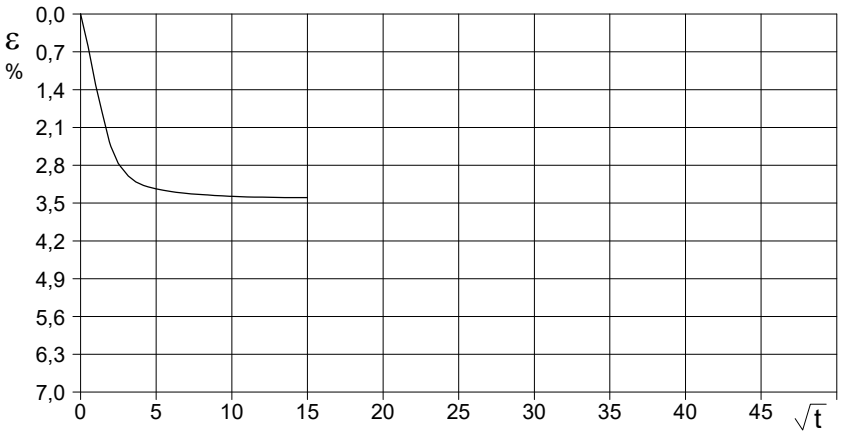


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	400
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,898
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	28,5
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,025

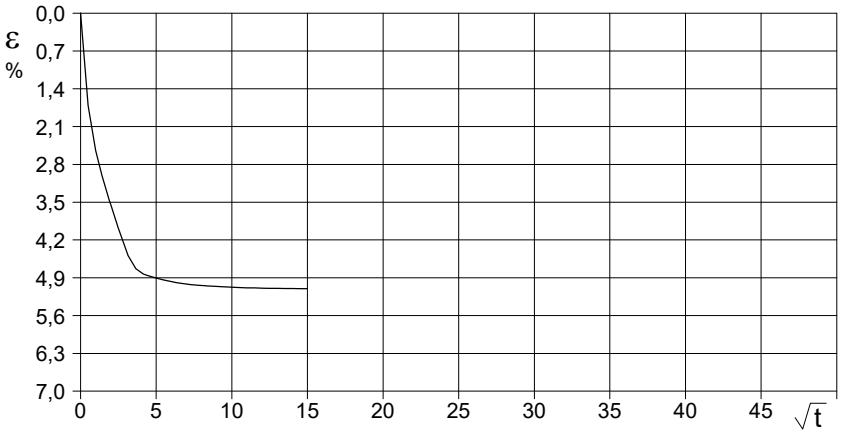
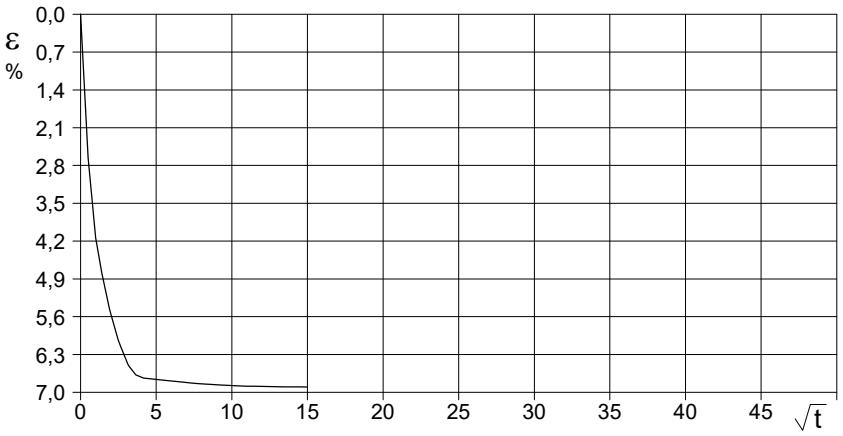


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	600
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,862
Sezione (cm²):	36,00
T_{100} (min)	28,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,025



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

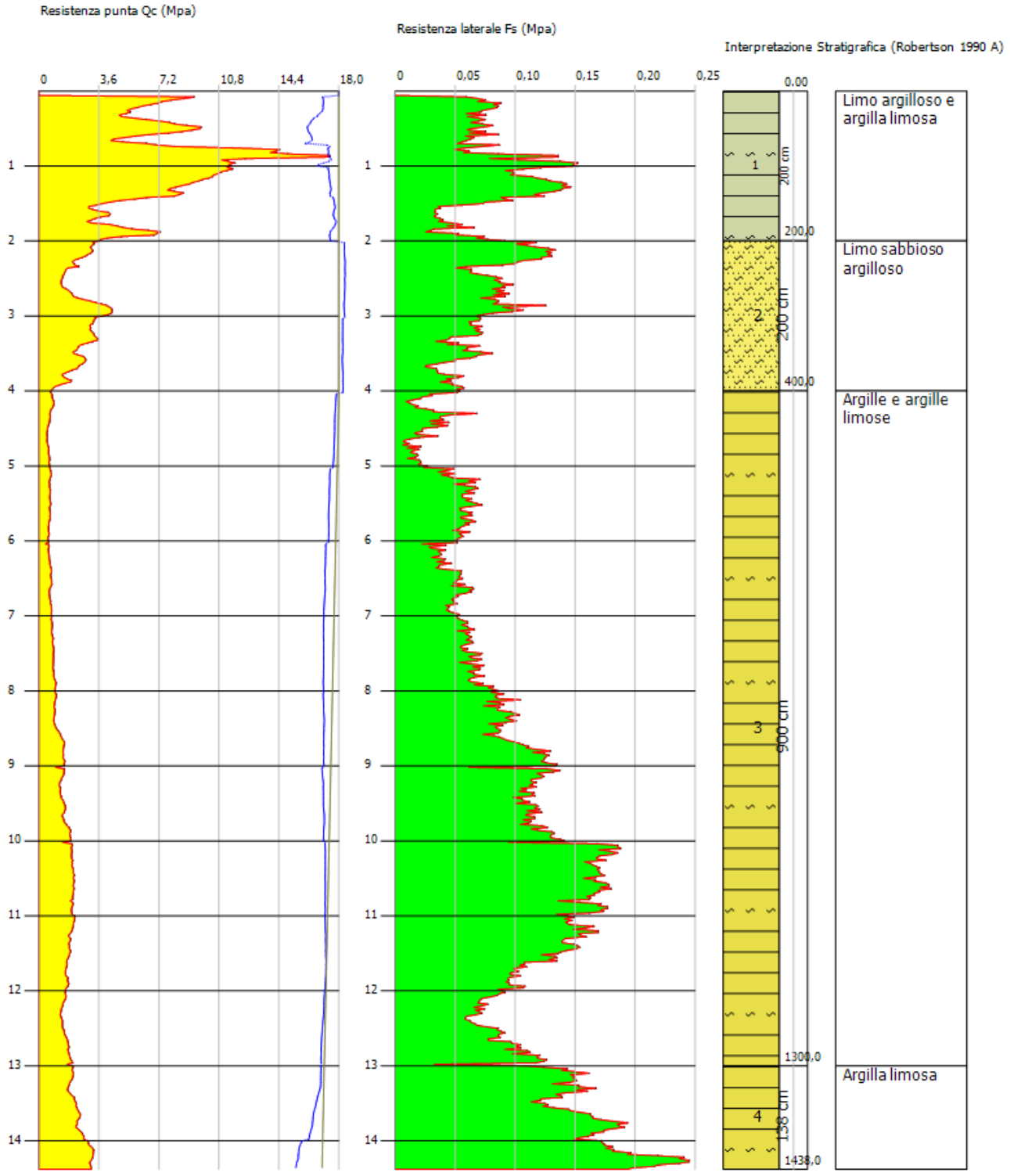
RESPONSABILE LABORATORIO
Freddo Alessandro geol.

DIRETTORE TECNICO
dott. Enrico Fornasiero ingegnere-N°1712 Padova

ALLEGATO 2. SCHEDA STRATIGRAFICA CPTU2

Probe CPTU - Piezocone CPTU2
Strumento utilizzato TECNO PENTA TP CPL2IN

Committente: 33TI Progetti SpA
Cantiere: Realizzazione impianto sollevamento acque
Località: Cento (FE), Piazzale Bonzagni
Data: 27/07/2022



ALLEGATO 3. PARAMETRI GEOTECNICI CPTU2

Via Otello Putinati n. 67 – Ferrara
Tel 0532.477345 – Fax 0532.1711386

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI
CPTU2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (KPa)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	2,00	7,28533	0,07756	416,04	313,87	484,27	427,29	382,31	363,83
Strato 3	13,00	1,20312	0,08717	62,01	75,11	69,30	61,15	54,71	59,82
Strato 4	14,38	2,44637	0,16685	130,67	138,96	145,83	128,67	115,13	122,58

Modulo Edometrico (Mpa)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	2,00	7,28533	0,077559	18,21	14,57	21,86	10,93
Strato 3	13,00	1,20312	0,087173	6,02	4,62	7,22	3,61
Strato 4	14,38	2,44637	0,166853	6,12	4,89	7,34	7,34

Modulo di deformazione non drenato Eu (Mpa)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 1	2,00	7,28533	0,077559	272,40	10,91
Strato 3	13,00	1,20312	0,087173	40,60	1,79
Strato 4	14,38	2,44637	0,166853	85,56	3,68

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Strato 1	2,00	7,28533	0,077559	Imai & Tomauchi	38,18
Strato 3	13,00	1,20312	0,087173	Imai & Tomauchi	12,70
Strato 4	14,38	2,44637	0,166853	Imai & Tomauchi	19,60

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)
Strato 1	2,00	7,28533	0,077559	Meyerhof	21,51	22,29
Strato 3	13,00	1,20312	0,087173	Meyerhof	18,37	19,15
Strato 4	14,38	2,44637	0,166853	Meyerhof	19,60	20,38

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	33,22	32,58	35,63	33,77	40,84

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Durgunouglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	31,94	28,07	24,99	23,43	32,56	35,46	23,86	28,33

Modulo di Young (Mpa)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	6,19	4,95	29,93

Modulo Edometrico (Mpa)

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	3,33	9,71	19,10	4,95	12,38

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Correlazione	G (Mpa)
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	Imai & Tomauchi	19,74

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Correlazione	Ko
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	Kulhawy & Mayne (1990)	0,33

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	C	Crm
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	0,11969	0,01556

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	Correlazione	Peso unità di volume (KN/m^3)	Peso unità di volume saturo (KN/m^3)
Strato 2	4,00	2,47539	0,073769	Meyerhof	17,65	20,59

ALLEGATO 4. SCHEDE ELABORAZIONE PARAMETRI LIQUEFAZIONE

Via Otello Putinati n. 67 – Ferrara
Tel 0532.477345 – Fax 0532.1711386

CPTU 2

Profondità falda idrica 1.0 m

DATI SIMICI
Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Accelerazione Bedrock	0.156
Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.5
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Fattore sicurezza normativa	1,25

Magnitudo momento sismico (Mw)	6.14
Peak ground acceleration (PGA)	0.2352

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 CQ	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
1.20	25.968	24.007	71.901	1.068	1.804	2.054435	167.342	1.034	0.837	0.171	4.895	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
1.40	30.426	26.503	71.901	1.069	1.820	1.955276	160.871	1.031	0.652	0.181	3.605	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
1.60	34.884	29.000	71.901	1.070	1.835	1.869215	155.282	1.027	0.536	0.189	2.840	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
1.80	39.342	31.497	71.901	1.070	1.848	1.793601	150.394	1.023	0.458	0.195	2.346	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2.00	43.800	33.993	71.901	1.071	1.861	1.726479	146.074	1.019	0.403	0.201	2.007	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
2.20	47.918	36.150	24.430	3.039	2.478	1.94824	92.123	1.015	0.154	0.206	0.746	Terreno suscettibile di liquefazione	5.28	Alto
2.40	52.036	38.307	24.430	3.044	2.490	1.885831	90.683	1.011	0.150	0.210	0.717	Terreno suscettibile di liquefazione	6.39	Alto
2.60	56.154	40.463	24.430	3.049	2.500	1.83057	89.413	1.007	0.148	0.214	0.692	Terreno suscettibile di liquefazione	7.48	Alto
2.80	60.272	42.620	24.430	3.055	2.511	1.776043	88.163	1.003	0.145	0.217	0.671	Terreno suscettibile di liquefazione	8.58	Alto
3.00	64.390	44.777	24.430	3.060	2.521	1.727089	87.046	0.998	0.143	0.220	0.652	Terreno suscettibile di liquefazione	9.64	Alto
3.20	68.508	46.933	24.430	3.065	2.531	1.678983	85.951	0.994	0.141	0.222	0.636	Terreno suscettibile di liquefazione	10.71	Alto
3.40	72.626	49.090	24.430	3.070	2.541	1.635269	84.960	0.990	0.139	0.224	0.622	Terreno suscettibile di liquefazione	11.75	Alto
3.60	76.744	51.247	24.430	3.075	2.550	1.592461	83.992	0.985	0.138	0.226	0.610	Terreno suscettibile di liquefazione	12.78	Alto
3.80	80.862	53.403	24.430	3.081	2.559	1.553149	83.107	0.981	0.136	0.227	0.599	Terreno suscettibile di liquefazione	13.79	Alto
4.00	84.980	55.560	24.430	3.086	2.568	1.514766	82.245	0.976	0.134	0.228	0.589	Terreno suscettibile di liquefazione	14.78	Alto
4.20	88.810	57.429	11.874	7.823	3.074	1.573644	82.245	0.971	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
4.40	92.640	59.297	11.874	7.850	3.083	1.536283	82.245	0.966	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
4.60	96.470	61.166	11.874	7.877	3.093	1.50124	82.245	0.962	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
4.80	100.300	63.035	11.874	7.904	3.102	1.467692	82.245	0.957	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
5.00	104.130	64.903	11.874	7.932	3.111	1.435149	82.245	0.952	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
5.20	107.960	66.772	11.874	7.960	3.120	1.404376	82.245	0.947	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
5.40	111.790	68.641	11.874	7.988	3.129	1.374834	82.245	0.942	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
5.60	115.620	70.509	11.874	8.016	3.138	1.346451	82.245	0.937	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
5.80	119.450	72.378	11.874	8.044	3.147	1.318958	82.245	0.932	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
6.00	123.280	74.247	11.874	8.072	3.155	1.292732	82.245	0.926	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
6.20	127.110	76.115	11.874	8.101	3.164	1.267477	82.245	0.921	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
6.40	130.940	77.984	11.874	8.130	3.172	1.243026	82.245	0.916	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
6.60	134.770	79.853	11.874	8.159	3.181	1.21958	82.245	0.911	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
6.80	138.600	81.721	11.874	8.189	3.189	1.196954	82.245	0.905	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
7.00	142.430	83.590	11.874	8.218	3.197	1.175107	82.245	0.900	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
7.20	146.260	85.459	11.874	8.248	3.205	1.153956	82.245	0.895	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
7.40	150.090	87.327	11.874	8.278	3.213	1.133563	82.245	0.889	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
7.60	153.920	89.196	11.874	8.308	3.221	1.113837	82.245	0.884	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
7.80	157.750	91.065	11.874	8.339	3.229	1.094746	82.245	0.878	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
8.00	161.580	92.933	11.874	8.369	3.237	1.07625	82.245	0.873	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
8.20	165.410	94.802	11.874	8.400	3.245	1.058346	82.245	0.868	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
8.40	169.240	96.671	11.874	8.431	3.252	1.040991	82.245	0.862	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
8.60	173.070	98.539	11.874	8.463	3.260	1.024162	82.245	0.857	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
8.80	176.900	100.408	11.874	8.494	3.267	1.007834	82.245	0.851	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
9.00	180.730	102.277	11.874	8.526	3.275	0.9919868	82.245	0.846	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
9.20	184.560	104.146	11.874	8.558	3.282	0.9765979	82.245	0.840	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
9.40	188.390	106.014	11.874	8.590	3.290	0.9616483	82.245	0.834	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
9.60	192.220	107.883	11.874	8.623	3.297	0.9471198	82.245	0.829	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
9.80	196.050	109.752	11.874	8.656	3.304	0.9329948	82.245	0.823	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
10.00	199.880	111.620	11.874	8.689	3.311	0.9192466	82.245	0.818	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso

10.20	203.710	113.489	11.874	8.722	3.319	0.9058773	82.245	0.812	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
10.40	207.540	115.358	11.874	8.756	3.326	0.8928646	82.245	0.807	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
10.60	211.370	117.226	11.874	8.790	3.333	0.8801947	82.245	0.801	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
10.80	215.200	119.095	11.874	8.824	3.340	0.8678547	82.245	0.796	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
11.00	219.030	120.964	11.874	8.858	3.347	0.8558317	82.245	0.790	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
11.20	222.860	122.832	11.874	8.893	3.354	0.8440763	82.245	0.785	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
11.40	226.690	124.701	11.874	8.927	3.361	0.8326474	82.245	0.779	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
11.60	230.520	126.570	11.874	8.963	3.368	0.8215013	82.245	0.774	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
11.80	234.350	128.438	11.874	8.998	3.374	0.8106282	82.245	0.768	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
12.00	238.180	130.307	11.874	9.034	3.381	0.8000183	82.245	0.763	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
12.20	242.010	132.176	11.874	9.070	3.388	0.7896621	82.245	0.758	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
12.40	245.840	134.044	11.874	9.106	3.395	0.7794786	82.245	0.752	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
12.60	249.670	135.913	11.874	9.143	3.401	0.7695978	82.245	0.747	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
12.80	253.500	137.782	11.874	9.179	3.408	0.7599456	82.245	0.741	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
13.00	257.330	139.650	11.874	9.217	3.415	0.7505141	82.245	0.736	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
13.20	261.406	141.765	24.144	7.636	3.082	0.7641701	82.245	0.731	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
13.40	265.482	143.880	24.144	7.651	3.087	0.7547124	82.245	0.726	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
13.60	269.558	145.994	24.144	7.665	3.092	0.745472	82.245	0.720	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
13.80	273.634	148.109	24.144	7.679	3.097	0.7364413	82.245	0.715	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
14.00	277.710	150.224	24.144	7.694	3.102	0.7276138	82.245	0.710	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso
14.20	281.786	152.338	24.144	7.708	3.107	0.7189826	82.245	0.705	0.134	0.228	--	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.78	Molto basso

Correzione per la magnitudo (MSF): 1.1

IPL (Sonmez)=5.83 Zcrit=20 m Rischio=Alto