



**COMUNE DI VICENZA**  
DIPARTIMENTO TUTELA E GESTIONE DEL TERRITORIO  
Settore Lavori Pubblici e Manutenzioni



*Programma straordinario di intervento per la riqualificazione urbana e la sicurezza delle periferie - DPCM 06.12.2016 -*

**INTERVENTO N. 1**

**Riqualificazione area Ex Centrale del Latte  
II° stralcio**



**PROGETTO ESECUTIVO**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

**PROGETTISTI**

progettazione architettonica

**STUDIO  
MACOLA**

arch. Giorgio Macola  
Santa Croce, 6 - 30135 Venezia  
tel+39 041.5206847 - fax+39 041.5242720  
www.studiomacola.it - architetti@studiomacola.it  
p.i. 00537740276

progettista  
arch. Giorgio Macola

progettazione paesaggio

**STRADIVARIE**  
ARCHITETTURA E PAESAGGIO



STRADIVARIE ARCHITETTI ASSOCIATI  
largo don Francesco Bonifacio, 1 - 34125 Trieste  
www.stradivarie.it - studio@stradivarie.it  
p.i./c.f. 01175480324

progettista  
arch. Claudia Marcon  
collaboratori  
dott. arch. Giulia Bonn  
dott. arch. Roberto Bonutto  
dott. arch. Sofia Borgo  
dott. arch. Giulia Bratos  
arch. Elisa Monte

progettazione strutture e impianti

**sinergo**

Sinergo Spa - via Ca' Bembo 152 - 30030  
Maerne di Martellago - Venezia - Italy  
tel+39 041.3642511 - fax+39 041.640481  
sinergospa.com - info@sinergospa.com

progettista  
arch. Alberto Muffato

**DIRETTORE**

DIPARTIMENTO TUTELA E GESTIONE DEL TERRITORIO

**dott. Danilo Guarti**

**DIRETTORE SETTORE LLPP E MANUTENZIONI E RUP**

**ing. Diego Galiazzo**

**COLLABORATORI TECNICI**

**dott. Marco Balestro**

**dott. Daniela Beato**

**geom. Barbara Bernardi**

**dott. Marco Bonafede**

**arch. Raffaella Gianello**

**ing. Marco Sinigaglia**

**COLLABORATORI AMMINISTRATIVI**

**sig.ra Cinzia Milan**

**dott. Paola Pivotto**

data elaborato

30.08.2017

numero elaborato

EG.01.04

scala

-



**LIBERARE ENERGIE URBANE**

rev	data	redatto	verificato	approvato
00	30.08.2017	AS	AS	AM
rev	data	redatto	verificato	approvato



## 1. PREMESSE

Su incarico del **Comune di Vicenza** è stata redatta la presente relazione geologica con elementi di geotecnica a corredo del progetto di riqualificazione dell'area "Ex Centrale del Latte II° stralcio" in via G. Medici nel comune di Vicenza (*Fig. 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.*).

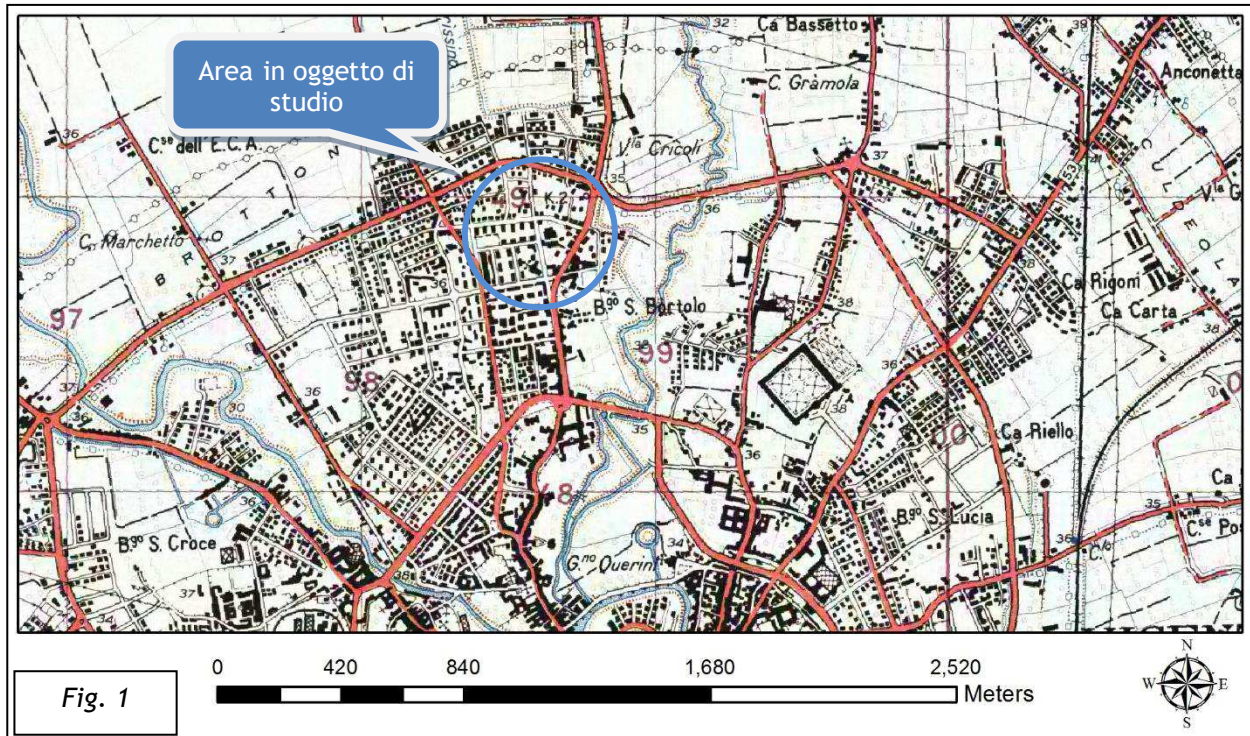


Fig. 1 - Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M.

Dal punto di vista generale, la presente relazione geologica e geotecnica si propone di valutare le possibili interazioni tra le azioni di progetto e l'ambiente geologico, ed in particolare di:

- verificare la situazione geologica, geomorfologica e idrogeologica generale dell'area;
- analizzare le problematiche geologico-tecniche del sito in esame;
- ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo;
- valutare la risposta sismica di sito;
- determinare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione;
- riconoscere le proprietà del sistema idrogeologico locale;
- verificare la compatibilità e sostenibilità degli interventi di progetto in relazione alla dinamica delle componenti del territorio di cui ai punti precedenti;
- fornire i parametri tecnici necessari per la corretta scelta e dimensionamento delle strutture di fondazione future nonché per una corretta progettazione antisismica come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 - 01 - 2008*).

A tal fine è stata eseguita un'indagine sperimentale in sito che ha richiesto l'esecuzione delle seguenti prove:

- **n°1 sondaggio a carotaggio continuo**, spinto fino alla profondità massima di 12,90 m dal piano campagna locale, finalizzato alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo e al prelievo di campioni indisturbati di terreno da analizzare in laboratorio;
- **n°4 prove Penetrometriche Statiche (CPT)**, spinte fino alla profondità massima di 19 m dal piano campagna locale, in corrispondenza della struttura esistente, per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni;

- n°2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sviluppate in array lineari per la ricostruzione sismo-stratigrafica del sottosuolo e per determinare lo spettro di risposta elastico da utilizzare in fase di progettazione (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*);
- n°2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per individuare le frequenze di risonanza del sito.

Con la LEGGE 24 giugno 2009, n. 77, "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile (09G0088) (Suppl. Ordinario n. 99)" - Gazzetta Ufficiale N. 147 del 27 Giugno 2009, entra definitivamente in vigore il **Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008** (supplemento ordinario n. 30 Gazzetta ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2007) recante "**Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni**".

Tale norma introduce il concetto di Stato Limite, ovvero la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata e prevede, per la definizione del grado di sicurezza, un approccio di tipo semiprobabilistico, o di primo livello, adottando i cosiddetti coefficienti parziali di sicurezza (CP). Salvo alcuni casi particolari, il concetto di tensioni ammissibili, previsto nel D.M. 11.03.1988, non è più adottabile. Il presente elaborato è stato svolto in ottemperanza al **D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni"**, facendo riferimento alla **Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 02 Febbraio 2009, n. 617**, contenente le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC.

Dal punto di vista operativo, l'impostazione metodologica adottata per il presente studio è stata articolata come di seguito esposto:

- acquisizione ed esame critico degli elaborati progettuali preliminari;
- rilievo geomorfologico, geologico ed idrogeologico speditivo dell'area;
- indagine geognostica in sito;
- elaborazione e interpretazione dei dati sperimentali;
- analisi della risposta sismica di sito;
- valutazione della capacità portante del terreno e verifica preliminare dei cedimenti;
- verifica alla liquefazione.

Le ipotesi e le valutazioni tecniche formulate nel presente elaborato devono essere intese come inquadramento preliminare per il dimensionamento e la valutazione della fattibilità delle opere in progetto. Per la stesura della presente relazione tecnica, oltre a riferimenti d'archivio e bibliografici, sono stati utilizzati i dati sperimentali e le osservazioni derivanti dai rilevamenti e dalle prove in sito eseguite nei mesi di maggio e giugno dell'anno 2017.

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

### 2.1 Ubicazione e caratteri geomorfologici principali

L'area considerata è localizzata nel settore settentrionale del Comune di Vicenza, in Via Giacomo Medici, tra Viale Grappa e Via Mentana a circa un chilometro dal centro storico di Vicenza (*Fig. 2 - Estratto di ortofoto*).

Più precisamente l'area in studio è situata a circa 400 metri dal fiume Astichello.

Dal punto di vista morfologico, il territorio s'inserisce in una zona di pianura con andamento pianeggiante, ad una quota di circa 36 m sul livello mare.







Fig. 2 - Estratto di ortofoto

Secondo quanto indicato nel P.A.T. del Comune di Vicenza, l'area oggetto di studio rientra nell'*Unità Litomorfologica di pianura alluvionale antica*.

L'elemento geomorfologico più evidente in tutto il territorio comunale è rappresentato dai grandi alvei dei fiumi Bacchiglione, Astichello, Tesina e Retrone. Tali fiumi percorrono con andamento meandriforme (in special modo il Bacchiglione e l'Astichello) le loro zone di alveo recente. La primitiva morfologia superficiale non è più interamente osservabile, dal momento che interventi antropici di notevole portata hanno profondamente modificato l'aspetto originario di tali aree caratterizzate da ampie anse dei corsi d'acqua maggiori. Alcune zone sono state imbonite con materiali di riporto. Tali interventi antropici sono stati realizzati al fine di mitigare il rischio idraulico. Tali aree infatti sono per buona parte occupate dalle aree critiche individuate dal Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino idrografico Brenta-Bacchiglione (Perimetrazione e Classificazione delle Aree in relazione alla pericolosità - 16 luglio 2003).

Le aree degli alvei recenti sono caratterizzate dalla presenza di numerosi terrazzi fluviali e da alcuni paleoalvei. Esistono poi i dossi sabbiosi o barre fluviali del piano alluvionale ubicati nella parte settentrionale e orientale del territorio comunale e costituiscono il sottosuolo caratterizzato da sabbie e ghiaie fini.

In generale, le indagini penetrometriche e i sondaggi condotti nell'area in studio hanno accertato una buona omogeneità nei litotipi posti sotto il pacchetto stradale ghiaioso e sabbioso, appoggiato, in genere, su limi argillosi e sabbiosi. La continuità persiste anche nei litotipi più profondi, con litologie che vanno dai limi argillosi alle argille limose, con intercalazioni decimetriche (raramente metriche) di sabbie fini limose, senza elementi ghiaiosi. Si è riscontrata inoltre la presenza di qualche livello torboso all'interno delle argille limose a una profondità indicativa di circa 10 m dal p.c. locale.

## 2.2 Inquadramento geologico

Il territorio comunale di Vicenza presenta a sud una zona di rilievi collinari appartenenti alle propaggini più settentrionali dei Monti Berici e una zona di pianura che appartiene al dominio delle alluvioni recenti e antiche del sistema Bacchiglione-Tesina-Astichello, depositate dai fiumi a seguito del trasporto dei sedimenti lungo la piana corrispondente alla media Pianura Veneta.

Dal punto di vista geologico, infatti, l'area è caratterizzata dalla presenza dei sedimenti di origine fluviale e fluvio-glaciale (di età quaternaria, olocenica e pleistocenica) tipici della media Pianura Veneta. Il sottosuolo dell'alta e media pianura è costituito prevalentemente da grandi conoidi ghiaiosi deposti dai corsi d'acqua prealpini allo sbocco dalle vallate montane. Nella fascia di alta pianura, a ridosso dei rilievi prealpini, i differenti conoidi sono tra loro sovrapposti, a causa dell'ampia divagazione dei fiumi, determinando un sottosuolo pressoché ghiaioso, indifferenziato anche per qualche centinaio di metri. A valle, nella media pianura, i conoidi di differente età non sono sovrapposti tra loro ma risultano nettamente separati da spessi livelli limoso-argilosi che arrivano quasi ad avvolgere i conoidi stessi; il sottosuolo mostra una struttura stratigrafica caratterizzata da alternanza di livelli alluvionali ghiaiosi con livelli limoso-argillosi, per spessori di almeno 300-400 metri.

Il sottosuolo nel territorio comunale di Vicenza è quindi caratterizzato da una serie sedimentaria alluvionale, costituita da una potente successione di limi ed argille prevalenti, all'interno della quale si intercalano in profondità orizzonti e lenti più grossolane sabbioso-ghiaiose. La serie è riferibile ad ambienti di sedimentazione fluviali di bassa energia, con frequenti condizioni palustri o marine, e con temporanei e localizzati episodi fluviali o torrentizi d'energia maggiore.

Il materasso alluvionale è costituito da due tipologie di unità appartenenti alla media Pianura Veneta: zone di pianura consolidata e zone delle alluvioni recenti dei Fiumi Bacchiglione, Astichello, Tesina, Retrone.

Si distinguono facilmente in quanto le seconde sono ubicate nel solco nel quale scorre attualmente il fiume, e risultano terrazzati rispetto al piano di divagazione più antico che corrisponde alla parte di pianura consolidata. Sulla superficie sono stati individuati alvei talora abbandonati, altre volte sovradimensionati rispetto ai corsi d'acqua che ospitano.

Le glaciazioni Quaternarie sono state interessate da numerose oscillazioni termiche minori che hanno causato un'alternanza di progressioni e di regressioni del fronte glaciale. Nel territorio qui studiato sono presenti solamente i depositi della fase Rissiana e della fase Rissiana Antica (rispettivamente Riss 2, Riss 1). I depositi allineati secondo cerchie aventi convessità rivolta verso la pianura sono stati rimodellati e parzialmente smantellati a più riprese durante i periodi interglaciali da imponenti scaricatori glaciali che corrispondevano approssimativamente agli attuali percorsi dei maggiori fiumi, asportando materiale sciolto per poi trasportarlo verso sud dove depositato da luogo ai vastissimi terrazzi degradanti verso le zone di media pianura.





Fig. 4 - Estratto della Carta Geolitologica del P.A.T. del Comune di Vicenza

Dall'analisi della Carta Geolitologica del P.A.T. del Comune di Vicenza (Fig.4 - Estratto) l'area oggetto del presente studio risulta costituita da *materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati*.

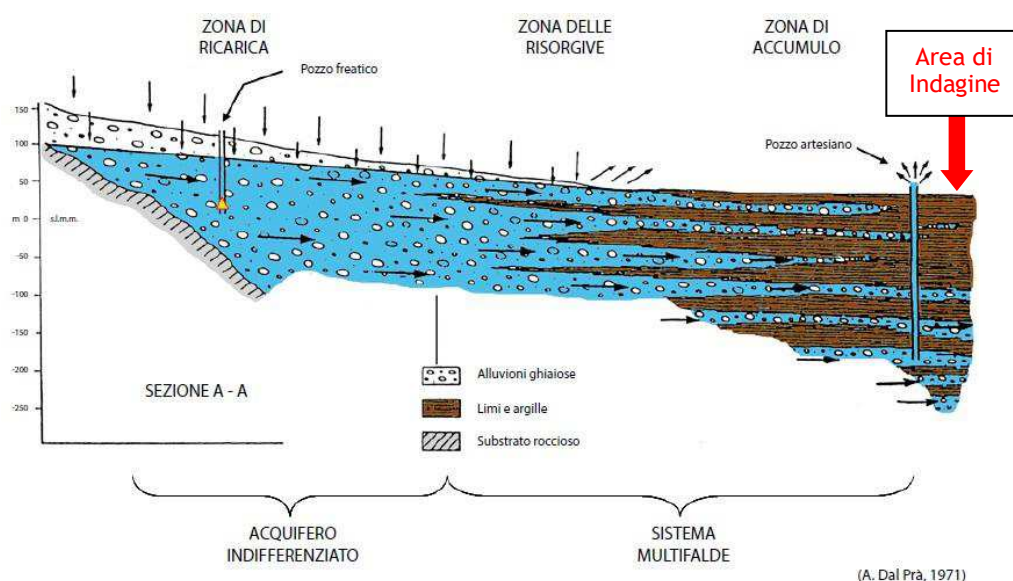
### 2.3 Inquadramento idrogeologico

L'area oggetto di studio ricade all'interno del territorio comunale vicentino costituito dal complesso idrogeologico di pianura, che risulta particolarmente articolato.

Dalle ricostruzioni litologiche del sottosuolo, fatte utilizzando le stratigrafie di alcuni pozzi per acqua, risulta che il materasso alluvionale è notevolmente differenziato, sia in senso laterale che verticale, con la presenza di una falda multistrato. Nella media pianura i depositi sono rappresentati da materiali progressivamente più fini, costituiti da ghiaie e sabbie con digitazioni limose ed argillose le quali diventano sempre più frequenti da monte a valle; in questi depositi esiste una serie di falde sovrapposte, di cui la prima è generalmente libera e quelle sottostanti in pressione, localizzate negli strati permeabili ghiaiosi e/o sabbiosi intercalati alle lenti argillose dotate invece di bassissima permeabilità. Il sistema delle falde in pressione è strettamente collegato, verso monte, all'unica grande falda freatica, dalla quale trae alimentazione e che ne condiziona la qualità di base.



La zona di passaggio dal sistema indifferenziato a quello multifalde, è rappresentata da una porzione di territorio a sviluppo est-ovest, larga anche qualche chilometro e variabile nel tempo, denominata “Fascia delle risorgive”. La falda si avvicina progressivamente alla superficie del suolo fino ad emergere, anche a causa della presenza delle sottostanti lenti argillose, formando le tipiche sorgenti di pianura, dette appunto risorgive (o fontanili). Esse costituiscono il “troppo pieno” della falda freatica dell’alta Pianura Veneta, e finché resteranno attive assicureranno la disponibilità idrica al Sistema Differenziato posto a valle. Si trova, nella pianura alluvionale, una vasta gamma di terreni, disposti in letti sovrapposti oppure in lenti suborizzontali, con granulometria variabile dalla sabbia con ghiaia all’argilla. E’ importante sottolineare il fatto che comunque, ogni strato permeabile posto al di sotto del terreno vegetale, appare saturo d’acqua: in linea di massima si assiste quindi alla presenza di una prima falda superficiale, discontinua, ospitata da terreni sabbioso limosi poco potenti e sovrastante un acquifero multistrato formato dalla presenza di falde confinate o semiconfinite dotate di una certa risalienza. Alla pianura, appartenente in parte al grande materasso alluvionale dei fiumi Bacchiglione Tesina, pervengono in profondità le acque delle altre porzioni collinari di territorio descritte, nonché quelle locali d’infiltrazione meteorica e dei grandi sistemi d’irrigazione agricola.



In generale è stato riportato da alcuni studi idrogeologici, che la falda ha un andamento pressoché direzionato da NW verso SE, risente con ogni probabilità dell’alimentazione dei rilievi calcarei e si sviluppa ad una quota variabile dai 40 m s.l.m a NW fino ai 22 m s.l.m a SE con un gradiente mediamente del 0,1-0,2%.

L’area oggetto di indagine, dall’analisi della Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Vicenza (*Fig.5 - Estratto*), risulta ubicata in Bassa Pianura caratterizzata da una profondità della falda freatica dal p.c. compresa tra 2 e 5 metri e con una direzione di deflusso delle acque sotterranee influenzata dall’effetto drenante del fiume Astichello che crea lungo la propria asta fluviale un richiamo delle acque sotterranee e quindi una depressione delle linee isofreatiche.



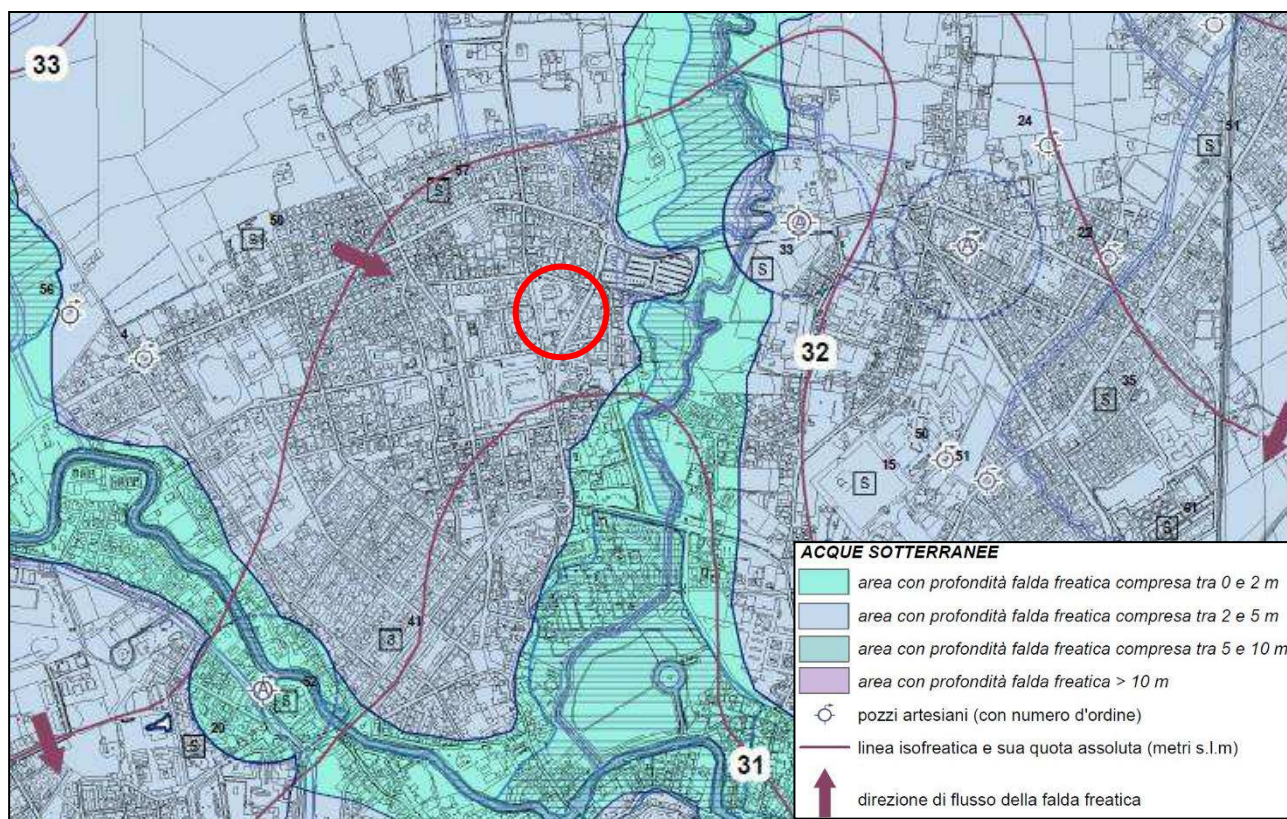


Fig. 5 - Estratto della Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Vicenza

## 2.4 Analisi dei Vincoli

L'analisi delle Cartografie di Progetto del P.A.T. e del P.I. del Comune di Vicenza, ed in particolare della Carta dei Vincoli e della Carta delle Fragilità di seguito riportate si evince quanto di seguito esposto.

### Carta dei Vincoli e delle Tutele

L'area oggetto di studio è indicata come "Sito sottoposto a procedura ambientale, normato dall'Art.16 - Ricognizioni puntuali di carattere ambientale" delle Norme Tecniche Operative del PI del Comune di Vicenza riportato di seguito:

#### Censimento e anagrafe dei siti da bonificare

- Nell'Elaborato 2 - Vincoli e tutele, sono individuati i siti pubblici o privati contaminati già sottoposti a procedura ambientale al momento dell'approvazione del PI, ai sensi del DLgs. 152/2006.
- Il competente Ufficio comunale mediante determina dirigenziale provvederà all'aggiornamento dell'elenco dei siti, nonché all'aggiornamento della banca dati alfanumerica costituente il Quadro Conoscitivo del PI, senza che questo costituisca variante al PI.



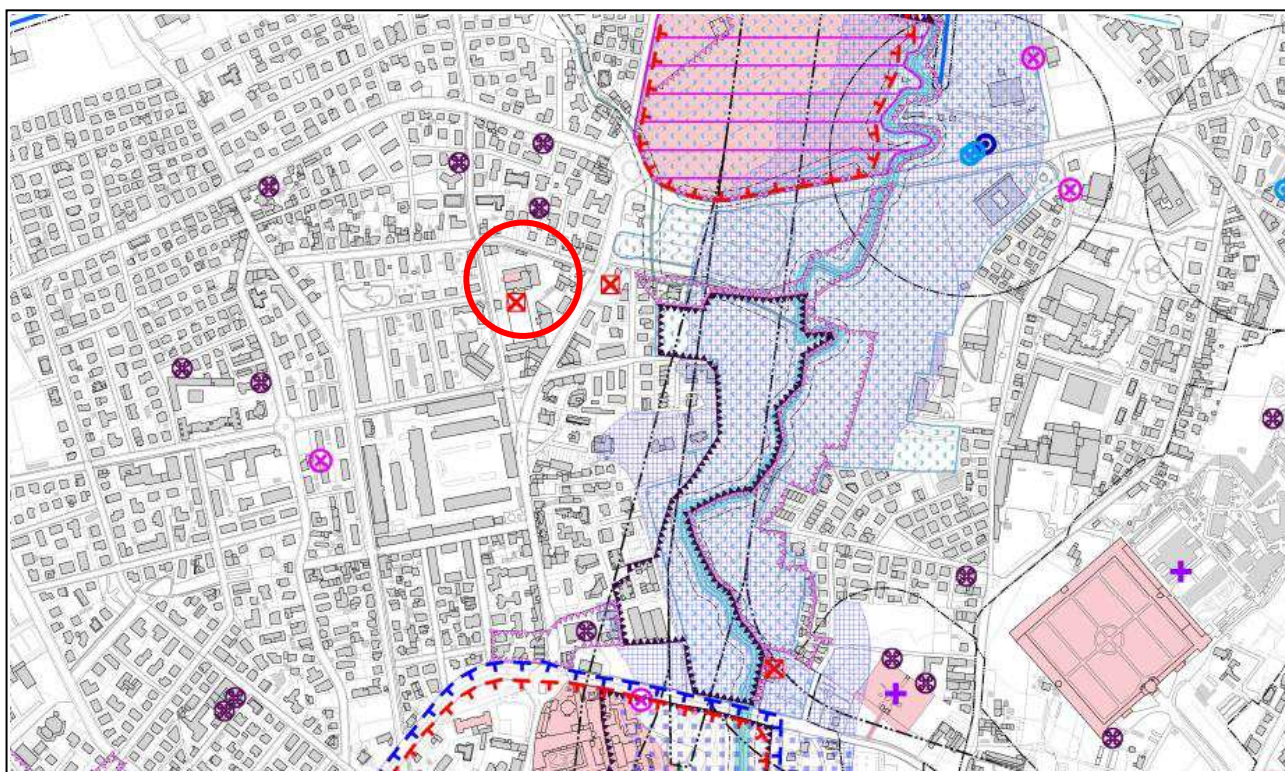


Fig. 6 - Estratto della Carta "Vincoli e tutele" del P.I. del Comune di Vicenza

### Carta delle Fragilità

L'area oggetto di studio è definita "Area idonea", ed è normata dall'Art.14 - *Compatibilità geologica dei terreni ai fini edificatori* delle Norme Tecniche di Attuazione del PAT del Comune di Vicenza riportato di seguito:

#### AREE IDONEE:

Si tratta di aree in cui la falda risulta sempre maggiore di 2 metri di profondità da piano campagna. Esse sono costituite prevalentemente da depositi granulari a diversa pezzatura (sabbie e ghiaie fini) in matrice limosa argillosa di caratteristiche geotecniche buone. Tali aree peraltro sono ad alta vulnerabilità per gli acquiferi sotterranei; in tali aree non c'è alcun limite all'edificabilità; l'indagine geologica sarà redatta come previsto dalla normativa vigente e sarà necessaria per fornire i parametri corretti per la progettazione delle fondazioni anche in chiave antisismica e sarà necessario un adeguato approfondimento delle condizioni idrogeologiche al fine di valutare il rischio idrogeologico per le falde sotterranee e venga adeguatamente progettato l'eventuale sistema per il trattamento degli scarichi reflui (per quelli convogliati nel suolo e sottosuolo), ed eventuali azioni di mitigazione per ridurre i rischi di impatto per gli acquiferi sotterranei.



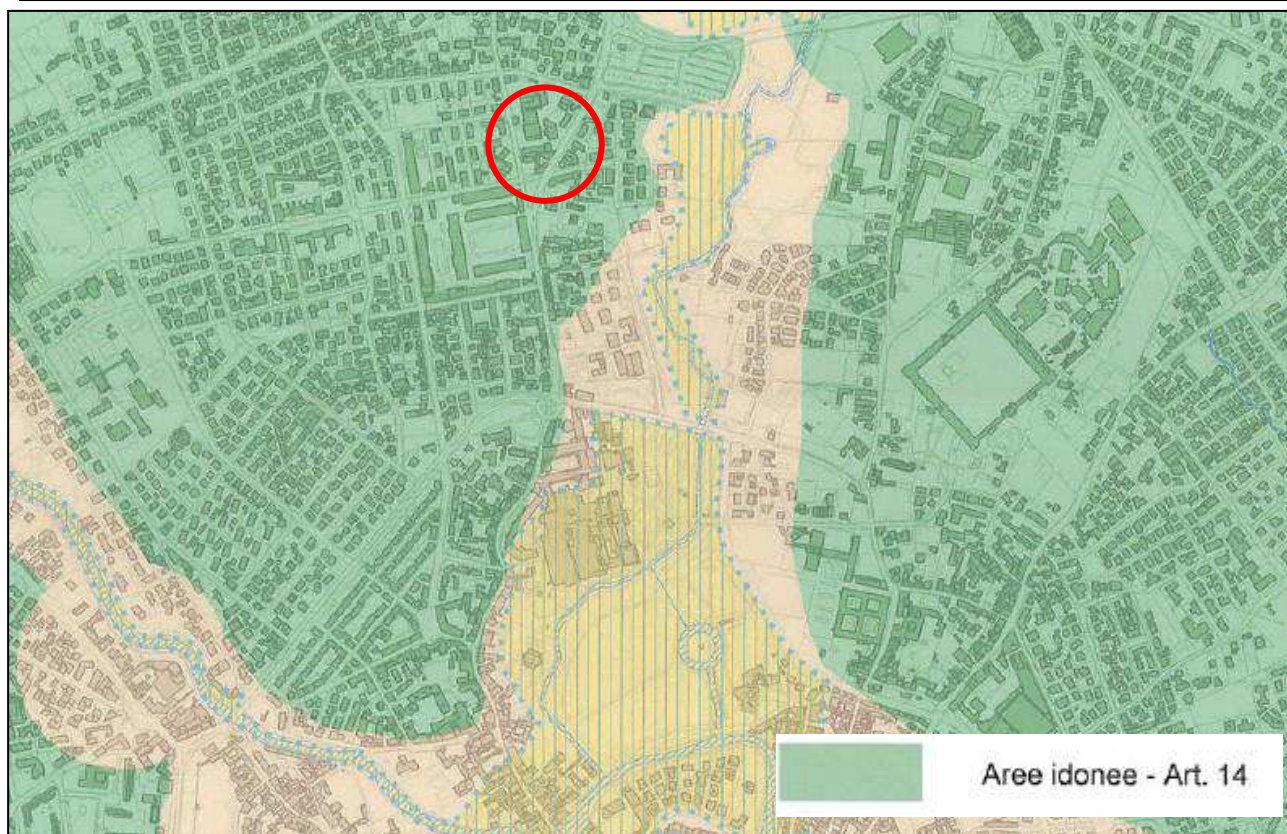


Fig. 7 - Estratto della Carta delle Fragilità del P.A.T. del Comune di Vicenza

### 3. PROVE IN SITO

#### 3.1 Premesse

Al fine di ottenere la caratterizzazione del sottosuolo sono state eseguite alcune indagini geognostiche in sito. Vista la situazione geologica e morfologica locale evidenziata dal rilievo preliminare di campagna, e considerata la tipologia dell'analisi da condurre, le prove sperimentali sono state condotte principalmente per riconoscere la natura e parametrizzare le caratteristiche stratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche dei terreni di fondazione. Più precisamente presso il sito in studio sono state effettuate le seguenti indagini sperimentali:

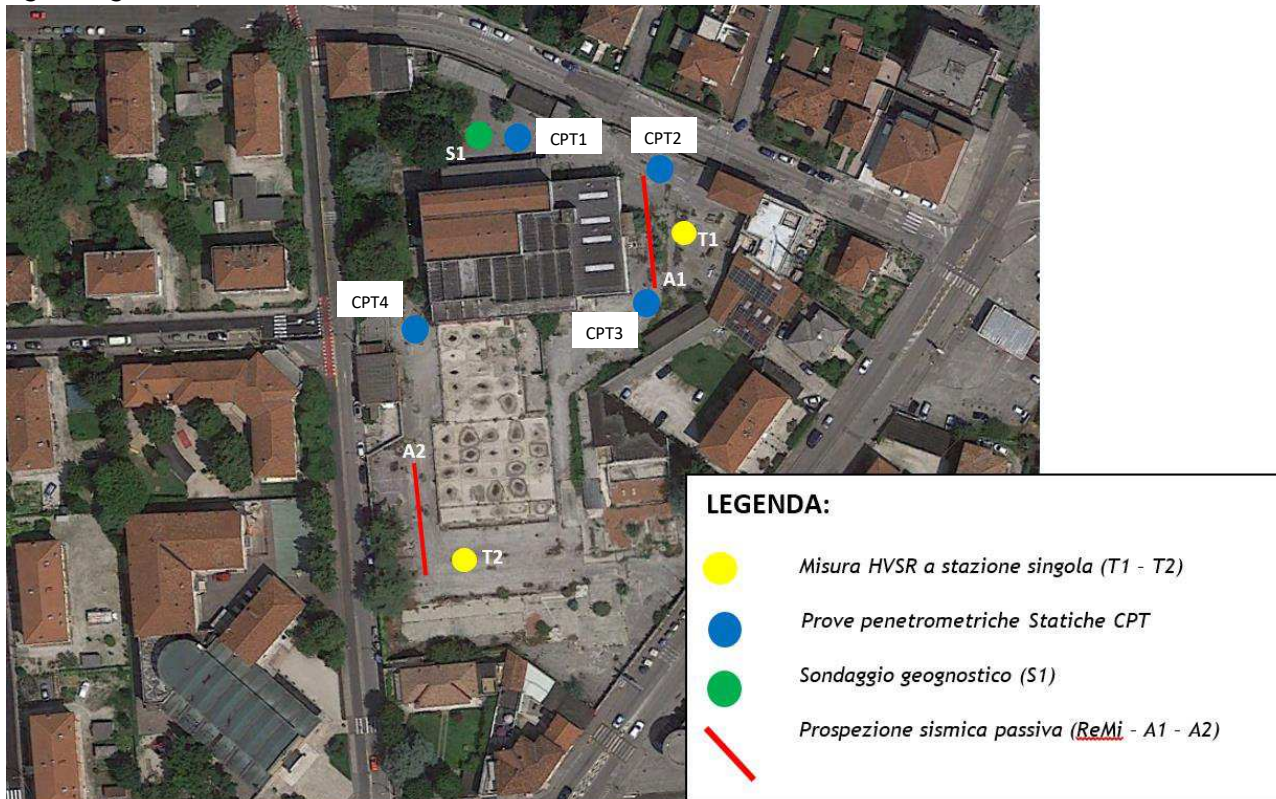
- **n° 4 prove Penetrometriche Statiche (CPT)**, spinte fino a ad una profondità massima di 19 m dal p.c. locale, per la caratterizzazione stratigrafica a geotecnica del sottosuolo;
- **N° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo** fino ad una profondità di 12,90 m dal p.c. locale, per la ricostruzione stratigrafica e prelievo di n°3 campioni indisturbati al fine di condurre le seguenti prove di laboratorio:
  - n°2 consolidazioni edometriche di terra a ciclo singolo (cella <j>: 52,47mm; 7 gradini di carico; 3 gradini di scarico) (comprende: e, Ynat, Gs, pocket e torvane) secondo ASTM D 2435-80 I AGI '94 (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)";
  - n°2 prove di taglio diretto con scatola di Casagrande (Comprende taglio+packet e torvane) secondo ASTM D 3080-72 / AGI '94 (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti);
  - n°1 prova di compressione triassiale consolidata non drenata (TX\_CU) (Comprendente granulometria, limiti di Atterberg, classificazione, e, i gamma naturale, Gs, U%, pocket e torvane) secondo ASTM D 2850-87/AGI del 94 (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti).





- n° 2 prospezioni sismiche con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor) sviluppate in *array* lineari con n° 16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per determinare lo spettro di risposta elastico da utilizzare in fase di progettazione (*Norme Tecniche sulle Costruzioni* - D.M. 14/01/2008);
- n° 2 registrazioni di rumore sismico ambientale a stazione singola H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) per individuare le frequenze di risonanza del terreno al fine di eseguire una corretta progettazione sismica delle strutture.

Le prove di campagna sono state ubicate in corrispondenza dell'area in oggetto di analisi, come da accordi presi, tenendo in considerazione le condizioni logistiche e di accessibilità del sito, come riportato nella figura seguente.



Sondaggio geognostico



CPT n° 1



*CPT n°2**CPT n°3**CPT n°4**Misura ReMi n°1 (A1)**Misura ReMi n°2 (A2)**Misura HVSR n°1 (T1)**Misura HVSR n°2 (T2)*

### 3.2 Descrizione della strumentazione utilizzata

#### Strumentazione e metodologia sismica impiegata - Tecnica Re.Mi. e H.V.S.R.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati. La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore. Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento  $L$  e la distanza intergeofonica  $\Delta x$ . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine. La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) che sono correlabili con le velocità  $V_s$  di propagazione delle onde  $S$  ( $V_s \approx 1,1 V_r$ ). Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio  $x - t$  (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata *picking*, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o HVSR, Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio  $V_s$  calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la  **$V_s$ ,30** e la relativa **categoria del sottosuolo di fondazione** come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.





- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

#### Strumentazione penetrometrica - CPT (Penetrometro Statico)

Il funzionamento del **Penetrometro Statico** (CPT Cone Penetration Test) è basato sull'infissione di una punta metallica nel terreno tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste, su cui è montata la punta stessa (Punta tipo Begemann), a velocità costante di 2 cm al secondo, con potenza di spinta variabile. L'attrezzatura può essere montata su veicoli che, tramite il peso proprio o l'ancoraggio al terreno a mezzo di elicoidi, forniscono il contrasto necessario alla spinta. Lo strumento posto alla base della batteria di aste è costituito da una punta conica e da un manicotto mobile posizionato immediatamente dietro il cono, che misurano rispettivamente la resistenza alla penetrazione di punta ( $R_p$  in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) e la resistenza di attrito laterale ( $R_l$  in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ). Tali grandezze sono quantitativamente correlabili alle caratteristiche geotecniche dei terreni attraversati. Dal rapporto di questi due valori ( $R_p/R_l$ ) è possibile inoltre risalire alla stratigrafia del sottosuolo (Begemann, 1966; Schmertmann, 1978). La Prova Penetrometrica Statica è compresa negli standard ASTM e ISSMFE, oltre che nelle "Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche (1977)" dell'Associazione Geotecnica Italiana (AGI), ed è disponibile un'ampia letteratura sull'interpretazione dei dati sperimentali.

#### Sondaggio a carotaggio continuo

Per l'esecuzione delle perforazioni è stata impiegata un'attrezzatura da perforazione montata su autocarro 4X4, da 1.200 kgm di coppia.

Il sondaggio è stato eseguito con carotiere semplice di diametro 101 mm avente all'estremità inferiore una corona con taglienti in widia e le pareti dei fori sono state sostenute con rivestimenti di 127 mm di diametro. Le carote estratte sono state riposte in adeguate cassette catalogatrici in plastica munite di scomparti divisori e di coperchio, in grado di contenere 5 m lineari di carota.

Le cassette catalogatrici sono state fotografate dopo il loro completamento allo scopo di documentare la stratigrafia del sottosuolo.

È stata redatta la scheda stratigrafica, riportata in allegato, nella quale è stato descritto il terreno, secondo le indicazioni fornite dalle "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geognostiche (AGI, 1977).



#### 4. MODELLO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO LOCALE

La stratigrafia del terreno di fondazione dell'area in esame è stata ottenuta in maniera diretta dal sondaggio geognostico a carotaggio continuo, dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche e dalle indagini sismiche effettuate. Dall'analisi delle tabelle e dei diagrammi, è possibile costatare in corrispondenza delle prove effettuate una successione stratigrafica globalmente omogenea fino alla massima profondità indagata, in relazione alle caratteristiche geotecniche degli orizzonti individuati.

Unità Litotecnica	Profondità [m da p.c.]	Litologia correlata
A	da 0,00 m a 2,75 - 3,40 m	Limo argilloso e limo sabbioso
B	da 2,75 - 3,40 m a 5,20 - 5,60 m	Limo sabbioso con livello argilloso alla base dello strato
C	da 5,20 - 5,60 m a 7,20 - 7,80 m	Sabbie medie grigie
D	da 7,20 - 7,80 m a 10,40 - 11,20 m	Argille limose con intercalazioni sabbiose
E	10,40 - 11,20 m a 13,20 - 15,80 m	Argille limose con livelli organici
F	da 13,20 - 15,80 m - ... (19,00 fine prova CPT n°4)	Sabbie limose fini

I livelli stratigrafici sopra riportati si riferiscono a quelli individuati nel sondaggio geognostico condotto e alle prove penetrometriche statiche. Risulta comunque ottima la corrispondenza litologica e stratigrafica tra i vari punti investigati e le varie metodologie d'indagine. All'interno dei fori delle prove, ed in particolare nella prova CPT n°4 e nel sondaggio S1, dopo le operazioni di sondaggio, è stata rilevata la presenza di una circolazione idrica a circa 1,7 - 2,20 m dal p.c. locale. La quota di inizio prove è riferita a quella del piano campagna.

#### 5. MODELLO GEOTECNICO LOCALE

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono stati utilizzati i risultati delle Prove Penetrometriche Statiche (CPT) effettuate nell'area d'indagine e delle analisi di laboratorio effettuate su n°3 campioni.

In particolare, i valori dell'angolo di attrito  $\Phi$  e di coesione non drenata  $C_u$  sono stati desunti dall'interpretazione delle Prove Penetrometriche Statiche (CPT) poiché hanno interessato la quasi totalità delle verticali indagate e sono stati confrontati con i risultati della prova triassiale ( $\Phi$  e  $C_u$ ) e delle prove di taglio ( $\Phi$  e  $C'$ ) effettuate sui campioni in laboratorio di cui si riportano i grafici a partire dalla pagina seguente.

Per la valutazione delle caratteristiche meccaniche degli orizzonti di natura prevalentemente coesiva riscontrati nelle prove CPT, è stato utilizzato il Metodo di Lunne ed Eide, valido per argille di bassa, media ed alta plasticità e poco sensibili, che relaziona la  $R_p$  delle prove penetrometriche con la coesione non drenata ( $C_u$ ), secondo la formula:

$$C_u = R_p - \sigma'V / Nk$$

Ove:

$R_p$  = Resistenza penetrometrica di punta (kg/cm<sup>2</sup>);

$\sigma'V$  = Pressione verticale efficace alla profondità di calcolo (kg/cm<sup>2</sup>);

$Nk$  = fattore adimensionale.

Il valore di progetto,  $X_d$  ( $C_{ud}$ ) sarà quello da utilizzare nelle verifiche e sarà ricavato a partire da un valore caratteristico ( $X_k$ : calcolati con medie statistiche e con l'utilizzo di variabili aleatorie) al quale verrà applicato un fattore riduttivo  $\gamma_M$  ( $F_s$  parziale) tabellato nelle Norme Tecniche.





$$x_k = \bar{x} + t_{0,05}(n-1) \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

Si precisa che i valori dei parametri geotecnici ricavati dalle prove CPT e riportati nella tabella sottostante rappresenta una media ponderata di quanto desunto in sito e possono essere considerati rappresentativi degli orizzonti stratigrafici individuati nella loro globalità, anche in considerazione della naturale disomogeneità del sottosuolo.

Litologia correlata	Profondità [m da p.c.]	Cu (k) [kN/m <sup>2</sup> ]	C' (k) [kN/m <sup>2</sup> ]	Φ (k) [°]	γ <sub>NAT</sub> (k) [KN/m <sup>3</sup> ]
A -Limo argilloso e limo sabbioso	da 0,00 m a 2,75 - 3,40 m	-	15 (da C1)	25° (da C1)	18,5
B - Limo sabbioso debolmente argilloso	da 2,75 - 3,40 m a 5,20 - 5,60 m	9,5 (da C2)	-	31,5° (da C2)	19,0
C - Sabbie medie grigie	da 5,20 - 5,60 m a 7,20 - 7,80 m	-	-	33° - 35° (da CPT3)	20,0
D - Argille sabbiose con intercalazioni sabbiose	da 7,20 - 7,80 m a 10,40 - 11,20 m	60 (da CPT3)	-	23° - 26° (da CPT3)	17,0
E - Argille limose con livelli organici	10,40 - 11,20 m a 13,20 - 15,80 m	-	30 (da C3)	21° (da C3)	18,0
F - Sabbie medio fini	da 13,20 - 15,80 m - ... (19,00 fine prova CPT n°4)	-	-	26° - 30° (da CPT2)	20,0

Dai tabulati della prova penetrometrica allegati fuori testo, è possibile ricavare i parametri di resistenza puntuali, esattamente in corrispondenza della verticale indagata. Da ciò consegue che l'assunzione di valori di resistenza differenti, minori o maggiori, da utilizzare nei calcoli geotecnici sarà subordinata alle ipotesi progettuali specifiche.

I risultati delle prove di laboratorio possono essere così sintetizzate.

**Campione n°1** prelevato alla profondità di -2,3m e -3,0m

**DESCRIZIONE CAMPIONE:** campione costituito da un livello di sabbia limosa (0,0 - 30,0 cm) e da limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0 cm).

VALORI MEDI pocket / torvane da N/cm <sup>2</sup> da N/cm <sup>2</sup>			
66	ALTO		
60		2,5	0,4
40	B	2,9	0,3
30		2,9	0,4
20		0,7	<0,1
10	A	0,7	<0,1
0		0,7	<0,1
cm	BASSO		



#### CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE:

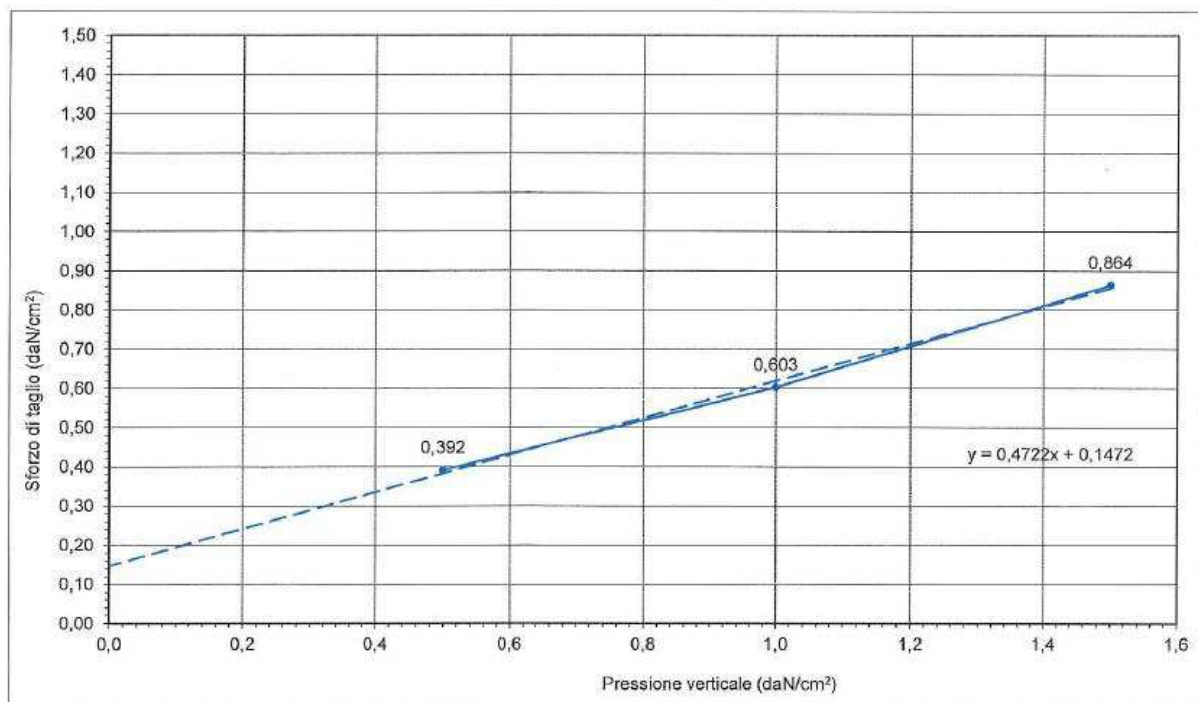
- Massa volumetrica dei grani;  $G_s = 2,723$  [g/cm<sup>3</sup>]
- Umidità naturale;  $W_n = 21,5$  % [%]
- Massa volumetrica con umidità naturale;  $\gamma_{nat} = 1,885$  [g/cm<sup>3</sup>]



**PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA:**

Prelievo effettuato da e procedura di campionamento:		INIZIALE	FINALE
h	Altezza: (mm)	20,00	18,12
φ	Diametro: (mm)	50,47	50,47
V	Volume: (cm <sup>3</sup> )	40,01	36,26
t	Tara fustella / ciottola: (g)	55,87	2,22
Pu	Peso lordo umido (g)	131,29	140,25
Pu	Peso netto umido: (g)	75,42	82,16
Ps	Peso lordo secco: (g)	---	126,57
Ps	Peso netto secco: (g)	---	68,48
γ <sub>n</sub>	Peso di volume umido: (g/cm <sup>3</sup> )	1,885	2,266
γ <sub>d</sub>	Peso di volume essiccato: (g/cm <sup>3</sup> )	1,712	1,889
W	Umidità: (%)	10,1	20,0
e <sub>0</sub>	Indice dei vuoti:	0,591	0,442
S <sub>0</sub>	Grado di saturazione: (%)	46,69	123,17

PRESSIONE	CEDIMENTI	DEFORMAZIONE VERTICALE	INDICE DEI VUOTI	COEFF. DI COMPRESSIBILITA'	MODULO EDOMETRICO	COEFF. DI CONSOLIDAZIONE	COEFF. DI PERMEABILITA'
P (daN/cm <sup>2</sup> )	δ H (mm)	ε (%)	e	mv (cm <sup>2</sup> /kg)	M (daN/cm <sup>2</sup> )	Cv (cm <sup>2</sup> /sec)	K (cm/sec)
0,25	0,425	2,125	0,557	0,0850	11,763	3,936E-03	3,346E-07
0,5	0,534	2,669	0,549	0,0217	45,987	6,489E-03	1,411E-07
1	0,658	3,289	0,539	0,0124	80,645	7,023E-03	8,709E-08
2	0,856	4,279	0,523	0,0099	101,010	6,456E-03	6,391E-08
4	1,112	5,560	0,503	0,0064	156,114	6,902E-03	4,421E-08
8	1,449	7,247	0,476	0,0042	237,154	7,236E-03	3,051E-08
16	1,877	9,387	0,442	0,0027	373,735	6,216E-03	1,663E-08
4	1,850	9,250	0,444	---	---	---	---
1	1,796	8,980	0,448	---	---	---	---
0,25	1,726	8,630	0,454	---	---	---	---

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO CON SCATOLA DI CASAGRANDE:**

Angolo di attrito  
 $\phi = 25$  gradi

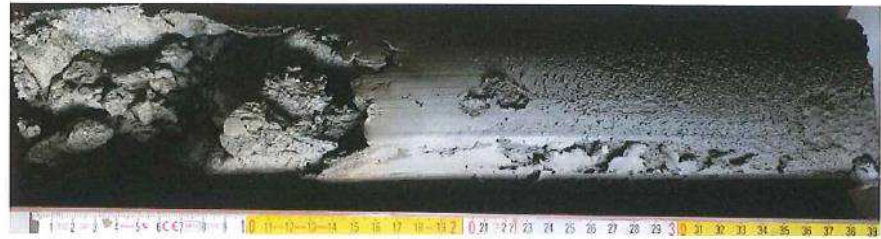
Coesione efficace:  
 $c' = 0,15$  (daN/cm<sup>2</sup>)

**Campione n°2** prelevato alla profondità di -4,20m e - 4,90m

**DESCRIZIONE CAMPIONE:** limo sabbioso debolmente argilloso

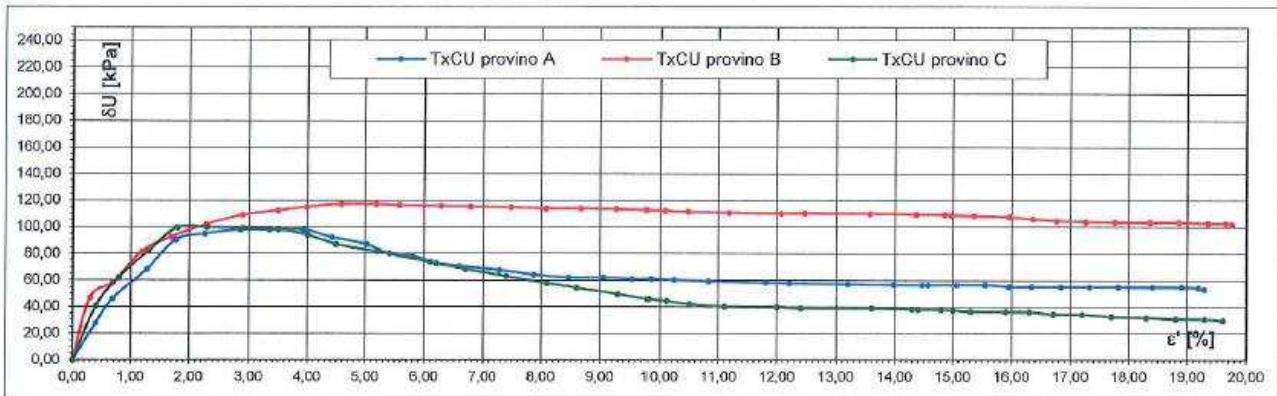
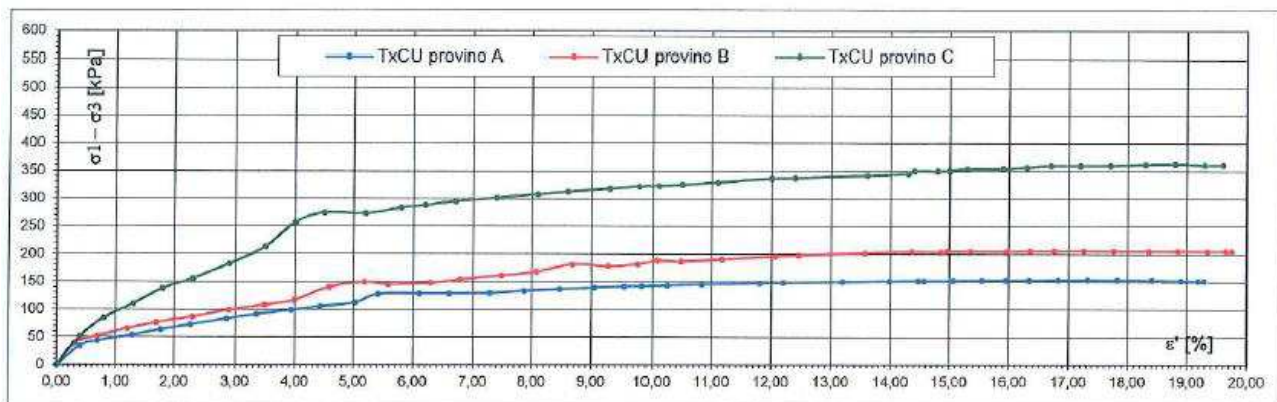
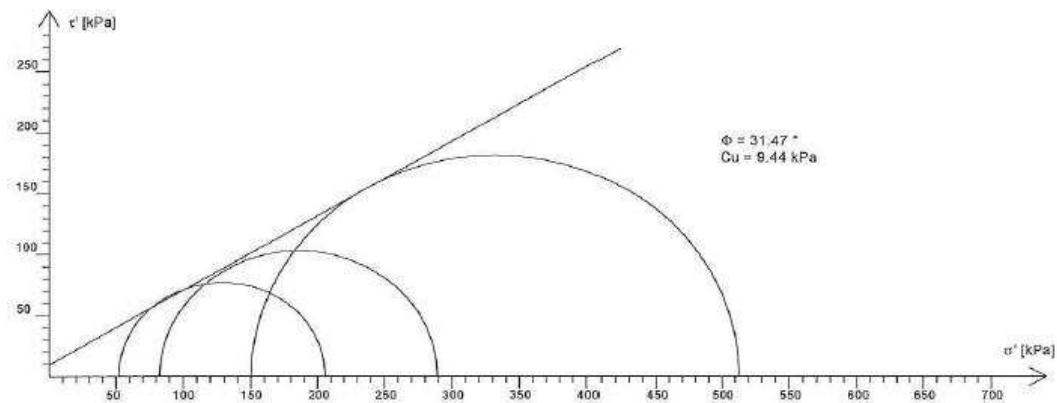
		VALORI MEDI	
		pocket	torvane
		daN/cm²	daN/cm²
38	ALTO		
30		0,2	<0,1
20		0,2	<0,1
10	A	0,2	<0,1
0	BASSO	<0,1	<0,1
cm			

BASSO



ALTO

**RISULTATO DELLA PROVA TRIASSALE CONSOLIDATA NON DRENATA**





**Campione n°3** prelevato alla profondità di - 12,20m e -12,90m

**DESCRIZIONE CAMPIONE:** argilla limosa con elementi vegetali carboniosi.

VALORI MEDI		pocket / torvane	
		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
02	ALTO		
50		0,5	0,2
40	B	0,7	0,4
30		0,7	0,5
20		0,7	0,5
10	A	1,0	0,3
0		1,1	0,3
cm	BASSO		



**CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE:**

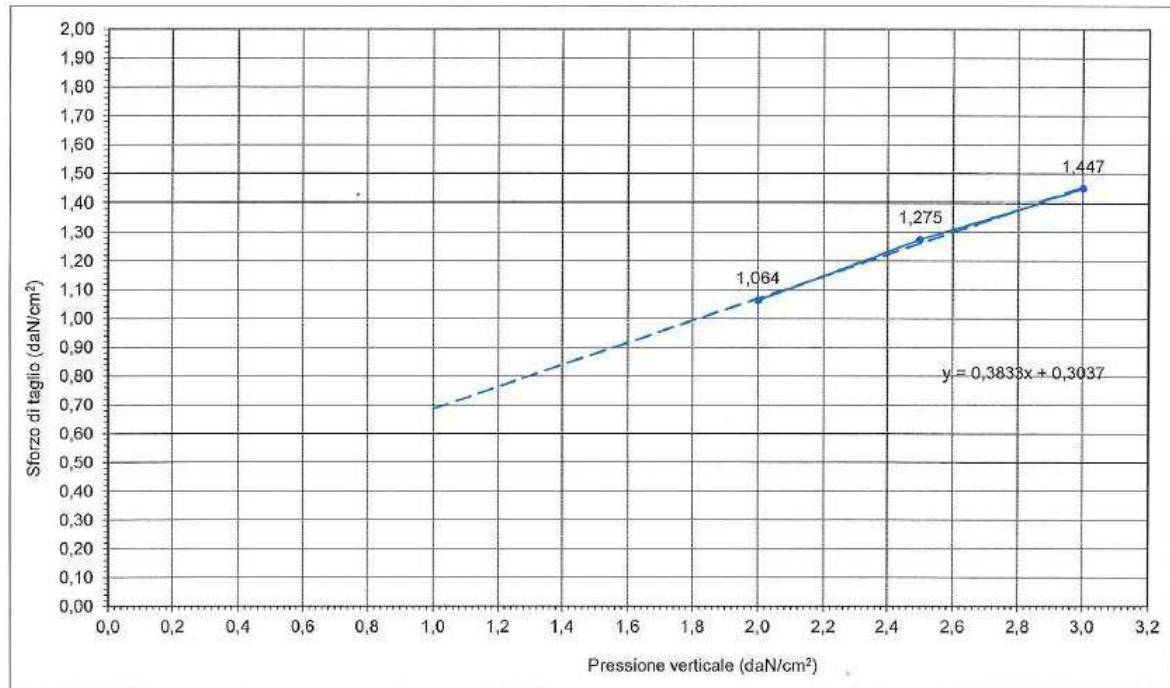
- Massa volumetrica dei grani;  $G_s=2,690$  [g/cm<sup>3</sup>]
- Umidità naturale;  $W_n=31,5$  [%]
- Massa volumetrica con umidità naturale;  $\gamma_{nat}=1,795$  [g/cm<sup>3</sup>]

**PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA:**

Prelievo effettuato da e procedura di campionamento:		INIZIALE	FINALE
h	Altezza: (mm)	20,00	16,03
$\phi$	Diametro: (mm)	50,47	50,47
V	Volume: (cm <sup>3</sup> )	40,01	32,07
t	Tara fustella / ciottola: (g)	55,87	2,45
Pu	Peso lordo umido: (g)	127,69	125,65
Pu	Peso netto umido: (g)	71,82	67,33
Ps	Peso lordo secco: (g)	---	111,67
Ps	Peso netto secco: (g)	---	53,35
$\gamma_n$	Peso di volume umido: (g/cm <sup>3</sup> )	1,795	2,100
$\gamma_d$	Peso di volume essiccato: (g/cm <sup>3</sup> )	1,333	1,664
W	Umidità: (%)	34,6	26,2
$e_0$	Indice dei vuoti:	1,017	0,617
$S_0$	Grado di saturazione: (%)	91,53	114,27

PRESSIONE	CEDIMENTI	DEFORMAZIONE	INDICE DEI	COEFF. DI	MODULO	COEFF. DI	COEFF. DI
		VERTICALE	VUOTI	COMPRESSIBILITA'	EDOMETRICO	CONSOLIDAZIONE	PERMEABILITA'
P (daN/cm <sup>2</sup> )	$\delta H$ (mm)	$\epsilon$ (%)	e	mv (cm <sup>2</sup> /kg)	M (daN/cm <sup>2</sup> )	Cv (cm <sup>2</sup> /sec)	K (cm/sec)
0,25	0,646	3,231	0,952	0,1292	7,738	2,863E-03	3,699E-07
0,5	1,008	5,041	0,916	0,0724	13,810	4,376E-03	3,169E-07
1	1,503	7,513	0,866	0,0494	20,229	3,653E-03	1,806E-07
2	2,069	10,346	0,809	0,0283	35,301	4,024E-03	1,140E-07
4	2,684	13,419	0,747	0,0154	65,076	3,898E-03	5,990E-08
8	3,312	16,560	0,683	0,0079	127,343	4,287E-03	3,367E-08
16	3,971	19,855	0,617	0,0041	242,792	4,475E-03	1,843E-08
4	3,906	19,530	0,623	---	---	---	---
1	3,839	19,195	0,630	---	---	---	---
0,25	3,637	18,185	0,651	---	---	---	---



PROVA DI TAGLIO DIRETTO CON SCATOLA DI CASAGRANDE, condotta sul livello argilloso:

Angolo di attrito  
 $\phi = 21$  gradi

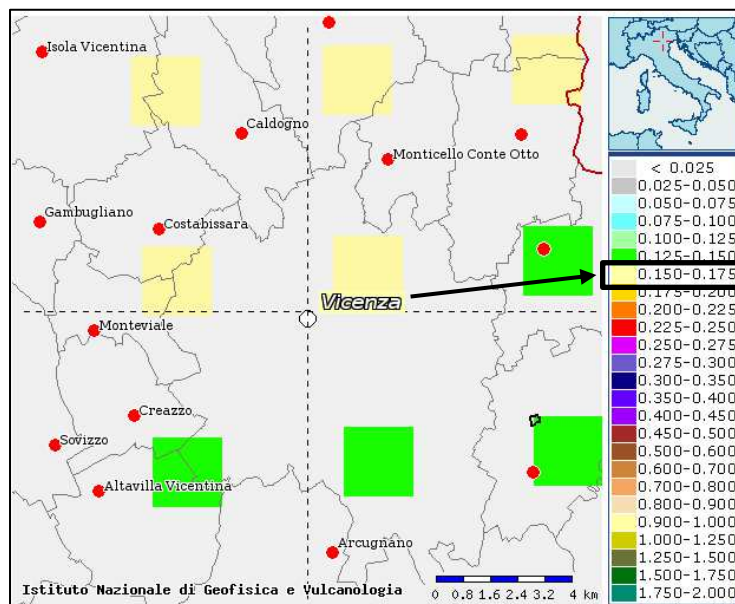
Coesione efficace:  
 $c' = 0,30$  (daN/cm²)



## 6. ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

### 6.1 Classificazione sismica dell'area

Secondo l'O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006 e considerata nell'emanazione del D.M. 14 Gennaio 2008, l'area in esame è inseribile nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale  $a_g$  riferito a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s,30} > 800$  m/s compreso **0,150g e 0,175g**.



Per quanto riguarda la pericolosità di base del sito di intervento, in riferimento ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ( $T_r = 475$  anni), il calcolo eseguito con il programma “Spettri di risposta - ver. 1.0.3” del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici mediante interpolazione per superficie rigata (cfr. figura seguente), individua la pericolosità sismica del sito di intervento con un valore di  $a_g$  riferito a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s,30} > 800$  m/s pari a **0,152g**.

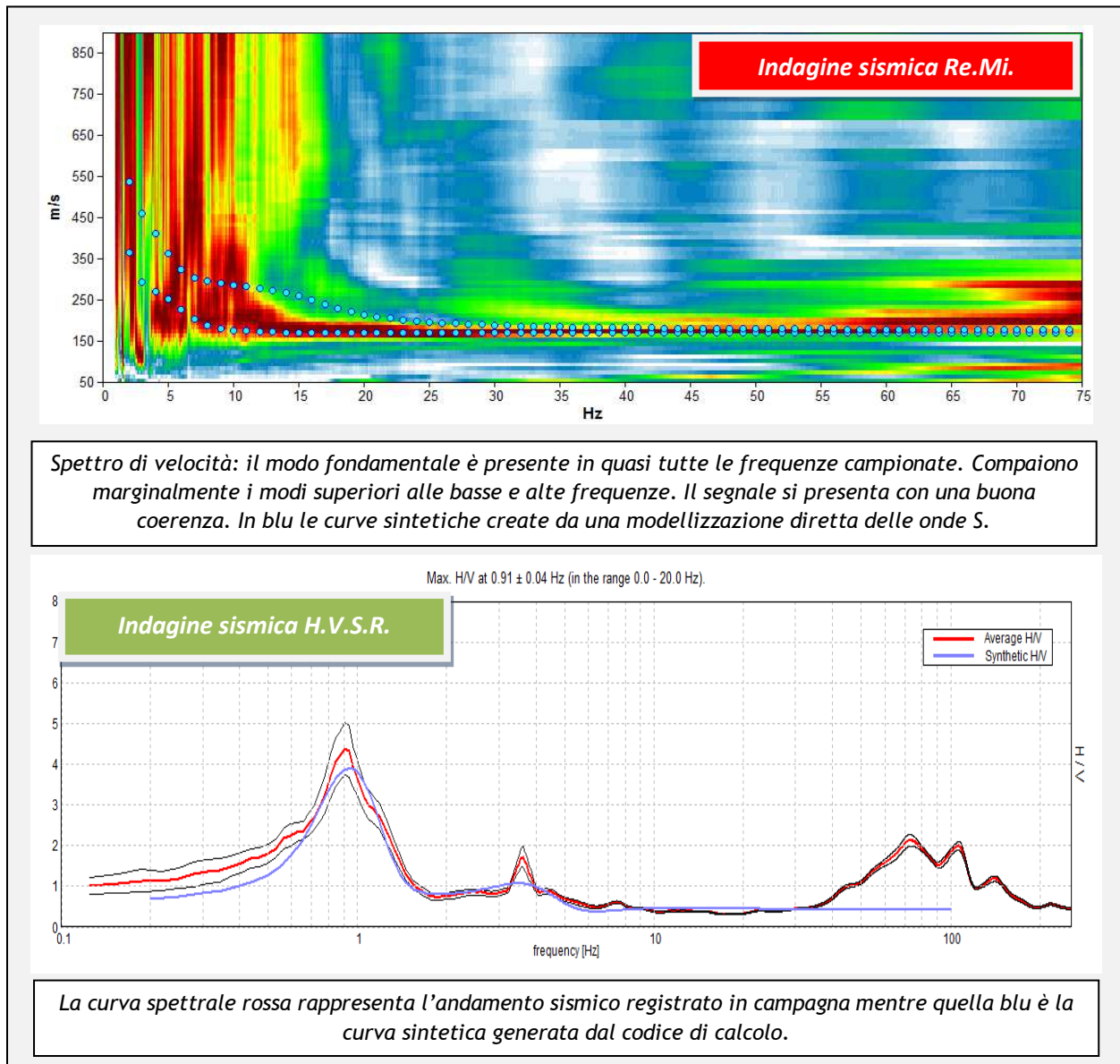
La latitudine e la longitudine dell'area in esame sono state acquisite al centro dell'area di intervento con sistema GPS Sony CS3 (precisione strumentale all'atto della misura di 5 m - Datum WGS 84) e successivamente corrette e convertite nel Datum ED 50 per l'individuazione della pericolosità del sito. I valori di accelerazione  $a_g$  ed i parametri sismici da utilizzare nei calcoli dovranno essere successivamente stabiliti sulla base della “Strategia di Progettazione” che sarà adottata dal Sig. Progettista, una volta assegnate alle opere in esame la Vita nominale, la Classe d'uso ed il Periodo di riferimento (cfr. D.M. 14 Gennaio 2008).

### 6.2 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo incrociato delle due tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse. Le indagini Re.Mi. hanno individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre le prospezioni passive a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, hanno stimato il grado di rigidità della copertura profonda e del *bedrock geofisico*. Inoltre, le misure H.V.S.R. hanno determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito nel modo fondamentale per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo.

### 6.2.1 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta - MISURA N° 1 (A1 - T1)

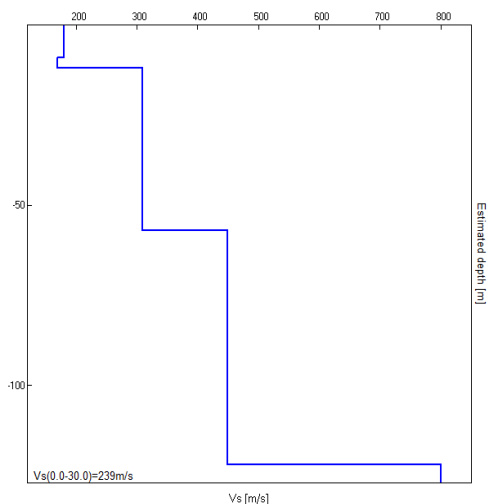


La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di una copertura superficiale mediamente addensata, caratterizzata da una  $V_s$  di circa 180 - 170 m/s fino a 12 m dal p.c. locale mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità aumenta raggiungendo valori di circa 310 m/s fino a 57 m di profondità.

Successivamente si segnala un ulteriore incremento della rigidità nei seguenti 65 m dal p.c. locale ( $V_s \approx 450$  m/s).

L'ammasso roccioso che, dal punto di vista sismico, si comporta come un *bedrock geofisico* ( $V_s \approx 800$  m/s) è individuabile a  $\approx 122$  m dal p.c. locale.

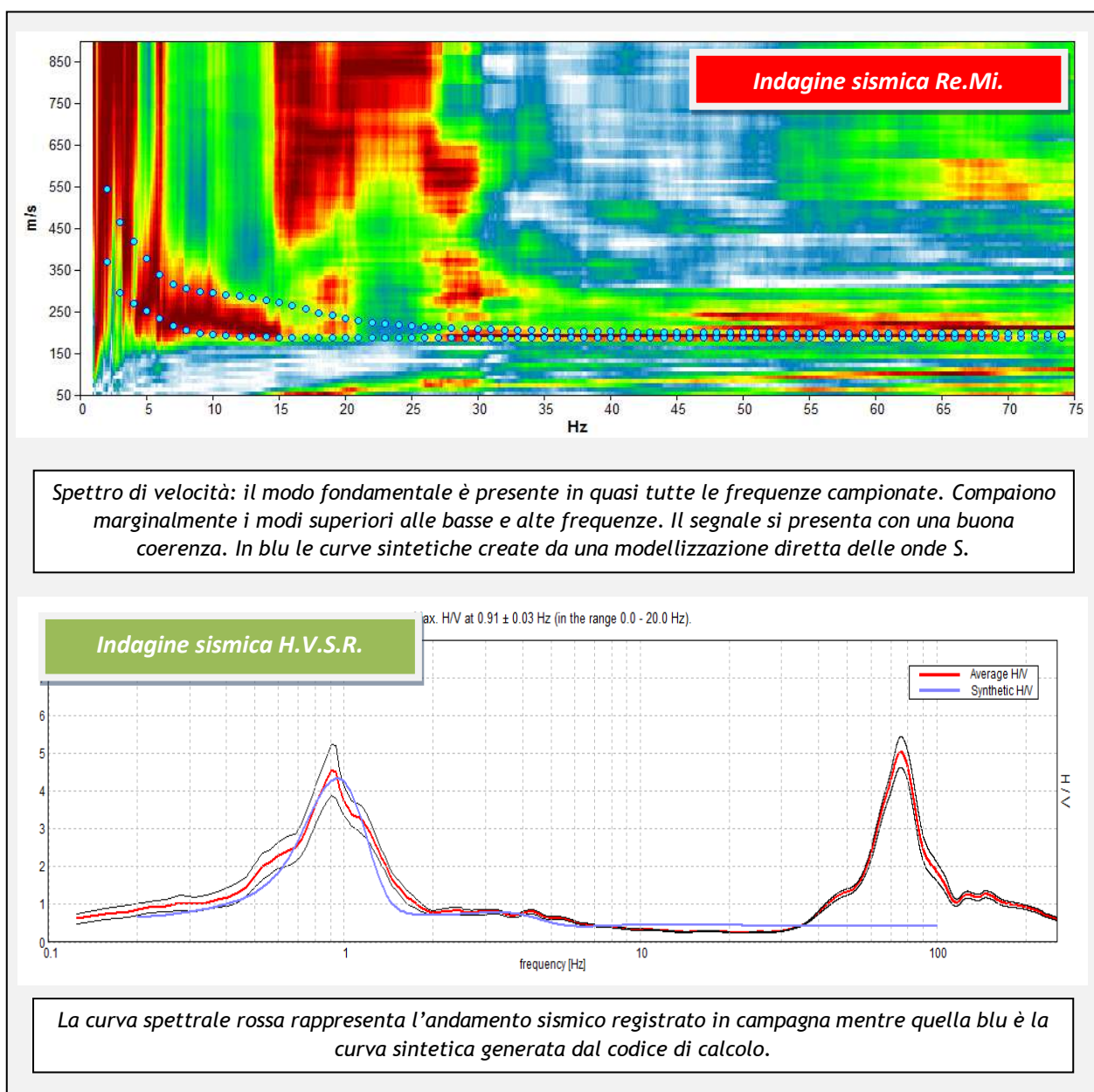
Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):





Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	180	9	0,0 - 9,0
II SISMOSTRATO	170	3	9,0 - $\approx$ 12
III SISMOSTRATO	310	45	$\approx$ 12 - $\approx$ 57
IV SISMOSTRATO	450	65	$\approx$ 57 - $\approx$ 122
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	$\approx$ 122 - Semisp.

### 6.2.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta - MISURA N° 2 (A2 - T2)

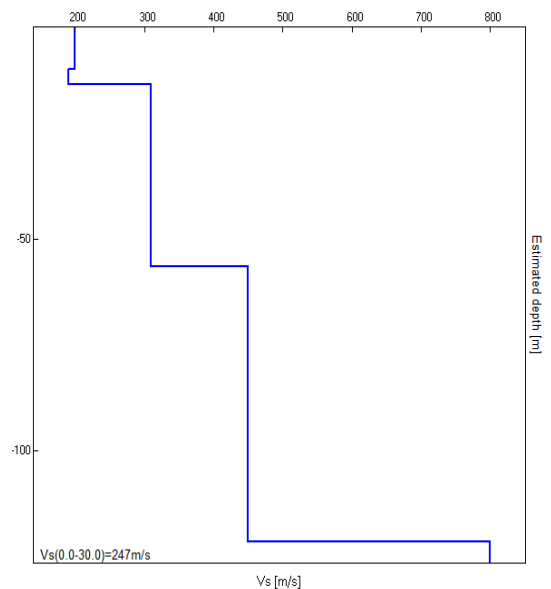


La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di una copertura superficiale mediamente addensata, caratterizzata da una  $V_s$  di circa 200 - 190 m/s fino a 14 m dal p.c. locale mentre per valori di profondità maggiori il grado di rigidità aumenta raggiungendo valori di circa 310 m/s fino a 57 m di profondità.

Successivamente si segnala un ulteriore incremento della rigidità nei seguenti 65 m dal p.c. locale ( $V_s \approx 450$  m/s).

L'ammasso roccioso che, dal punto di vista sismico, si comporta come un *bedrock geofisico* ( $V_s \approx 800$  m/s) è individuabile a  $\approx 122$  m dal p.c. locale.

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo - stratigrafico interpretativo*):



Indagine sismica Re.Mi. con inversione congiunta H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	200	10	0,0 - 10,0
II SISMOSTRATO	190	3,5	10,0 - $\approx 14$
III SISMOSTRATO	310	43	$\approx 14$ - $\approx 57$
IV SISMOSTRATO	450	65	$\approx 57$ - $\approx 122$
V SISMOSTRATO	800	Semisp.	$\approx 122$ - Semisp.

### 6.2.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

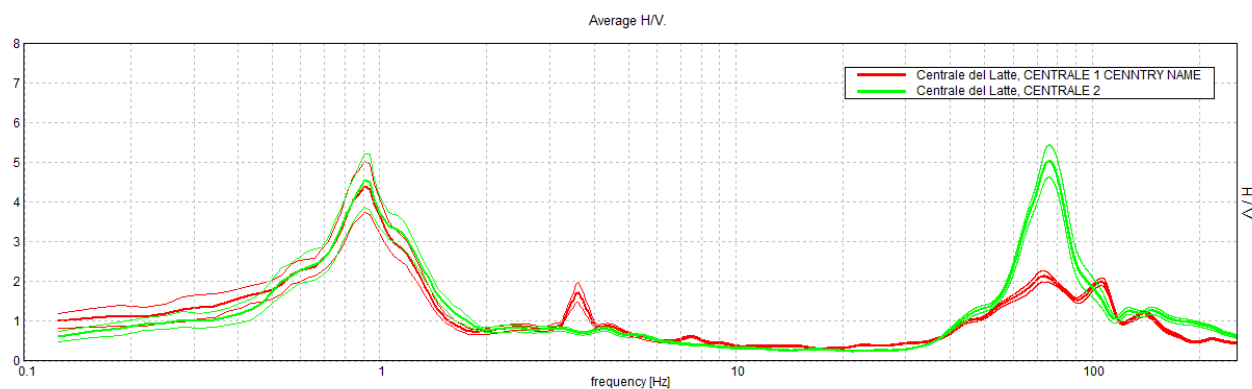
Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, degli spettri di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio. Si dovrà quindi porre estrema attenzione nell'edificare / adeguare strutture aventi lo stesso periodo di vibrazione del terreno, poiché il rapporto H/V calcolato è tale da ipotizzare un fattore di amplificazione del moto sismico in superficie

Le misure H.V.S.R. effettuate nei due siti sono state sovrapposte tra loro nell'immagine seguente (la linea rossa corrisponde alla misura n°1; la linea verde alla misura n° 2).





Entrambe le misure evidenziano che la frequenza fondamentale di risonanza di sito, nel normale campo di interesse ingegneristico - strutturale, è risultata di  $\approx 0,9$  Hz.

#### Frequenza fondamentale di risonanza di sito

$0,91 \pm 0,35$  Hz

### 6.3 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Per definire tali categorie, il D.M. 14/01/08 prevede, il calcolo del parametro  $V_{s,30}$ , ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  entro 30 m di profondità dal piano di posa di fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per eventuali fondazioni indirette, dal piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o dalla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Categoria	Descrizione
A	<b><i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i></b> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
B	<b><i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i></b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)
C	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i></b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)
D	<b><i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i></b> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)
E	<b><i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i></b> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)

Esistono poi due categorie speciali di sottosuolo, che sono quelle denominate dalle sigle S1 e S2, per le quali le NTC08 richiedono che l'azione sismica sia definita tramite il ricorso a studi speciali. Per queste categorie di sottosuolo non è quindi possibile utilizzare l'approccio semplificato basato sul coefficiente di amplificazione stratigrafica.



S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti

Dall'indagine sismica effettuata è possibile calcolare la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 14/01/2008*). A seguire si riportano i valori di  $V_{s,30}$  ipotizzando varie profondità per i due siti indagati:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$ - MISURA n° 1	$V_{s,30}$ - MISURA n° 2
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 243$ m/s	$V_s (1 - 31) \approx 250$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 248$ m/s	$V_s (2 - 32) \approx 254$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 253$ m/s	$V_s (3 - 33) \approx 258$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata C**, così definita:

**Categoria C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Successivamente, vista l'importanza della struttura in oggetto di analisi, si è condotto uno studio approfondito di risposta sismica locale (RSL), i cui contenuti e risultati sono riportati nel capitolo successivo.

#### CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST

L'area in esame è modellizzabile nella **Categoria T1** (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$  - cfr. Tabella 3.2.IV del par. 3.2.2 delle NTC); il coefficiente di amplificazione topografica ST si può quindi assumere pari ad **1,0** come indicato nella Tabella 3.2.VI del paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC.

### 6.4 Modellizzazione numerica avanzata

La risposta sismica dei terreni oggetto d'indagine è stata indagata mediante un approccio al continuo in condizioni di monodimensionalità. La tecnica di risoluzione numerica adoperata è quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo **FLAC 8.0 (ITASCA, 2016)**, operante nel dominio del tempo. Il codice effettua un'analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

#### 6.4.1 Cenni teorici di analisi dinamica avanzata (FLAC 2D - ITASCA, 2016)

Il codice di calcolo **FLAC 2D v.8.0** (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*) della Itasca (2016) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne anche di nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico, esso ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego





anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (8.1)$$

dove:

- $\rho$  è la densità
- $x_j$  la componente  $j$  - esima del vettore posizione
- $\dot{u}_i$  la componente  $i$  - esima del vettore velocità
- $g_i$  la componente dell'accelerazione di gravità (forze di volume) lungo la direzione  $i$
- $\tau_{ji}$  la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji}; \dot{\epsilon}_{ij}; k) \quad (8.2)$$

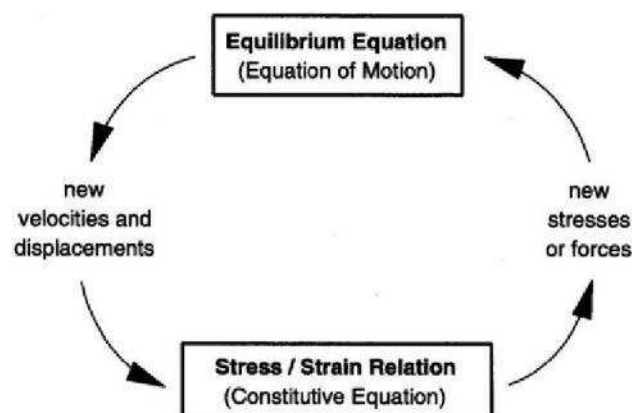
dove  $k$  è un parametro che tiene conto della storia di carico,  $M$  un funzionale ed  $\dot{\epsilon}_{ij}$  il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (8.3)$$

I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (*mesh*) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali, anche complesse ed irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzano il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia.

I metodi alle differenze finite come quelli agli elementi finiti traducono un sistema di equazioni differenziali come la (8.1) in un sistema di equazioni algebriche. Se i metodi agli elementi finiti hanno come punto centrale la definizione delle funzioni di forma, che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento, nei metodi alle differenze finite si prescinde da questa definizione della funzione di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (tensioni, spostamenti) definite nei nodi della *mesh*.

In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.



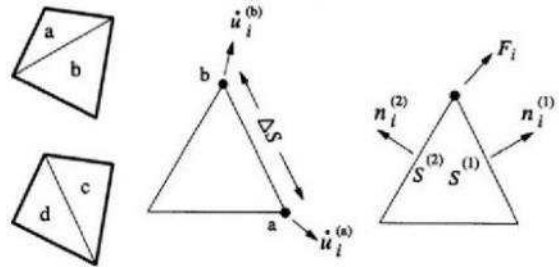
Ad ogni nuovo passo di calcolo (*step*), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente, dalle velocità di deformazione ed attraverso le equazioni dei legami costitutivi, si giunge a valori aggiornati delle tensioni. L'ipotesi base dell'approccio esplicito consiste nel fatto che, durante

ciascuna fase, le grandezze vengono ricavate da altre grandezze i cui valori sono assunti costanti durante l'operazione. Ad esempio, attraverso le leggi costitutive, i valori delle velocità di deformazione sono considerati fissi durante l'operazione di calcolo delle tensioni: in altre parole, i nuovi valori calcolati delle tensioni non influenzano le velocità. Questo può apparire poco accettabile dal punto di vista fisico, poiché se c'è una variazione di tensione in un punto, questa necessariamente influenza i punti vicini alterandone le velocità di deformazione. Tuttavia, se l'intervallo di tempo  $\Delta t$  (*timestep*) corrispondente al singolo ciclo di calcolo è sufficientemente piccolo, tale alterazione non può propagarsi da un elemento all'altro in tale intervallo.

Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il  $\Delta t$  richiesto generalmente molto piccolo, sono necessari un gran numero di passi di integrazione cui corrispondono tempi di calcolo molto elevati.

Gli elementi quadrangolari della griglia vengono automaticamente suddivisi dal programma in due set sovrapposti di triangoli a deformazioni costanti.

Le equazioni alle differenze finite per ogni triangolo si ottengono dalla forma generalizzata del teorema della divergenza di Gauss:



$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (8.4)$$

in cui:

- $\mathbf{n}$  è il versore normale al contorno  $S$  del dominio triangolare
- $\mathbf{f}$  la funzione generica (scalare, vettore o tensore)
- $A$  la superficie del dominio triangolare di contorno  $S$
- $d_s$  la lunghezza incrementale lungo il contorno  $S$ .

Sostituendo ad  $\mathbf{f}$  un valore medio del vettore velocità, la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s \left( \dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)} \right) n_i \Delta s \quad (8.5)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo. Attraverso la (8.3) e la (8.5) è, quindi, possibile calcolare tutte le componenti del tensore velocità di deformazione. La legge costitutiva è poi utilizzata per calcolare un nuovo valore del tensore delle tensioni. Calcolate le tensioni vengono calcolate le forze equivalenti applicate ai nodi. Le tensioni agiscono in ciascun triangolo come trazioni sui lati del triangolo stesso; ogni trazione è considerata equivalente a due forze agenti sui due nodi all'estremità del lato. Su ogni nodo del triangolo agiscono, quindi, due forze relative ai due lati convergenti nel nodo stesso:

$$\mathbf{F}_i = \frac{1}{2} \tau_{ji} \left( \mathbf{n}_i^{(1)} S^{(1)} + \mathbf{n}_i^{(2)} S^{(2)} \right) \quad (8.6)$$

Infine, per ciascun nodo vengono sommate tutte le forze dovute ai triangoli convergenti nel nodo stesso, le forze dovute a eventuali carichi esterni applicati e le forze di volume dovute alla gravità. In tal modo viene determinata la forza nodale netta  $\Sigma \mathbf{F}_i$ ; se  $\Sigma \mathbf{F}_i = 0$ , il nodo è in equilibrio, altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (8.1) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i \left( t + \frac{\Delta t}{2} \right) = \dot{u}_i \left( t - \frac{\Delta t}{2} \right) + \left[ \sum F_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (8.7)$$

dove l'apice indica il tempo in corrispondenza del quale è valutata la variabile ed  $m$  è la massa associata a ciascun nodo pari alla somma di un terzo delle masse dei triangoli convergenti nel nodo. Dalla relazione precedente si determinano nuovi valori della velocità e, quindi, del tensore velocità di deformazione per un nuovo ciclo.

Come detto, condizione essenziale dell'algoritmo descritto è che il *time step*  $\Delta t$  corrispondente al singolo ciclo di calcolo, sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l'approssimazione di tensioni e velocità costanti sul singolo *step* di calcolo. In particolare,  $\Delta t$  deve essere inferiore ad un *time step* critico  $\Delta t_{cr}$  definito dalla:

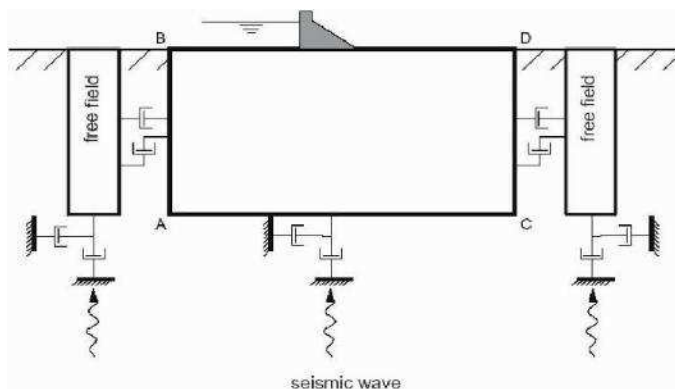
$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (8.8)$$

dove  $A$  è la superficie del subelemento triangolare,  $\Delta x_{max}$  la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e  $V_p$  la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il *timstep* critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidezza del materiale è elevata e quanto più piccolo è l'elemento. Il  $\Delta t$  di calcolo viene determinato internamente da FLAC, applicando un coefficiente di sicurezza pari a 2 al valore fornito dalla (8.8).

Particolare attenzione va posta nella scelta delle dimensioni degli elementi della *mesh*, in quanto queste condizionano in maniera fondamentale l'accuratezza numerica della trasmissione delle onde. In particolare, per un'accurata modellazione viene consigliato di scegliere una altezza degli elementi  $h$  almeno pari ad un valore compreso tra un decimo ed un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse  $\lambda_{min}$ :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (8.9)$$

La  $\lambda_{min}$  è la lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una *mesh* di nodi, di una porzione finita dello spazio, per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione, dando luogo ad una "perdita" di energia indicata come *smorzamento di radiazione*. Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della *mesh*, imponendo su questi condizioni di campo libero (*free field boundaries*) o viscose (*quiet boundaries*). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito. I contorni *free - field* consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di





larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).

In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale ed allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della *mesh* delle onde difratte verso l'esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia *free - field* attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l'energia delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscosi proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni *free - field*. Prima dell'applicazione delle condizioni *free - field* durante l'analisi dinamica, il modello deve essere in condizioni di equilibrio statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni *free - field*, tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono quindi applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello.

I contorni *free - field* sono di notevole utilità, in quanto consentono di evitare l'allontanamento dei confini laterali, altrimenti necessario in assenza di confini assorbenti, per la minimizzazione delle onde riflesse dai contorni.

I contorni *quiet* sono invece costituiti, secondo la formulazione di *Lysmer e Kuhlemeyer (1969)*, da smorzatori viscosi attaccati alla griglia ed agenti in direzione normale e tangenziale al contorno stesso; essi consentono un pressoché completo assorbimento delle onde di volume che incidono sul contorno. I contorni *quiet* possono essere applicati su contorni verticali, orizzontali o inclinati. Essi vanno applicati al confine inferiore della *mesh* per simulare la base elastica, mentre ai bordi del modello, come detto, è preferibile l'utilizzo dei contorni *free - field*.

Le sollecitazioni dinamiche possono essere applicate sia ai bordi della *mesh* sia ai suoi nodi interni in una delle seguenti forme:

- storia temporale di accelerazioni;
- storia temporale di velocità;
- storia temporale di tensioni;
- storia temporale di forze.

Nell'applicare la sollecitazione dinamica, bisogna però tenere conto di alcune limitazioni che derivano da particolari incompatibilità tra forme di applicazione dell'input e delle condizioni al contorno. Se, ad esempio, queste sono rappresentate da *quiet boundaries* (come avviene solitamente per il bordo inferiore della *mesh*), il loro effetto viene annullato se si applica un accelerogramma o una storia di velocità.

Quindi, in questo caso, la base è modellata come rigida, cioè perfettamente riflettente, dando luogo a irrealistiche sovrastime del moto sismico. Per simulare correttamente una base elastica occorre applicare ai *quiet boundaries*, alla base della *mesh*, una storia temporale di tensioni. A tal fine, un accelerogramma di input deve essere integrato per ottenere una storia temporale di velocità e questa viene infine convertita in tensioni tramite le seguenti relazioni:

$$\sigma_n = 2(\rho V_P) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_S) v_s \quad (8.10)$$

dove:

- $\rho$  è la densità;
- $\sigma_n$ ,  $\sigma_s$  rispettivamente tensione applicata in direzione normale e tangenziale al contorno;
- $V_P$ ,  $V_S$  rispettivamente velocità delle onde di compressione e di taglio del materiale che viene simulato al di sotto del contorno inferiore (costituente la base elastica);
- $v_n$ ,  $v_s$  rispettivamente la velocità di input normale e tangente al contorno.

In definitiva, un input costituito da onde S sarà quindi applicato come una storia temporale di tensioni tangenziali, mentre le onde P tramite una storia temporale di tensioni normali al contorno. Entrambe le sollecitazioni sono applicate con incidenza verticale.



La non linearità e le proprietà dissipative dei terreni possono essere modellate in FLAC secondo differenti modalità: attraverso l'adozione di un legame costitutivo propriamente non lineare o, a partire dalla versione 5.0 (Itasca, 2005), tramite semplici modelli di *smorzamento isteretico*. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di Rayleigh.

L'adozione di una legge sforzi - deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono, inoltre, la valutazione delle deformazioni permanenti. Però, dal punto di vista pratico, i modelli non lineari sono spesso complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve di tipo  $G / G_0 - \gamma$  e  $D - \gamma$ , generalmente fornite dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni empiriche, ha portato all'introduzione di semplici modelli di *smorzamento isteretico* (*hysteretic damping*) nella recente versione 5.0 del codice.

Durante ciascun *step* di calcolo, in funzione del valore medio del tensore di velocità di deformazione, viene restituito un fattore moltiplicativo da usarsi nel legame costitutivo, in modo da correggere il valore del modulo tangente di taglio associato a ciascun elemento. Il modello isteretico implementato utilizza solo curve continue che esprimono la variazione del modulo di taglio con la deformazione tangenziale; pertanto, i parametri da fornire in input che definiscono la forma di tali curve, vanno ricavati attraverso regressione dei dati sperimentali. Analisi di calibrazione dello smorzamento isteretico sono necessarie prima di un suo uso nella pratica corrente.

Nel caso di analisi lineari, o per modellare comunque lo smorzamento a basse deformazioni che spesso i legami costitutivi non lineari non riescono a cogliere, si può utilizzare la formulazione di *Rayleigh*. Essa conduce ad uno smorzamento dipendente dalla frequenza, in contrasto con le evidenze sperimentali sul comportamento dei terreni. Il suo impiego richiede, pertanto, una oculata scelta dei parametri che lo definiscono, per limitare la variazione dello smorzamento con la frequenza (*Lanzo et al., 2003 e 2004*). Lo smorzamento di *Rayleigh* è stato originariamente formulato per le analisi strutturali ed è espresso in forma matriciale attraverso la definizione di una matrice di smorzamento  $C$  proporzionale alla matrice di massa  $M$  e a quella di rigidità  $K$ :

$$C = \alpha_R M + \beta_R K \quad (8.11)$$

dove  $\alpha_R$  e  $\beta_R$  sono i coefficienti di *Rayleigh* che hanno dimensione rispettivamente di  $s^{-1}$  e  $s$ . E' possibile dimostrare (*Chopra, 1995*) che lo smorzamento  $\xi_j$  associato al  $j$  - esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (8.12)$$

dove  $\omega_j$  è la frequenza circolare relativa al modo  $j$ .

I coefficienti di *Rayleigh* vengono comunemente determinati attraverso due procedure, a seconda che si fissi il valore dello smorzamento modale in corrispondenza di una o due frequenze naturali opportunamente selezionate (dette frequenze di controllo). Il codice FLAC adotta la prima procedura in accordo alla quale i coefficienti di *Rayleigh* sono espressi dalle:

$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (8.13)$$



avendo fissato lo smorzamento modale al valore  $\xi$  in corrispondenza della singola frequenza  $\omega$ .

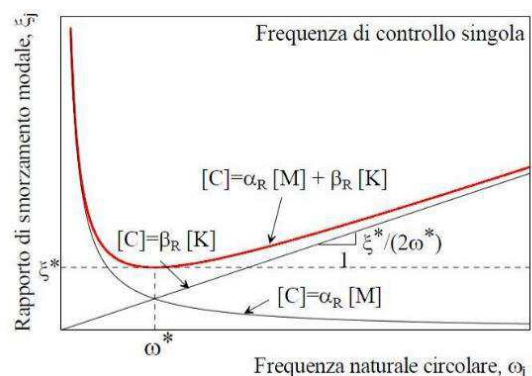
Per ciascun elemento della *mesh* occorre specificare il rapporto di smorzamento  $\xi^*$  del materiale e la frequenza  $\omega^*$ . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento  $\xi^*$  e frequenza  $\omega^*$  costante per tutto il deposito, è possibile dimostrare che un'analisi lineare eseguita con FLAC fornisce gli stessi risultati di un'analisi modale, con rapporto di smorzamento modale dell'intero sistema variabile con la frequenza circolare naturale  $\omega_j$  secondo la:

$$\xi_j = \frac{\xi^*}{2} \left( \frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (8.14)$$

riportata nella figura seguente, nella quale si nota come  $\xi_j$  assuma un minimo (pari al valore imposto  $\xi^*$ ) in corrispondenza della frequenza di controllo  $\omega^*$ , mentre sia sovrastimato nel campo dei valori maggiori e minori di  $\omega^*$ .

La formulazione di *Rayleigh* viene applicata a livello del singolo elemento della *mesh* per cui, tra i dati di input, occorre specificare per ciascun elemento il valore del rapporto di smorzamento del materiale che lo costituisce  $\xi^*$  e la frequenza di controllo  $\omega^*$  (o meglio il valore  $f^*$ ). La scelta di  $f^*$  è cruciale per fissare il campo di frequenza in corrispondenza del quale lo smorzamento mostra variazioni contenute rispetto a  $\xi^*$ .

In generale,  $f^*$  deve essere scelta nel campo di frequenza significativo per il problema in esame sia in termini di frequenze naturali del sistema che di frequenze predominati dell'input. In prima approssimazione, si può collocare  $f^*$  tra la frequenza fondamentale del sistema e la frequenza predominante dell'input (frequenza corrispondente al massimo dello spettro di Fourier o di risposta). Se questi valori sono distanti è comunque opportuno esaminare con analisi parametriche l'influenza sui risultati delle diverse scelte di  $f^*$ .



In definitiva, per ciascun materiale occorre fornire i seguenti parametri di input:

- peso dell'unità di volume;
- nel caso di analisi lineari modulo di taglio ( $G_0$ ) e di elasticità volumetrico ( $k$ ), o, in alternativa modulo di Young ( $E$ ) e coefficiente di Poisson ( $\nu$ );
- nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato;
- rapporto di smorzamento ( $\xi^*$ ) e frequenza di controllo ( $f^*$ ) se si adotta la formulazione di *Rayleigh*.

Il codice offre notevoli potenzialità di dati in output, potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente, inoltre, di costruire ed esportare i grafici delle sopracitate grandezze, in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

#### 6.4.2 Caso applicativo nell'area di interesse

Come anticipato nelle premesse, è stato effettuato uno studio di risposta sismica locale tramite una modellazione numerica avanzata in modalità dinamica. Nel rispetto della normativa vigente - *N.T.C. D.M. 14 gennaio 2008* - è stata assunta una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento,  $P$ , e con il periodo di ritorno,  $T_r$ , relativi allo stato limite considerato. In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione ( $V_n$ ) di 50 anni, un coefficiente d'uso ( $C_u$ ) pari a II e quindi una vita di riferimento  $V_r = 50$  anni. A partire da queste indicazioni si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 475 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).



L'input sismico utilizzato è rappresentato da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello per ogni stato limite considerato e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub-orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2016).

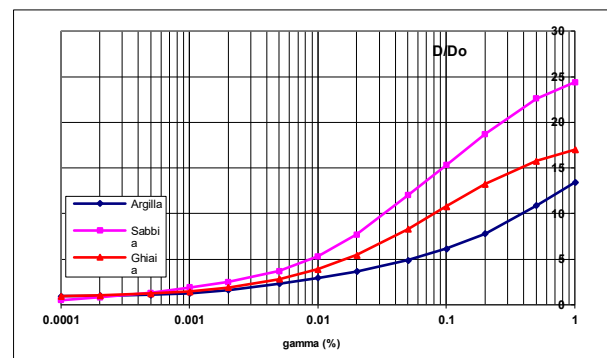
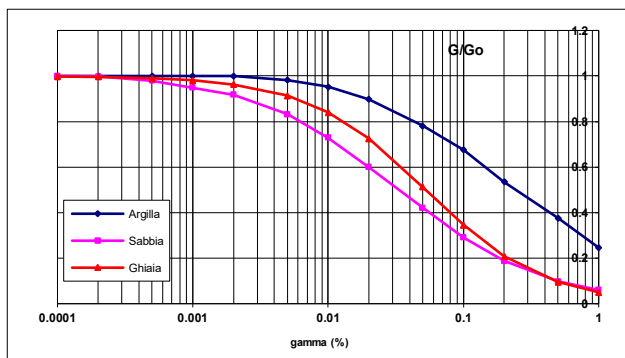
In particolare, gli accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software REXEL - *computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*.

Per quantificare l'azione sismica in superficie è stato realizzato un modello di rigidità monodimensionale del sottosuolo in corrispondenza dell'area di studio sul quale è stata successivamente condotta la modellazione numerica, come precedentemente spiegato. Le sismostratigrafie e i valori di rigidità utilizzati sono quelli ottenuti dalle indagini sismiche e geotecniche eseguite per il presente studio.

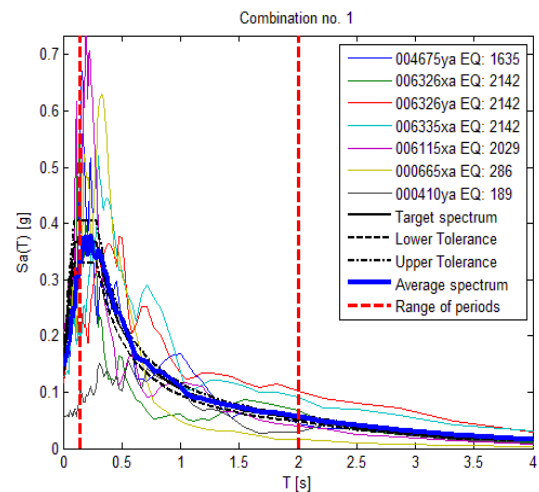
Il modello geometrico è stato discretizzato con una maglia ad elementi quadrangolari, le dimensioni dei quali sono state stabilite in funzione delle lunghezze d'onda minime caratterizzanti il fenomeno di propagazione sismica, determinabili con la relazione di Kuhlemeyer & Lysmer ( $h_{max} < V_s / 10 * f_{max}$ ) in funzione delle velocità delle onde di taglio nei diversi terreni del modello e della frequenza massima di interesse dei segnali accelerometrici selezionati ( $f_{max}=10$  Hz).

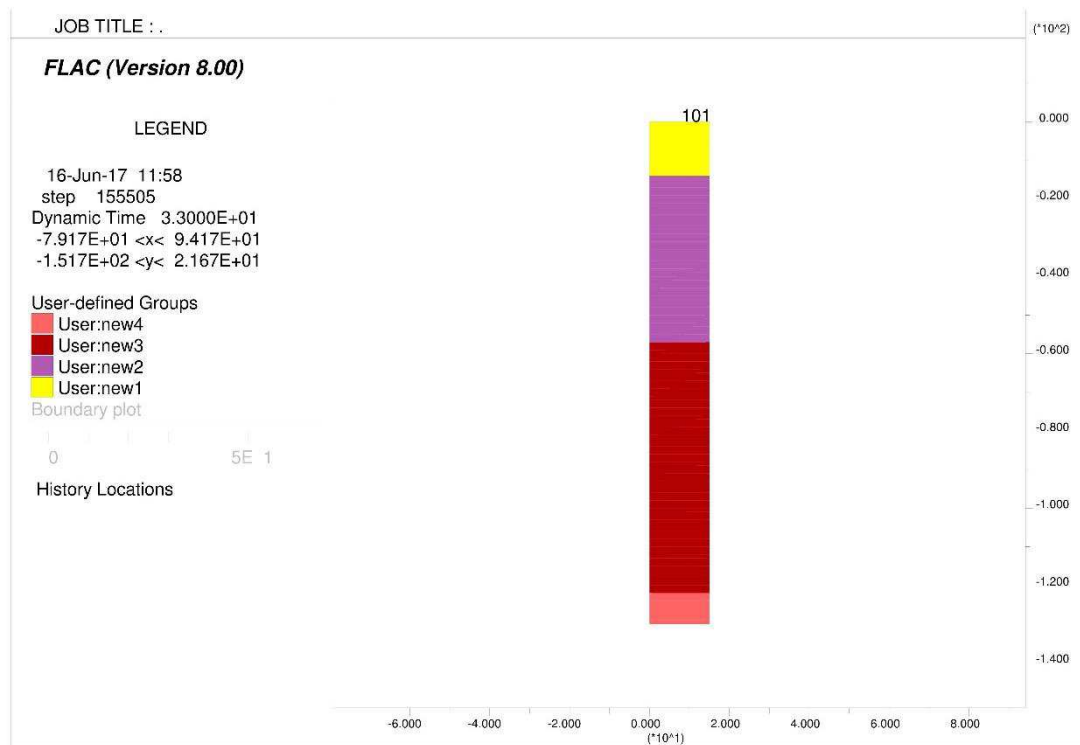
Lungo le frontiere laterali sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (*free-field* boundaries), che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di *free-field*, essenziali per le analisi di risposta sismica locale 1D.

Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (*quiet boundaries*) mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso lo smorzamento isteretico per i materiali più superficiali tramite le curve di degrado  $G/G_0$  e  $D/D_0$  indicate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del 2008 e sotto riportate.

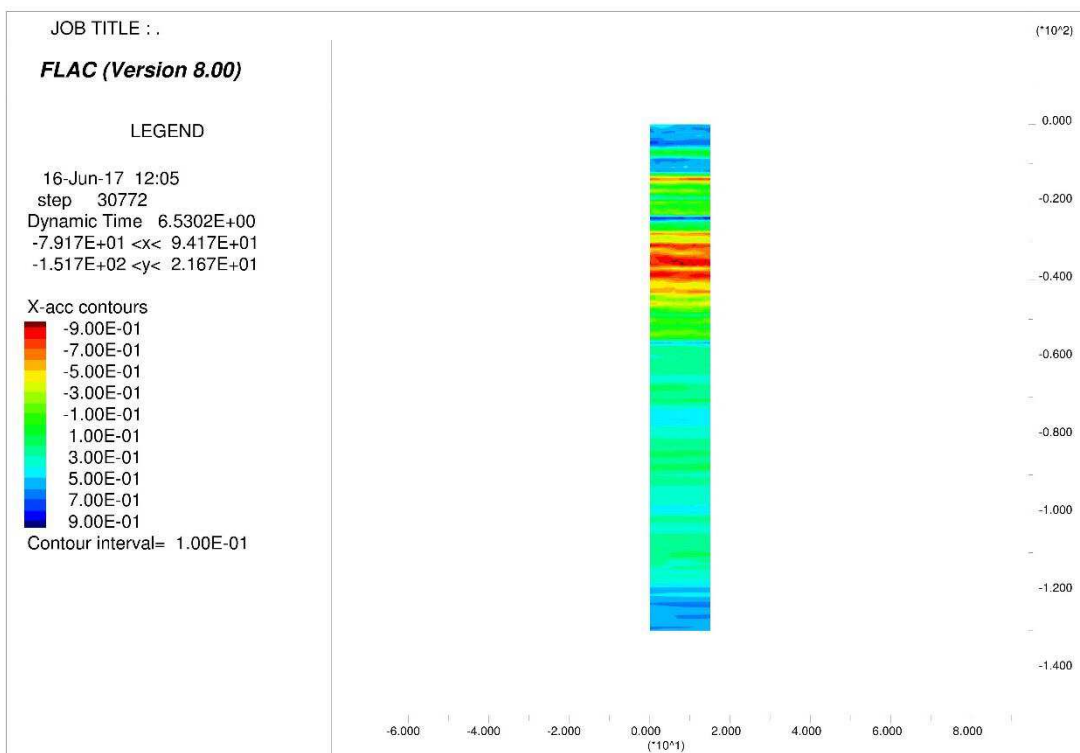


Le *history* (storie temporali) ricavate al tetto del modello rappresentano le storie accelerometriche orizzontali attese nel sito d'indagine. Le n°7 *history* ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa (*Step n.1*), confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall'approccio semplificato (*Step n.2*). A seguire viene proposto il modello sismostratigrafico impiegato per le simulazioni numeriche. Inoltre, viene illustrato il modello ottenuto durante le analisi condotte in termini di "*X-acc contours*" e "*X-displacement contours*" nell'istante in cui l'accelerogramma n°6 ha raggiunto il suo massimo valore.

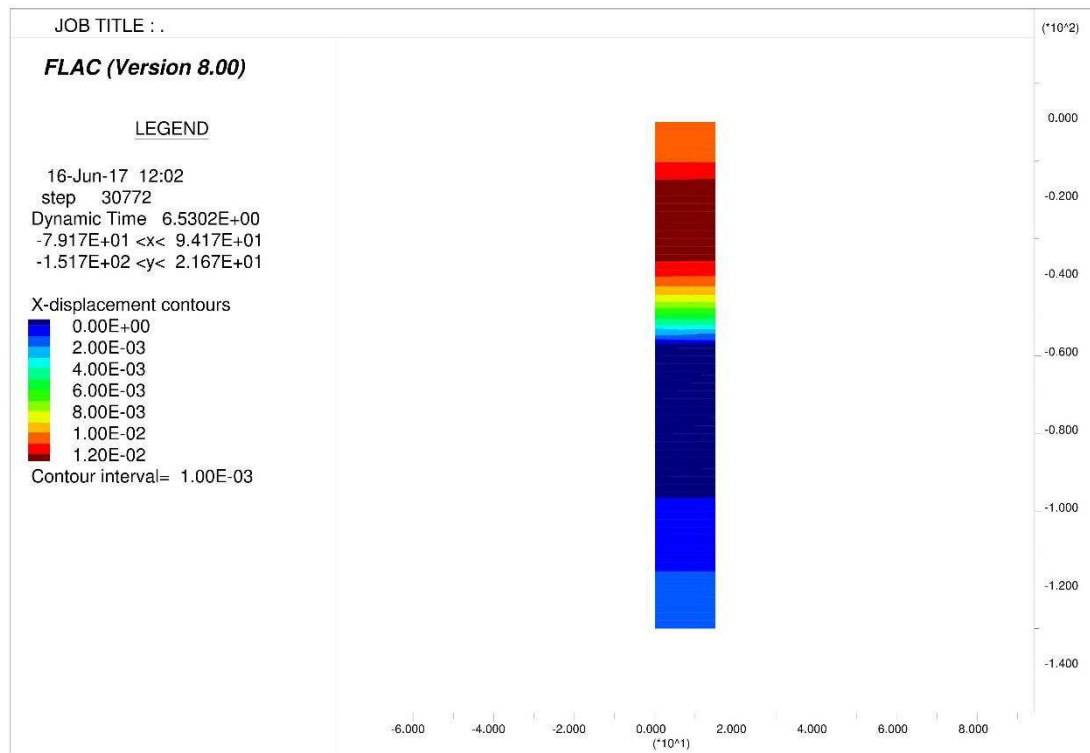




*Modello sismo - stratigrafico utilizzato per lo studio di RSL*



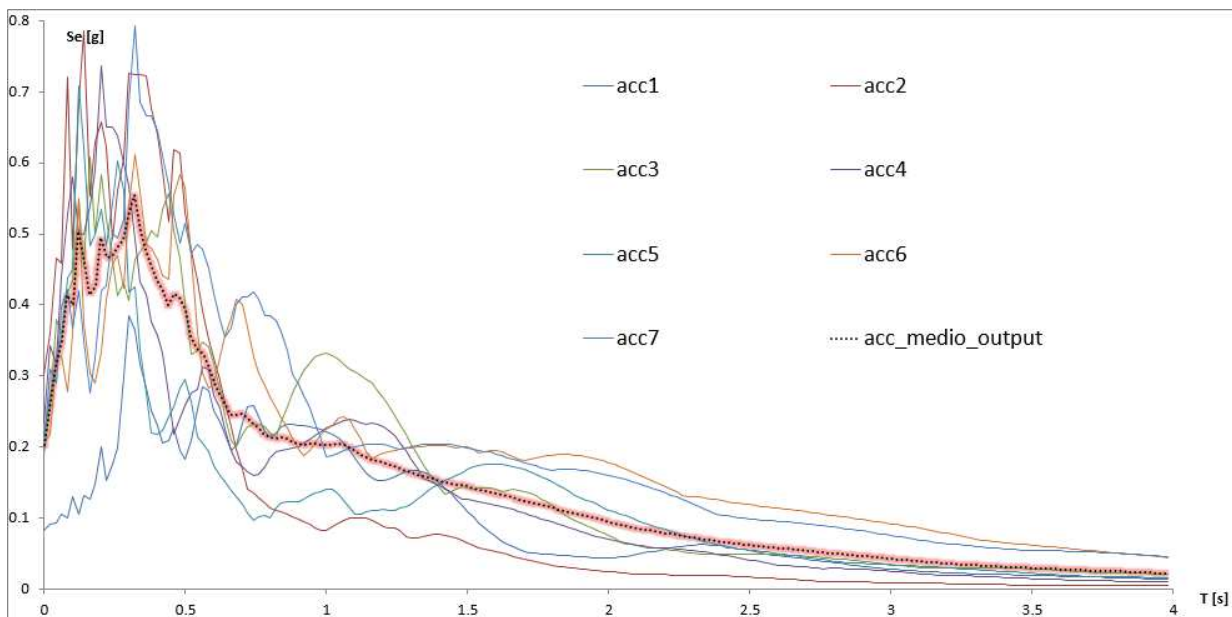
*"X-acc contours" - nell'istante in cui l'acc6 raggiunge il suo massimo valore*



“X-displacement contours” - nell’istante in cui l’acc6 raggiunge il suo massimo valore; il simbolo indica la posizione della struttura in esame.

### ANALISI ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

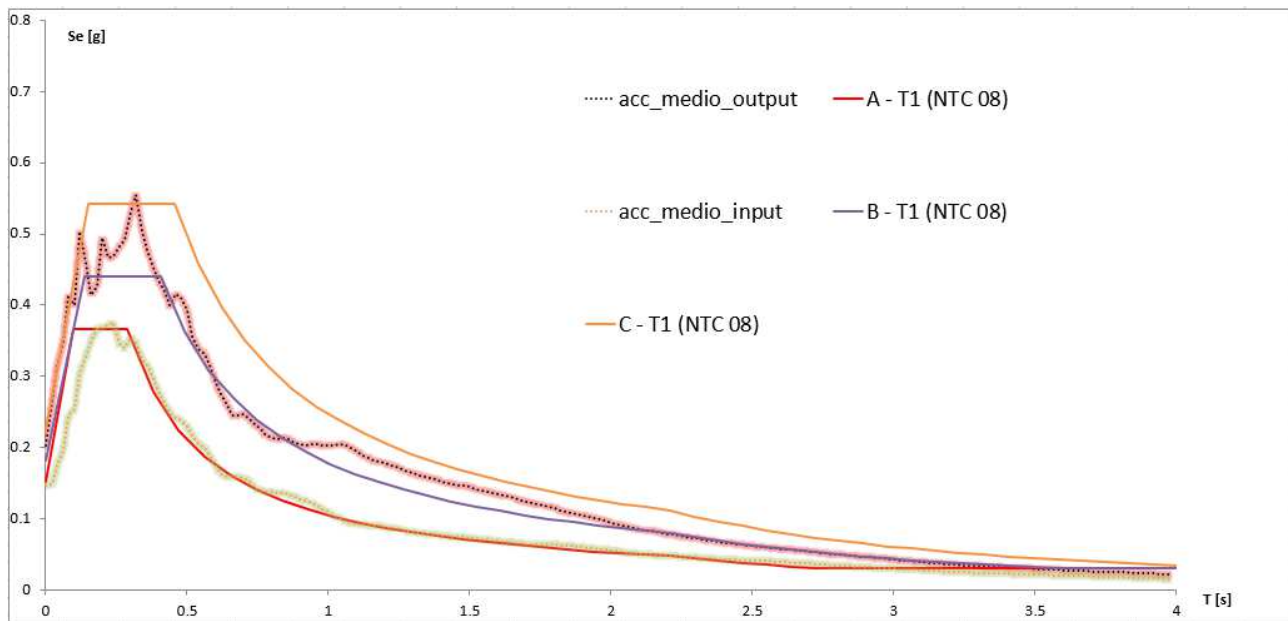
**Step n.1:** le linee acc1, acc2, acc3, acc4, acc5, acc6 e acc7 rappresentano gli spettri di risposta elastica calcolati in superficie (tetto del modello) per ogni evento sismico modellizzato. La media di questi è rappresentata dalla linea nera (acc\_medio; v. Allegato).



**Step n.2:** lo spettro di risposta medio viene confrontato con quelli derivanti dalla procedura semplificata di risposta sismica locale e identificabile nelle categorie di sottosuolo.







Dalla ricostruzione del quadro sismico-stratigrafico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si dovrebbe prevedere l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata C (vedi pag.25).

Vista l'importanza della struttura in oggetto di analisi si è ritenuto necessario condurre uno studio di risposta sismica locale i cui risultati sono rappresentati nei grafici precedenti.

Lo spettro di risposta elastico ottenuto dallo studio di RSL presenta valori massimi di  $a_g$  compresi tra 0,41 - 0,55  $a_g/g$  nell'intervallo 0,08s e 0,32s.

Lo spettro di risposta elastico con approccio semplificato che meglio modella la risposta sismica locale per periodi compresi tra 0,0 - 0,32s e tra 1,0 - 2,0s, è rappresentato dalla Categoria di Sottosuolo C unita alla Categoria topografica T1, come mostrato nel grafico sopra riportato ed in accordo con quanto individuato dalla procedura semplificata (categorie di sottosuolo).

Tuttavia, si precisa che per periodi compresi tra 0,32 e 1,0s, tale categoria sovrastima leggermente lo spettro di risposta elastico modellato ed è la Categoria di Sottosuolo B unita alla Categoria Topografica T1 che meglio modella la risposta sismica locale.

## 7. CAPACITA' PORTANTE DEI TERRENI E VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

### 7.1.1 Premesse

L'area in oggetto di analisi è caratterizzata dalla presenza di una struttura, rappresentata dall'Ex Centrale del Latte di Vicenza, che sarà riqualificata e adibita ad aree ricreative. Saranno effettuate importanti modifiche strutturali che prevedono demolizioni e ricostruzioni di vaste porzioni dell'attuale edificio. Al momento della stesura della presente relazione non risultano noti né i carichi strutturali che andranno ad agire sulle fondazioni né la distribuzione degli stessi e, tantomeno, la tipologia fondazionale. Per questo, in accordo con il Sig. Progettista, verranno condotte, nelle pagine seguenti, delle verifiche preliminari che dovranno essere confermate in una fase successiva.

In considerazione della situazione geologico - stratigrafica evidenziata nel corso dell'indagine, le fondazioni (continue) sono state ipotizzate nell'Unità Litotecnica A costituita da limo argilloso e limo sabbioso ad una profondità di 2 m dal p.c. locale.

La normativa vigente prevede la valutazione della sicurezza e delle prestazioni di un'opera, o di una parte di essa, in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale; si definisce stato limite la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più l'esigenza per la quale è stata progettata.

In particolare, le opere e le varie tipologie strutturali dovranno possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio, e dissesti vari, totali o parziali, che possono compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare vari danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi prevedono l'impiego di coefficienti parziali di sicurezza ( $\gamma_M$ ,  $\gamma_E$ ,  $\gamma_R$ ); i valori di progetto ( $E_d$ ,  $X_d$ ,  $R_d$ ) si ottengono applicando tali coefficienti ai valori caratteristici delle azioni, alle caratteristiche dei materiali e alle resistenze.

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti:

– **Approccio 1**: sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti (Combinazione 1 ( $A1+M1+R1$ ) - Combinazione 2 ( $A2+M2+R2$ )): la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

– **Approccio 2** ( $A1+M1+R3$ ): è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali, sia nelle verifiche geotecniche.

In relazione alle verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio, si prevede il calcolo dei valori degli spostamenti e delle distorsioni per verificare la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura.

## 7.2 Capacità portante agli stati limite ultimi

Per determinare la capacità portante, sono state scelte le formule generali di *Brinch - Hansen*, utilizzando i parametri geotecnici dei terreni precedentemente esposti. Il calcolo delle resistenze è stato condotto in **condizioni statiche** con un piano di posa delle fondazioni orizzontale.

L'analisi è stata condotta applicando entrambi gli approcci previsti per questo tipo di verifica e in particolare:

<b>Approccio 1 - Combinazione 2 (<math>A2+M2+R2</math>)</b>
<b>Approccio 2 (<math>A1+M1+R3</math>)</b>

### **Approccio 1 - Combinazione 2 ( $A2+M2+R2$ )**

La verifica, utilizzando questo specifico approccio, prevede l'utilizzo dei parametri di resistenza del terreno  $M2$  (cfr. *NTC*, Tab. 6.2.II) pari a 1,25 per la tangente all'angolo di resistenza al taglio e 1,4 per la resistenza non drenata mentre è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo  $R2$  (cfr. *NTC*, Tab. 6.4.I).

Con riferimento all'ipotesi progettuale, applicando il fattore riduttivo previsto  $\gamma_R = 1,8$ , si prevede una riduzione ad un valore di resistenza in **condizioni statiche** di progetto pari a:

$$Q2 \text{ (Approccio1 - Combinazione2)} = 90 \text{ KN/m}^2 = 9,2 \text{ t/m}^2 \approx 0,9 \text{ kg/cm}^2$$



**Approccio 2 (A1+M1+R3)**

Per quanto riguarda l'Approccio 2 la verifica prevede l'utilizzo dei parametri di resistenza del terreno M1 (cfr. NTC, Tab. 6.2.II) pari a 1 per tutti i parametri geotecnici ed è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R3 (cfr. NTC, Tab. 6.4.I).

Con riferimento all'ipotesi progettuale, applicando il fattore riduttivo previsto  $\gamma_R = 2,3$ , si prevede una riduzione ad un valore di resistenza in **condizioni statiche** di progetto pari a:

$$Q_{3(\text{Approccio2})} = 125 \text{ KN/m}^2 = 12,7 \text{ t/m}^2 \approx 1,2 \text{ kg/cm}^2$$

**7.3 Valutazione dei cedimenti**

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) sono quindi riconducibili ad una variazione di volume che il mezzo "terreno" subisce ad opera dell'applicazione dell'incremento di tensioni ( $\Delta P$ ) dato dalla differenza tra il carico trasmesso dalle fondazioni (carico lordo applicato) ed il carico litostatico originario.

La tabella seguente riepiloga la relativa importanza delle diverse componenti del cedimento in funzione del tipo di terreno.

Tipo di terreno	Cedimento immediato	Cedimento di consolidazione	Cedimento secondario
Sabbie (granulari)	Si	No	No
Argille (coesivi)	Possibile	Si	Possibile
Terreni organici	Possibile	Possibile	Si

I terreni potenzialmente coinvolgibili dalle tensioni indotte dalle fondazioni sono di tipo coesivo (Unità Litotecnica A, D ed E) ed incoerenti (Unità Litotecnica B e C); per una corretta quantificazione degli spostamenti nel tempo è stata utilizzata una modellazione evoluta alle differenze finite in campo elasto-plastico per i terreni coesivi (modello costitutivo Cam-Clay) e in campo plastico per i terreni granulari (modello costitutivo Plastic Hardening)

**Modellatore matematico di strutture interagenti con il terreno \_ FLAC 8.0 (ITASCA, 2016)**

Le analisi tenso-deformative presentate nel seguito, sono state condotte impiegando il codice di calcolo FLAC 8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua), sviluppato da ITASCA Consulting, il quale consente di affrontare problemi di meccanica del continuo, determinando gli stati tensionali e deformativi in un dominio bidimensionale, le cui caratteristiche sono definite da leggi di comportamento, di tipo elastico o plastico, e da imposte condizioni al contorno, implementando il metodo delle differenze finite. Tale metodo si basa sulla discretizzazione delle equazioni differenziali che governano il problema fisico in esame, attraverso la sostituzione delle derivate con quozienti di differenze finite. In questo modo, le equazioni differenziali vengono trasformate in equazioni algebriche, da risolversi in successivi passi di calcolo. L'algoritmo di calcolo segue uno schema lagrangiano denominato "esplicito per integrazione diretta nel tempo" (explicit time marking), il quale è in grado di lavorare agevolmente e molto velocemente per sistemi con grandi deformazioni, con stati di collasso molto avanzati e in condizioni di instabilità (la possibilità di giungere al collasso non è infatti limitata da problemi di stabilità numerica, quale l'invertibilità di matrici). L'adattamento del metodo alle differenze finite a casi di griglia di forma qualunque segue l'approccio di Wilkins M.L..

La discretizzazione viene operata sovrapponendo alla porzione di continuo considerata un reticolo, in genere di maglie quadrilatera, in corrispondenza dei cui nodi (gridpoints) sono definite le grandezze in gioco. E' allora possibile approssimare la derivata prima di una funzione rispetto a una variabile indipendente, con il rapporto tra la variazione subita dalla funzione stessa nel passare da un nodo ad uno contiguo, e la corrispondente variazione della variabile indipendente.





Con riferimento a quanto espresso e alla figura seguente, può assumersi che ad un certo istante  $t$ , le equazioni utilizzate per la determinazione dei cedimenti, in corrispondenza dei vertici del singolo quadrilatero, sono le seguenti:

- l'equazione dell'equilibrio dinamico (legge di Newton), valida per un corpo solido continuo, descrive il legame fra il moto del corpo e le forze ad esso applicate. Nel software utilizzato la suddetta legge ha la forma:

$$\rho \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i$$

dove  $\rho$  è la densità del corpo,  $u_i$  rappresenta lo spostamento nella  $i$ -esima direzione,  $\sigma_{ij}$  è il generico elemento del tensore degli sforzi,  $g_j$  è la forza di massa nella  $j$ -esima direzione e, infine,  $x_j$  è la generica coordinata spaziale.

- il legame costitutivo, espresso in forma generale come:

$$\sigma_{ij} = M(\sigma_{ij}, \dot{\epsilon}_{ij}, k)$$

in cui  $\sigma_{ij}$  è il singolo elemento del tensore degli sforzi,  $\dot{\epsilon}_{ij}$  rappresenta il tasso di deformazione, mentre  $k$  è un parametro che tiene conto dello stato di sforzo pregresso. Il tasso di deformazione è legato ai gradienti di velocità dalla relazione:

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right)$$

Il codice di calcolo FLAC usa uno schema di soluzione “esplicito condizionatamente stabile”, la cui sequenza di calcolo iterativo, illustrata schematicamente nella figura seguente, comprende i seguenti passi:

- per ogni nodo della griglia si valuta la massa  $m$ , la risultante delle forze esterne  $F_e$  (gravità, carichi esterni ...), la risultante delle forze interne  $F_i$ , calcolata per integrazione degli sforzi nelle zone collegate al nodo stesso, così che è possibile determinare la forza squilibrata agente sul nodo  $F_u$  (*unbalanced force*  $F_u = F_e - F_i$ );
- per ogni *gridpoint* si scrive l'equazione di Newton  $F_u = m \cdot a$ , tramite la quale è possibile determinare l'accelerazione del nodo in esame; integrando due volte l'accelerazione si ottiene la velocità e lo spostamento incrementale di ogni nodo;
- dal campo di spostamenti incrementali, è possibile risalire al campo di deformazioni incrementali e quindi, attraverso il legame costitutivo dei materiali, al campo di variazioni degli sforzi nel reticolo;
- la variazione degli sforzi comporta la modifica, per ogni nodo della griglia, della risultante delle forze interne e conseguentemente la necessità di rideterminare la  $F_u$ , dando inizio ad un nuovo passo di calcolo. Il processo iterativo ha termine qualora si ottenga una forza squilibrata che abbia un valore minore di una tolleranza prestabilita.



In quest'analisi è stato adottato come legame costitutivo il modello di Cam-Clay che è in grado di tener conto delle possibili deformazioni plastiche generate all'interno del modello.

Di seguito si riportano le basi teoriche di tale modello e le equazioni necessarie per l'implementazione nel programma.

### Modello costitutivo Cam-Clay

L'esame delle principali caratteristiche della risposta meccanica dei geomateriali evidenzia come un'efficace descrizione costitutiva può essere basata sulla teoria dell'elastoplasticità. Infatti, alla teoria della plasticità si fa spesso ricorso, non solo per l'elaborazione di sofisticati modelli costitutivi, ma anche per la soluzione dei più semplici e frequenti problemi di ingegneria geotecnica (carico limite di fondazioni, stabilità di strutture di sostegno, stabilità di pendii, ecc.).

Il modello costitutivo Cam-clay, sviluppato a Cambridge negli anni '60, risolve anche il problema dell'incompatibilità fra l'ipotesi di normalità del flusso plastico ed il reale comportamento dei terreni. In questo modello, infatti, viene effettuata un'importante distinzione tra la superficie di snervamento e la superficie che caratterizza la condizione "ultima" del materiale; quest'ultima superficie, detta critica, è di tipo conico e rappresenta il luogo degli stati tensionali caratterizzati dallo sviluppo di deformazione plastica a componente volumetrica nulla.

Al fine di migliorarne ulteriormente l'accordo con i dati sperimentali e di estenderne il campo di applicabilità, sono state proposte numerose modifiche alla formulazione originale del Cam-clay. In particolare, il "Cam-clay Modificato" proposto da Roscoe e Burland è preferibile al modello originale. Il Cam-clay Modificato si è mostrato sufficientemente accurato nel descrivere il comportamento di argille normal-consolidate o debolmente sovraconsolidate in condizioni di carico quasi-statiche e monotone.

Tale modello è stato impiegato con profitto per l'analisi di svariati problemi geotecnici, come, ad esempio, quelli relativi a serbatoi o rilevati fondati su argille. Inoltre il suo impiego richiede la determinazione di pochi parametri, ricavabili per mezzo di prove standard di laboratorio. Queste caratteristiche ne giustificano la sua frequente utilizzazione, sia in ambito di ricerca che nelle pratiche applicazioni.

La legge che regola la geotecnica è il principio degli sforzi efficaci, secondo il quale, il tensore di sforzo efficace è definito come:

$$\sigma' = \sigma - p_w \mathbf{I}$$

dove  $p_w$  è la pressione della fase liquida.

Il principio degli sforzi efficaci afferma che, nei terreni saturi, le deformazioni dipendono unicamente dallo stato tensionale efficace; secondo tale principio, quindi, la pressione della fase liquida non ha alcuna influenza sullo stato deformativo del materiale. Per questo motivo  $p_w$  viene anche detta pressione neutra. Da un punto di vista meccanico, in ogni elemento di suolo, si determina un graduale incremento dello stato tensionale dovuto al carico esercitato dal terreno che si deposita superiormente. Si schematizzi il banco di terreno come un semispazio omogeneo e si supponga che la deposizione dei sedimenti di terreno sia uniformemente distribuita sull'intero piano limite. Con tali simmetrie, durante il processo di formazione del banco non si verifica alcuna deformazione orizzontale. Questo particolare tipo di percorso deformativo è detto edometrico.

Può accadere che un dato elemento di terreno abbia subito, nel corso della sua storia, una tensione verticale  $\sigma_v'$  max superiore a quella  $\sigma_v'$  attualmente agente. Se ciò si verifica il terreno si dice sovraconsolidato ( $\sigma_v < \sigma_v'$  max), diversamente si dice normal-consolidato ( $\sigma_v = \sigma_v'$  max).

Il caricamento di un elemento di terreno, si può svolgere in condizioni drenate oppure non drenate. Nel primo caso, si consente la fuoriuscita dell'acqua contenuta nei pori; di conseguenza, i carichi esterni, se applicati con una velocità sufficientemente piccola, vengono interamente equilibrati da un incremento delle tensioni efficaci. Nel secondo caso, invece, tale drenaggio viene impedito; quindi, i carichi sono, in generale, equilibrati in parte da un incremento dello stato tensionale efficace ed in parte da un incremento di pressione neutra (la cosiddetta "sovrappressione" neutra).

Sia nel Cam-Clay originale che in quello "Modificato", la risposta in compressione isotropa è descritta mediante una relazione lineare fra il volume specifico  $v$  ed il logaritmo naturale della tensione media  $p$  data da:

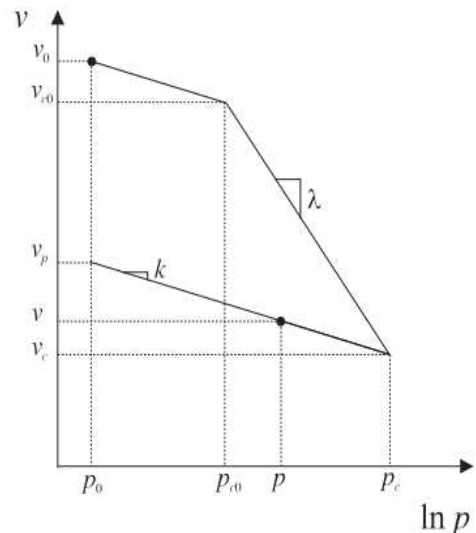


$$v = v_p - k \ln \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad \text{in campo elastico}$$

$$v_c = v_{c0} - \lambda \ln \left( \frac{p_c}{p_{c0}} \right) \quad \text{in campo elasto-plastico}$$

dove  $v_p$  è il volume specifico che si ottiene scaricando a partire dalla configurazione corrente ( $p, v$ ), fino al valore di pressione iniziale  $p_0$ ;  $k$  è l'inclinazione assunta dalle curve di sovraconsolidazione ("over consolidation lines" OCL) e  $\lambda$  quella della curva di normal-consolidazione (NCL) nel piano  $v$ - $\ln p$ ; ( $p_c, v_c$ ) e ( $p_{c0}, v_{c0}$ ) sono i valori di pressione e di volume specifico corrispondenti agli stati di snervamento corrente ed iniziale, rispettivamente.

Relazioni di questo tipo sono state proposte per interpretare i risultati di prove di compressione edometrica sin dai primi sviluppi della meccanica delle terre e sono ancora oggi uno strumento molto utilizzato nell'ingegneria geotecnica.



Introducendo il principio degli sforzi efficaci delle precedenti relazioni si possono ottenere le equazioni costitutive rappresentative del comportamento elastoplastico dei materiali:

$$E_v^e = \frac{k}{v_0} \ln \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

$$E_v^p = \frac{\lambda - k}{v_0} \ln \left( \frac{p_c}{p_{c0}} \right)$$

Considerando la deformazione volumetrica in forma incrementale, si possono ottenere le equazioni costitutive nell'ipotesi di deformazioni infinitesime:

$$\dot{\epsilon}_v^e = \frac{k}{v} \frac{\dot{p}}{p} \quad \dot{\epsilon}_v^p = \frac{\lambda - k}{v} \frac{\dot{p}_c}{p_c}$$

Partendo dalle equazioni costitutive si definiscono le seguenti espressioni utilizzate per modellizzare il comportamento elastoplastico di un terreno impiegate nella formulazione del Cam-Clay:

#### Legame elastico

Per entrambi i modelli costitutivi, Cam-Clay e Cam-Clay Modificato, il legame costitutivo elastico è non lineare ed è espresso dalla seguente relazione incrementale:

$$\dot{\sigma} = \left[ K \mathbf{I} \otimes \mathbf{I} + 2\mu \left( \mathbf{I} - \frac{1}{3} \mathbf{I} \otimes \mathbf{I} \right) \right] \dot{\epsilon}^e$$

dove  $K$  è il modulo elastico di rigidezza volumetrica. La sua espressione è ricavata come:

$$K = \frac{\partial p}{\partial \epsilon_v^e} = \frac{pv}{k}$$

Si assume che le deformazioni elastiche a taglio siano nulle, cioè che il modulo elastico di rigidezza a taglio  $\mu$  sia infinito e che quindi il coefficiente di Poisson sia uguale a -1.

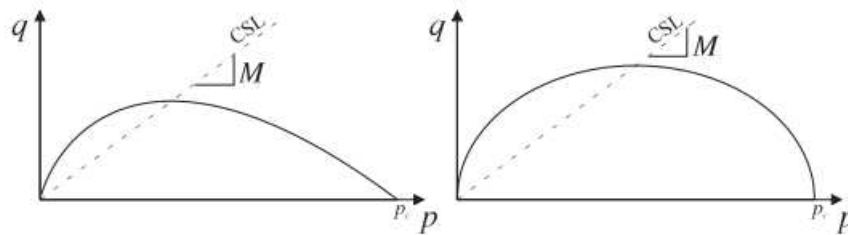


**Criterio di snervamento**

Il dominio di elasticità è individuato attraverso la seguente equazione:

$$f(\sigma, p_c) = q + Mp \ln \left( \frac{p}{p_c} \right) = 0$$

dove  $M$  è la pendenza, nel piano  $p - q$ , della linea di stato critico (CSL); si definisce critico lo stato tensionale caratterizzato da incrementi di deformazione plastica a componente volumetrica nulla. La pressione di preconsolidazione  $p_c$  è la variabile di incrudimento. Le curve di snervamento, nel piano  $p - q$ , del Cam-Clay e del Cam-Clay Modificato sono riportate di seguito.

**Legge di flusso**

In entrambi i modelli costitutivi, il criterio di flusso è associato all'incremento di deformazione plastica e viene di conseguenza espresso come:

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}^p &= \dot{\gamma} \frac{\partial f(\sigma, p_c)}{\partial \sigma} = \\ &= \dot{\gamma} \left[ \frac{1}{3} (2p - p_c) \mathbf{I} + \frac{3}{M^2} \text{dev}(\sigma) \right] \end{aligned}$$

**Legge di incrudimento**

La legge di incrudimento è di tipo volumetrico; essa è fornita dalla relazione in forma incrementale:

$$\dot{p}_c = p_c \frac{v}{\lambda - k} \dot{\epsilon}_v^p$$

I modelli elasto-plastici Cam-Clay e Cam-Clay Modificato, sviluppati entrambi nell'ipotesi di deformazioni infinitesime, differiscono esclusivamente per la geometria della superficie di snervamento.

Nel Cam-clay, questa superficie è tale da sovrastimare gli incrementi di deformazione plastica deviatorica, soprattutto per piccoli valori del rapporto fra tensione ottaedrica e tensione media.

La scelta di una curva di snervamento ellittica, fatta nel Cam-clay Modificato, corregge questa tendenza. Quindi, diversamente dal caso precedente, questo criterio di snervamento è definito mediante una funzione regolare; tale circostanza risulta vantaggiosa anche da un punto di vista computazionale.

In un modello del genere, inoltre, sono incorporati i seguenti aspetti coerenti con l'evidenza sperimentale:

- la compressibilità cambia al variare dello stato di sforzo, secondo leggi in genere semi logaritmiche in accordo con l'evidenza sperimentale;
- vi è una distinzione tra la compressibilità in condizioni vergini (parametro  $\lambda$ ) e quella in scarico-ricarico (parametro  $k$ )

Quindi, l'impiego del Cam-Clay richiede la determinazione di quattro parametri adimensionali:

1. l'indice di compressione vergine  $\lambda$ ;
2. l'indice di rigonfiamento  $k$ ;
3. la pendenza della linea di stato critico  $M$ ;
4. il volume specifico iniziale  $v_0$ .



Come costante del materiale, al posto di  $v_0$ , si può considerare il volume specifico di un campione normalmente consolidato fino ad un valore di pressione unitaria ( $v_{c1}$ ). Assegnati  $p_0$  e  $p_{c0}$ , è facile ricavare  $v_0$  a partire da  $v_{c1}$  utilizzando le equazioni precedenti.

Per la determinazione dei suddetti parametri, teoricamente sono necessarie soltanto due prove di laboratorio: la prima, di compressione isotropa (comprendente anche un percorso di scarico, se il campione è inizialmente normal-consolidato) consente di ricavare i parametri  $\lambda$ ,  $k$ ,  $v_{c1}$ ; la seconda, una prova triassiale standard in condizione drenata, è finalizzata alla determinazione di  $M$  (in alternativa  $M$  può essere ricavato da delle relazioni che lo correlano all'angolo di attrito del campione).

### Modello costitutivo Plastic Hardening

A differenza del comune modello costitutivo Mohr-Coulomb, ampiamente utilizzato nell'ambito dell'ingegneria geotecnica per la stima dei piani di rottura e dei parametri geotecnici fondamentali quali angolo di attrito e coesione, il Plastic Hardening è un modello costitutivo in grado di simulare numericamente il comportamento non lineare dei terreni unendo i criteri della teoria della plasticità e del fenomeno del incrudimento e modellizzando sia le deformazioni volumetriche che quelle deviatoriche (a taglio).

In particolare è basato sul lavoro di Schanz et al. (1999) che, partendo dal modello elastico non lineare di Duncan-Chang del 1970 riesce a riprodurre la relazione sforzo deformazione che il terreno mostra durante una prova di compressione assiale drenata, ad andamento tipicamente parabolico.

Inoltre, è in grado di differenziare le rigidità in carico vergine e in scarico-ricarico e di riprodurre:

- l'incrudimento a taglio e l'incrudimento volumetrico;
- la relazione tra rigidità e stato di sforzo;
- la storia tensionale del campione.

Le leggi che regolano il comportamento elastico nel modello Plastic Hardening, sono le seguenti:

$$\Delta p = -K \Delta \epsilon_v^e$$

$$\Delta s_{ij} = 2G \Delta \epsilon_{ij}^e$$

dove  $p$  è la pressione principale,  $\epsilon$  è la deformazione elastica volumetrica definita nelle tre componenti x-y-z mentre  $s_{ij}$  e  $\epsilon$  sono rispettivamente il tensore dello stress deviatorico e il tensore dello strain deviatorico rispettivamente.

$K$  e  $G$ , invece, sono il modulo elastico e il modulo di taglio che possono essere ricavati dalle seguenti relazioni conoscendo l'espressione del modulo di Young e del rapporto di Poisson:

$$K = \frac{E_{ur}}{3(1 - 2\nu)}$$

$$G = \frac{E_{ur}}{2(1 + \nu)}$$

Nel modello Plastic Hardening, il modulo di Young è strettamente correlato allo stress e al valore dell'angolo di attrito dalla seguente relazione:

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left( \frac{c \cot \phi - \sigma_3}{c \cot \phi + p^{ref}} \right)^m$$

dove  $E_{ur}$ ,  $p$ ,  $\sigma$ ,  $\phi$  ed  $m$  sono parametri che dipendono dalle caratteristiche del terreno.

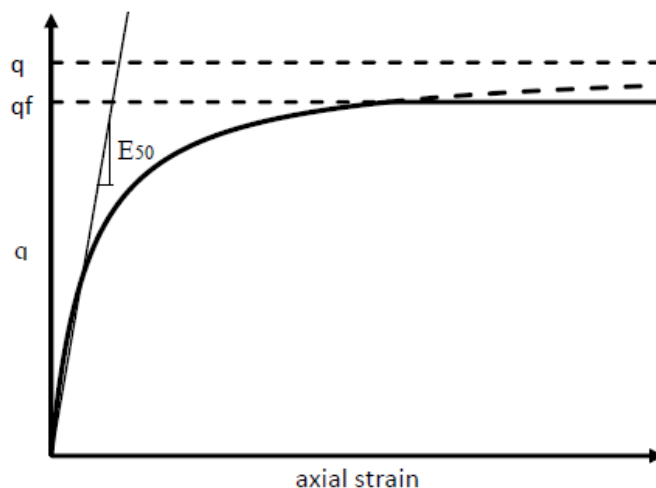
Infine, ciò che conta maggiormente nel modello Plastic Hardening, è la definizione di un ulteriore parametro, **Ed50**, definito come il modulo elastico in corrispondenza del 50 % dello sforzo deviatorico massimo. Questo può essere ricavato empiricamente dalla seguente relazione:

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left( \frac{ccot\phi - \sigma_3}{ccot\phi + p^{ref}} \right)^m$$

dove  $P_{ref}$  è la pressione di riferimento posta di solito pari ad 1 atm.

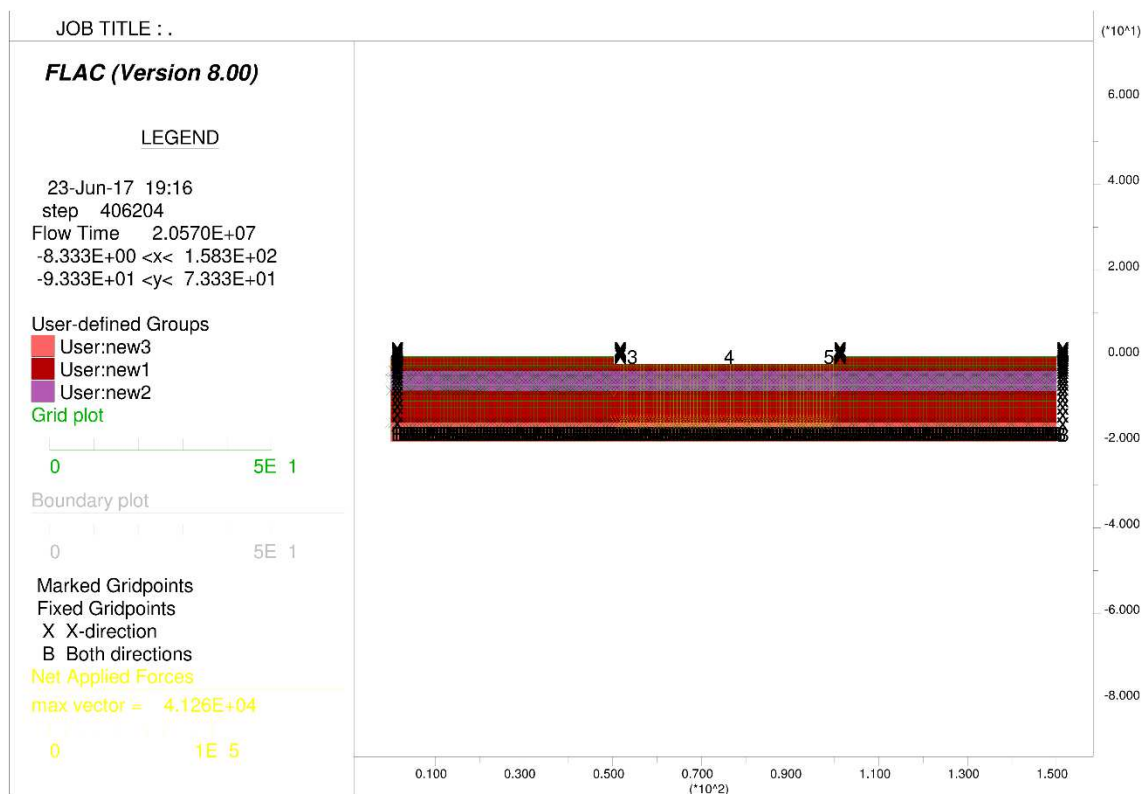
Dal punto di vista pratico, l'utilizzo di questo modello costitutivo avanzato prevede l'effettuazione di prove geotecniche di laboratorio, in particolare prove di compressione triassiale in condizioni drenate, che permettono di ricavare l'andamento iperbolico della deformazione assiale (axial strain) di un campione di terreno in funzione dello sforzo deviatorico (q) definito come la differenza tra le pressioni principali.

Il valore dimezzato dello sforzo deviatorico di rottura  $q_f$  permette di definire un punto sulla curva iperbolica dal quale passa una retta secante la cui pendenza rappresenta il valore del parametro di input  $E_{50}$  alla pressione di riferimento.



### Caso studio: Ex Centrale del Latte di Vicenza (VI)

Per la stima dei cedimenti indotti dalla struttura esistente ai terreni sottostanti è stato definito un reticolo di calcolo.



In particolare, la sezione ha lunghezza complessiva pari a 30 m e profondità pari a 2,0 m dal piano campagna originario. In fase di elaborazione, si è simulata la creazione dello scavo eliminando lo spessore di 2 m di terreno naturale.





Sulla base delle indagini effettuate, si è creato un modello geotecnico formato da quattro strati:

0,0 - 3,4 m: limo argilloso

3,4 - 8,0 m: limo sabbioso - sabbie limose

8,0 - 14,0 m: argille limose - sabbiose

14,0 - *semispazio*: sabbie limose

La profondità della falda è stata posta a 2,0 m dal piano campagna, in corrispondenza del piano fondazionale.

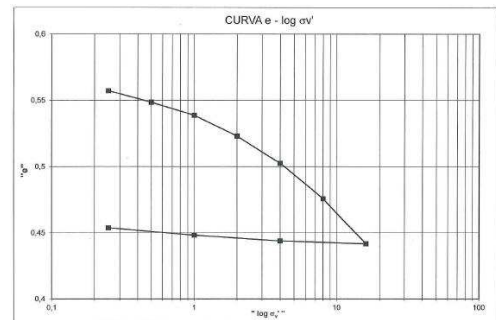
Le condizioni al contorno adottate nel modello sono:

- in corrispondenza delle pareti dello scavo e dei limiti laterali del modello, è stata posta una condizione di spostamento orizzontale nullo;
- in corrispondenza del limite inferiore del modello, è stata posta una condizione di spostamento orizzontale e verticale nullo;
- in assenza di informazioni precise, per simulare i carichi dovuti alla costruzione, sono stati applicati dei sovraccarichi distribuiti uniformemente sul piano fondazionale.

Per la caratterizzazione del terreno naturale si è tenuto conto degli esiti delle indagini effettuate e, in particolare, delle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nel sondaggio, di cui si riportano i grafici relativi alle prove edometriche ed alla prova TXCU. Nel dettaglio, le caratteristiche meccaniche degli strati necessarie per il modello costitutivo Cam - Clay e Plastic Hardening sono le seguenti:

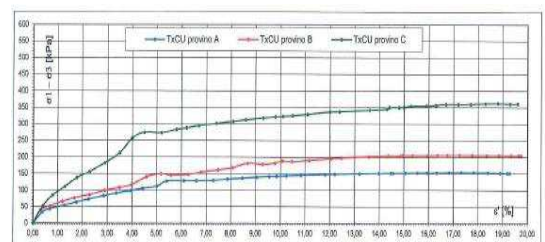
1° strato: quota p.c. da 0 m a 3,40 m s.l.m.:

Modulo di Bulk (Pa):	3.03 E+8
Modulo di Shear K (Pa):	6.50 E+7
Densità (kg/m <sup>3</sup> ):	1700
Indice di compressione vergine $\lambda$ :	0.006
Indice di rigonfiamento k:	0.002
Pendenza della linea di stato critico M:	0.984
Il volume specifico iniziale $v_0$ :	1.557



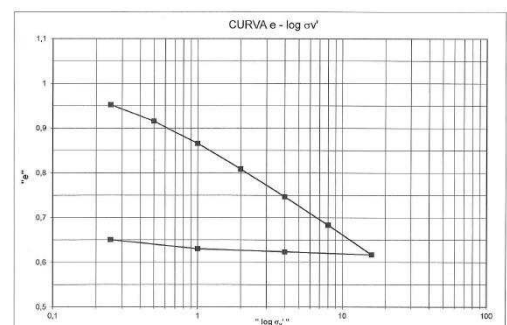
2° strato: quota p.c. da 3,40 m a 8,0 m:

Modulo di Bulk (Pa):	3.9 E+8
Modulo di Shear K (Pa):	8.37 E+7
Densità (kg/m <sup>3</sup> ):	1900
Angolo di attrito $\theta$ :	31°
Coesione c (Pa):	9000
Ed50 (Pa):	4.3 E+7



3° strato: quota p.c. da 8,0 m a 14,0 m:

Modulo di Bulk (Pa):	3.03 E+8
Modulo di Shear K (Pa):	6.50 E+7
Densità (kg/m <sup>3</sup> ):	1700
Indice di compressione vergine $\lambda$ :	0.024
Indice di rigonfiamento k:	0.008
Pendenza della linea di stato critico M:	0.814
Il volume specifico iniziale $v_0$ :	1.952

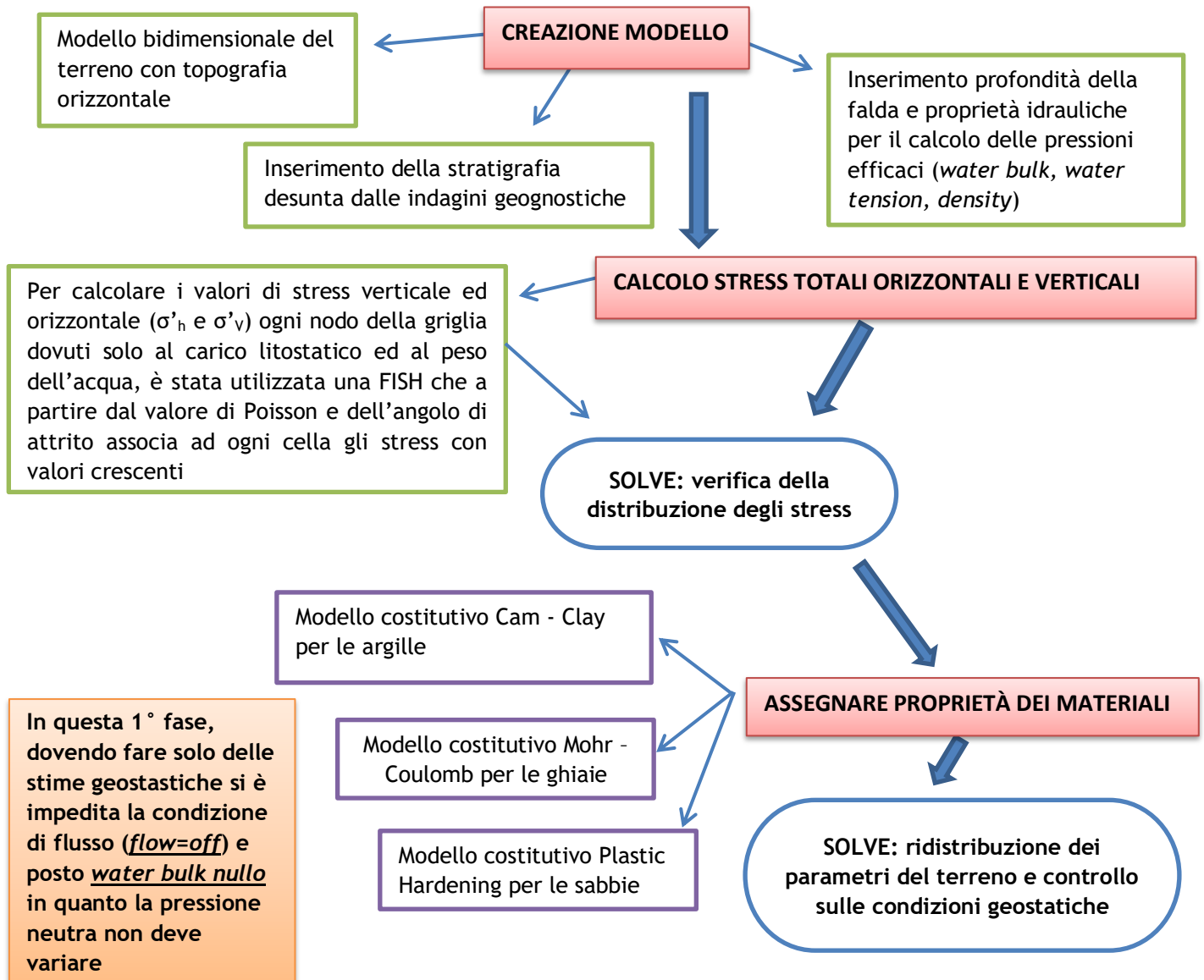


Per le sabbie limose è stato utilizzato il modello costitutivo Mohr Coulomb, considerando:

Modulo di Bulk (Pa):	1.9 E+8
Modulo di Shear K (Pa):	8.9 E+8
Densità (kg/m <sup>3</sup> ):	2000
Angolo di attrito $\theta$ :	28°
Coesione c (Pa):	15000

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni effettuate per ogni *step* necessario al calcolo dei cedimenti.

### 1° fase: CONDIZIONE GEOSTATICA (TERRENO PRE-SCAVO E PRE-COSTRUZIONE)



2° fase: SIMULAZIONE DELLO SCAVO

Creazione di uno scavo profondo 2,0 m ed esteso 30 m orizzontalmente. Le pareti dello scavo sono state fissate e sono libere di muoversi solo lungo la verticale

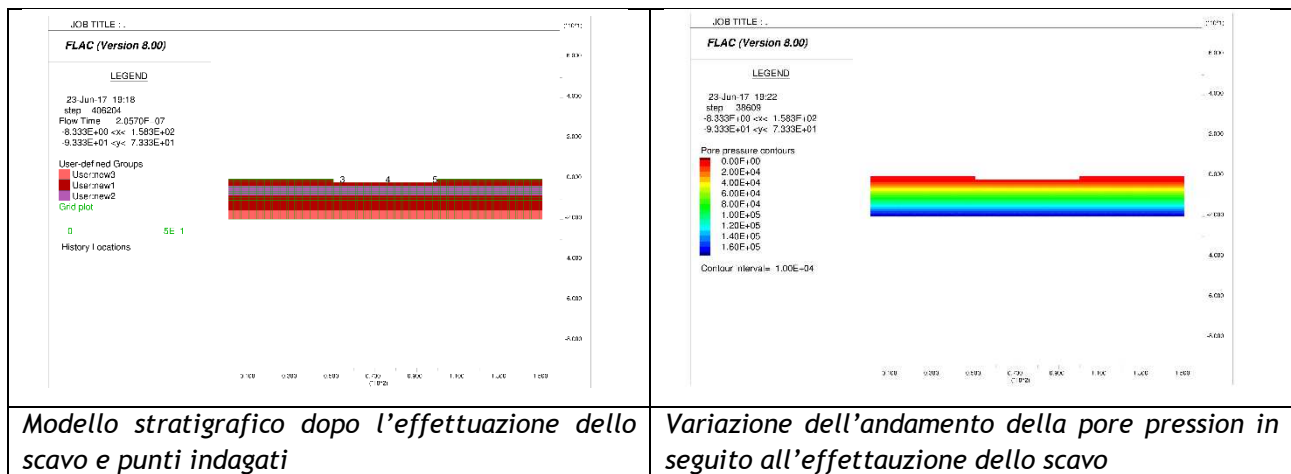
3° fase: APPLICAZIONE CARICO

È stato applicato il carico strutturale ipotizzato per la futura struttura

**SOLVE:** ridistribuzione dei parametri geostatici in seguito al detensionamento dello scavo

In entrambe queste fasi, si è valutato sia il problema dal punto di vista meccanico che idraulico simulando un'applicazione istantanea dei carichi:

- condizioni non drenate (flow off - mech on)
- acqua con un proprio bulk modulus (water bulk=2e+8)





**4° fase: CALCOLO CEDIMENTI**

**SOLVE: calcolo dei  
cedimenti in due condizioni**

**CONDIZIONE A BREVE TERMINE:**

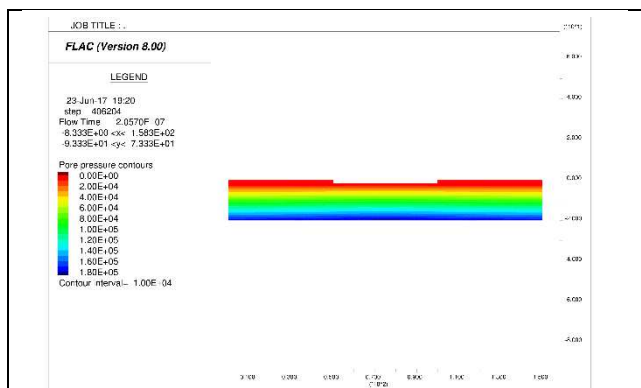
si sono valutati i cedimenti in condizioni non drenate, dovuti al carico istantaneo della costruzione:

**flow=off** flusso impedito

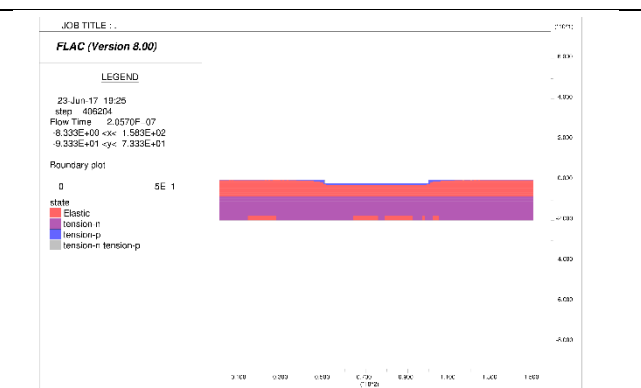
**CONDIZIONE A LUNGO TERMINE:**

ai precedenti cedimenti, si sono sommati quelli misurati in condizioni drenate, considerando il drenaggio dell'acqua:

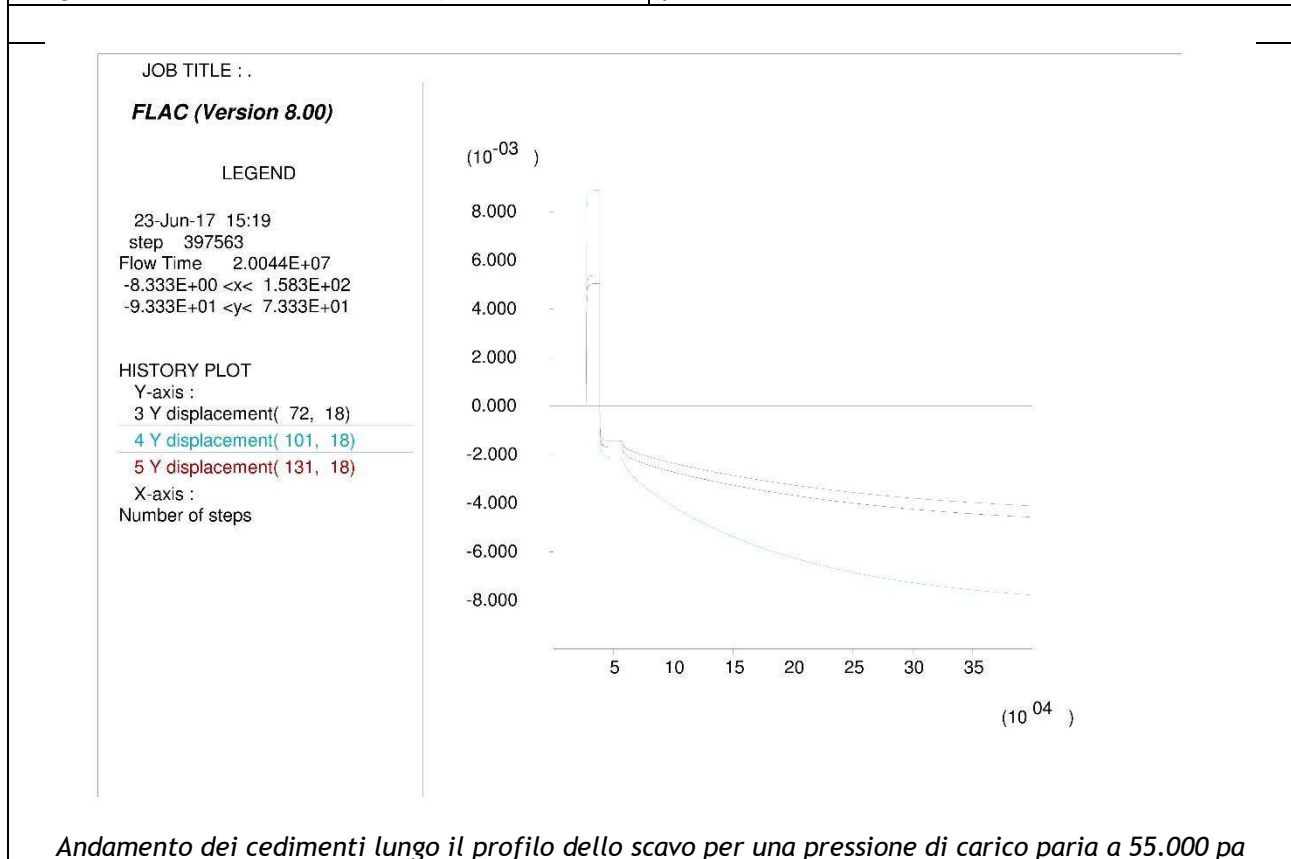
**flow=on** flusso consentito (variazioni pore pressure)



*Andamento della pore pressure in condizione a lungo termine (condizione drenata)*



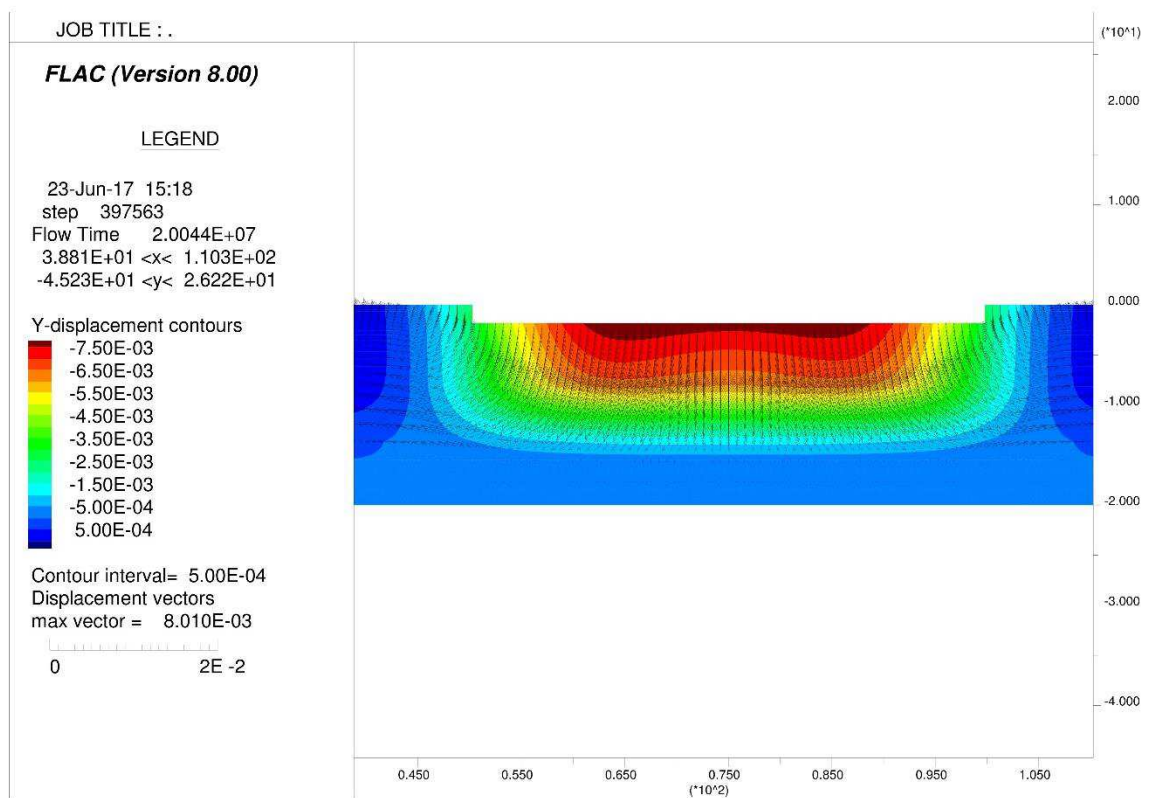
*Discretizzazione del comportamento elastico e plastico*



La valutazione dei cedimenti indotti dal sistema terreno-fondazione è stata condotta variando il carico di esercizio uniformemente distribuito da un minimo di 55.000 Pa a un massimo di 90.000 Pa e imposto ad una profondità di 2 m dal p.c. locale. Inoltre, sono stati differenziati i cedimenti a breve termine (condizione non drenata) da quelli a lungo termine (condizione drenata) coinvolgendo sia le litologie prevalentemente granulari che quelle sottostanti di natura coesiva. I risultati, sintetizzati nella tabella sottostante, hanno rilevato un cedimento nel tempo variabile da 7 mm a circa 2,5 cm, in funzione del carico applicato. Infine, non si possono escludere cedimenti differenziali in virtù di una distribuzione disomogenea dei carichi stessi.

Qualora l'intervento in progetto non dovesse risultare compatibile con la portata del terreno e/o con i cedimenti attesi, si dovranno realizzare fondazioni a pali in grado di trasferire i carichi in profondità, nelle litologie più resistenti.

Carico uniformemente distribuito	Cedimenti a breve termine	Cedimenti totali a lungo termine
55.000 Pa	2,7 mm	7,5 mm
75.000 Pa	5,5 mm	14,1 mm
90.000 Pa	9,5 mm	25,4 mm



*Distribuzione dei cedimenti con un carico di 55.000 Pa*

## 8. ANALISI DEL RISCHIO ALLA LIQUEFAZIONE

Come prescritto al Par. 7.11.3 *Risposta sismica e stabilità del sito* delle **NTC 2008** è stata eseguita la verifica alla liquefazione dei suoli sui livelli potenzialmente liquefacibili e si è utilizzato il metodo di Idriss e Boulanger (2014).

Il fenomeno della “liquefazione” dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti sotto falda, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

La liquefazione rientra tra gli “effetti di sito”, ovvero tra quel tipo di effetti dovuti all’interazione tra le onde sismiche e le condizioni geologiche locali. Le principali manifestazioni della liquefazione sono “oscillazioni e rotture del terreno”, “abbassamenti e sollevamenti del terreno”, “movimenti orizzontali del terreno”, “movimento di masse fluide / collasso in pendii naturali o artificiali”, “perdita di capacità portante delle fondazioni”, “collasso di opere di sostegno e banchine”.

Esistono delle condizioni (fattori predisponenti) che rendono alcuni terreni suscettibili di “liquefazione” ma, affinché questo avvenga, l’azione sismica (fattore scatenante) deve essere tale che, durante lo scuotimento sismico, le sollecitazioni indotte nel terreno determinino un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio ed inducendo fenomeni di fluidificazione.

Secondo le NTC, un deposito **NON** è liquefacibile (nel senso che si può omettere la verifica alla liquefazione) quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1n} > 180$ , dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove S.P.T. normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e  $qc_{1n}$  è il valore della resistenza determinata in prove CPT e normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Fig. 7.11.1(b) delle NTC nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Il sito in esame non presenta nessuna delle condizioni sopra riportate e per questo necessita di una verifica alla liquefazione dei depositi riscontrati.

E' noto che nei sedimenti granulari la presenza di percentuali di argilla riduce in maniera rilevante la suscettibilità alla liquefazione dei depositi. Anche la presenza di strati superficiali non liquefacibili con spessore maggiore di 3 metri può ulteriormente contrastare la liquefazione degli strati sottostanti.

Con le indagini geognostiche eseguite non sono state evidenziate disomogeneità stratigrafiche laterali, per cui si è proceduto alla verifica alla liquefazione lungo le verticali indagate dalle n°4 CPT.

L’elaborazione è stata effettuata attraverso il software Clig v. 1.7.6.49 della Geologismiki Geotechnical Engineers - Merarhias (Grecia).

Il calcolo del coefficiente di sicurezza  $F_s$  individua con  $F_s < 1,0$  la possibilità che avvenga la liquefazione, mentre  $F_s > 1,0$  esclude la possibilità del fenomeno.

Nel caso specifico la verifica alla liquefazione è stata effettuata sui livelli totalmente o parzialmente incoerenti intercettati per profondità comprese tra 17 - 19 m (solitamente più suscettibili a fenomeni di liquefazione), considerando un livello di falda pari a 2,0 m da p.c., che rappresenta la profondità misurata nella prova CPT n°4 ed un suo innalzamento relativo, durante un evento sismico, di 1 m.





Per quanto riguarda i dati sismici di *input*, oltre al valore della magnitudo massima attesa propria della zona sismogenetica in cui ricade il comune di Vicenza ( $M_W$  paria 6,6), è stato assegnato il valore di  $a_g$  (PGA) calcolato tramite lo studio di risposta sismica locale condotto per quantificare correttamente la risposta sismica di sito, come riassunto nella tabella seguente:

Analysis method	B&I (2014)
Earthquake magnitude $M_W$	6,60
Peak ground acceleration	0,20
G.W.T. (earthq.)	1,00 m

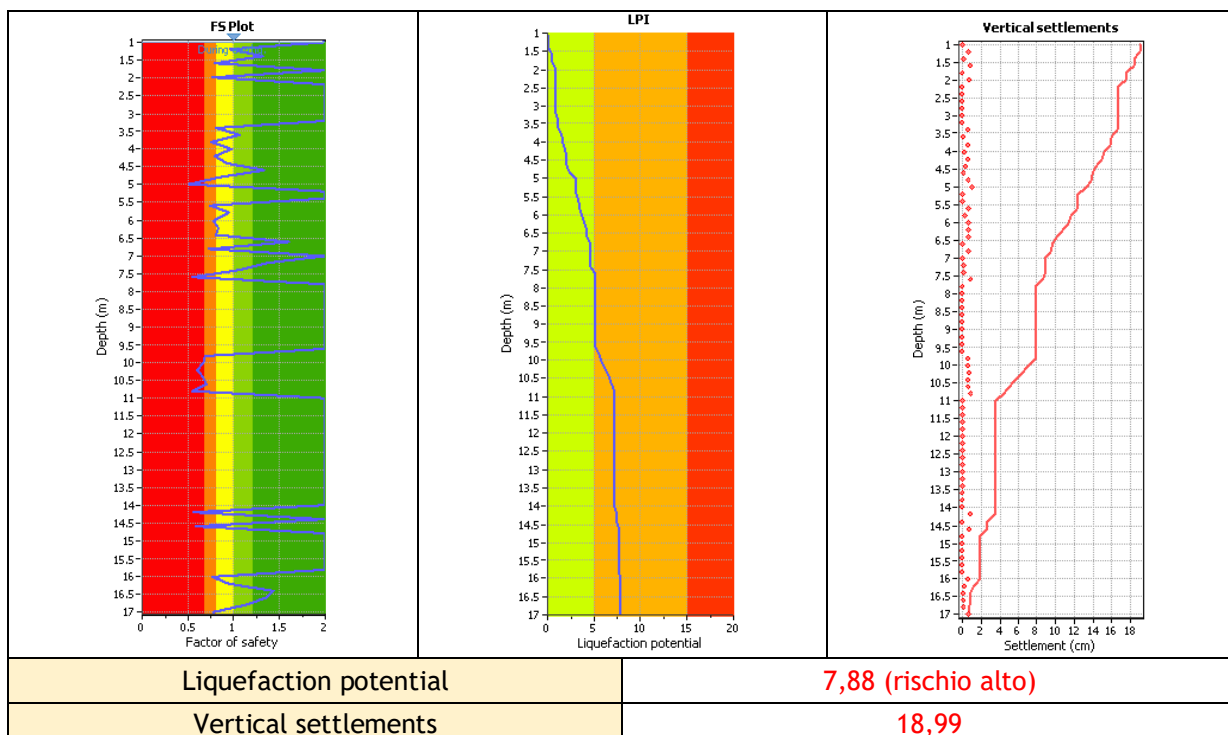
Per ogni verticale indagata è stato riportato l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  come di seguito definito nelle linee guida regionali:

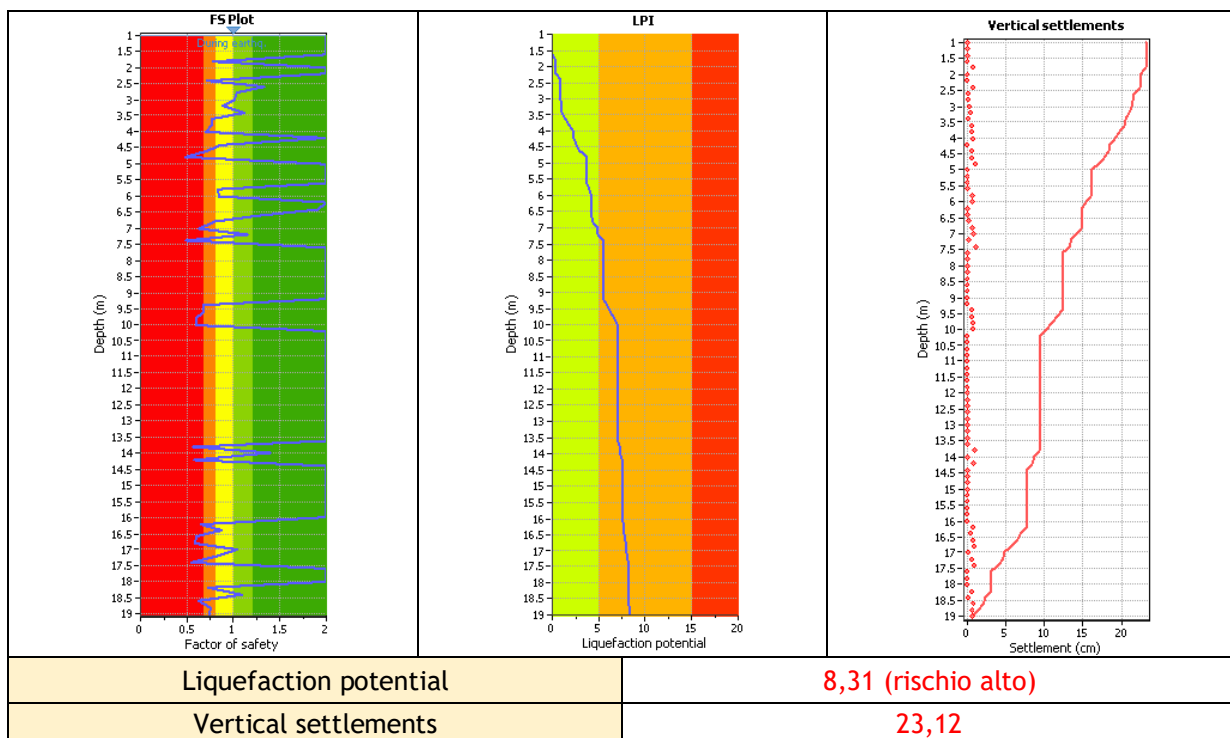
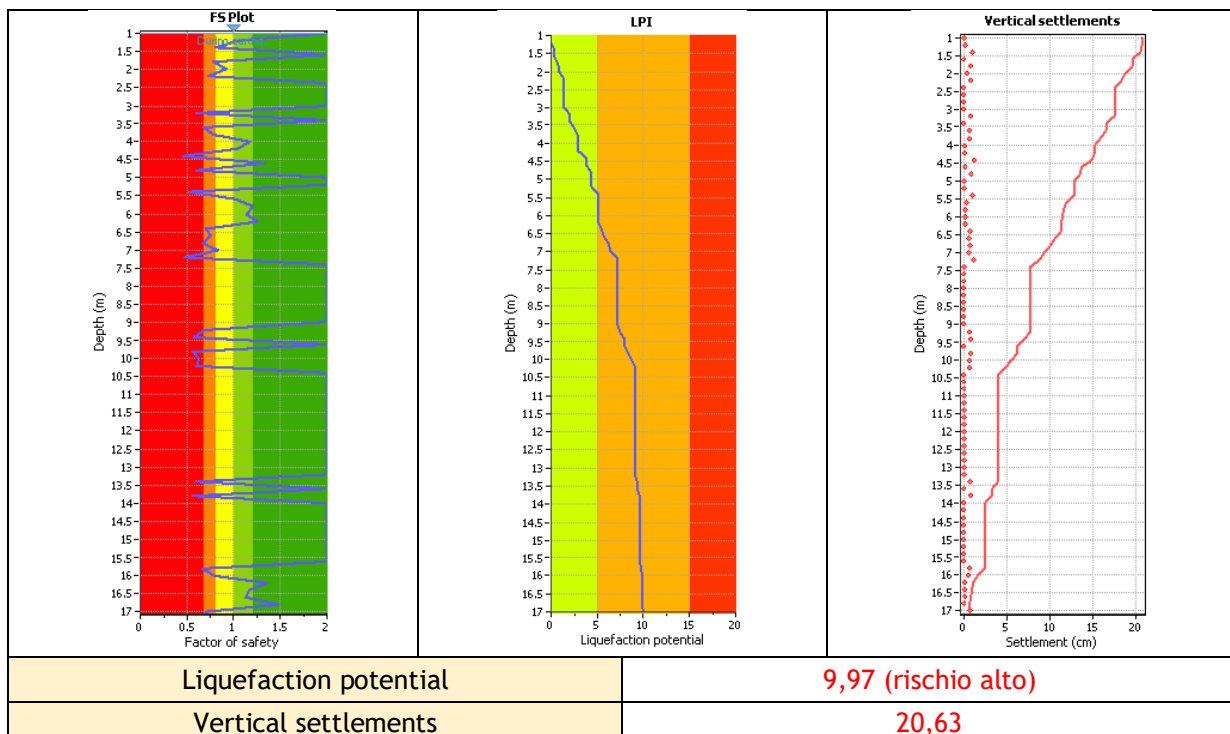
Potenziale di liquefazione	Pericolo di liquefazione
$0 < I_L < 2$	Basso
$2 < I_L < 5$	Moderato
$5 < I_L < 15$	Alto
$I_L > 15$	Molto alto

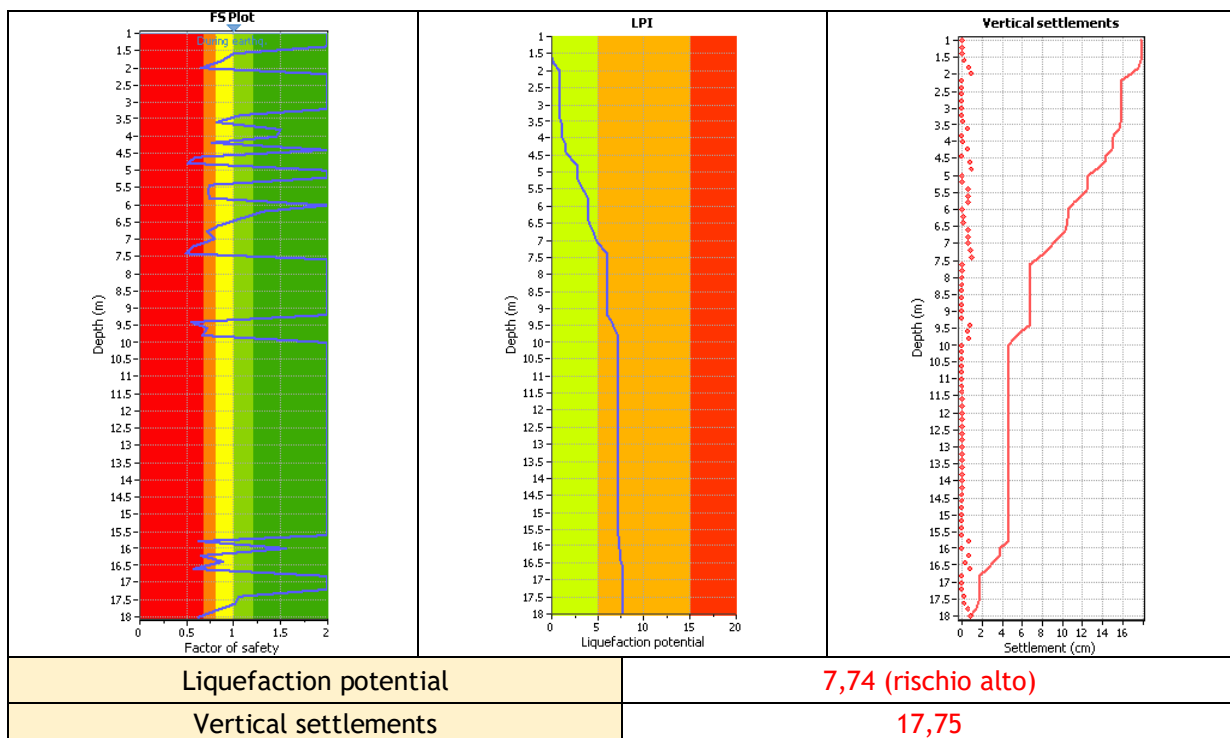
In aggiunta, i terreni incoerenti (saturi e non), se sottoposti a forze dinamiche temporanee, quali intense vibrazioni o eventi tellurici, subiscono un riordino delle particelle, che si traduce in una compattazione dello strato interessato, e quindi in un cedimento, denominato post-sismico.

L'entità della deformazione verticale è funzione della densità iniziale del deposito (per le sabbie), del grado di sovraconsolidazione (per le argille), del suo spessore e della massima resistenza che si sviluppa nello strato. In depositi incoerenti asciutti il cedimento post-sismico avviene pressoché immediatamente, mentre nei depositi incoerenti e coesivi saturi si completa quando le sovrappressioni interstiziali, generate dalle forze dinamiche, vengono interamente dissipate. Per questo, è stata condotta la valutazione dei cedimenti post-sismici per i terreni incoerenti; effettivamente il riordino dei granuli in uno strato a seguito della dissipazione delle sovrappressioni è spesso legata al fenomeno della liquefazione, che interessa i soli depositi sabbiosi. Tuttavia anche depositi coesivi soffici e/o plastici, sotto carichi dinamici particolarmente intensi, possono subire un riassetto delle particelle. Si precisa che nel caso in esame i cedimenti post-sismici sono stati calcolati nei livelli sabbiosi critici intercettati dalle prove eseguite.

#### Risultati ottenuti dalle verifiche condotte lungo la verticale della prova CPT n° 1



**Risultati ottenuti dalle verifiche condotte lungo la verticale della prova CPT n° 2****Risultati ottenuti dalle verifiche condotte lungo la verticale della prova CPT n° 3**

**Risultati ottenuti dalle verifiche condotte lungo la verticale della prova CPT n° 4**

Le verifiche condotte hanno chiaramente evidenziato la criticità del territorio per liquefazione: il potenziale di liquefazione è risultato, infatti, sempre maggiore di 7, come mostra la tabella seguente.

N° prova e litologia	Liquefaction potential	Total estimated settlement
CPT n° 1	7,88 (rischio alto)	18,99 cm
CPT n° 2	8,31 (rischio alto)	23,12 cm
CPT n° 3	9,97 (rischio alto)	20,63 cm
CPT n° 4	7,74 (rischio alto)	17,75 cm

Alla luce dalle verifiche alla liquefazione condotte tramite i valori geotecnici ricavati delle prove CPT e i parametri sismici desunti dall'analisi di risposta sismica locale sarà necessario valutare in fase di progettazione la necessità di ridurre il potenziale di liquefazione e/o diminuire la vulnerabilità strutturale nei confronti della liquefazione stessa.

Infatti, il rischio di liquefazione può essere ridotto, sia nel caso di nuove costruzioni sia nel caso di opere esistenti, mediante le seguenti strategie:




- Progettare o adeguare le strutture di fondazione (e in elevazione) in modo da minimizzare i danni conseguenti il fenomeno sismo-indotto della liquefazione;
- Migliorare le caratteristiche del sottosuolo incrementando la resistenza, la densità e le caratteristiche di drenaggio.

Nel caso di opere esistenti si possono studiare soluzioni di sottofondazione con la realizzazione di pali o micropali nonché tramite opere di irrobustimento delle fondazioni stesse, ampliandone le dimensioni o legando gli elementi di fondazione strutturalmente isolati. I vari elementi devono essere collegati affinché il sistema fondale si muova in modo uniforme per contenere gli sforzi di taglio trasmessi alla struttura sovrastante.

**Dr. Geol. Matteo Collareda**

Monteviale, giugno 2017

**ALLEGATI**

-  Sondaggio a carotaggio continuo: stratigrafia e foto
-  Analisi di laboratorio
-  Prove penetrometriche statiche: grafici e valori





---




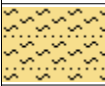



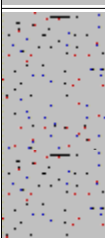

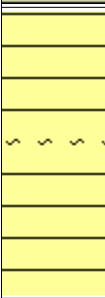

*SONDAGGIO A CAROTAGGIO  
CONTINUO: STRATIGRAFIA E FOTO*

---



C.F. CLLMTT76A02I5310

P.IVA 03267380248

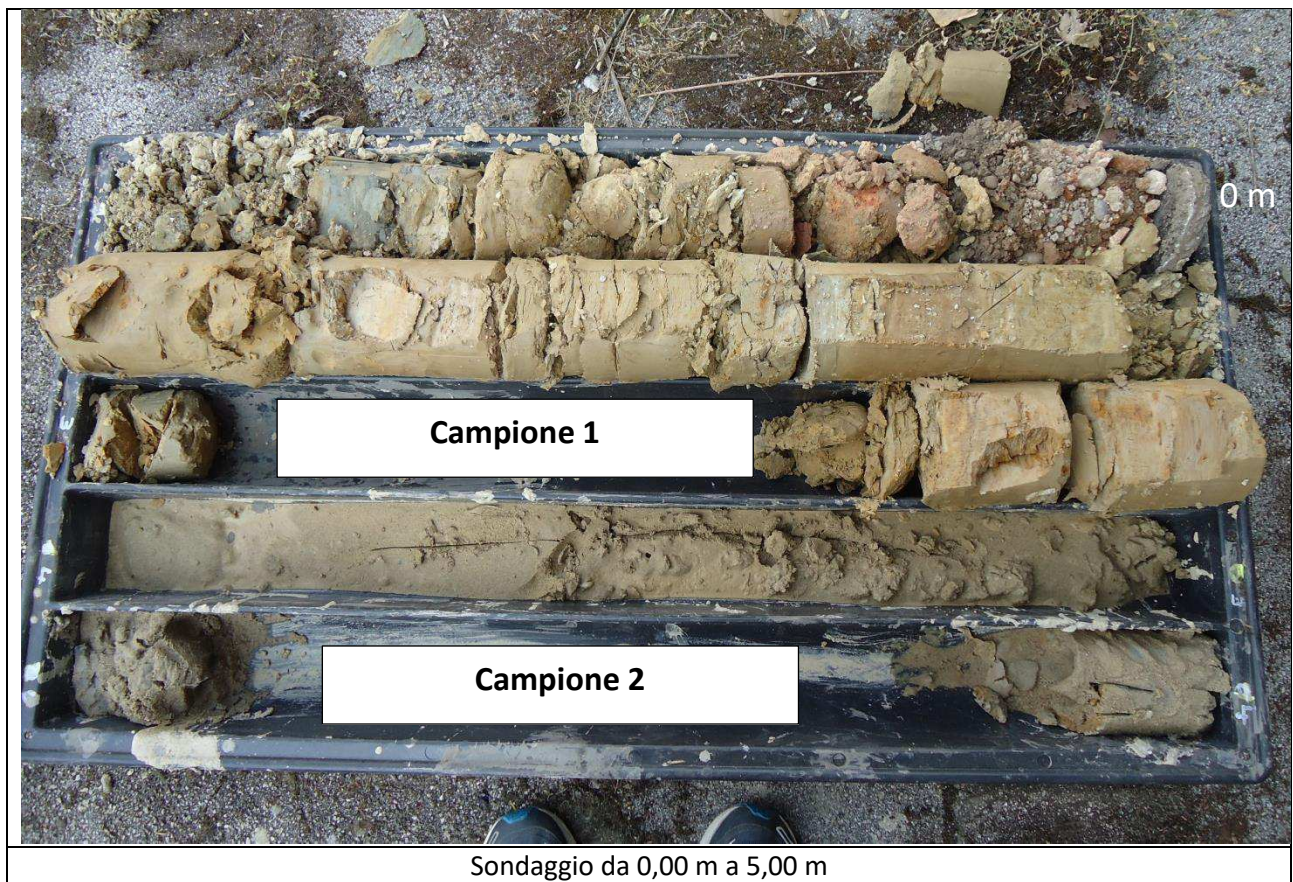
Scala (mt)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T.	Pocket Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Falda	Altre prove	Altre prove	
1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12		Asfalto, sottofondo granulare con mattoni e calcinacci	0.30								
		Limo sabbioso fine color nocciola (probabile riporto)	1.00								
		Limo argilloso marrone con venature grigio nocciola con livello sabbioso tra 1.90 - 2.00 m	3.00								
		Sabbia fine marrone	5.20								
		Limo argilloso con sabbia color grigio	5.50								
		Sabbia media grigia	7.50								
		Argilla limosa color grigio con intercalazioni di argilla bruna e livelli torbosi	8.70								
		Argilla limosa grigia compatta con qualche intercalazione sabbiosa	11.20								
		Argilla limosa grigia con resti organici e livello torboso tra 11.80 e 11.90 m	12.90								

Carotaggio: A rotazione a carotaggio continuo

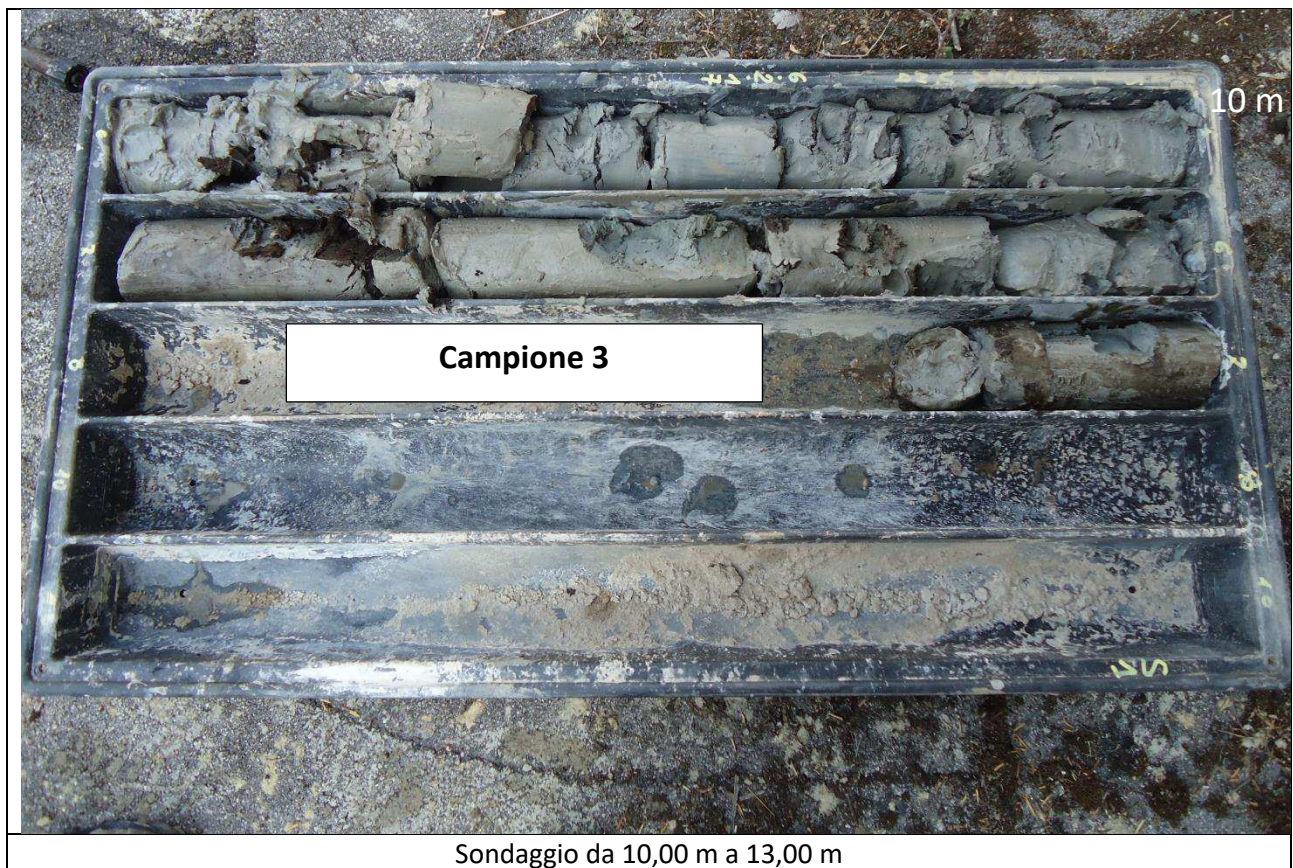
Responsabile



**CASSETTE CATALOGRATICI**









---

## *ANALISI DI LABORATORIO*

---





Spett. le **Collareda Dott. Matteo**  
Via Biron, 102/5  
36050 Monteviale (VI)

**OGGETTO:** Offerta N. 17OF01106 del 01.06.2017

Si trasmettono in allegato i Rapporti di Prova relativi alle seguenti analisi e prove:

Codice	Descrizione	Quantità
GEO004	Estrusione campione da fustella cilindrica comprensiva di descrizione macroscopica e documentazione fotografica (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti).	3
GEO044	Consolidazione edometrica di una terra ciclo singolo (cella $\phi$ : 52,47mm; 7 gradini di carico; 3 gradini di scarico) (comprende: granulometria, limiti di Atterberg, classificazione, e, $\gamma_{nat}$ , Gs, U%, pocket e torvane) secondo ASTM D 2435-80 / AGI '94 (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti),	2
GEO048	Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande (Comprende taglio + pocket e torvane) secondo ASTM D 3080-72 / AGI '94 (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti),	2
GEO052	Prova di compressione triassiale consolidata non drenata (CU) (Comprende granulometria, limiti Atterberg, classificazione, e, $\gamma_{nat}$ , Gs, U%, pocket e torvane) secondo ASTM D 2850-87 / AGI '94 (prova certificata dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti),	1

A disposizione per eventuali chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere cordiali saluti.

Responsabile Laboratorio  
CSG Palladio Srl  
Dr. Paolo Cornale



Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

**CERTIFICATO DI PROVA n.** 17CA19368

**Data emissione certificato:** 13.06.2017

**Sigla campione:** S1C1

**Descrizione campione:** Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)  
Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)

**Provenienza campione:** Ex Centrale del Latte (VI)  
Fustella prelevata tra la profondità di -2,30m e -3,00m dal p.c.

**Descrizione prova e metodo analitico:** Estrusione di campione indisturbato da fustella D: 85mm (metodo interno di prova)

**Strumentazione utilizzata:** Estrusore oliodinamico (N.Int.A-48), penetrometro tascabile a cursore (N.Int.N-291)  
scissometro tascabile ad infissione (N.Int.N-212), vetreria ed attrezzi vari da laboratorio.

**Prelievo effettuato/procedura campionamento:** A cura del Committente

**Anomalie riscontrate:** Nessuna

**Accettazione campione:** 06.06.2017 **Inizio prove:** 06.06.2017 **Fine prove:** 09.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l.. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

**INDICE QUALITATIVO DEL CAMPIONE:** Q5

**DESCRIZIONE CAMPIONE:** campione della lunghezza totale di 65cm;  
costituito da più livelli

- A: Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)  
B: Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)

		VALORI MEDI	
		pocket	torvane
65	ALTO	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
50		2,5	0,4
40	B	2,9	0,3
30		2,9	0,4
20		0,7	<0,1
10	A	0,7	<0,1
0		0,7	<0,1
cm	BASSO		

BASSO



ALTO

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



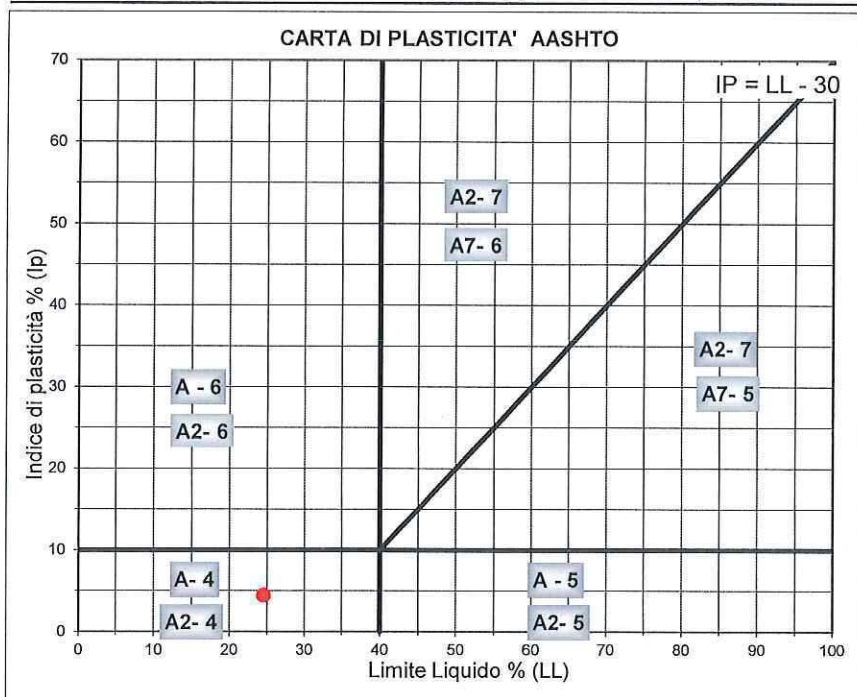
Richiedente: **Collareda Dott. Matteo**

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

CERTIFICATO DI PROVA n. **17CA19368**Data emissione certificato: **13.06.2017**Sigla campione: **S1C1**Descrizione campione: **Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)  
Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)**Provenienza campione: **Ex Centrale del Latte (VI)  
Fustella prelevata tra la profondità di -2,30m e -3,00m dal p.c.**Descrizione prova e metodo analitico: **Classificazione AASHTO M 145-82, ASTM D 3282**Strumentazione utilizzata: **Setacci ISO 565 ISO 3310, Bilancia elettronica Sartorius (Int.S-140), Cucchiara di Casagrande (Int.A-9),  
Forno termostatico (Int.S-166), vetreria e attrezzi vari da laboratorio**Prelievo effettuato/procedura campionamento: **A cura del Committente**Anomalie riscontrate: **Nessuna**Accettazione campione: **06.06.2017**Inizio prove: **06.06.2017**Fine prove: **09.06.2017**

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.



## FRAZIONE PASSANTE:

2,0 mm	100,0	%
0,40 mm	99,8	%
0,075 mm	96,3	%

## LIMITI DI ATTERBERG:

LIMITE LIQUIDO:	24,5	%
LIMITE PLASTICO:	20,1	%
INDICE PLASTICO:	4,5	%

## CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHTO

**A4**

## CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHTO:

		TERRENI PREVALENTEMENTE GRANULARI						TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSO ARGILLOSI						TERRE ORGANICHE
GRUPPO		A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
SOTTOGRUPPO		A1 - a	A1 - b		A2 - 4	A2 - 5	A2 - 6	A2 - 7				A7 - 5	A7 - 6	
FRAZIONE PASSANTE														
ISO 565 ISO 3310	2 mm	< 50	---											
	0,4 mm	< 30	≤ 50	> 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	0,075 mm	< 15	< 25	< 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	
LIMITI DI CONSISTENZA	LL	---			≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	
	IP	≤6		N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	> 10	
INDICE DI GRUPPO		0		0	0		< 4	< 8	< 12	< 16	< 20			
TIPI USUALI DEI MATERIALI COSTITUENTI IL GRUPPO		GHIAIA O BRECCIA CON SABBIA E SABBIA GROSSOLANA		SABBIA FINE	GHIAIA O SABBIA LIMOSA O ARGILLOSA				LIMI POCO COMPRESSIBILI	LIMI MOLTO COMPRESSIBILI	ARGILLE POCO COMPRESSIBILI	ARGILLE POCO COMPRESSIBILI MEDIANTE PLASTICHE	ARGILLE MOLTO COMPRESSIBILI FORTEMENTE PLASTICHE	TORBE

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



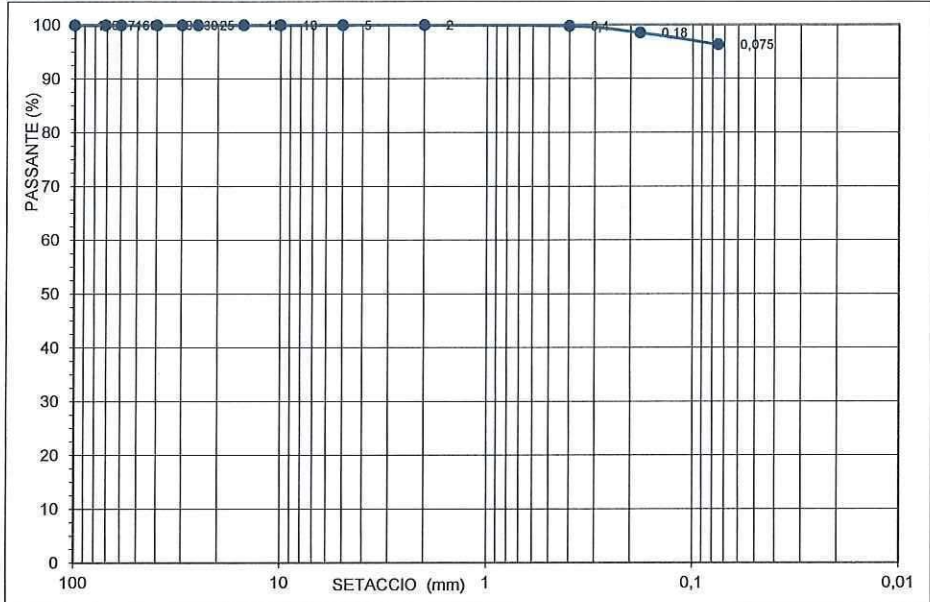
Certificato di prova n. 17CA19368

- continua dalla pagina precedente

**ANALISI GRANULOMETRICA MEDIANTE VAGLI**

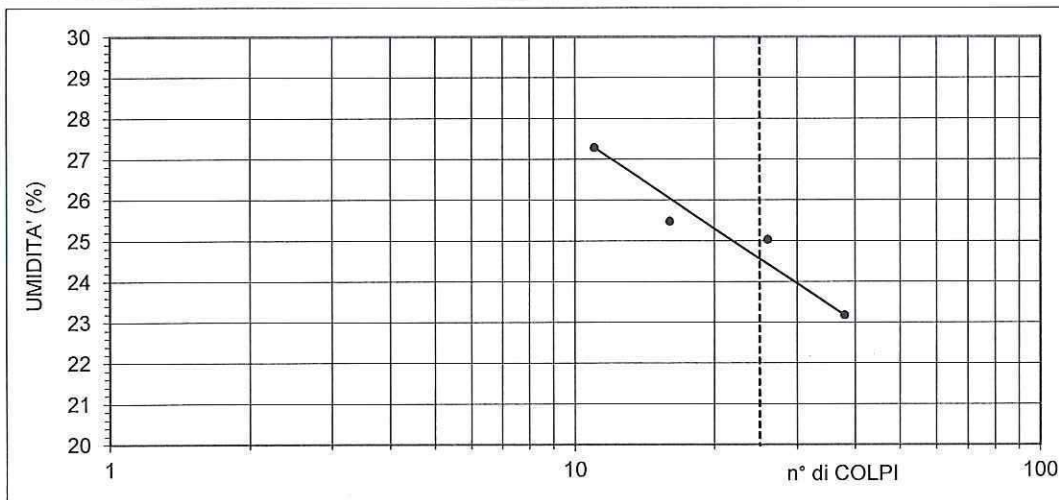
	VAGLI (mm)	Trattenuto (g)	Trattenuto (%)	Passante (%)
SETACCI # (ISO 565, ISO 3310)	125	0	0,0	100,0
	100	0	0,0	100,0
	75	0	0,0	100,0
	60	0	0,0	100,0
	40	0	0,0	100,0
	30	0	0,0	100,0
	25	0	0,0	100,0
	15	0	0,0	100,0
	10	0	0,0	100,0
	5	0	0,0	100,0
	2	0	0,0	100,0
	0,4	1	0,2	99,8
	0,18	4	1,3	98,5
	0,075	6	2,2	96,3
	<0,075	269	96,3	-----

Peso totale del campione (g): 280

**LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG (CNR UNI 10014)**

LIMITE LIQUIDO		1°	2°	3°	4°
COLPI	n°	11	16	26	38
Tara	g	2,22	2,25	2,36	2,19
Peso lordo umido	g	24,71	22,84	27,74	23,56
Peso lordo secco	g	19,89	18,66	22,66	19,54
Peso dell' acqua	g	4,82	4,18	5,08	4,02
Peso netto secco	g	17,67	16,41	20,30	17,35
UMIDITA'	%	27,3	25,5	25,0	23,2

LIMITE PLASTICO		1°	2°
Tara	g	2,24	2,25
P. lordo umido	g	3,55	3,69
P. lordo secco	g	3,33	3,45
P. acqua	g	0,22	0,24
P. netto secco	g	1,09	1,20
UMIDITA'	%	20,2	20,0

**LIMITI DI ATTERBERG:**  
(CNR UNI 10014)Limite di liquidità:  
LL: 24,5 %Limite di plasticità:  
LP: 20,1 %Indice di plasticità:  
IP: 4,5 %Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

CERTIFICATO DI PROVA n.

17CA19368

Data emissione certificato:

14.06.2017

Sigla campione:

S1C1

Descrizione campione:

Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)

Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)

Provenienza campione:

Ex Centrale del Latte (VI)

Fustella prelevata tra la profondità di -2,30m e -3,00m dal p.c.

Descrizione prova e metodo analitico:

Prova di consolidazione edometrica UNI EN ISO/TS 17892-5, ASTM D 2435,  
Raccomandazioni AGI '94

Strumentazione utilizzata:

Estrusore (N.Int.A-48), Bilancia (N.Int.S-140), edometro a fulcro fisso (N.Int.N-95),  
Forno (N.Int.S-166), vetreria ed attrezzi vari da laboratorio.

Prelievo effettuato/procedura campionamento:

Tecnici CSG Palladio Srl

Anomalie riscontrate:

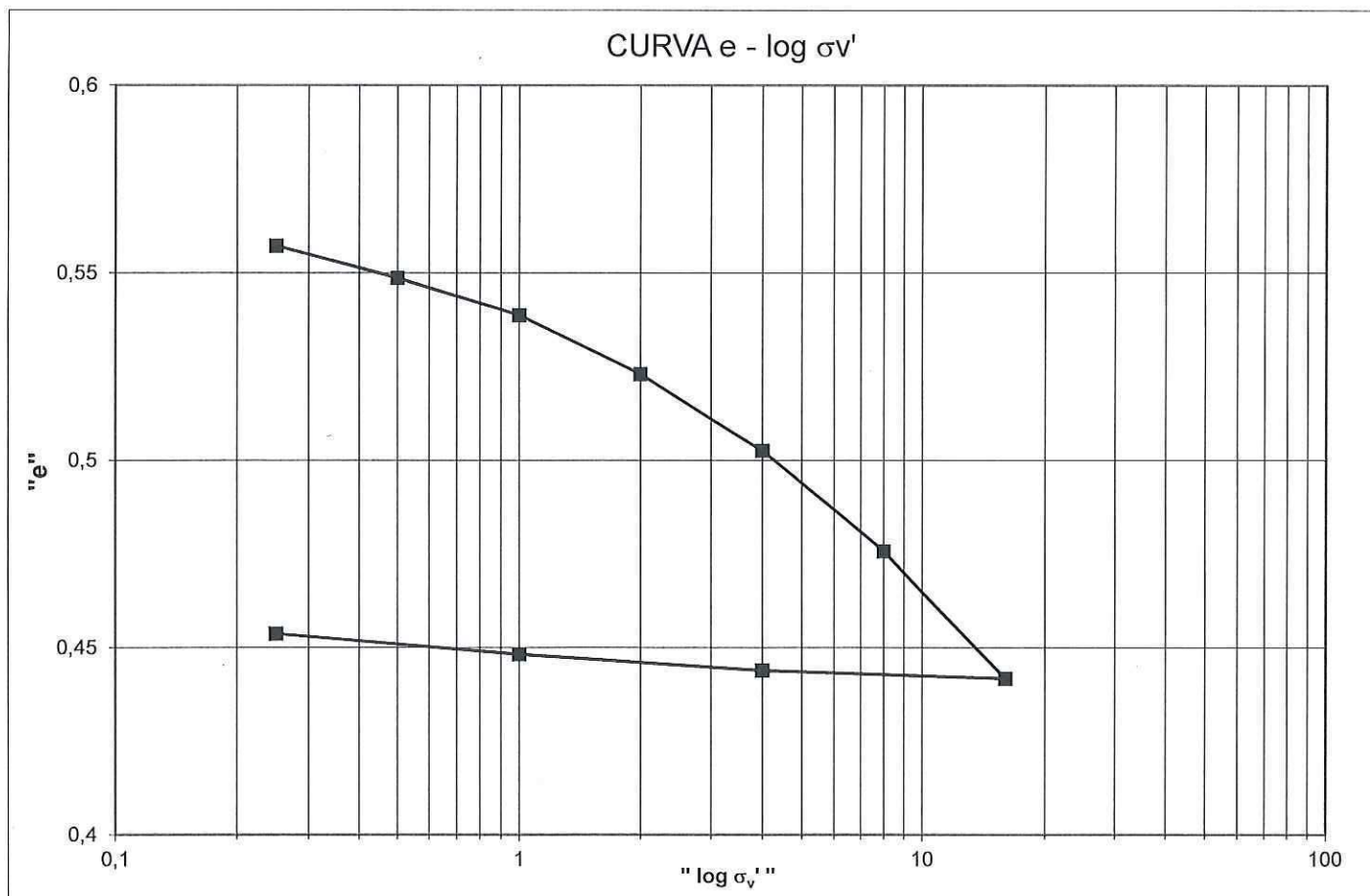
Nessuna

Accettazione campione: 06.06.2017

Inizio analisi: 06.06.2017

Fine analisi: 14.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l.. L'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)





Certificato di prova n. 17CA19368 - continua dalla pagina precedente

CAMPIONE: S1C1

DESCRIZIONE CAMPIONE: campione della lunghezza totale di 65cm;  
integro in fustella, costituito da due livelli

A: Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)

B: Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)

## CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE:

Massa volumica dei granuli:	G <sub>s</sub>	=	2,723	(g/cm <sup>3</sup> )
Umidità naturale:	W <sub>N</sub>	=	21,5	%
Massa volumica con umidità naturale:	γ <sub>nat</sub>	=	1,885	(g/cm <sup>3</sup> )

		VALORI MEDI	
		pocket	torvane
65	ALTO	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
50		2,5	0,4
40	B	2,9	0,3
30		2,9	0,4
20		0,7	<0,1
10	A	0,7	<0,1
0		0,7	<0,1
cm	BASSO		

## Prelievo effettuato da e procedura di campionamento:

INIZIALE

FINALE

			INIZIALE	FINALE
h	Altezza:	(mm)	20,00	18,12
φ	Diametro:	(mm)	50,47	50,47
V	Volume:	(cm <sup>3</sup> )	40,01	36,26
t	Tara fustella / ciottola:	(g)	55,87	2,22
Pu	Peso lordo umido	(g)	131,29	140,25
Pu	Peso netto umido:	(g)	75,42	82,16
Ps	Peso lordo secco:	(g)	---	126,57
Ps	Peso netto secco:	(g)	---	68,48
γ <sub>n</sub>	Peso di volume umido:	(g/cm <sup>3</sup> )	1,885	2,266
γ <sub>d</sub>	Peso di volume essiccato:	(g/cm <sup>3</sup> )	1,712	1,889
W	Umidità:	(%)	10,1	20,0
e <sub>0</sub>	Indice dei vuoti:		0,591	0,442
S <sub>0</sub>	Grado di saturazione:	(%)	46,69	123,17

PRESSIONE	CEDIMENTI	DEFORMAZIONE	INDICE DEI	COEFF. DI	MODULO	COEFF. DI	COEFF. DI
		VERTICALE	VUOTI	COMPRESSIBILITA'	EDOMETRICO	CONSOLIDAZIONE	PERMEABILITA'
P	δ H	ε	e	mv	M	Cv	K
(daN/cm <sup>2</sup> )	(mm)	(%)		(cm <sup>2</sup> /kg)	(daN/cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /sec)	(cm/sec)
0,25	0,425	2,125	0,557	0,0850	11,763	3,936E-03	3,346E-07
0,5	0,534	2,669	0,549	0,0217	45,987	6,489E-03	1,411E-07
1	0,658	3,289	0,539	0,0124	80,645	7,023E-03	8,709E-08
2	0,856	4,279	0,523	0,0099	101,010	6,456E-03	6,391E-08
4	1,112	5,560	0,503	0,0064	156,114	6,902E-03	4,421E-08
8	1,449	7,247	0,476	0,0042	237,154	7,236E-03	3,051E-08
16	1,877	9,387	0,442	0,0027	373,735	6,216E-03	1,663E-08
4	1,850	9,250	0,444	---	---	---	---
1	1,796	8,980	0,448	---	---	---	---
0,25	1,726	8,630	0,454	---	---	---	---

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)

Richiedente: **Collareda Dott. Matteo**

Via Biron, 102/5

36050 Monteviale (VI)

CERTIFICATO DI PROVA n.

17CA19368

Data emissione certificato:

15.06.2017

Sigla campione:

S1C1

Descrizione campione:

Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)

Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)

Provenienza campione:

Ex Centrale del Latte (VI)

Fustella prelevata tra la profondità di -2,30m e -3,00m dal p.c.

Descrizione prova e metodo analitico:

Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande AGI '94, UNI CEN ISO/TS 17892-10, ASTM D 3080

Strumentazione utilizzata:

Macchina Taglio (N.Int.N-99), Cella di carico 5kN (N.Int.S-100), Geotronic (N.Int.N-119), Trasduttore (N.Int.N-263), Geotronic (N.Int.N-259), Trasduttore (N.Int.N-264), Geotronic (N.Int.N-260), banchi di consolidazione (N.Int.N-287), (N.Int.N-288), (N.Int.N-289), attrezzi vari da laboratorio.

Prelievo effettuato/procedura campionamento:

A cura del Committente

Anomalie riscontrate:

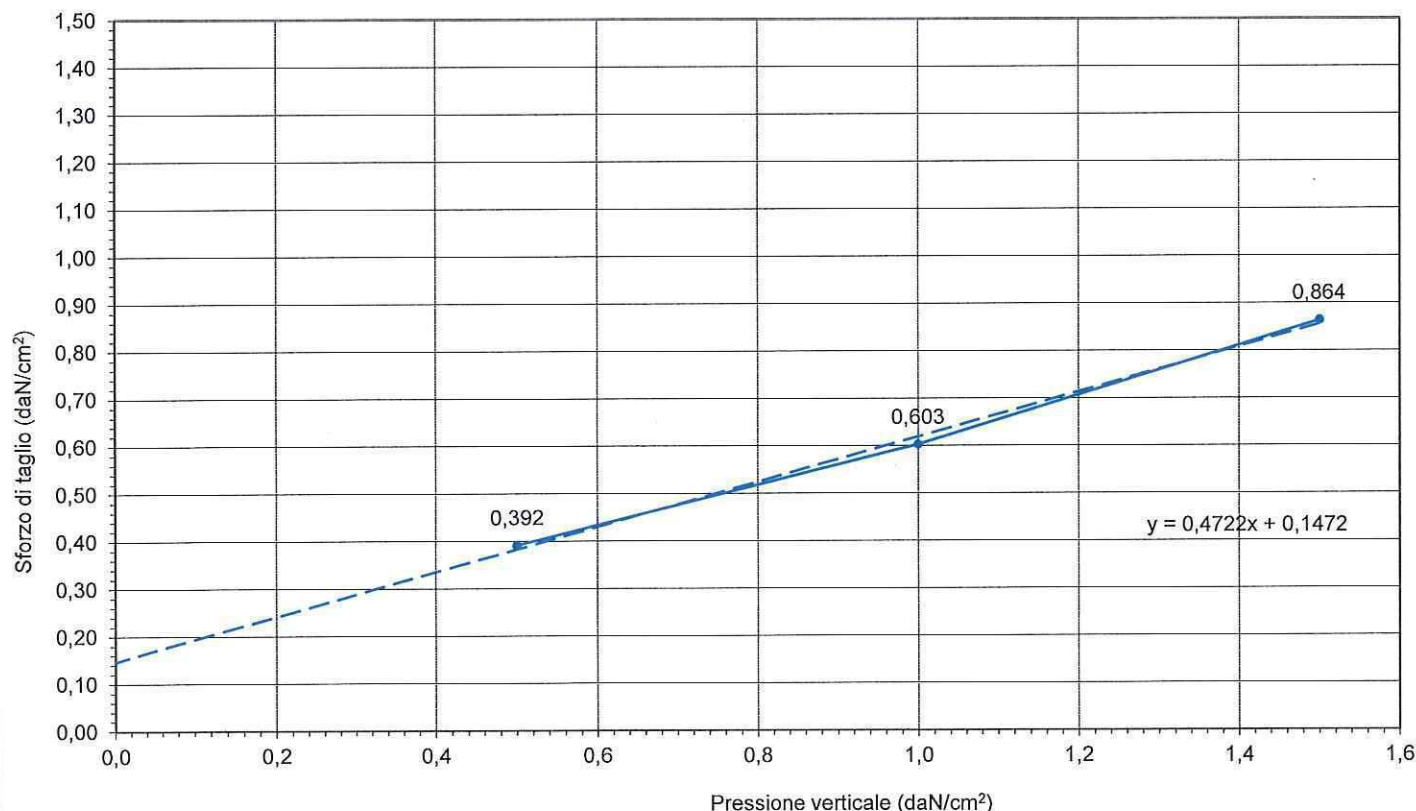
Nessuna

Arrivo in laboratorio: 06.06.2017

Inizio prove: 06.06.2017

Fine prove: 15.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l.. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

Angolo di attrito  
 $\phi = 25$  gradiCoesione efficace:  
 $c' = 0,15$  (daN/cm²)Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Rapporto di prova n. 17CA19368 – continua dalla pagina precedente.

**CAMPIONE:** S1C1  
**DESCRIZIONE CAMPIONE:** campione della lunghezza totale di 65cm;  
 costituito da più livelli

A: Sabbia limosa (0,0 - 30,0cm)

B: Limo argilloso con livelli di sabbia (30,0 - 65,0cm)

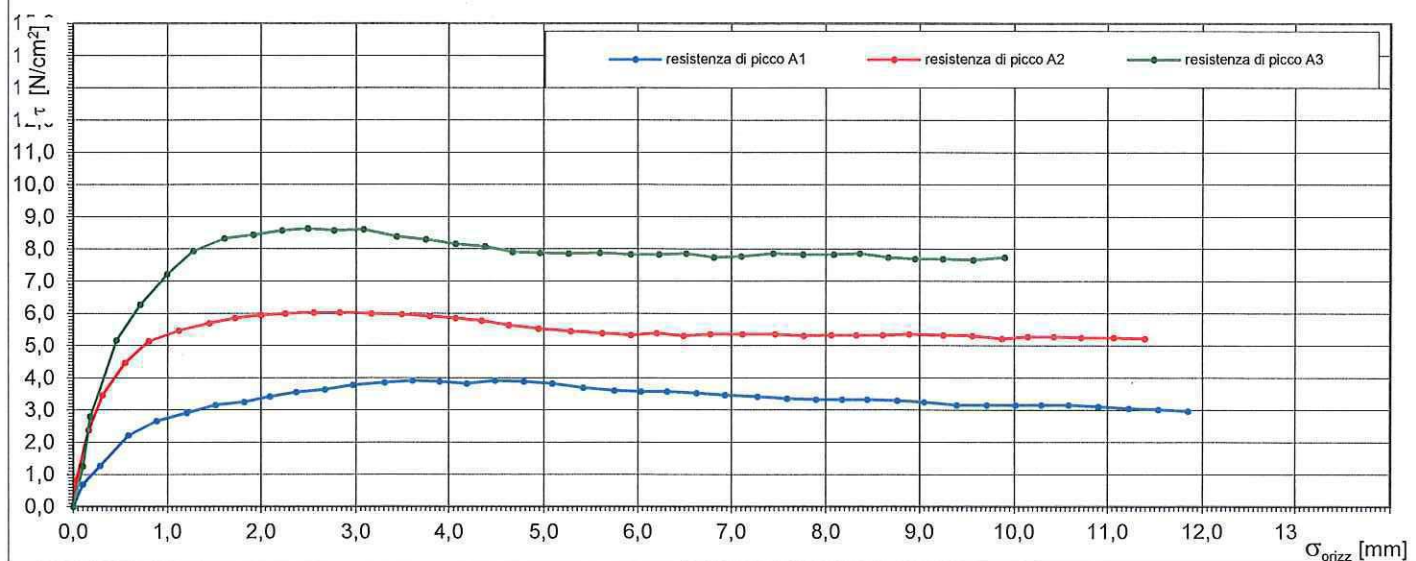
**CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE:**Umidità naturale media:  $W_N = 29,5 \%$ Massa volumica media con umidità naturale:  $\gamma_n = 1,710 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ VALORI MEDI  
pocket torvane

65	ALTO	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
50		2,5	0,4
40	<b>B</b>	2,9	0,3
30		2,9	0,4
20	<b>A</b>	0,7	<0,1
10	tg <sub>1</sub>	0,7	<0,1
0	tg <sub>3</sub>	0,7	<0,1
cm	BASSO		

PROVINI:		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
CONSOLIDAZIONE PROVINI:	(daN/cm <sup>2</sup> )	0,5	1,0	1,5
As	Area sezione quadrata (cm <sup>2</sup> )	36,0	36,0	36,0
h <sub>0</sub>	Altezza iniziale: (cm)	2,20	2,20	2,20
V <sub>0</sub>	Volume iniziale: (cm <sup>3</sup> )	79,20	79,20	79,20
t	Tara fustella alluminio: (g)	98,6	98,6	98,6
P <sub>u</sub>	Peso lordo umido (g)	233,47	234,50	234,13
$\gamma_n$	Peso di volume umido: (g/cm <sup>3</sup> )	1,703	1,716	1,711
$\Delta h$	consolidazione massima (cm)	0,005	0,014	0,053
DOPO CONSOLIDAZIONE:				
h <sub>1</sub>	Altezza dopo consolidazione: (cm)	2,195	2,186	2,147
V <sub>1</sub>	Volume dopo consolidazione: (cm <sup>3</sup> )	79,03	78,71	77,31
T	Tara bacinella: (g)	124,04	123,1	124,92
Plu	Peso lordo umido (g)	253	259,03	258,46
Pls	Peso lordo secco (g)	220,53	224,82	225,44
$\gamma_s$	Peso di volume secco: (g/cm <sup>3</sup> )	1,221	1,292	1,300
U <sub>1</sub>	Umidità dopo consolidazione (%)	33,7	33,6	32,8
Q	Carico massimo di rottura (daN/cm <sup>2</sup> )	0,392	0,603	0,864

Velocità in fase di rottura:

v = 0,010 (mm/min)

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)

Richiedente: **Collareda Dott. Matteo**

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

**CERTIFICATO DI PROVA n.** 17CA19373

**Data emissione certificato:** 21.06.2017

**Sigla campione:** S1C2

**Descrizione campione:** Limo sabbioso debolmente argilloso

**Provenienza campione:** Ex Centrale del Latte (VI)

**Descrizione prova e metodo analitico:** Fustella prelevata tra la profondità di -7,50m e -8,00m dal p.c.  
Estrusione di campione indisturbato da fustella D: 85mm (metodo interno di prova)

**Strumentazione utilizzata:** Estrusore oliodinamico (N.Int.A-48), penetrometro tascabile a cursore (N.Int.N-291)  
scissometro tascabile ad infissione (N.Int.N-212), vetreria ed attrezzi vari da laboratorio.

**Prelievo effettuato/procedura campionamento:** A cura del Committente

**Anomalie riscontrate:** Nessuna

**Accettazione campione:** 06.06.2017 **Inizio prove:** 06.06.2017 **Fine prove:** 20.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

**INDICE QUALITATIVO DEL CAMPIONE:****Q4****DESCRIZIONE CAMPIONE:**campione della lunghezza totale di 38cm;  
costituito da un livello omogeneo:**A:** Limo sabbioso debolmente argilloso

		VALORI MEDI	
		pocket	torvane
		daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
38	ALTO		
30		0,2	<0,1
20		0,2	<0,1
10	<b>A</b>	0,2	<0,1
0		<0,1	<0,1
cm	BASSO		

BASSO



ALTO

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)





Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

CERTIFICATO DI PROVA n. 17CA19373

Data emissione certificato: 21.06.2017

Sigla campione: S1C2

Descrizione campione: Limo sabbioso debolmente argilloso

Provenienza campione: Ex Centrale del Latte (VI)

Fustella prelevata tra la profondità di -7,50m e -8,00m dal p.c.

Descrizione prova e metodo analitico: Classificazione AASHTO M 145-82, ASTM D 3282

Strumentazione utilizzata: Setacci ISO 565 ISO 3310, Bilancia elettronica Sartorius (Int.S-140), Cucchiaina di Casagrande (Int.A-9), Forno termostatico (Int.S-166), vetreria e attrezzi vari da laboratorio

Prelievo effettuato/procedura campionamento: A cura del Committente

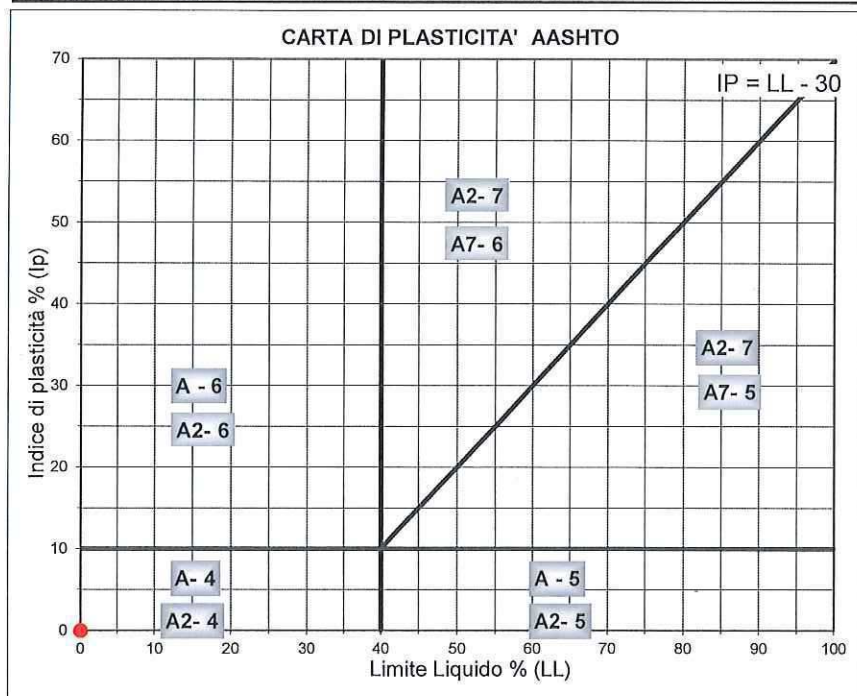
Anomalie riscontrate: Nessuna

Accettazione campione: 06.06.2017

Inizio prove: 06.06.2017

Fine prove: 20.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.



## FRAZIONE PASSANTE:

2,0 mm	99,6	%
0,40 mm	97,6	%
0,075 mm	40,7	%

## LIMITI DI ATTERBERG:

Il campione non è plastico

## CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHTO

A4

## CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHTO:

GRUPPO	TERRENI PREVALENTEMENTE GRANULARI							TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSO ARGILLOSI					TERRE ORGANICHE
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
	A1 - a	A1 - b		A2 - 4	A2 - 5	A2 - 6	A2 - 7				A7 - 5	A7 - 6	
FRAZIONE PASSANTE													
ISO 565 ISO 3310	2 mm	< 50	---										
	0,4 mm	< 30	≤ 50	> 50									
	0,075 mm	< 15	< 25	< 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	
LIMITI DI CONSISTENZA	LL	---		≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	
	IP	≤ 6	N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	> 10	
INDICE DI GRUPPO	0		0	0				< 8	< 12	< 16	< 20		
TIPI USUALI DEI MATERIALI COSTITUENTI IL GRUPPO	GHIAIA O BRECCIA CON SABBIA E SABBIA GROSSOLANA		SABBIA FINE	GHIAIA O SABBIA LIMOSA O ARGILLOSA				LIMI POCO COMPRESSIBILI	LIMI MOLTO COMPRESSIBILI	ARGILLE POCO COMPRESSIBILI	ARGILLE MOLTO COMPRESSIBILI	FORTEMENTE PLASTICHE	TORBE

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)

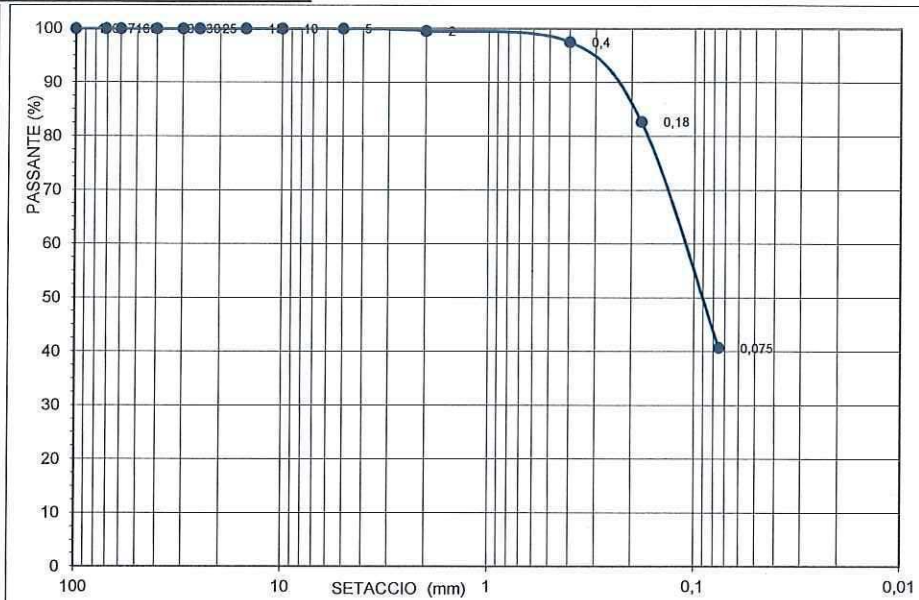
Certificato di prova n. 17CA19373

- continua dalla pagina precedente

**ANALISI GRANULOMETRICA MEDIANTE VAGLI**

	VAGLI (mm)	Trattenuto (g)	Trattenuto (%)	Passante (%)
SETACCI # (ISO 565, ISO 3310)	125	0	0,0	100,0
	100	0	0,0	100,0
	75	0	0,0	100,0
	60	0	0,0	100,0
	40	0	0,0	100,0
	30	0	0,0	100,0
	25	0	0,0	100,0
	15	0	0,0	100,0
	10	0	0,0	100,0
	5	0	0,0	100,0
	2	1	0,4	99,6
	0,4	6	2,0	97,6
	0,18	46	14,8	82,8
	0,075	130	42,1	40,7
	<0,075	126	40,7	-----

Peso totale del campione (g): 310

**LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG (CNR UNI 10014)**

Il campione non è plastico

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Richiedente: **Collareda Dott. Matteo**

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

**CERTIFICATO DI PROVA n.****17CA19373**

Data emissione certificato:

21.06.2017

Sigla campione:

S1C2

Descrizione campione:

Limo sabbioso debolmente argilloso

Provenienza campione:

Ex Centrale del Latte (VI)

Descrizione prova e metodo analitico:

Fustella prelevata tra la profondità di -7,50m e -8,00m dal p.c.

Strumentazione utilizzata:

Prova di compressione triassiale CU ASTM D 2850-87  
Estrusore oliodinamico (N.Int.A-48), penetrometro tascabile a cursore (N.Int.N-291)  
scissometro tascabile ad infissione (N.Int.N-212), vetreria ed attrezzi vari da laboratorio.

Prelievo effettuato da:

a cura del Committente

Anomalie riscontrate:

Nessuna

Accettazione campione: 06.06.2017

Inizio prove: 06.06.2017

Fine analisi 20.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l.. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

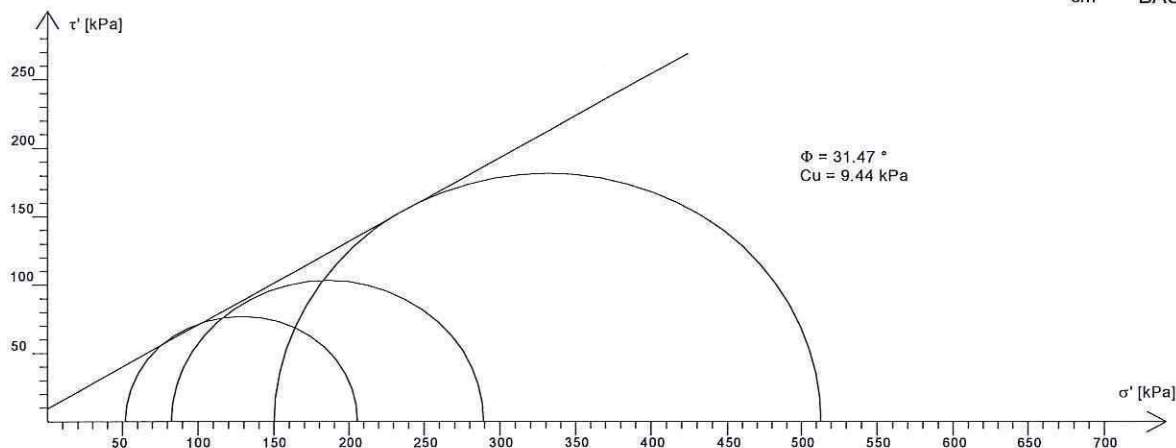
**DESCRIZIONE CAMPIONE:**campione della lunghezza totale di 38cm;  
costituito da un livello omogeneo:

A: Limo sabbioso debolmente argilloso

## VALORI MEDI

pocket | torvane

38	ALTO	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
30		0,2	<0,1
20		0,2	<0,1
10	<b>A</b>	0,2	<0,1
0		<0,1	<0,1
cm	BASSO		

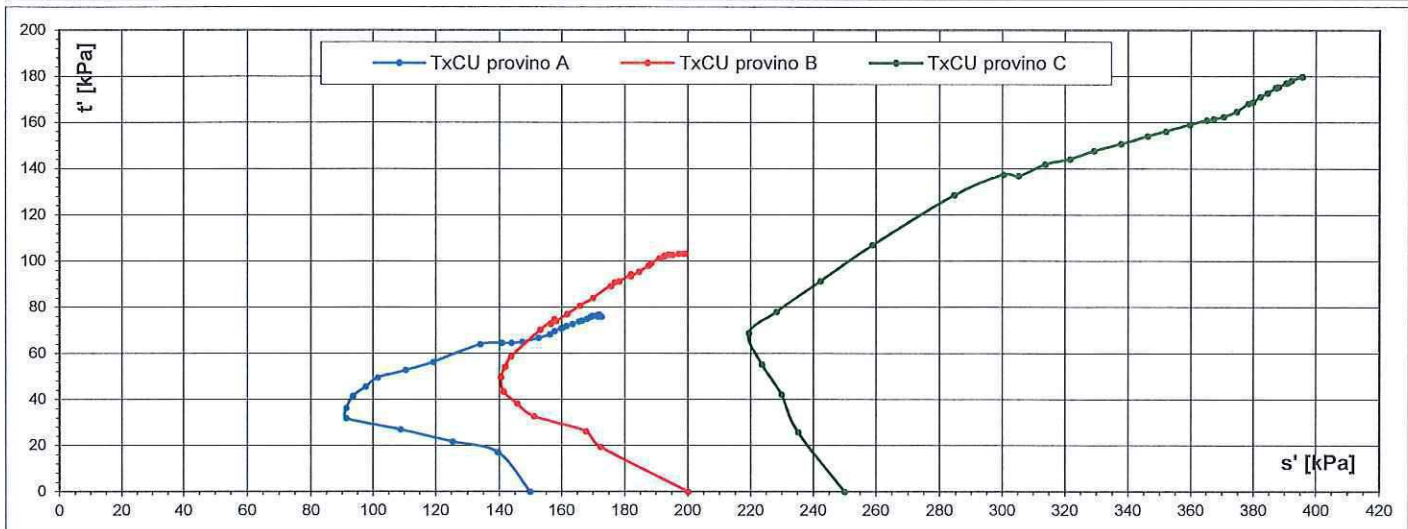
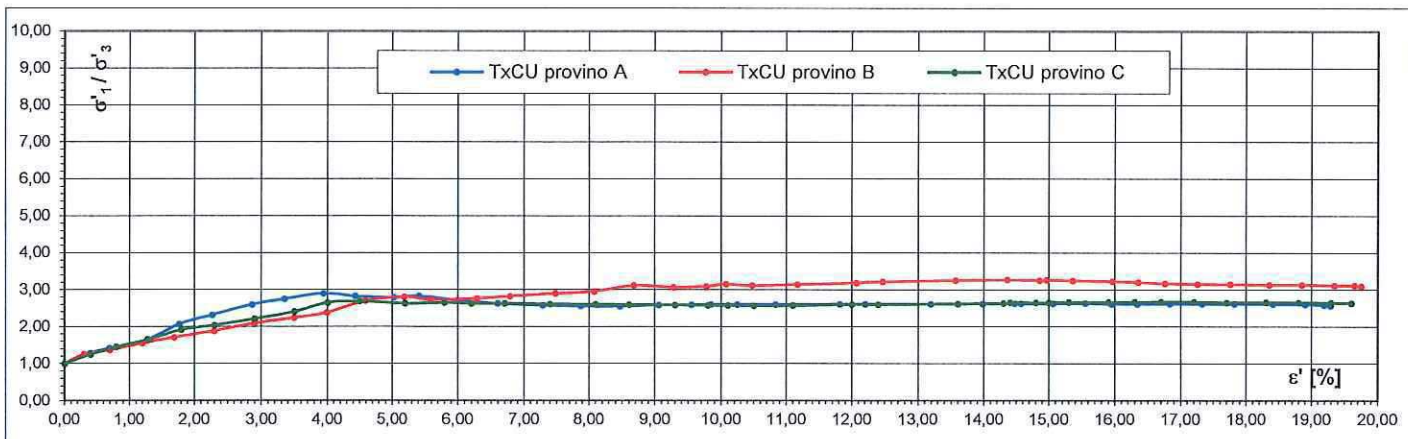
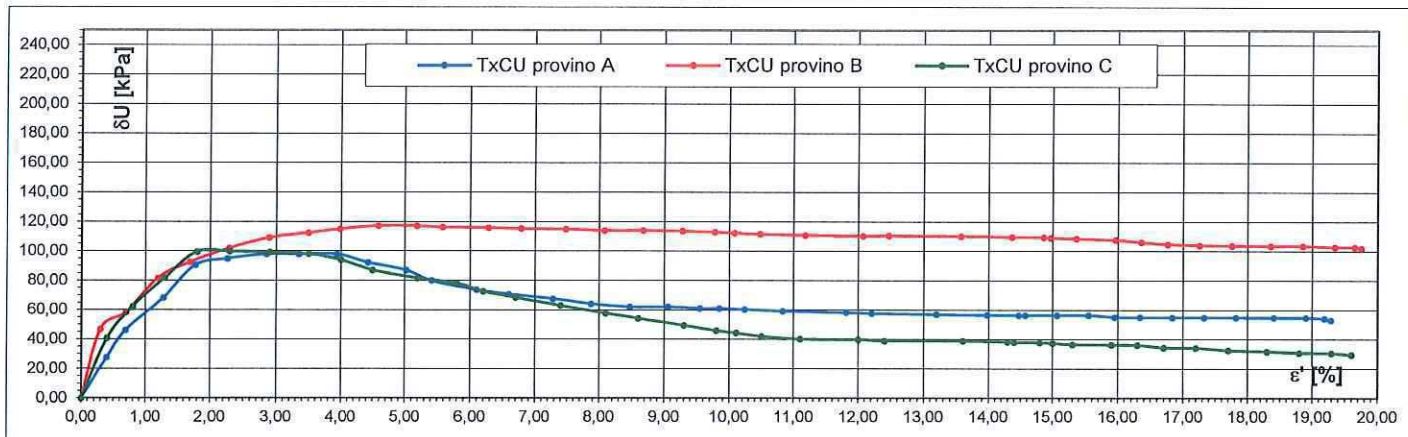
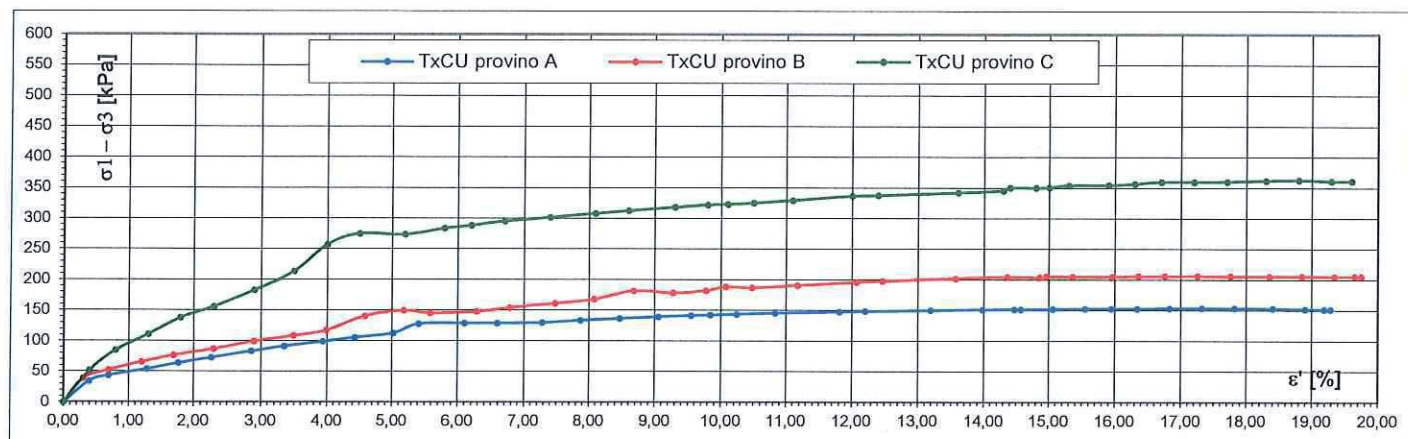


Sperimentatore

(Geom. Mirko Caldonazzo)

Il Direttore del Laboratorio

(Dr. Massimiliano Scarano)





Iscrizione all'Albo dei Laboratori di Ricerca con Decreto  
Direttoriale n. 535/Ric. del 21 aprile 2004

Sistema di gestione qualità  
UNI EN ISO 9001:2008  
certificato da D.I.Q.U.

PROVE SU MATERIALI DA COSTRUZIONE - SETTO  
Aut. n° 237 del 17.11.16 del ai sensi della Legge 1086 ;  
D.P.R. 380/2001 art. 59 Circ. 08.09.2010 n° 7617/ST

PROVE SU TERRE E ROCCE - SETTORE A  
Aut. n° 9225 del 23.09.12 del ai sensi dell'art. 59

Caratteristiche fisiche del provino:			velocità di taglio:	0,035	mm/min
h	Altezza provino:	7,72 cm	Pressione in cella:	200	kPa
$\phi$	Diametro provino:	3,8 cm	Back Pressure:	50	kPa
As	Area provino:	11,34 cm <sup>2</sup>			
V	V <sub>0</sub> provino:	87,55 cm <sup>3</sup>	$\delta U$ MAX:	97,95	kPa
			$\varepsilon$ MAX:	19,29	%
			$\sigma_1 - \sigma_3$ MAX:	153,74	kPa
			$\sigma'_1/\sigma'_3$ MAX:	2,90	

Caratteristiche fisiche del provino:			velocità di taglio:	0,035	mm/min
h	Altezza provino:	7,65 cm	Pressione in cella:	230	kPa
$\phi$	Diametro provino:	3,8 cm	Back Pressure:	30	kPa
	Area provino:	11,34 cm <sup>2</sup>			
V	V <sub>0</sub> provino:	86,76 cm <sup>3</sup>	$\delta U$ MAX:	117,14	kPa
			$\varepsilon$ MAX:	19,75	%
			$\sigma_1 - \sigma_3$ MAX:	206,37	kPa
			$\sigma'_1/\sigma'_3$ MAX:	3,27	

Caratteristiche fisiche del provino:			velocità di taglio:	0,035	mm/min
h	Altezza provino:	7,66 cm	Pressione in cella:	300	kPa
$\phi$	Diametro provino:	3,8 cm	Back Pressure:	50	kPa
As	Area provino:	11,340815 cm <sup>2</sup>			
V	V <sub>0</sub> provino:	86,8706429 cm <sup>3</sup>	$\delta U$ MAX:	99,77	kPa
			$\varepsilon$ MAX:	19,60	%
			$\sigma_1 - \sigma_3$ MAX:	362,95	kPa
			$\sigma'_1/\sigma'_3$ MAX:	2,69	

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

**CERTIFICATO DI PROVA n.** 17CA19374

**Data emissione certificato:** 13.06.2017

**Sigla campione:** S1C3

**Descrizione campione:** Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

**Provenienza campione:** Ex Centrale del Latte (VI)

**Descrizione prova e metodo analitico:** Fustella prelevata tra la profondità di -12,20m e -12,80m dal p.c.  
Estrusione di campione indisturbato da fustella D: 85mm (metodo interno di prova)

**Strumentazione utilizzata:** Estrusore oliodinamico (N.Int.A-48), penetrometro tascabile a cursore (N.Int.N-291)  
scissometro tascabile ad infissione (N.Int.N-212), vetreria ed attrezzi vari da laboratorio.

**Prelievo effettuato/procedura campionamento:** A cura del Committente

**Anomalie riscontrate:** Nessuna

**Accettazione campione:** 06.06.2017 **Inizio prove:** 06.06.2017 **Fine prove:** 09.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l.. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

**INDICE QUALITATIVO DEL CAMPIONE:****Q5**

**DESCRIZIONE CAMPIONE:** campione della lunghezza totale di 62cm;  
integro in fustella, costituito da un livello:

A: Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

62	ALTO	VALORI MEDI	
		pocket daN/cm <sup>2</sup>	torvane daN/cm <sup>2</sup>
50		0,5	0,2
40	<b>B</b>	0,7	0,4
30		0,7	0,5
20		0,7	0,5
10	<b>A</b>	1,0	0,3
0		1,1	0,3
cm	<b>BASSO</b>		



Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

CERTIFICATO DI PROVA n. 17CA19374

Data emissione certificato: 13.06.2017

Sigla campione: S1C3

Descrizione campione: Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

Provenienza campione: Ex Centrale del Latte (VI)

Fustella prelevata tra la profondità di -12,20m e -12,80m dal p.c.

Descrizione prova e metodo analitico: Classificazione AASHTO M 145-82, ASTM D 3282

Strumentazione utilizzata: Setacci ISO 565 ISO 3310, Bilancia elettronica Sartorius (Int.S-140), Cucchiola di Casagrande (Int.A-9),  
Forno termostatico (Int.S-166), vetreria e attrezzi vari da laboratorio

Prelievo effettuato/procedura campionamento: A cura del Committente

Anomalie riscontrate: Nessuna

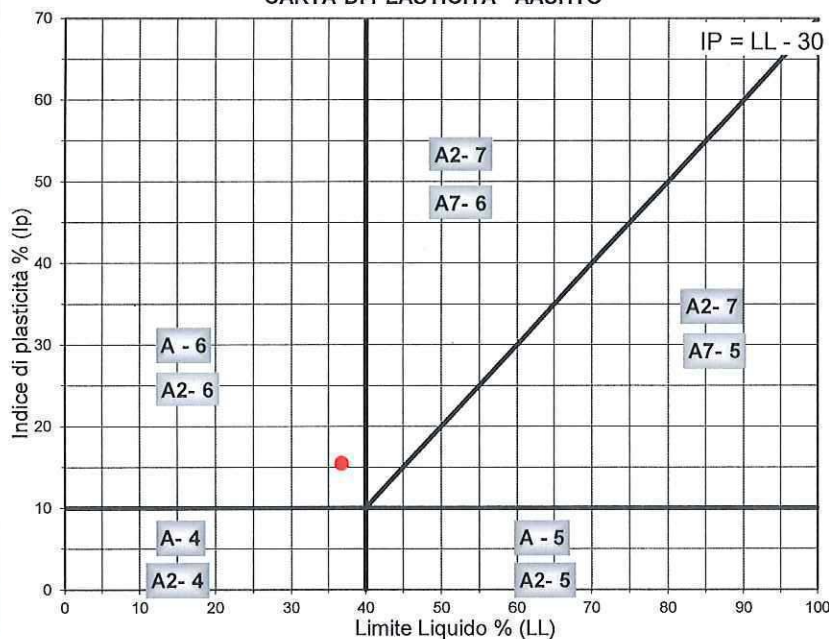
Accettazione campione: 06.06.2017

Inizio prove: 06.06.2017

Fine prove: 09.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l.. L'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

CARTA DI PLASTICITA' AASHTO



FRAZIONE PASSANTE:

2,0 mm	100,0	%
0,40 mm	93,6	%
0,075 mm	83,0	%

LIMITI DI ATTERBERG:

LIMITE LIQUIDO:	36,8	%
LIMITE PLASTICO:	21,3	%
INDICE PLASTICO:	15,5	%

CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHTO

A6

CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHTO:

		TERRENI PREVALENTEMENTE GRANULARI						TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSO ARGILLOSI						TERRE ORGANICHE
GRUPPO		A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8
SOTTOGRUPPO		A1 - a	A1 - b		A2 - 4	A2 - 5	A2 - 6	A2 - 7				A7 - 5	A7 - 6	
FRAZIONE PASSANTE														
ISO 565 3310	2 mm	< 50	---											
	0,4 mm	< 30	≤ 50	> 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
	0,075 mm	< 15	< 25	< 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	
LIMITI DI CONSISTENZA	LL	---			≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	
	IP	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	> 10	
INDICE DI GRUPPO		0		0	0			< 4	< 8	< 12	< 16	< 20		
TIPI USUALI DEI MATERIALI COSTITUENTI IL GRUPPO		GHIAIA O BRECCIA CON SABBIA E SABBIA GROSSOLANA		SABBIA FINE	GHIAIA O SABBIA LIMOSA O ARGILLOSA				LIMI POCO COMPRESSIBILI	LIMI MOLTO COMPRESSIBILI	ARGILLE POCO COMPRESSIBILI	ARGILLE POCO COMPRESSIBILI MEDIANTE PLASTICHE	ARGILLE MOLTO COMPRESSIBILI FORTEMENTE PLASTICHE	TORBE

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)

Strada Saviabona, 278/1 - 36100 VICENZA Tel: ++39/0444 304091 - Fax ++39/0444 313136

17CO04748

E-mail: info@csgpalladio.it Web site: www.csgpalladio.it

pag 1 di 2



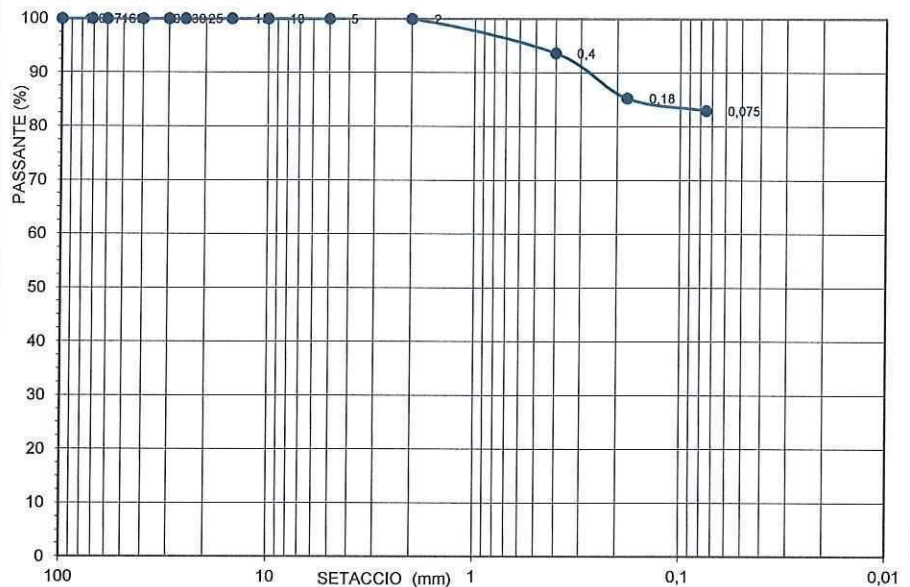
Certificato di prova n. 17CA19374

- continua dalla pagina precedente

**ANALISI GRANULOMETRICA MEDIANTE VAGLI**

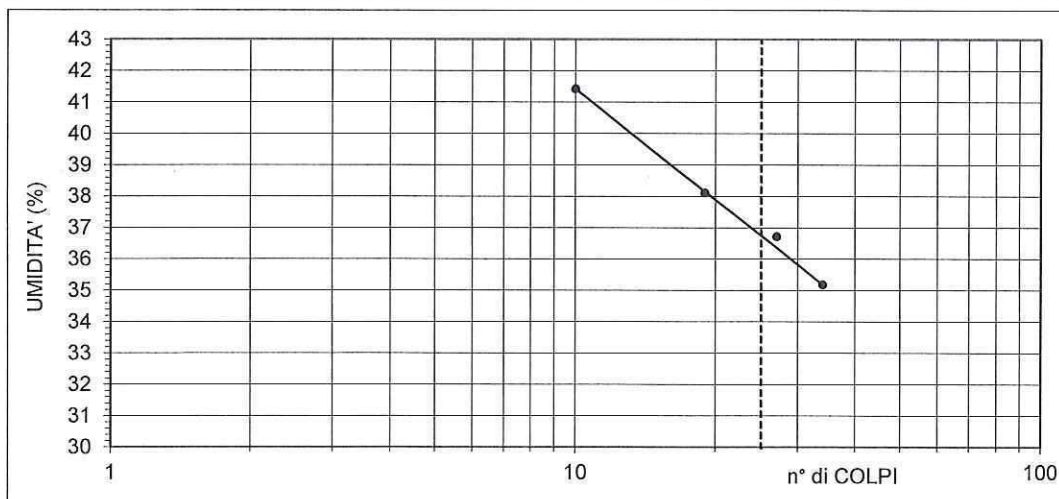
SETACCI # (ISO 565, ISO 3310)	VAGLI (mm)	Trattenuto (g)	Trattenuto (%)	Passante (%)
	125	0	0,0	100,0
	100	0	0,0	100,0
	75	0	0,0	100,0
	60	0	0,0	100,0
	40	0	0,0	100,0
	30	0	0,0	100,0
	25	0	0,0	100,0
	15	0	0,0	100,0
	10	0	0,0	100,0
	5	0	0,0	100,0
	2	0	0,0	100,0
	0,4	20	6,4	93,6
	0,18	26	8,3	85,3
	0,075	7	2,3	83,0
	<0,075	263	83,0	-----

Peso totale del campione (g): 317

**LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG (CNR UNI 10014)**

LIMITE LIQUIDO		1°	2°	3°	4°
COLPI	n°	10	19	27	34
Tara	g	2,19	2,50	2,48	2,46
Peso lordo umido	g	21,21	27,47	25,90	22,67
Peso lordo secco	g	15,64	20,58	19,61	17,41
Peso dell' acqua	g	5,57	6,89	6,29	5,26
Peso netto secco	g	13,45	18,08	17,13	14,95
UMIDITA'	%	41,4	38,1	36,7	35,2

LIMITE PLASTICO		1°	2°
Tara	g	2,24	2,25
P. lordo umido	g	3,50	3,61
P. lordo secco	g	3,28	3,37
P. acqua	g	0,22	0,24
P. netto secco	g	1,04	1,12
UMIDITA'	%	21,2	21,4

**LIMITI DI ATTERBERG:**  
(CNR UNI 10014)Limite di liquidità:  
LL: 36,8 %Limite di plasticità:  
LP: 21,3 %Indice di plasticità:  
IP: 15,5 %Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)





Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 105/5

36050 Monteviale (VI)

## CERTIFICATO DI PROVA n.

17CA19374

Data emissione certificato:

14.06.2017

Sigla campione:

S1C3

Descrizione campione:

Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

Provenienza campione:

Ex Centrale del Latte (VI)

Descrizione prova e metodo analitico:

Fustella prelevata tra la profondità di -12,20m e -12,80m dal p.c.  
Prova di consolidazione edometrica UNI EN ISO/TS 17892-5, ASTM D 2435,  
Raccomandazioni AGI '94

Strumentazione utilizzata:

Estrusore (N.Int.A-48), Bilancia (N.Int.S-140), edometro a fulcro fisso (N.Int.N-95),  
Forno (N.Int.S-166), vetreria ed attrezzi vari da laboratorio.

Prelievo effettuato/procedura campionamento:

Tecnici CSG Palladio Srl

Anomalie riscontrate:

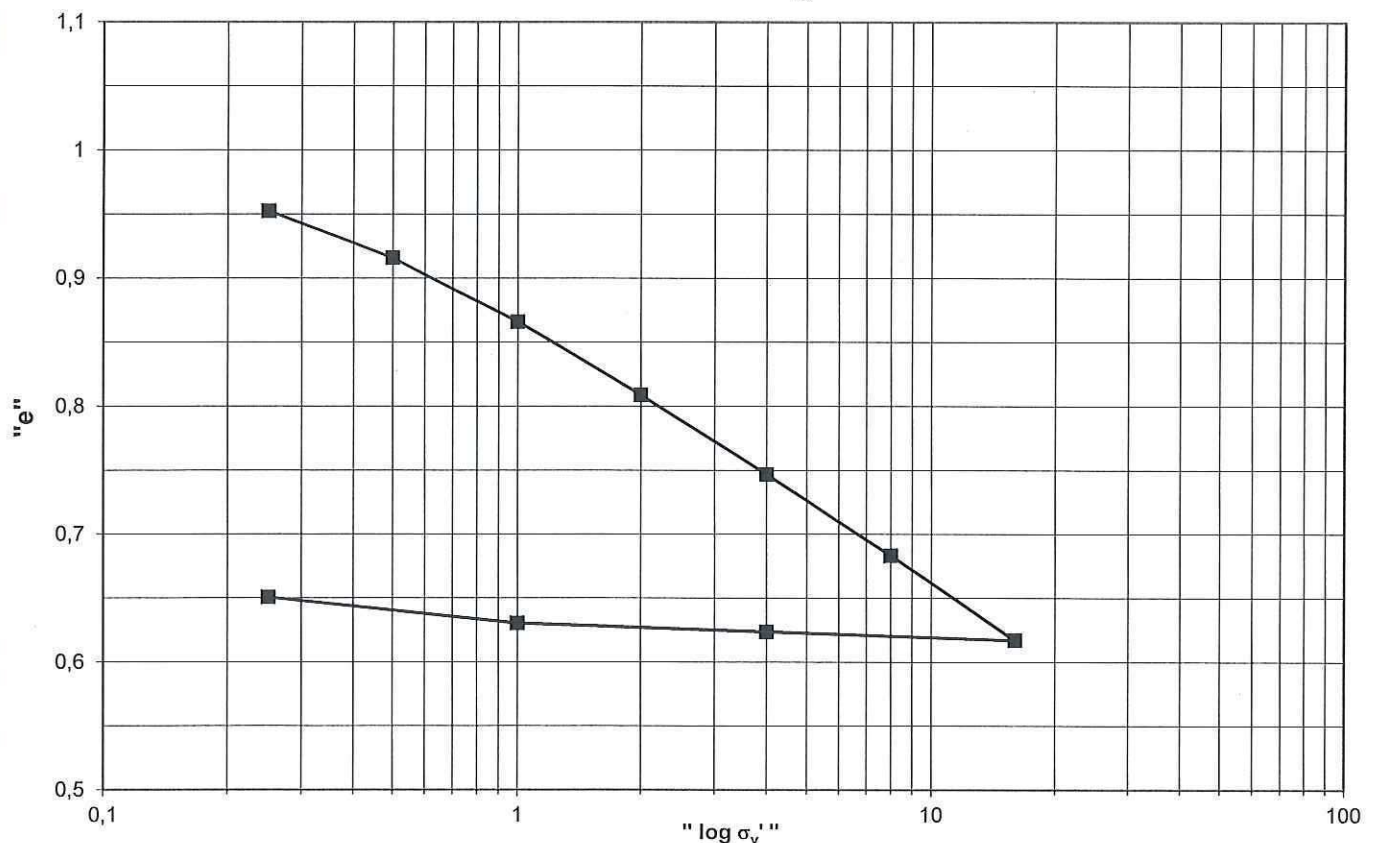
Nessuna

Accettazione campione: 06.06.2017

Inizio analisi: 06.06.2017

Fine analisi: 14.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

CURVA  $e - \log \sigma_v'$ Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Sciarano)





Certificato di prova n. 17CA19374 - continua dalla pagina precedente

CAMPIONE: S1C3

DESCRIZIONE CAMPIONE: campione della lunghezza totale di 62cm;  
intero in fustella, costituito da un livello:

A: Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

## CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE:

Massa volumica dei granuli:	Gs	=	2,690	(g/cm <sup>3</sup> )
Umidità naturale:	W <sub>N</sub>	=	31,5	%
Massa volumica con umidità naturale:	γ <sub>nat</sub>	=	1,795	(g/cm <sup>3</sup> )

## VALORI MEDI

		poCKET	torvane
	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	
62	ALTO		
50		0,5	0,2
40	B	0,7	0,4
30		0,7	0,5
20		0,7	0,5
10	A	1,0	0,3
0		1,1	0,3
cm	BASSO		

## Prelievo effettuato da e procedura di campionamento:

Prelievo effettuato da e procedura di campionamento:		INIZIALE	FINALE
h	Altezza: (mm)	20,00	16,03
φ	Diametro: (mm)	50,47	50,47
V	Volume: (cm <sup>3</sup> )	40,01	32,07
t	Tara fustella / ciottola: (g)	55,87	2,45
Pu	Peso lordo umido (g)	127,69	125,65
Pu	Peso netto umido: (g)	71,82	67,33
Ps	Peso lordo secco: (g)	---	111,67
Ps	Peso netto secco: (g)	---	53,35
γ <sub>n</sub>	Peso di volume umido: (g/cm <sup>3</sup> )	1,795	2,100
γ <sub>d</sub>	Peso di volume essiccato: (g/cm <sup>3</sup> )	1,333	1,664
W	Umidità: (%)	34,6	26,2
e <sub>0</sub>	Indice dei vuoti:	1,017	0,617
S <sub>0</sub>	Grado di saturazione: (%)	91,53	114,27

PRESSIONE	CEDIMENTI	DEFORMAZIONE	INDICE DEI	COEFF. DI	MODULO	COEFF. DI	COEFF. DI
P	δ H	ε	VUOTI	COMPRESSIBILITA'	EDOMETRICO	CONSOLIDAZIONE	PERMEABILITA'
(daN/cm <sup>2</sup> )	(mm)	(%)	e	mv	M	Cv	K
				(cm <sup>2</sup> /kg)	(daN/cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> /sec)	(cm/sec)
0,25	0,646	3,231	0,952	0,1292	7,738	2,863E-03	3,699E-07
0,5	1,008	5,041	0,916	0,0724	13,810	4,376E-03	3,169E-07
1	1,503	7,513	0,866	0,0494	20,229	3,653E-03	1,806E-07
2	2,069	10,346	0,809	0,0283	35,301	4,024E-03	1,140E-07
4	2,684	13,419	0,747	0,0154	65,076	3,898E-03	5,990E-08
8	3,312	16,560	0,683	0,0079	127,343	4,287E-03	3,367E-08
16	3,971	19,855	0,617	0,0041	242,792	4,475E-03	1,843E-08
4	3,906	19,530	0,623	---	---	---	---
1	3,839	19,195	0,630	---	---	---	---
0,25	3,637	18,185	0,651	---	---	---	---

Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Richiedente: Collareda Dott. Matteo

Via Biron, 102/5

36050 Monteviale (VI)

CERTIFICATO DI PROVA n.

17CA19374

Data emissione certificato:

15.06.2017

Sigla campione:

S1C3

Descrizione campione:

Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

Provenienza campione:

Ex Centrale del Latte (VI)

Descrizione prova e metodo analitico:

Fustella prelevata tra la profondità di -12,20m e -12,80m dal p.c.

Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande AGI '94, UNI CEN ISO/TS 17892-10, ASTM D 3080

Strumentazione utilizzata:

Macchina Taglio (N.Int.N-99), Cella di carico 5kN (N.Int.S-100), Geotronic (N.Int.N-119), Trasduttore (N.Int.N-263), Geotronic (N.Int.N-259), Trasduttore (N.Int.N-264), Geotronic (N.Int.N-260), banchi di consolidazione (N.Int.N-287), (N.Int.N-288), (N.Int.N-289), attrezzi vari da laboratorio.

Prelievo effettuato/procedura campionamento:

A cura del Committente

Anomalie riscontrate:

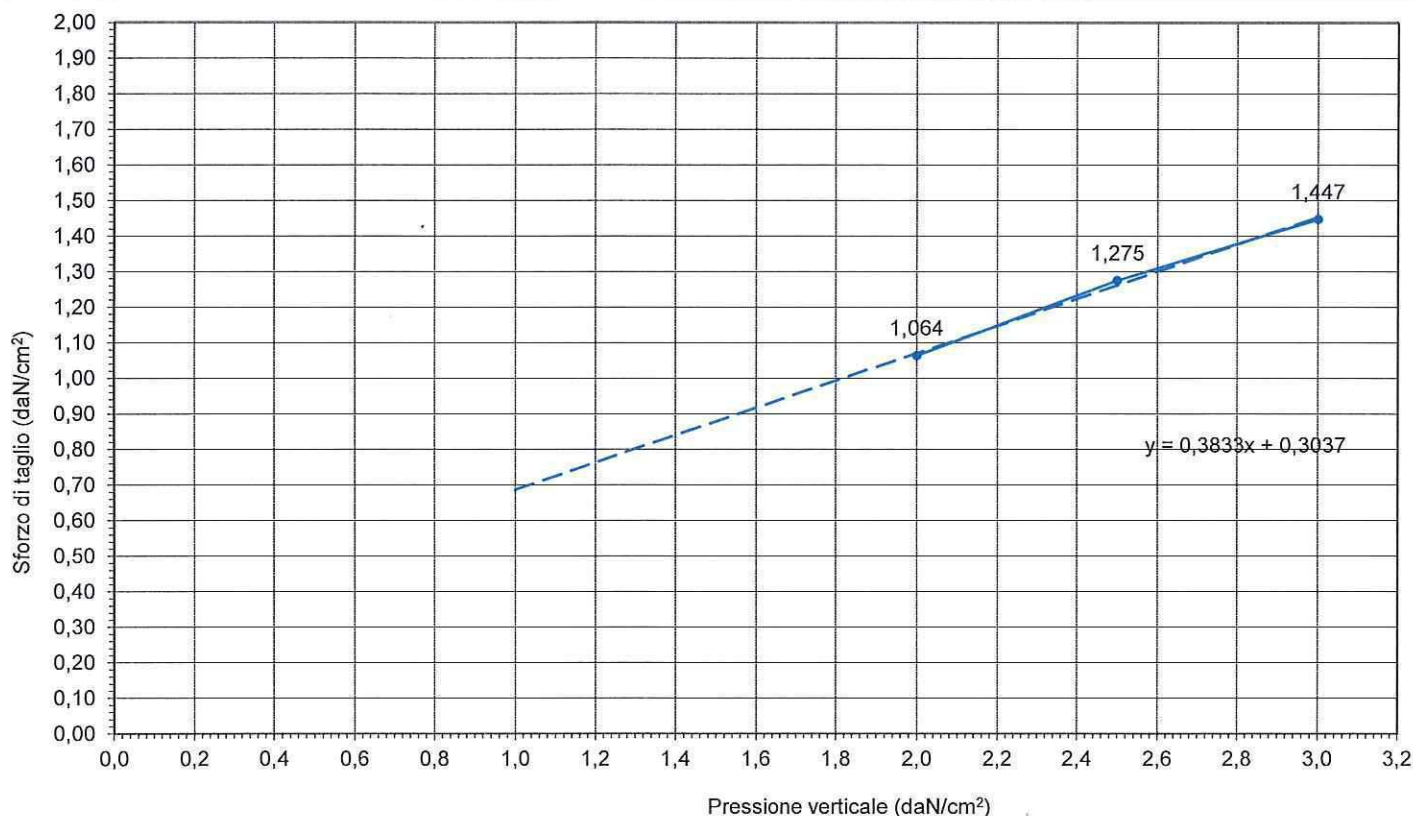
Nessuna

Arrivo in laboratorio: 06.06.2017

Inizio prove: 06.06.2017

Fine prove: 15.06.2017

Il presente certificato di prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove. È vietata la riproduzione parziale del certificato di prova senza l'approvazione di C.S.G. Palladio S.r.l. l'eventuale utilizzo dei referti analitici in procedimenti giudiziari e la testimonianza richiesta saranno soggetti a rimborso spese come da clausola evidenziata in offerta. I campioni vengono conservati presso C.S.G. Palladio S.r.l. per 6 mesi salvo diverse prescrizioni.

Angolo di attrito  
 $\phi = 21$  gradiCoesione efficace:  
 $c' = 0,30$  (daN/cm²)Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



Rapporto di prova n. 17CA19374 – continua dalla pagina precedente.

CAMPIONE:

S1C3

DESCRIZIONE CAMPIONE:

campione della lunghezza totale di 62cm;  
intero in fustella, costituito da un livello:

A: Argilla limosa con elementi vegetali carboniosi

## CARATTERISTICHE FISICHE DEL CAMPIONE:

Umidità naturale media:

 $W_N = 29,5 \%$ 

Massa volumica media con umidità naturale:

 $\gamma_n = 1,746 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 

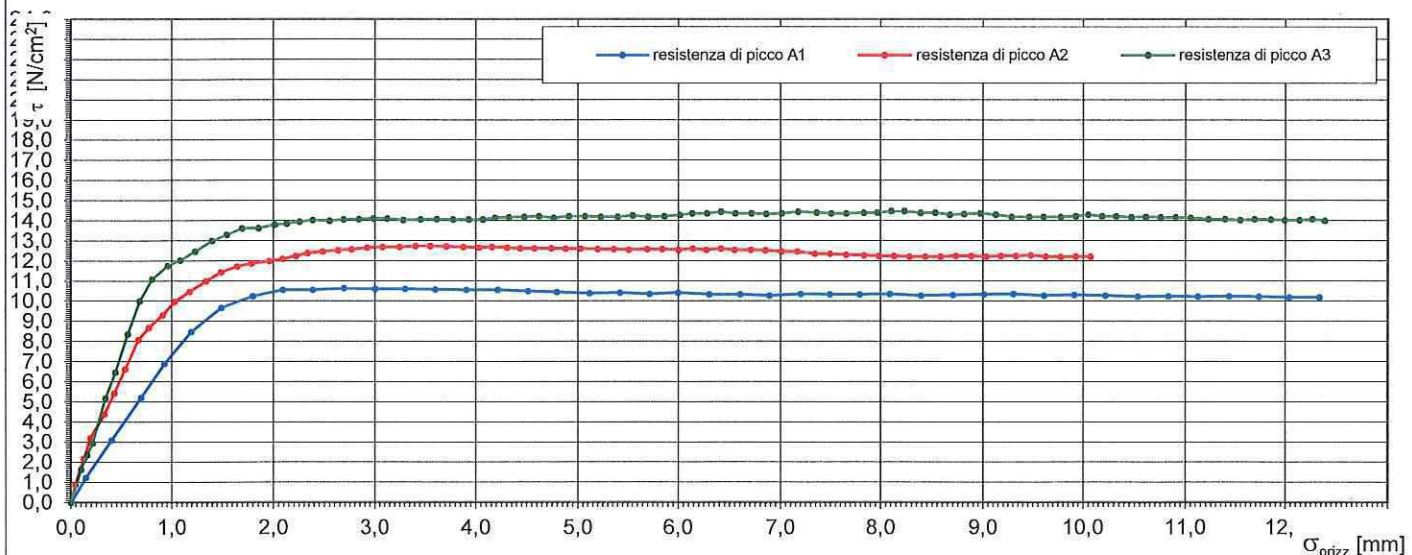
VALORI MEDI

pocket torvane

62	ALTO	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>
50		0,5	0,2
40	<b>B</b>	0,7	0,4
30		0,7	0,5
20		0,7	0,5
10	<b>A</b>	1,0	0,3
0		1,1	0,3
cm	BASSO		

PROVINI:		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
CONSOLIDAZIONE PROVINI:	(daN/cm <sup>2</sup> )	2,0	2,5	3,0
As Area sezione quadrata	(cm <sup>2</sup> )	36,0	36,0	36,0
h <sub>0</sub> Altezza iniziale:	(cm)	2,20	2,20	2,20
V <sub>0</sub> Volume iniziale:	(cm <sup>3</sup> )	79,20	79,20	79,20
t Tara fustella alluminio:	(g)	98,61	98,61	98,61
P <sub>u</sub> Peso lordo umido	(g)	236,14	240,42	234,12
$\gamma_n$ Peso di volume umido:	(g/cm <sup>3</sup> )	1,736	1,791	1,711
$\Delta h$ consolidazione massima	(cm)	0,092	0,154	0,212
DOPO CONSOLIDAZIONE:				
h <sub>1</sub> Altezza dopo consolidazione:	(cm)	2,108	2,046	1,988
V <sub>1</sub> Volume dopo consolidazione:	(cm <sup>3</sup> )	75,88	73,66	71,57
T Tara bacinella:	(g)	121,67	122,45	125,29
Plu Peso lordo umido	(g)	257,86	258,00	259,73
Pls Peso lordo secco	(g)	224,89	225,29	227,34
$\gamma_s$ Peso di volume secco:	(g/cm <sup>3</sup> )	1,360	1,396	1,426
U <sub>1</sub> Umidità dopo consolidazione	(%)	31,9	31,8	31,7
Q Carico massimo di rottura	(daN/cm <sup>2</sup> )	1,064	1,275	1,447

Velocità in fase di rottura:

 $v = 0,006 \text{ (mm/min)}$ Sperimentatore  
(Geom. Mirko Caldonazzo)Il Direttore del Laboratorio  
(Dr. Massimiliano Scarano)



---

*PROVE PENETROMETRICHE STATICHE:  
GRAFICI E VALORI*

---



---

# PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Comune di Vicenza Cantiere: Ex Centrale del Latte Località: Via Giacomo Medici, Vicenza (VI)	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

## Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

## PROVA Nr.1

Committente: Comune di Vicenza

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 31/05/2017

Profondità prova: 17.00 mt

Località: Via Giacomo Medici

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.60	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	
0.80	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
1.00	12.00	15.0	12.0	0.467	25.696	3.9
1.20	15.00	22.0	15.0	0.6	25.0	4.0
1.40	31.00	40.0	31.0	0.2	155.0	0.6
1.60	12.00	15.0	12.0	0.467	25.696	3.9
1.80	19.00	26.0	19.0	0.467	40.685	2.5
2.00	14.00	21.0	14.0	0.467	29.979	3.3
2.20	18.00	25.0	18.0	0.2	90.0	1.1
2.40	10.00	13.0	10.0	0.2	50.0	2.0
2.60	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
2.80	10.00	13.0	10.0	0.267	37.453	2.7
3.00	13.00	17.0	13.0	0.467	27.837	3.6
3.20	25.00	32.0	25.0	0.867	28.835	3.5
3.40	29.00	42.0	29.0	1.133	25.596	3.9
3.60	42.00	59.0	42.0	0.733	57.299	1.7
3.80	29.00	40.0	29.0	1.133	25.596	3.9
4.00	41.00	58.0	41.0	0.933	43.944	2.3
4.20	34.00	48.0	34.0	0.867	39.216	2.6
4.40	45.00	58.0	45.0	0.933	48.232	2.1
4.60	66.00	80.0	66.0	1.0	66.0	1.5
4.80	44.00	59.0	44.0	0.2	220.0	0.5
5.00	9.00	12.0	9.0	0.333	27.027	3.7
5.20	11.00	16.0	11.0	0.133	82.707	1.2
5.40	5.00	7.0	5.0	1.133	4.413	22.7
5.60	33.00	50.0	33.0	0.733	45.02	2.2
5.80	49.00	60.0	49.0	1.0	49.0	2.0
6.00	42.00	57.0	42.0	1.0	42.0	2.4
6.20	45.00	60.0	45.0	0.6	75.0	1.3
6.40	49.00	58.0	49.0	1.133	43.248	2.3
6.60	75.00	92.0	75.0	0.867	86.505	1.2
6.80	56.00	69.0	56.0	1.667	33.593	3.0
7.00	133.00	158.0	133.0	1.133	117.387	0.9
7.20	128.00	145.0	128.0	1.0	128.0	0.8
7.40	105.00	120.0	105.0	0.733	143.247	0.7
7.60	29.00	40.0	29.0	0.333	87.087	1.1
7.80	11.00	16.0	11.0	0.2	55.0	1.8
8.00	9.00	12.0	9.0	0.2	45.0	2.2
8.20	9.00	12.0	9.0	0.2	45.0	2.2
8.40	8.00	11.0	8.0	0.2	40.0	2.5
8.60	10.00	13.0	10.0	0.467	21.413	4.7
8.80	25.00	32.0	25.0	0.133	187.97	0.5
9.00	6.00	8.0	6.0	0.2	30.0	3.3
9.20	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
9.40	12.00	15.0	12.0	0.333	36.036	2.8
9.60	19.00	24.0	19.0	1.0	19.0	5.3
9.80	38.00	53.0	38.0 0.6		63.333	1.6
10.00	36.00	45.0	36.0	0.533	67.542	1.5
10.20	28.00	36.0	28.0	1.0	28.0	3.6
10.40	36.00	51.0	36.0	0.733	49.113	2.0
10.60	42.00	53.0	42.0	0.467	89.936	1.1
10.80	19.00	26.0	19.0	0.133	142.857	0.7
11.00	3.00	5.0	3.0	0.133	22.556	4.4
11.20	8.00	10.0	8.0	0.267	29.963	3.3





11.40	12.00	16.0	12.0	0.2	60.0	1.7
11.60	11.00	14.0	11.0	0.133	82.707	1.2
11.80	7.00	9.0	7.0	0.267	26.217	3.8
12.00	10.00	14.0	10.0	0.2	50.0	2.0
12.20	8.00	11.0	8.0	0.2	40.0	2.5
12.40	7.00	10.0	7.0	0.133	52.632	1.9
12.60	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
12.80	4.00	6.0	4.0	0.133	30.075	3.3
13.00	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
13.20	5.00	7.0	5.0	0.2	25.0	4.0
13.40	6.00	9.0	6.0	0.133	45.113	2.2
13.60	5.00	7.0	5.0	0.333	15.015	6.7
13.80	16.00	21.0	16.0	0.867	18.454	5.4
14.00	42.00	55.0	42.0	0.6	70.0	1.4
14.20	21.00	30.0	21.0	1.0	21.0	4.8
14.40	56.00	71.0	56.0	0.6	93.333	1.1
14.60	28.00	37.0	28.0	0.733	38.199	2.6
14.80	29.00	40.0	29.0	0.133	218.045	0.5
15.00	5.00	7.0	5.0	0.2	25.0	4.0
15.20	7.00	10.0	7.0	0.467	14.989	6.7
15.40	19.00	26.0	19.0	0.467	40.685	2.5
15.60	18.00	25.0	18.0	0.2	90.0	1.1
15.80	9.00	12.0	9.0	0.733	12.278	8.1
16.00	49.00	60.0	49.0	0.867	56.517	1.8
16.20	75.00	88.0	75.0	1.133	66.196	1.5
16.40	105.00	122.0	105.0	1.0	105.0	1.0
16.60	100.00	115.0	100.0	1.133	88.261	1.1
16.80	85.00	102.0	85.0	1.667	50.99	2.0
17.00	111.00	136.0	111.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	0.0	0.067	0.0		Stima non eseguibile
0.80	7.0	0.2	1.8	Coesivo	Argille limose - Argille
1.20	13.5	0.534	2.0	Coesivo	Argille
1.40	31.0	0.2	2.0	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
1.60	12.0	0.467	2.0	Coesivo	Argille
1.80	19.0	0.467	2.0	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
2.00	14.0	0.467	1.9	Coesivo	Argille limose - Argille
2.20	18.0	0.2	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
2.40	10.0	0.2	1.9	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
3.00	10.0	0.311	1.8	Coesivo	Argille limose - Argille
3.20	25.0	0.867	2.0	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
3.40	29.0	1.133	2.0	Coesivo	Argille limose - Argille
3.60	42.0	0.733	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
3.80	29.0	1.133	2.0	Coesivo	Argille limose - Argille
4.40	40.0	0.911	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
4.60	66.0	1.0	2.2	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
4.80	44.0	0.2	2.1	Incoerente	Sabbie - Sabbie limose
5.00	9.0	0.333	2.0	Coesivo	Argille
5.20	11.0	0.133	1.9	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
5.40	5.0	1.133	1.9	Coesivo	Materiali organici e torbosi
6.00	41.333	0.911	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
6.20	45.0	0.6	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
6.40	49.0	1.133	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
6.60	75.0	0.867	2.2	Incoerente	Sabbie - Sabbie limose
6.80	56.0	1.667	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
7.00	133.0	1.133	2.3	Incoerente	Sabbie
7.40	116.5	0.867	2.3	Incoerente	Sabbie - Sabbie limose
7.60	29.0	0.333	2.0	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
7.80	11.0	0.2	1.9	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
8.40	8.667	0.2	1.8	Coesivo	Argille limose - Argille
8.60	10.0	0.467	2.0	Coesivo	Argille
8.80	25.0	0.133	2.0	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
9.00	6.0	0.2	2.0	Coesivo	Argille
9.40	9.5	0.267	1.8	Coesivo	Argille limose - Argille



9.60	19.0	1.0	2.0	Coesivo	Argille
9.80	38.0	0.6	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
10.00	36.0	0.533	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
10.20	28.0	1.0	2.0	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
10.40	36.0	0.733	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
10.60	42.0	0.467	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
10.80	19.0	0.133	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
11.20	5.5	0.2	2.0	Coesivo	Argille
11.60	11.5	0.167	1.8	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
11.80	7.0	0.267	2.0	Coesivo	Argille
12.00	10.0	0.2	1.8	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
12.60	7.0	0.155	1.7	Coesivo	Argille limose - Argille
13.20	4.667	0.155	2.0	Coesivo	Argille
13.40	6.0	0.133	1.7	Coesivo	Argille limose - Argille
13.80	10.5	0.6	2.0	Coesivo	Argille
14.00	42.0	0.6	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
14.20	21.0	1.0	2.0	Coesivo	Argille
14.40	56.0	0.6	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
14.60	28.0	0.733	2.0	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
14.80	29.0	0.133	2.0	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
15.20	6.0	0.334	2.0	Coesivo	Argille
15.40	19.0	0.467	1.9	Coesivo	Limi argillosi e Argille limose
15.60	18.0	0.2	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi sabbiosi e Limi argillosi
15.80	9.0	0.733	2.0	Coesivo	Argille
16.20	62.0	1.0	2.2	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi
16.60	102.5	1.067	2.2	Incoerente	Sabbie - Sabbie limose
16.80	85.0	1.667	2.2	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose - Limi argillosi

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.60												
2	0.80	C	0.4	261.8	35.2	91.9	>9	1.8	1.9	--	--	--	107.45
3	1.20	C	0.7	503.4	48.1	137.3	>9	1.9	2.0	--	--	--	152.27
4	1.40	CI	1.6	1157.4	62.0	228.2	0.8	2.0	2.1	79.8	30.9	77.5	226.05
5	1.60	C	0.6	443.4	46.8	127.8	>9	1.9	2.0	--	--	--	170.42
6	1.80	C	1.0	704.4	44.2	169.2	>9	2.0	2.0	--	--	--	191.35
7	2.00	C	0.7	515.4	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	185.92
8	2.20	CI	0.9	664.0	45.9	163.7	2.1	2.0	2.0	42.5	25.1	45.0	217.08
9	2.40	C	0.5	362.5	43.5	114.3	4.3	1.9	1.9	--	--	--	182.54
10	3.00	C	0.5	359.8	43.5	114.3	5.5	1.8	1.9	--	--	--	188.41
11	3.20	C	1.3	919.5	50.0	200.1	>9	2.0	2.1	--	--	--	228.41
12	3.40	C	1.5	1068.0	58.0	219.1	>9	2.0	2.1	--	--	--	237.65
13	3.60	CI	2.1	1554.0	84.0	274.8	1.6	2.1	2.2	56.1	35.9	105.0	291.02
14	3.80	C	1.5	1064.9	58.0	219.1	>9	2.0	2.1	--	--	--	243.26
15	4.40	CI	2.0	1474.3	80.0	266.7	2.1	2.1	2.2	49.6	35.0	100.0	294.71
16	4.60	CI	3.3	2446.1	132.0	362.2	1.5	2.2	2.3	64.0	45.0	165.0	339.09
17	4.80	I	--	--	132.0	282.7	2.5	1.9	2.2	48.8	36.8	110.0	308.36
18	5.00	C	0.5	305.5	41.2	107.2	2.7	1.8	1.9	--	--	--	208.12
19	5.20	C	0.6	379.0	45.4	121.2	1.0	1.9	1.9	--	--	--	217.36
20	5.40	C	0.3	152.6	27.4	74.9	8.6	1.7	1.8	--	--	--	189.71



21	6.00	CI	2.1	1512.0	82.7	272.1	<0.5	2.1	2.2	41.3	35.6	103.3	311.98
22	6.20	CI	2.3	1646.4	90.0	286.6	<0.5	2.1	2.2	42.3	37.2	112.5	321.89
23	6.40	CI	2.5	1794.8	98.0	301.9	<0.5	2.1	2.2	44.4	39.0	122.5	330.38
24	6.60	I	--	--	112.5	391.6	1.9	1.9	2.2	58.1	45.0	187.5	369.34
25	6.80	CI	2.8	2054.1	112.0	327.6	<0.5	2.1	2.2	47.2	42.1	140.0	344.75
26	7.00	I	--	--	199.5	555.7	1.3	1.9	2.2	76.1	45.0	332.5	430.24
27	7.40	I	--	--	174.8	512.5	1.4	1.9	2.2	70.3	45.0	291.3	418.92
28	7.60	CI	1.5	1034.9	58.0	219.1	<0.5	2.0	2.1	21.3	30.0	72.5	297.27
29	7.80	C	0.6	358.4	45.4	121.2	0.9	1.8	1.9	--	--	--	234.65
30	8.40	C	0.4	268.2	40.3	104.8	0.9	1.8	1.9	--	--	--	226.52
31	8.60	C	0.5	315.4	43.5	114.3	2.0	1.8	1.9	--	--	--	234.24
32	8.80	CI	1.3	876.4	50.0	200.1	<0.5	2.0	2.1	12.6	28.2	62.5	291.77
33	9.00	C	0.3	162.4	31.5	83.7	0.8	1.7	1.8	--	--	--	215.23
34	9.40	C	0.5	291.5	42.4	110.8	1.0	1.8	1.9	--	--	--	235.13
35	9.60	C	1.0	645.7	44.2	169.2	3.9	1.9	2.0	--	--	--	267.92
36	9.80	CI	1.9	1356.6	76.0	258.5	<0.5	2.1	2.2	24.3	34.1	95.0	328.65
37	10.00	CI	1.8	1280.1	72.0	250.1	<0.5	2.1	2.1	21.9	33.2	90.0	325.14
38	10.20	C	1.4	978.5	56.0	214.5	3.6	2.0	2.1	--	--	--	290.50
39	10.40	CI	1.8	1277.0	72.0	250.1	<0.5	2.1	2.1	20.9	33.2	90.0	326.89
40	10.60	CI	2.1	1500.4	84.0	274.8	<0.5	2.1	2.2	25.7	35.9	105.0	340.69
41	10.80	CI	1.0	636.4	44.2	169.2	<0.5	1.9	2.0	5.0	25.5	47.5	279.88
42	11.20	C	0.3	128.0	29.5	79.3	0.6	1.7	1.8	--	--	--	219.55
43	11.60	C	0.6	350.1	46.2	124.5	0.5	1.8	1.9	--	--	--	252.34
44	11.80	C	0.4	179.3	35.2	91.9	0.8	1.7	1.8	--	--	--	231.60
45	12.00	C	0.5	290.3	43.5	114.3	0.6	1.8	1.9	--	--	--	247.72
46	12.60	C	0.4	175.2	35.2	91.9	<0.5	1.7	1.8	--	--	--	233.35
47	13.20	C	0.2	83.6	25.9	71.8	<0.5	1.6	1.7	--	--	--	218.45
48	13.40	C	0.3	130.7	31.5	83.7	<0.5	1.7	1.8	--	--	--	229.76
49	13.80	C	0.5	297.3	44.5	117.8	1.6	1.8	1.9	--	--	--	255.16
50	14.00	CI	2.1	1476.3	84.0	274.8	<0.5	2.1	2.2	18.9	35.9	105.0	352.80
51	14.20	C	1.1	687.2	42.0	179.9	2.6	2.0	2.0	--	--	--	291.06
52	14.40	CI	2.8	1998.2	112.0	327.6	<0.5	2.1	2.2	28.1	42.1	140.0	380.66
53	14.60	C	1.4	946.6	56.0	214.5	1.8	2.0	2.1	--	--	--	308.10
54	14.80	CI	1.5	982.6	58.0	219.1	<0.5	2.0	2.1	5.0	30.0	72.5	323.89
55	15.20	C	0.3	117.9	31.5	83.7	0.8	1.7	1.7	--	--	--	234.46
56	15.40	C	1.0	603.2	44.2	169.2	1.1	1.9	2.0	--	--	--	289.80
57	15.60	CI	0.9	564.3	45.9	163.7	<0.5	1.9	2.0	5.0	25.1	45.0	289.31
58	15.80	C	0.5	225.3	41.2	107.2	1.7	1.8	1.9	--	--	--	254.20
59	16.20	CI	3.1	2210.4	124.0	348.6	<0.5	2.2	2.2	28.7	44.8	155.0	396.31
60	16.60	I	--	--	153.8	473.9	<0.5	1.9	2.2	45.3	45.0	256.3	451.20
61	16.80	CI	4.3	3067.1	170.0	422.7	<0.5	2.2	2.3	38.4	45.0	212.5	431.60

## PROVA Nr.2

Committente: Comune di Vicenza  
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)  
 Prova eseguita in data: 31/05/2017  
 Profondità prova: 19.00 mt  
 Località: Via Giacomo Medici

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.40	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	
0.60	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
0.80	8.00	11.0	8.0	0.467	17.131	5.8
1.00	14.00	21.0	14.0	0.333	42.042	2.4
1.20	11.00	16.0	11.0	0.4	27.5	3.6
1.40	15.00	21.0	15.0	0.467	32.12	3.1
1.60	20.00	27.0	20.0	0.333	60.06	1.7
1.80	14.00	19.0	14.0	0.467	29.979	3.3
2.00	21.00	28.0	21.0	0.2	105.0	1.0
2.20	10.00	13.0	10.0	0.333	30.03	3.3
2.40	14.00	19.0	14.0	1.0	14.0	7.1
2.60	44.00	59.0	44.0	0.733	60.027	1.7





2.80	41.00	52.0	41.0	1.133	36.187	2.8
3.00	41.00	58.0	41.0	0.467	87.794	1.1
3.20	43.00	50.0	43.0	0.733	58.663	1.7
3.40	53.00	64.0	53.0	0.467	113.49	0.9
3.60	35.00	42.0	35.0	0.467	74.946	1.3
3.80	30.00	37.0	30.0	0.467	64.24	1.6
4.00	34.00	41.0	34.0	1.133	30.009	3.3
4.20	102.00	119.0	102.0	0.867	117.647	0.9
4.40	71.00	84.0	71.0	0.733	96.862	1.0
4.60	35.00	46.0	35.0	0.133	263.158	0.4
4.80	4.00	6.0	4.0	0.333	12.012	8.3
5.00	10.00	15.0	10.0	0.133	75.188	1.3
5.20	3.00	5.0	3.0	0.333	9.009	11.1
5.40	17.00	22.0	17.0	0.133	127.82	0.8
5.60	4.00	6.0	4.0	0.867	4.614	21.7
5.80	40.00	53.0	40.0	0.867	46.136	2.2
6.00	51.00	64.0	51.0	1.267	40.253	2.5
6.20	108.00	127.0	108.0	1.533	70.45	1.4
6.40	131.00	154.0	131.0	1.267	103.394	1.0
6.60	121.00	140.0	121.0	1.133	106.796	0.9
6.80	93.00	110.0	93.0	0.6	155.0	0.6
7.00	73.00	82.0	73.0 0.6		121.667	0.8
7.20	84.00	93.0	84.0	0.467	179.872	0.6
7.40	15.00	22.0	15.0	0.2	75.0	1.3
7.60	7.00	10.0	7.0	0.133	52.632	1.9
7.80	8.00	10.0	8.0	0.2	40.0	2.5
8.00	8.00	11.0	8.0	0.2	40.0	2.5
8.20	8.00	11.0	8.0	0.133	60.15	1.7
8.40	7.00	9.0	7.0	0.333	21.021	4.8
8.60	10.00	15.0	10.0	0.333	30.03	3.3
8.80	12.00	17.0	12.0	0.2	60.0	1.7
9.00	8.00	11.0	8.0	0.333	24.024	4.2
9.20	26.00	31.0	26.0	0.867	29.988	3.3
9.40	37.00	50.0	37.0 0.6		61.667	1.6
9.60	39.00	48.0	39.0	0.467	83.512	1.2
9.80	29.00	36.0	29.0	0.467	62.099	1.6
10.00	28.00	35.0	28.0	0.533	52.533	1.9
10.20	29.00	37.0	29.0	0.467	62.099	1.6
10.40	18.00	25.0	18.0	0.467	38.544	2.6
10.60	15.00	22.0	15.0	0.2	75.0	1.3
10.80	7.00	10.0	7.0	0.067	104.478	1.0
11.00	2.00	3.0	2.0	0.133	15.038	6.7
11.20	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
11.40	4.00	6.0	4.0	0.133	30.075	3.3
11.60	9.00	11.0	9.0	0.133	67.669	1.5
11.80	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
12.00	7.00	9.0	7.0	0.2	35.0	2.9
12.20	8.00	11.0	8.0	0.2	40.0	2.5
12.40	6.00	9.0	6.0	0.133	45.113	2.2
12.60	4.00	6.0	4.0	0.133	30.075	3.3
12.80	5.00	7.0	5.0	0.2	25.0	4.0
13.00	11.00	14.0	11.0	0.2	55.0	1.8
13.20	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
13.40	9.00	12.0	9.0	0.733	12.278	8.1
13.60	27.00	38.0	27.0	0.733	36.835	2.7
13.80	25.00	36.0	25.0	0.867	28.835	3.5
14.00	84.00	97.0	84.0	0.533	157.598	0.6
14.20	29.00	37.0	29.0	0.467	62.099	1.6
14.40	17.00	24.0	17.0	0.333	51.051	2.0
14.60	13.00	18.0	13.0	0.133	97.744	1.0
14.80	4.00	6.0	4.0	0.133	30.075	3.3
15.00	3.00	5.0	3.0	0.2	15.0	6.7
15.20	8.00	11.0	8.0	0.267	29.963	3.3
15.40	11.00	15.0	11.0	0.2	55.0	1.8
15.60	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
15.80	7.00	10.0	7.0	0.333	21.021	4.8
16.00	16.00	21.0	16.0	0.733	21.828	4.6



16.20	35.00	46.0	35.0	0.733	47.749	2.1
16.40	61.00	72.0	61.0	0.4	152.5	0.7
16.60	26.00	32.0	26.0	0.4	65.0	1.5
16.80	23.00	29.0	23.0	0.867	26.528	3.8
17.00	74.00	87.0	74.0	1.0	74.0	1.4
17.20	59.00	74.0	59.0	0.267	220.974	0.5
17.40	13.00	17.0	13.0	0.2	65.0	1.5
17.60	7.00	10.0	7.0	0.267	26.217	3.8
17.80	13.00	17.0	13.0	0.733	17.735	5.6
18.00	25.00	36.0	25.0	0.467	53.533	1.9
18.20	49.00	56.0	49.0	0.733	66.849	1.5
18.40	80.00	91.0	80.0	0.6	133.333	0.8
18.60	33.00	42.0	33.0	0.333	99.099	1.0
18.80	48.00	53.0	48.0	0.8	60.0	1.7
19.00	83.00	95.0	83.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.1	0.0		Stima non eseguibile
0.60	7.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
0.80	8.0	0.467	1.8	Coesivo	Argille
1.00	14.0	0.333	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
1.40	13.0	0.434	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
1.60	20.0	0.333	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
1.80	14.0	0.467	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.00	21.0	0.2	2.0	Incoerente	Sabbie limose
2.20	10.0	0.333	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.40	14.0	1.0	1.9	Coesivo	Argille
2.60	44.0	0.733	2.1	Incoerente	Sabbie limose
2.80	41.0	1.133	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
3.80	40.4	0.52	2.1	Incoerente	Sabbie limose
4.00	34.0	1.133	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.40	86.5	0.8	2.2	Incoerente	Sabbie
4.60	35.0	0.133	2.1	Incoerente	Sabbie limose
4.80	4.0	0.333	1.7	Coesivo	Torbe
5.00	10.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
5.20	3.0	0.333	1.6	Coesivo	Torbe
5.40	17.0	0.133	1.9	Incoerente	Sabbie limose
5.60	4.0	0.867	1.6	Coesivo	Torbe
5.80	40.0	0.867	2.1	Incoerente	Sabbie limose
6.00	51.0	1.267	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
7.20	101.667	0.933	2.2	Incoerente	Sabbie
7.60	11.0	0.167	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
8.00	8.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
8.20	8.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
8.40	7.0	0.333	1.8	Coesivo	Argille
8.60	10.0	0.333	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
8.80	12.0	0.2	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
9.00	8.0	0.333	1.8	Coesivo	Argille
9.20	26.0	0.867	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
9.80	35.0	0.511	2.1	Incoerente	Sabbie limose
10.00	28.0	0.533	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
10.20	29.0	0.467	2.0	Incoerente	Sabbie limose
10.80	13.333	0.245	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
11.00	2.0	0.133	1.7	Coesivo	Torbe
11.20	6.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
11.40	4.0	0.133	1.6	Coesivo	Argille
11.60	9.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
12.40	6.5	0.167	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
12.80	4.5	0.167	1.6	Coesivo	Argille
13.00	11.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
13.20	7.0	0.2	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
13.40	9.0	0.733	1.8	Coesivo	Argille
13.60	27.0	0.733	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
13.80	25.0	0.867	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
14.00	84.0	0.533	2.2	Incoerente	Sabbie



14.20	29.0	0.467	2.0	Incoerente	Sabbie limose
14.60	15.0	0.233	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
14.80	4.0	0.133	1.5	Coesivo	Argille
15.00	3.0	0.2	1.1	Coesivo	Torbe
15.20	8.0	0.267	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
15.40	11.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
15.60	7.0	0.2	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
15.80	7.0	0.333	1.7	Coesivo	Argille
16.00	16.0	0.733	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
16.20	35.0	0.733	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
16.40	61.0	0.4	2.2	Incoerente	Sabbie
16.60	26.0	0.4	2.0	Incoerente	Sabbie limose
16.80	23.0	0.867	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
17.00	74.0	1.0	2.2	Incoerente	Sabbie limose
17.20	59.0	0.267	2.1	Incoerente	Sabbie
17.40	13.0	0.2	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
17.60	7.0	0.267	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
17.80	13.0	0.733	1.8	Coesivo	Argille
18.00	25.0	0.467	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
18.20	49.0	0.733	2.1	Incoerente	Sabbie limose
18.40	80.0	0.6	2.2	Incoerente	Sabbie
18.80	40.5	0.567	2.1	Incoerente	Sabbie limose

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo, I: Incoerente, CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40												
2	0.60	CI	0.4	261.8	35.2	91.9	0.6	1.8	1.9	77.3	20.1	17.5	120.96
3	0.80	C	0.4	298.0	38.4	99.8	>9	1.8	1.9	--	--	--	131.16
4	1.00	CI	0.7	521.6	48.3	140.4	1.0	1.9	2.0	62.1	23.3	35.0	176.12
5	1.40	CI	0.7	481.9	47.8	134.2	1.5	1.9	2.0	47.9	22.8	32.5	183.67
6	1.60	CI	1.0	742.3	42.0	174.6	1.4	2.0	2.1	54.7	26.0	50.0	213.24
7	1.80	CI	0.7	515.8	48.3	140.4	2.5	1.9	2.0	38.3	23.3	35.0	199.24
8	2.00	I	--	--	105.0	179.9	1.7	1.9	2.2	48.7	26.4	52.5	224.68
9	2.20	CI	0.5	362.9	43.5	114.3	<0.5	1.9	1.9	20.1	21.5	25.0	189.44
10	2.40	C	0.7	511.5	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	196.35
11	2.60	I	--	--	132.0	282.7	1.2	1.9	2.2	65.9	36.8	110.0	282.21
12	2.80	CI	2.1	1521.0	82.0	270.8	1.4	2.1	2.2	61.1	35.4	102.5	280.73
13	3.80	I	--	--	121.2	268.3	1.7	1.9	2.2	54.5	35.1	101.0	288.58
14	4.00	CI	1.7	1249.0	68.0	241.5	<0.5	2.1	2.1	43.8	32.3	85.0	283.34
15	4.40	I	--	--	129.8	427.2	1.2	1.9	2.2	73.7	45.0	216.3	362.20
16	4.60	I	--	--	105.0	245.8	<0.5	1.9	2.2	40.6	32.7	87.5	291.59
17	4.80	C	0.2	117.7	22.8	65.3	2.7	1.7	1.7	--	--	--	179.95
18	5.00	CI	0.5	341.4	43.5	114.3	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.5	25.0	215.18
19	5.20	C	0.2	77.6	17.8	54.8	2.5	1.6	1.7	--	--	--	172.93
20	5.40	I	--	--	85.0	158.1	<0.5	1.9	2.2	12.0	24.6	42.5	248.12
21	5.60	C	0.2	112.5	22.8	65.3	6.1	1.7	1.7	--	--	--	184.29
22	5.80	I	--	--	120.0	266.7	<0.5	1.8	2.1	39.7	35.0	100.0	310.33
23	6.00	CI	2.6	1872.0	102.0	309.4	<0.5	2.1	2.2	47.0	39.9	127.5	331.48
24	7.20	I	--	--	152.5	471.6	1.5	1.9	2.2	67.6	45.0	254.2	400.70
25	7.60	CI	0.6	360.0	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	232.98





26	8.00	CI	0.4	244.8	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.9	5.0	20.6	20.0	216.43
27	8.20	CI	0.4	242.8	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.9	5.0	20.6	20.0	217.40
28	8.40	C	0.4	203.9	35.2	91.9	1.4	1.8	1.8	--	--	--	218.97
29	8.60	CI	0.5	315.1	43.5	114.3	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.5	25.0	231.25
30	8.80	CI	0.6	388.7	46.8	127.8	<0.5	1.9	1.9	5.0	22.4	30.0	242.77
31	9.00	C	0.4	237.3	38.4	99.8	1.3	1.8	1.9	--	--	--	226.78
32	9.20	CI	1.3	910.9	52.0	205.0	<0.5	2.0	2.1	12.8	28.7	65.0	296.42
33	9.80	I	--	--	105.0	245.8	<0.5	1.9	2.2	21.9	32.7	87.5	321.27
34	10.00	CI	1.4	979.7	56.0	214.5	<0.5	2.0	2.1	13.1	29.6	70.0	305.49
35	10.20	I	--	--	145.0	219.1	<0.5	1.9	2.2	13.8	30.0	72.5	309.00
36	10.80	CI	0.7	425.3	48.0	136.3	<0.5	1.9	2.0	5.0	23.0	33.3	255.50
37	11.00	C	0.1	-2.5	12.3	42.8	<0.5	0.0	0.0	--	--	--	182.52
38	11.20	CI	0.3	146.2	31.5	83.7	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.7	15.0	210.47
39	11.40	C	0.2	70.0	22.8	65.3	<0.5	1.6	1.7	--	--	--	207.98
40	11.60	CI	0.5	256.2	41.2	107.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.0	22.5	233.93
41	12.40	CI	0.3	159.2	33.4	87.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.9	16.3	216.63
42	12.80	C	0.2	80.5	25.2	70.2	<0.5	1.6	1.7	--	--	--	215.81
43	13.00	CI	0.6	322.3	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	249.20
44	13.20	CI	0.4	171.0	35.2	91.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	20.1	17.5	222.88
45	13.40	C	0.5	244.7	41.2	107.2	2.0	1.8	1.9	--	--	--	246.60
46	13.60	CI	1.4	918.3	54.0	209.8	<0.5	2.0	2.1	5.0	29.1	67.5	313.92
47	13.80	CI	1.3	841.8	50.0	200.1	<0.5	2.0	2.1	5.0	28.2	62.5	308.52
48	14.00	I	--	--	126.0	419.7	<0.5	1.9	2.2	43.1	45.0	210.0	419.06
49	14.20	I	--	--	145.0	219.1	<0.5	1.9	2.2	6.2	30.0	72.5	321.52
50	14.60	CI	0.8	461.5	48.4	146.5	<0.5	1.9	2.0	5.0	23.7	37.5	273.23
51	14.80	C	0.2	47.0	22.8	65.3	<0.5	1.5	1.6	--	--	--	216.52
52	15.00	C	0.2	8.5	17.8	54.8	<0.5	1.2	1.3	--	--	--	205.85
53	15.20	CI	0.4	195.0	38.4	99.8	<0.5	1.7	1.8	5.0	20.6	20.0	234.48
54	15.40	CI	0.6	306.1	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	254.39
55	15.60	CI	0.4	154.8	35.2	91.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	20.1	17.5	227.45
56	15.80	C	0.4	153.6	35.2	91.9	0.8	1.7	1.8	--	--	--	241.75
57	16.00	CI	0.8	489.7	48.0	152.4	<0.5	1.9	2.0	5.0	24.2	40.0	280.74
58	16.20	CI	1.8	1200.7	70.0	245.8	<0.5	2.1	2.1	9.7	32.7	87.5	342.26
59	16.40	I	--	--	91.5	345.1	<0.5	1.9	2.2	28.4	44.4	152.5	394.18
60	16.60	I	--	--	130.0	205.0	<0.5	1.9	2.2	5.0	28.7	65.0	318.77
61	16.80	CI	1.2	746.0	46.0	190.2	<0.5	2.0	2.1	5.0	27.3	57.5	309.61
62	17.00	I	--	--	111.0	388.4	<0.5	1.9	2.2	34.1	45.0	185.0	415.84
63	17.20	I	--	--	88.5	338.2	<0.5	1.9	2.2	26.0	43.5	147.5	393.52
64	17.40	CI	0.7	366.3	47.8	134.2	<0.5	1.9	1.9	5.0	22.8	32.5	269.62
65	17.60	CI	0.4	140.0	35.2	91.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	20.1	17.5	231.14
66	17.80	C	0.7	363.7	47.8	134.2	1.5	1.9	1.9	--	--	--	276.00
67	18.00	CI	1.3	812.3	50.0	200.1	<0.5	2.0	2.1	5.0	28.2	62.5	319.03
68	18.20	I	--	--	73.5	301.9	<0.5	1.9	2.2	18.2	39.0	122.5	378.31
69	18.40	I	--	--	120.0	407.3	<0.5	1.9	2.2	34.7	45.0	200.0	428.51
70	18.80	I	--	--	121.5	268.7	<0.5	1.9	2.2	10.9	35.2	101.3	362.05

## PROVA Nr.3

Committente: Comune di Vicenza  
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)  
 Prova eseguita in data: 31/05/2017  
 Profondità prova: 17.00 mt  
 Località: Via Giacomo Medici

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.40	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	
0.60	11.00	14.0	11.0	0.467	23.555	4.2
0.80	27.00	34.0	27.0	0.467	57.816	1.7
1.00	25.00	32.0	25.0	0.467	53.533	1.9
1.20	21.00	28.0	21.0	0.2	105.0	1.0
1.40	9.00	12.0	9.0	0.267	33.708	3.0
1.60	11.00	15.0	11.0	0.267	41.199	2.4
1.80	13.00	17.0	13.0	0.467	27.837	3.6
2.00	24.00	31.0	24.0	0.333	72.072	1.4
2.20	14.00	19.0	14.0	0.067	208.955	0.5

2.40	4.00	5.0	4.0	0.133	30.075	3.3
2.60	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
2.80	5.00	7.0	5.0	0.333	15.015	6.7
3.00	13.00	18.0	13.0	0.2	65.0	1.5
3.20	10.00	13.0	10.0	0.467	21.413	4.7
3.40	27.00	34.0	27.0	0.467	57.816	1.7
3.60	20.00	27.0	20.0	0.867	23.068	4.3
3.80	34.00	47.0	34.0	0.867	39.216	2.6
4.00	71.00	84.0	71.0	0.467	152.034	0.7
4.20	56.00	63.0	56.0	0.133	421.053	0.2
4.40	6.00	8.0	6.0	0.867	6.92	14.5
4.60	58.00	71.0	58.0	0.333	174.174	0.6
4.80	27.00	32.0	27.0	0.133	203.008	0.5
5.00	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
5.20	3.00	5.0	3.0	0.267	11.236	8.9
5.40	11.00	15.0	11.0	0.733	15.007	6.7
5.60	55.00	66.0	55.0	0.733	75.034	1.3
5.80	79.00	90.0	79.0	1.0	79.0	1.3
6.00	87.00	102.0	87.0	0.933	93.248	1.1
6.20	97.00	111.0	97.0	1.133	85.613	1.2
6.40	72.00	89.0	72.0	0.533	135.084	0.7
6.60	79.00	87.0	79.0	0.467	169.165	0.6
6.80	71.00	78.0	71.0 0.6		118.333	0.8
7.00	60.00	69.0	60.0	0.267	224.719	0.4
7.20	9.00	13.0	9.0	0.2	45.0	2.2
7.40	9.00	12.0	9.0	0.2	45.0	2.2
7.60	7.00	10.0	7.0	0.2	35.0	2.9
7.80	10.00	13.0	10.0	0.133	75.188	1.3
8.00	5.00	7.0	5.0	0.2	25.0	4.0
8.20	9.00	12.0	9.0	0.333	27.027	3.7
8.40	13.00	18.0	13.0	0.4	32.5	3.1
8.60	12.00	18.0	12.0	0.2	60.0	1.7
8.80	11.00	14.0	11.0	0.333	33.033	3.0
9.00	19.00	24.0	19.0	0.467	40.685	2.5
9.20	36.00	43.0	36.0	0.467	77.088	1.3
9.40	25.00	32.0	25.0	0.467	53.533	1.9
9.60	20.00	27.0	20.0	0.467	42.827	2.3
9.80	22.00	29.0	22.0 0.6		36.667	2.7
10.00	33.00	42.0	33.0	0.467	70.664	1.4
10.20	29.00	36.0	29.0	0.2	145.0	0.7
10.40	7.00	10.0	7.0	0.133	52.632	1.9
10.60	8.00	10.0	8.0	0.133	60.15	1.7
10.80	8.00	10.0	8.0	0.133	60.15	1.7
11.00	10.00	12.0	10.0	0.333	30.03	3.3
11.20	13.00	18.0	13.0	0.2	65.0	1.5
11.40	9.00	12.0	9.0	0.2	45.0	2.2
11.60	8.00	11.0	8.0	0.133	60.15	1.7
11.80	7.00	9.0	7.0	0.2	35.0	2.9
12.00	8.00	11.0	8.0	0.133	60.15	1.7
12.20	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
12.40	7.00	9.0	7.0	0.2	35.0	2.9
12.60	7.00	10.0	7.0	0.133	52.632	1.9
12.80	8.00	10.0	8.0	0.2	40.0	2.5
13.00	11.00	14.0	11.0	0.2	55.0	1.8
13.20	10.00	13.0	10.0 0.6		16.667	6.0
13.40	35.00	44.0	35.0	1.0	35.0	2.9
13.60	110.00	125.0	110.0	0.733	150.068	0.7
13.80	35.00	46.0	35.0 0.6		58.333	1.7
14.00	29.00	38.0	29.0	0.133	218.045	0.5
14.20	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
14.40	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
14.60	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
14.80	7.00	9.0	7.0	0.333	21.021	4.8
15.00	16.00	21.0	16.0	0.2	80.0	1.3
15.20	8.00	11.0	8.0	0.133	60.15	1.7
15.40	8.00	10.0	8.0	0.733	10.914	9.2
15.60	66.00	77.0	66.0	0.867	76.125	1.3



15.80	39.00	52.0	39.0	1.4	27.857	3.6
16.00	57.00	78.0	57.0	1.0	57.0	1.8
16.20	96.00	111.0	96.0	1.133	84.731	1.2
16.40	97.00	114.0	97.0	1.133	85.613	1.2
16.60	92.00	109.0	92.0	1.0	92.0	1.1
16.80	102.00	117.0	102.0	1.667	61.188	1.6
17.00	111.00	136.0	111.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.1	0.0		Stima non eseguibile
0.60	11.0	0.467	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
0.80	27.0	0.467	2.0	Incoerente	Sabbie limose
1.00	25.0	0.467	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
1.20	21.0	0.2	2.0	Incoerente	Sabbie limose
1.40	9.0	0.267	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
1.60	11.0	0.267	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
1.80	13.0	0.467	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.20	19.0	0.2	2.0	Incoerente	Sabbie limose
2.40	4.0	0.133	1.7	Coesivo	Argille
2.60	5.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.80	5.0	0.333	1.7	Coesivo	Torbe
3.00	13.0	0.2	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
3.20	10.0	0.467	1.8	Coesivo	Argille
3.40	27.0	0.467	2.0	Incoerente	Sabbie limose
3.60	20.0	0.867	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3.80	34.0	0.867	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.20	63.5	0.3	2.2	Incoerente	Sabbie
4.40	6.0	0.867	1.7	Coesivo	Torbe
4.60	58.0	0.333	2.1	Incoerente	Sabbie
4.80	27.0	0.133	2.0	Incoerente	Sabbie limose
5.00	5.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
5.20	3.0	0.267	1.6	Coesivo	Torbe
5.40	11.0	0.733	1.9	Coesivo	Argille
5.60	55.0	0.733	2.1	Incoerente	Sabbie limose
7.00	77.857	0.705	2.2	Incoerente	Sabbie
7.40	9.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
7.60	7.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
7.80	10.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
8.00	5.0	0.2	1.7	Coesivo	Argille
8.40	11.0	0.367	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
8.60	12.0	0.2	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
8.80	11.0	0.333	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
9.00	19.0	0.467	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
9.20	36.0	0.467	2.1	Incoerente	Sabbie limose
9.80	22.333	0.511	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
10.20	31.0	0.334	2.0	Incoerente	Sabbie limose
10.80	7.667	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
11.00	10.0	0.333	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
11.60	10.0	0.178	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
11.80	7.0	0.2	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
12.00	8.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
12.40	6.5	0.167	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
12.60	7.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
12.80	8.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
13.00	11.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
13.20	10.0	0.6	1.8		Stima non eseguibile
13.40	35.0	1.0	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
13.60	110.0	0.733	2.3	Incoerente	Sabbie
14.00	32.0	0.367	2.0	Incoerente	Sabbie limose
14.60	5.667	0.133	1.6	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
14.80	7.0	0.333	1.7	Coesivo	Argille
15.20	12.0	0.167	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
15.40	8.0	0.733	1.7	Coesivo	Torbe
15.60	66.0	0.867	2.2	Incoerente	Sabbie limose
15.80	39.0	1.4	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi





16.00	57.0	1.0	2.1	Incoerente	Sabbie limose
16.60	95.0	1.089	2.2	Incoerente	Sabbie
16.80	102.0	1.667	2.2	Incoerente	Sabbie limose

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.40												
2	0.60	CI	0.6	411.8	45.4	121.2	<0.5	1.9	2.0	91.5	21.9	27.5	136.41
3	0.80	I	--	--	135.0	209.8	<0.5	1.8	2.1	95.5	29.1	67.5	196.36
4	1.00	CI	1.3	933.8	50.0	200.1	0.7	2.0	2.1	80.2	28.2	62.5	205.60
5	1.20	I	--	--	105.0	179.9	1.0	1.9	2.2	66.0	26.4	52.5	205.37
6	1.40	CI	0.5	330.9	41.2	107.2	<0.5	1.8	1.9	31.1	21.0	22.5	171.13
7	1.60	CI	0.6	404.5	45.4	121.2	<0.5	1.9	1.9	33.4	21.9	27.5	184.29
8	1.80	CI	0.7	478.1	47.8	134.2	<0.5	1.9	2.0	35.2	22.8	32.5	196.16
9	2.20	I	--	--	95.0	169.2	2.1	1.9	2.2	43.1	25.5	47.5	221.50
10	2.40	C	0.2	136.2	22.8	65.3	2.6	1.7	1.8	--	--	--	157.06
11	2.60	CI	0.3	172.5	27.4	74.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.2	12.5	163.60
12	2.80	C	0.3	171.2	27.4	74.9	5.5	1.7	1.8	--	--	--	168.03
13	3.00	CI	0.7	469.8	47.8	134.2	<0.5	1.9	2.0	20.0	22.8	32.5	212.14
14	3.20	C	0.5	355.9	43.5	114.3	6.6	1.8	1.9	--	--	--	195.26
15	3.40	I	--	--	135.0	209.8	<0.5	1.8	2.1	41.6	29.1	67.5	259.59
16	3.60	CI	1.0	728.0	42.0	174.6	<0.5	2.0	2.0	29.6	26.0	50.0	242.89
17	3.80	CI	1.7	1251.5	68.0	241.5	2.5	2.1	2.1	46.2	32.3	85.0	279.83
18	4.20	I	--	--	95.3	353.7	1.4	1.9	2.2	65.3	45.0	158.8	331.38
19	4.40	C	0.3	196.8	31.5	83.7	8.2	1.7	1.8	--	--	--	189.55
20	4.60	I	--	--	87.0	334.7	1.6	1.9	2.2	58.9	43.0	145.0	329.37
21	4.80	I	--	--	135.0	209.8	<0.5	1.9	2.2	31.4	29.1	67.5	273.57
22	5.00	CI	0.3	154.9	27.4	74.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.2	12.5	180.13
23	5.20	C	0.2	78.7	17.8	54.8	2.1	1.6	1.7	--	--	--	172.09
24	5.40	C	0.6	377.4	45.4	121.2	5.5	1.9	1.9	--	--	--	219.04
25	5.60	I	--	--	82.5	324.0	2.2	1.9	2.2	52.0	41.7	137.5	333.67
26	7.00	I	--	--	116.8	400.6	1.8	1.9	2.2	60.0	45.0	194.6	371.63
27	7.40	CI	0.5	287.2	41.2	107.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.0	22.5	220.37
28	7.60	CI	0.4	210.2	35.2	91.9	<0.5	1.8	1.8	5.0	20.1	17.5	207.92
29	7.80	CI	0.5	321.3	43.5	114.3	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.5	25.0	228.12
30	8.00	C	0.3	132.5	27.4	74.9	0.9	1.7	1.8	--	--	--	203.98
31	8.40	CI	0.6	355.5	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	235.38
32	8.60	CI	0.6	390.9	46.8	127.8	<0.5	1.9	1.9	5.0	22.4	30.0	241.64
33	8.80	CI	0.6	352.0	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	237.11
34	9.00	CI	1.0	650.7	44.2	169.2	<0.5	1.9	2.0	5.0	25.5	47.5	272.74
35	9.20	I	--	--	108.0	250.1	<0.5	1.9	2.2	24.3	33.2	90.0	321.15
36	9.80	CI	1.1	771.1	44.7	186.8	<0.5	2.0	2.1	6.8	27.0	55.8	286.55
37	10.20	I	--	--	93.0	228.2	<0.5	1.9	2.2	16.7	30.9	77.5	313.27
38	10.80	CI	0.4	213.9	37.4	97.2	<0.5	1.8	1.8	5.0	20.4	19.2	221.96
39	11.00	CI	0.5	298.6	43.5	114.3	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.5	25.0	238.33
40	11.60	CI	0.5	296.0	43.5	114.3	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.5	25.0	239.37
41	11.80	CI	0.4	180.8	35.2	91.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	20.1	17.5	219.77
42	12.00	CI	0.4	217.0	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.8	5.0	20.6	20.0	227.71
43	12.40	CI	0.3	158.8	33.4	87.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.9	16.3	216.78
44	12.60	CI	0.4	175.6	35.2	91.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	20.1	17.5	221.46



45	12.80	CI	0.4	211.8	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.8	5.0	20.6	20.0	229.44
46	13.00	CI	0.6	322.9	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	249.00
47	13.20	CI	0.6	322.9	45.4	121.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.9	27.5	249.00
48	13.40	CI	1.8	1220.1	70.0	245.8	<0.5	2.1	2.1	14.3	32.7	87.5	334.23
49	13.60	I	--	--	165.0	494.8	<0.5	1.9	2.2	53.2	45.0	275.0	446.50
50	14.00	I	--	--	96.0	232.7	<0.5	1.9	2.2	10.2	31.4	80.0	328.53
51	14.60	CI	0.3	112.8	30.2	80.8	<0.5	1.7	1.7	5.0	19.5	14.2	213.64
52	14.80	C	0.4	160.4	35.2	91.9	0.8	1.7	1.8	--	--	--	239.27
53	15.20	CI	0.6	345.9	46.8	127.8	<0.5	1.8	1.9	5.0	22.4	30.0	259.31
54	15.40	C	0.4	193.9	38.4	99.8	1.8	1.7	1.8	--	--	--	246.62
55	15.60	I	--	--	99.0	362.2	<0.5	1.9	2.2	32.4	45.0	165.0	399.41
56	15.80	CI	2.0	1353.3	78.0	262.6	<0.5	2.1	2.2	14.0	34.5	97.5	350.65
57	16.00	I	--	--	85.5	331.1	<0.5	1.8	2.1	26.7	42.6	142.5	386.38
58	16.60	I	--	--	142.5	452.4	<0.5	1.9	2.2	43.5	45.0	237.5	440.83
59	16.80	I	--	--	153.0	472.5	<0.5	1.9	2.2	45.3	45.0	255.0	450.36

## PROVA Nr.4

Committente: Comune di Vicenza

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 31/05/2017

Profondità prova: 18.00 mt

Località: Via Giacomo Medici

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.40	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.60	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.80	0.00	0.0	0.0	0.267	0.0	
1.00	7.00	11.0	7.0	0.333	21.021	4.8
1.20	9.00	14.0	9.0	0.333	27.027	3.7
1.40	13.00	18.0	13.0	0.467	27.837	3.6
1.60	24.00	31.0	24.0	0.333	72.072	1.4
1.80	19.00	24.0	19.0	0.133	142.857	0.7
2.00	6.00	8.0	6.0	0.467	12.848	7.8
2.20	16.00	23.0	16.0	0.133	120.301	0.8
2.40	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
2.60	8.00	10.0	8.0	0.133	60.15	1.7
2.80	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
3.00	5.00	7.0	5.0	0.267	18.727	5.3
3.20	12.00	16.0	12.0	0.867	13.841	7.2
3.40	42.00	55.0	42.0	0.667	62.969	1.6
3.60	39.00	49.0	39.0	0.867	44.983	2.2
3.80	67.00	80.0	67.0	0.867	77.278	1.3
4.00	70.00	83.0	70.0	1.133	61.783	1.6
4.20	53.00	70.0	53.0	0.867	61.13	1.6
4.40	94.00	107.0	94.0	0.6	156.667	0.6
4.60	33.00	42.0	33.0	0.2	165.0	0.6
4.80	8.00	11.0	8.0	0.133	60.15	1.7
5.00	4.00	6.0	4.0	0.267	14.981	6.7
5.20	9.00	13.0	9.0	0.867	10.381	9.6
5.40	32.00	45.0	32.0	0.733	43.656	2.3
5.60	34.00	45.0	34.0	1.0	34.0	2.9
5.80	42.00	57.0	42.0	1.0	42.0	2.4
6.00	104.00	119.0	104.0	1.267	82.084	1.2
6.20	106.00	125.0	106.0	0.867	122.261	0.8
6.40	85.00	98.0	85.0	1.0	85.0	1.2
6.60	65.00	80.0	65.0	1.0	65.0	1.5
6.80	70.00	85.0	70.0	0.467	149.893	0.7
7.00	88.00	95.0	88.0	0.333	264.264	0.4
7.20	37.00	42.0	37.0	0.2	185.0	0.5
7.40	9.00	12.0	9.0	0.267	33.708	3.0
7.60	10.00	14.0	10.0	0.2	50.0	2.0
7.80	9.00	12.0	9.0	0.267	33.708	3.0
8.00	12.00	16.0	12.0	0.2	60.0	1.7



8.20	12.00	15.0	12.0	0.2	60.0	1.7
8.40	8.00	11.0	8.0	0.333	24.024	4.2
8.60	14.00	19.0	14.0	0.2	70.0	1.4
8.80	9.00	12.0	9.0	0.2	45.0	2.2
9.00	10.00	13.0	10.0	0.133	75.188	1.3
9.20	8.00	10.0	8.0	0.4	20.0	5.0
9.40	19.00	25.0	19.0	0.467	40.685	2.5
9.60	43.00	50.0	43.0	0.467	92.077	1.1
9.80	38.00	45.0	38.0	0.467	81.37	1.2
10.00	18.00	25.0	18.0	0.333	54.054	1.9
10.20	12.00	17.0	12.0	0.467	25.696	3.9
10.40	26.00	33.0	26.0	0.333	78.078	1.3
10.60	14.00	19.0	14.0	0.133	105.263	1.0
10.80	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
11.00	3.00	5.0	3.0	0.133	22.556	4.4
11.20	5.00	7.0	5.0	0.2	25.0	4.0
11.40	7.00	10.0	7.0	0.333	21.021	4.8
11.60	14.00	19.0	14.0	0.2	70.0	1.4
11.80	9.00	12.0	9.0	0.133	67.669	1.5
12.00	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
12.20	6.00	8.0	6.0	0.133	45.113	2.2
12.40	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
12.60	4.00	6.0	4.0	0.133	30.075	3.3
12.80	7.00	9.0	7.0	0.2	35.0	2.9
13.00	6.00	9.0	6.0	0.2	30.0	3.3
13.20	10.00	13.0	10.0	0.2	50.0	2.0
13.40	11.00	14.0	11.0	0.267	41.199	2.4
13.60	12.00	16.0	12.0	0.2	60.0	1.7
13.80	10.00	13.0	10.0	0.6	16.667	6.0
14.00	21.00	30.0	21.0	0.2	105.0	1.0
14.20	9.00	12.0	9.0	0.133	67.669	1.5
14.40	5.00	7.0	5.0	0.133	37.594	2.7
14.60	5.00	7.0	5.0	0.267	18.727	5.3
14.80	13.00	17.0	13.0	0.333	39.039	2.6
15.00	14.00	19.0	14.0	0.2	70.0	1.4
15.20	11.00	14.0	11.0	0.2	55.0	1.8
15.40	8.00	11.0	8.0	0.2	40.0	2.5
15.60	11.00	14.0	11.0	0.733	15.007	6.7
15.80	34.00	45.0	34.0	0.867	39.216	2.6
16.00	93.00	106.0	93.0	0.867	107.266	0.9
16.20	51.00	64.0	51.0	0.733	69.577	1.4
16.40	68.00	79.0	68.0	0.333	204.204	0.5
16.60	27.00	32.0	27.0	0.133	203.008	0.5
16.80	7.00	9.0	7.0	0.2	35.0	2.9
17.00	10.00	13.0	10.0	0.333	30.03	3.3
17.20	16.00	21.0	16.0	0.867	18.454	5.4
17.40	77.00	90.0	77.0	1.0	77.0	1.3
17.60	92.00	107.0	92.0	0.733	125.512	0.8
17.80	90.00	101.0	90.0	0.6	150.0	0.7
18.00	103.00	112.0	103.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.80	0.0	0.067	0.0		Stima non eseguibile
1.00	7.0	0.333	1.8	Coesivo	Argille
1.40	11.0	0.4	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
1.80	21.5	0.233	2.0	Incoerente	Sabbie limose
2.00	6.0	0.467	1.8	Coesivo	Torbe
2.20	16.0	0.133	1.9	Incoerente	Sabbie limose
2.40	5.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.60	8.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
2.80	6.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3.20	8.5	0.567	1.8	Coesivo	Argille
3.40	42.0	0.667	2.1	Incoerente	Sabbie limose
3.60	39.0	0.867	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.20	63.333	0.956	2.2	Incoerente	Sabbie limose





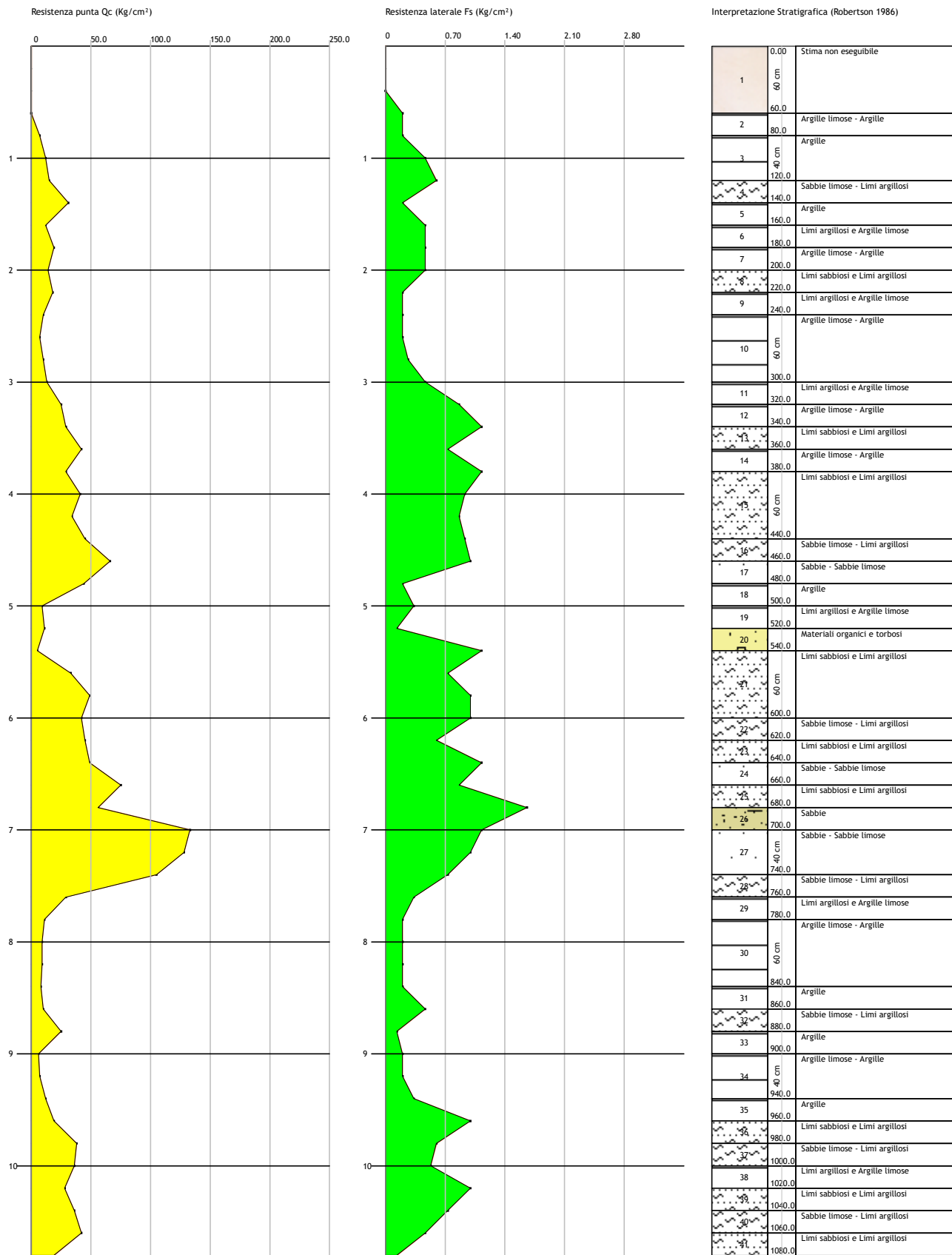
4.40	94.0	0.6	2.2	Incoerente	Sabbie
4.60	33.0	0.2	2.1	Incoerente	Sabbie limose
4.80	8.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
5.00	4.0	0.267	1.7	Coesivo	Torbe
5.20	9.0	0.867	1.8	Coesivo	Argille
5.80	36.0	0.911	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
6.00	104.0	1.267	2.2	Incoerente	Sabbie
6.20	106.0	0.867	2.3	Coesivo	Argille
6.40	85.0	1.0	2.2	Incoerente	Sabbie
6.60	65.0	1.0	2.2	Incoerente	Sabbie limose
7.00	79.0	0.4	2.2	Incoerente	Sabbie
7.20	37.0	0.2	2.1	Incoerente	Sabbie limose
7.40	9.0	0.267	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
7.60	10.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
7.80	9.0	0.267	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
8.20	12.0	0.2	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
8.40	8.0	0.333	1.8	Coesivo	Argille
9.00	11.0	0.178	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
9.20	8.0	0.4	1.8	Coesivo	Argille
9.40	19.0	0.467	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
9.80	40.5	0.467	2.1	Incoerente	Sabbie limose
10.00	18.0	0.333	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
10.20	12.0	0.467	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
10.40	26.0	0.333	2.0	Incoerente	Sabbie limose
10.60	14.0	0.133	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
10.80	6.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
11.40	5.0	0.222	1.7	Coesivo	Argille
11.80	11.5	0.167	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
12.40	5.667	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
12.60	4.0	0.133	1.6	Coesivo	Argille
13.00	6.5	0.2	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
13.60	11.0	0.222	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
13.80	10.0	0.6	1.8		Stima non eseguibile
14.00	21.0	0.2	2.0	Incoerente	Sabbie limose
14.20	9.0	0.133	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
14.40	5.0	0.133	1.7	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
14.60	5.0	0.267	1.7	Coesivo	Argille
15.20	12.667	0.244	1.9	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
15.40	8.0	0.2	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
15.60	11.0	0.733	1.8	Coesivo	Argille
15.80	34.0	0.867	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
16.00	93.0	0.867	2.2	Incoerente	Sabbie
16.20	51.0	0.733	2.1	Incoerente	Sabbie limose
16.40	68.0	0.333	2.2	Incoerente	Sabbie
16.60	27.0	0.133	2.0	Incoerente	Sabbie limose
17.00	8.5	0.267	1.8	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
17.20	16.0	0.867	1.9	Coesivo	Argille
18.00	90.5	0.583	2.2	Incoerente	Sabbie

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

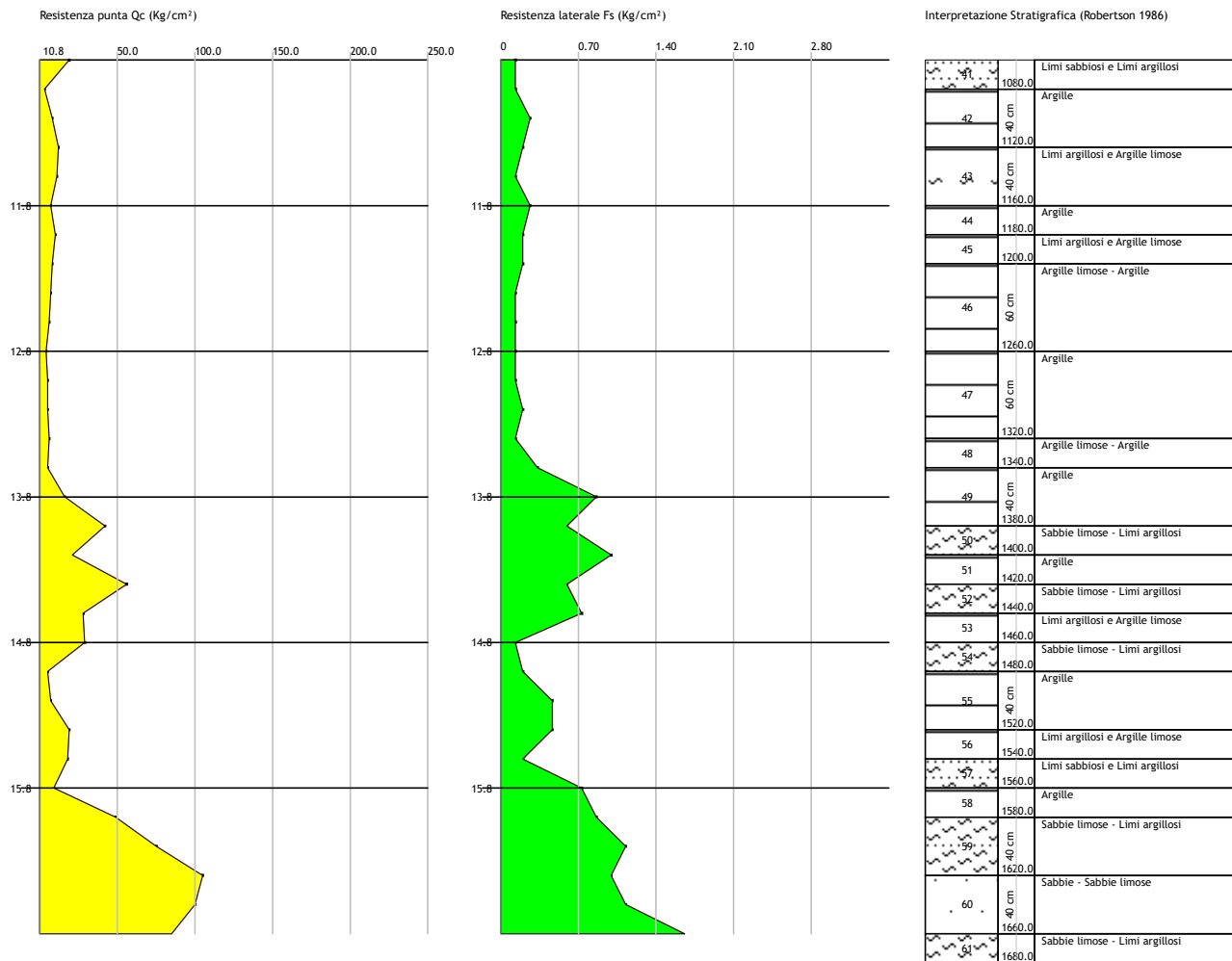
Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> )
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

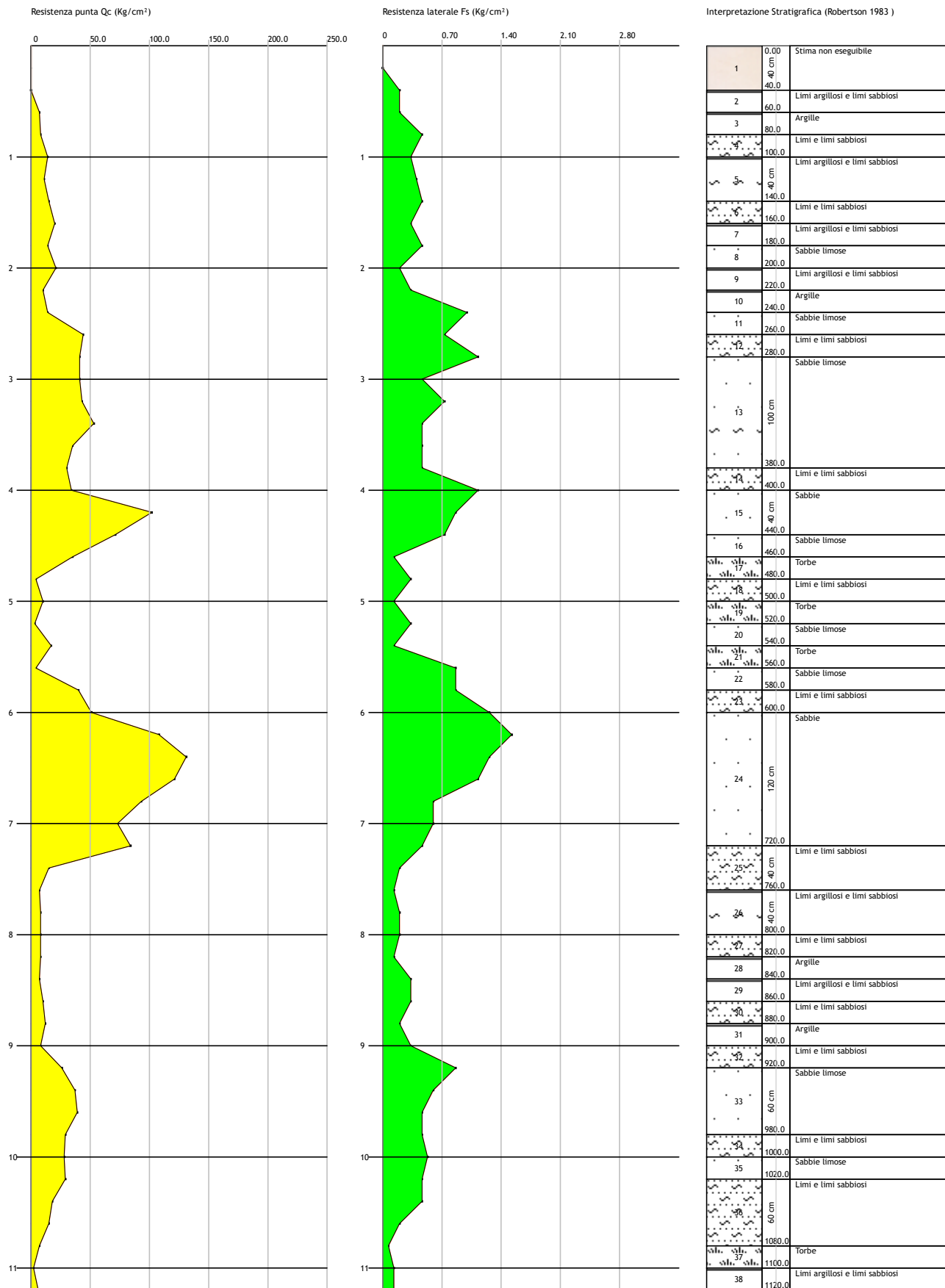
Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	0.80												
2	1.00	C	0.4	261.8	35.2	91.9	>9	1.8	1.9	--	--	--	107.45
3	1.40	CI	0.6	410.5	45.4	121.2	0.9	1.9	2.0	66.4	21.9	27.5	155.35
4	1.80	I	--	--	107.5	182.5	0.8	1.9	2.2	76.6	26.7	53.8	196.41
5	2.00	C	0.3	220.5	31.5	83.7	>9	1.8	1.8	--	--	--	141.42
6	2.20	I	--	--	80.0	152.4	1.3	1.9	2.2	56.9	24.2	40.0	191.64
7	2.40	CI	0.3	181.8	27.4	74.9	<0.5	1.7	1.8	14.2	19.2	12.5	145.10
8	2.60	CI	0.4	293.7	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.9	28.1	20.6	20.0	165.18
9	2.80	CI	0.3	218.1	31.5	83.7	<0.5	1.8	1.8	16.1	19.7	15.0	155.43
10	3.20	C	0.4	310.9	39.9	103.5	>9	1.8	1.9	--	--	--	164.43
11	3.40	I	--	--	126.0	274.8	0.9	1.9	2.2	77.0	35.9	105.0	261.14
12	3.60	CI	2.0	1452.9	78.0	262.6	1.0	2.1	2.2	72.3	34.5	97.5	259.20
13	4.20	I	--	--	95.0	353.1	0.8	1.9	2.2	85.0	45.0	158.3	298.93
14	4.40	I	--	--	141.0	449.5	0.7	1.9	2.2	95.0	45.0	235.0	336.16
15	4.60	I	--	--	99.0	237.1	1.5	1.9	2.2	57.5	31.8	82.5	260.53
16	4.80	CI	0.4	285.2	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.9	7.6	20.6	20.0	183.68
17	5.00	C	0.2	134.7	22.8	65.3	4.7	1.7	1.8	--	--	--	159.80
18	5.20	C	0.5	321.6	41.2	107.2	>9	1.8	1.9	--	--	--	186.13
19	5.80	CI	1.8	1332.6	72.0	250.1	1.6	2.1	2.1	55.3	33.2	90.0	273.51
20	6.00	I	--	--	156.0	478.2	0.8	1.9	2.2	89.6	45.0	260.0	361.08
21	6.20	C	5.3	3954.9	212.0	483.7	>9	2.3	2.3	--	--	--	301.85
22	6.40	I	--	--	127.5	422.7	1.0	1.9	2.2	80.4	45.0	212.5	347.28
23	6.60	I	--	--	97.5	358.8	1.2	1.9	2.2	70.1	45.0	162.5	326.36
24	7.00	I	--	--	118.5	404.2	1.1	1.9	2.2	75.4	45.0	197.5	345.30
25	7.20	I	--	--	111.0	254.3	2.4	1.9	2.2	48.0	33.6	92.5	287.40
26	7.40	CI	0.5	312.2	41.2	107.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.0	22.5	202.27
27	7.60	CI	0.5	349.1	43.5	114.3	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.5	25.0	208.29
28	7.80	CI	0.5	311.0	41.2	107.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.0	22.5	203.44
29	8.20	CI	0.6	422.5	46.8	127.8	<0.5	1.9	2.0	6.7	22.4	30.0	219.66
30	8.40	C	0.4	271.6	38.4	99.8	3.1	1.8	1.9	--	--	--	199.89
31	9.00	CI	0.6	382.8	45.4	121.2	<0.5	1.9	1.9	5.0	21.9	27.5	217.07
32	9.20	C	0.4	268.9	38.4	99.8	3.4	1.8	1.9	--	--	--	202.73
33	9.40	CI	1.0	680.8	44.2	169.2	<0.5	2.0	2.0	19.0	25.5	47.5	251.00
34	9.80	I	--	--	121.5	268.7	<0.5	1.9	2.2	44.1	35.2	101.3	304.91
35	10.00	CI	0.9	640.9	45.9	163.7	<0.5	1.9	2.0	15.4	25.1	45.0	249.84
36	10.20	CI	0.6	415.2	46.8	127.8	<0.5	1.9	2.0	5.0	22.4	30.0	226.21
37	10.40	I	--	--	130.0	205.0	<0.5	1.9	2.2	27.1	28.7	65.0	275.36
38	10.60	CI	0.7	488.8	48.3	140.4	<0.5	1.9	2.0	5.3	23.3	35.0	236.32
39	10.80	CI	0.3	188.2	31.5	83.7	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.7	15.0	191.43
40	11.40	C	0.3	149.7	27.4	74.9	1.5	1.7	1.8	--	--	--	192.16
41	11.80	CI	0.6	391.9	46.2	124.5	<0.5	1.9	1.9	5.0	22.2	28.8	227.25
42	12.40	CI	0.3	171.7	30.2	80.8	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.5	14.2	191.14
43	12.60	C	0.2	108.2	22.8	65.3	0.8	1.6	1.7	--	--	--	187.49
44	13.00	CI	0.3	201.2	33.4	87.9	<0.5	1.8	1.8	5.0	19.9	16.3	198.88
45	13.60	CI	0.6	368.4	45.4	121.2	<0.5	1.9	1.9	5.0	21.9	27.5	227.96
46	13.80	CI	0.6	368.4	45.4	121.2	<0.5	1.9	1.9	5.0	21.9	27.5	227.96
47	14.00	I	--	--	105.0	179.9	<0.5	1.9	2.2	13.4	26.4	52.5	269.60
48	14.20	CI	0.5	290.8	41.2	107.2	<0.5	1.8	1.9	5.0	21.0	22.5	218.35
49	14.40	CI	0.3	140.2	27.4	74.9	<0.5	1.7	1.8	5.0	19.2	12.5	188.68
50	14.60	C	0.3	139.7	27.4	74.9	1.4	1.7	1.8	--	--	--	199.47
51	15.20	CI	0.6	425.9	47.5	132.1	<0.5	1.9	2.0	5.0	22.7	31.7	239.37
52	15.40	CI	0.4	249.6	38.4	99.8	<0.5	1.8	1.9	5.0	20.6	20.0	213.99
53	15.60	C	0.6	361.5	45.4	121.2	3.8	1.9	1.9	--	--	--	232.45
54	15.80	CI	1.7	1223.3	68.0	241.5	<0.5	2.1	2.1	27.2	32.3	85.0	308.69
55	16.00	I	--	--	139.5	446.6	1.8	1.9	2.2	61.4	45.0	232.5	398.20
56	16.20	I	--	--	76.5	309.4	<0.5	1.9	2.2	40.4	39.9	127.5	343.16
57	16.40	I	--	--	102.0	368.8	<0.5	1.9	2.2	49.9	45.0	170.0	369.59
58	16.60	I	--	--	135.0	209.8	<0.5	1.9	2.2	17.8	29.1	67.5	293.66
59	17.00	CI	0.4	262.7	39.9	103.5	<0.5	1.8	1.9	5.0	20.8	21.3	220.19
60	17.20	C	0.8	543.0	48.0	152.4	4.0	1.9	2.0	--	--	--	253.24
61	18.00	I	--	--	135.8	439.2	2.2	1.9	2.2	57.6	45.0	226.3	401.3











Committente: Comune di Vicenza  
Cantiere: Centrale del Latte  
Località: Via Giacomo Medici

Data: 31/05/2017

