

COMUNE DI VICOPISSANO – PISA

PIANO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA
REALIZZAZIONE DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE, DI
UN PARCHEGGIO PUBBLICO E DEI RELATIVI ACCESSI


LOC. SAN GIOVANNI ALLA VENA

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(L.R. 3 gennaio 2005 n. 1, art. 62 – D.P.G.R. 25 Ottobre 2011 n. 53/R)

COMMITTENTI:	SIG.RI NICCOLAI GIOVANNI E NICCOLAI DAVID
GEOLOGO:	DR. GEOL. ERALDO SANTARNECCHI
COLLABORATRICE:	DOTT.SSA GEOL. CINZIA LOCCI
DATA:	AGOSTO 2015

IL GEOLOGO



Dott. Geol.
ERALDO
SANTARNECCHI
N° 240

Dr. Geol. Eraldo Santarnekchi

*Iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione
Toscana con numero di riferimento 240*

Dr. ERALDO SANTARNECCHI - Geologo
Via della Costituente, 17 - 56024 PONTE A EGOLA (PI)
Tel: 0571/485277 Fax: 0571/1831592 e-mail: info@studiolithos.net
pec: e.santarnekchi@pec.geologitoscana.net

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO	3
2.1	Ubicazione ed inquadramento geo-morfologico	3
3	CLASSIFICAZIONE DELL'AREA IN TERMINI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ (SECONDO I CRITERI DETTATI DAL D.P.G.R. 25 OTTOBRE 2011, N. 53/R).	4
4	SISMICITA'	8
4.1	Rischio sismico	8
4.2	Categorie del suolo di fondazione	10
4.3	Indagine sismica MASW	12
4.4	Verifica alla liquefazione	14
5	STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO.....	21
6	PRESCRIZIONI RELATIVE AGLI INTERVENTI IN PROGETTO	24
7	CONCLUSIONI	27

1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce ad uno studio geologico – tecnico finalizzato alla definizione della fattibilità geologica relativa al Piano Attuativo di Iniziativa Privata - realizzazione di un edificio residenziale, di un parcheggio pubblico e dei relativi accessi in Loc. San Giovanni alla Vena, all'interno del territorio comunale di Vicopisano (vedi corografia di figura 1).

Nello specifico, il progetto in esame prevede la realizzazione di un edificio avente in pianta una forma irregolare di superficie pari a circa 363 mq, costituito da un piano terra, un primo piano, ed un piano interrato, nonché di una piscina ad Est del fabbricato; a Nord dell'edificio saranno realizzati un pergolato, garage e spogliatoi della piscina (vedi planimetria generale di figura 7 allegata), il tutto come meglio osservabile negli elaborati di Progetto.

Dopo un inquadramento di carattere geomorfologico, idraulico e sismico dell'area d'intervento, viene illustrata la ricostruzione geostratigrafica resa possibile attraverso l'esecuzione delle seguenti indagini geognostiche:

- n. 3 prove penetrometriche dinamiche realizzate in data Marzo 2014 (vedi allegato 1) spinte sino ad una profondità massima di 6.0 m dal p.c.;
- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto sino a 10.0 m di profondità dal p.c. in data Giugno 2015 (vedi log stratigrafico di figura 6 allegata); durante l'avanzamento del sondaggio è stato prelevato n. 1 campione di terreno indisturbato sottoposto ad analisi geotecniche di laboratorio (vedi allegato 2).

Per la definizione della categoria sismica di suolo e quindi della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, è stata appositamente eseguita in sito un'indagine sismica superficiale con tecnica MASW in data Marzo 2014 (vedi allegato 3).

L'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite viene riportata nella planimetria generale di figura 7 allegata.

Si riporta, inoltre, l'inquadramento dell'area di intervento in termini di Pericolosità e Fattibilità secondo le nuove cartografie prodotte a supporto della Variante

Generale al Regolamento Urbanistico Comunale ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 (Regolamento di attuazione dell'art. 62 della Legge Regionale 3 Gennaio 2005, n.1 in materia di indagini geologiche) tratte dalla Scheda Norma Comunale dei Comparti soggetti a Piano Attuativo – U.T.O.E. n. 2 San Giovanni alla Vena-Cevoli (Comparto 4).

Sulla base del quadro lito-stratigrafico, geo-morfologico, idraulico emerso e di classificazione dell'area in termini di Pericolosità e Fattibilità, vengono indicati il tipo di indagini necessarie e le prescrizioni relative alle modalità di intervento da adottare per la realizzazione degli interventi previsti dal Progetto.

2 INQUADRAMENTO

2.1 Ubicazione ed inquadramento geo-morfologico

L'area in esame si colloca in un tratto di raccordo tra la zona pedecollinare ed i Monti Pisani, sulla destra idraulica del Fiume Arno (vedi corografia di figura 1 allegata); le quote, come messo in evidenza dal rilievo plano-altimetrico fornitoci dal Progettista (vedi quote riportate nella planimetria di figura 7 allegata ed elaborati di Progetto) variano da un minimo di circa + 11.65 m sul l.m.m. nella zona Sud (sub-comparto 4b) ad una quota massima di circa + 12.8 m-13.0 m nel settore Nord (subcomparto 4a).

Per quanto riguarda la stabilità, viste le condizioni su esposte, nell'immediato intorno della zona in esame non si rilevano situazioni di particolare pericolosità che possano influenzare, o essere influenzate, dagli interventi in progetto.

Nel contesto delineato la geologia di superficie è costituita da sedimenti alluvionali depositi in epoca molto recente, di prevalente composizione silico - clastica, a componente prevalentemente sabbiosa (anche se la zona risulta fortemente antropizzata), come osservabile nella carta geologica di figura 2 allegata.

La stratigrafia di dettaglio, è stata comunque accertata in sito tramite l'esecuzione di n° 3 prove penetrometriche dinamiche spinte sino ad una profondità massima dal p.c. di – 6.0 m, e di un sondaggio a carotaggio continuo spinto sino a 10.0 m di profondità (vedi log stratigrafico di figura 6 allegata).

Tali prove hanno rilevato la presenza di un livello superficiale di terreno rimaneggiato limoso-sabbioso di spessore di circa 1.5 m, seguito da depositi limoso-argillosi poco compatti. Le prove penetrometriche dinamiche hanno rilevato la presenza di un maggior spessore di tali depositi meno compatti (sono a circa 3.0 m di profondità dal p.c.), mentre il sondaggio solamente 50 cm di spessore (tra 1.5 m e 2.0 m).

Seguono poi depositi coesivi argilloso-limosi più compatti con presenza di sporadici ciottoli detritici di piccole dimensioni; nell'ultimo metro di profondità, come osservabile nella figura 6, la quantità dei ciottoli detritici, a grana medio-grossolana, aumenta (vedi sezione ambientale e sezione litostratigrafica di figure 8 e 9 allegate).

Sotto il profilo idrogeologico i depositi più superficiali, soprattutto quelli di natura maggiormente incoerente, sono caratterizzati da una permeabilità media; i depositi sottostanti argilloso-limosi rilevati dalle indagini condotte sul sito sono, invece, caratterizzati da una minore permeabilità per porosità primaria.

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche (Marzo 2014) , come del sondaggio geognostico (Giugno 2015) non è stata intercettata acqua , almeno sino alla profondità massima di 10.0 m raggiunta.

Tuttavia, non si esclude circolazione di acqua all'interno degli strati più superficiali di terreno rimaneggiato e limoso-sabbioso in corrispondenza di periodi piovosi più intensi.

3 CLASSIFICAZIONE DELL'AREA IN TERMINI DI PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ (SECONDO I CRITERI DETTATI DAL D.P.G.R. 25 OTTOBRE 2011, N. 53/R).

Secondo le cartografie redatte a supporto alla Variante Generale al R.U. Comunale redatte ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011, l'area in esame risulta così classificata per quanto concerne gli aspetti geologici, idraulici e sismici, nonché di Fattibilità:

- l'intero comparto rientra nella Classe di **Pericolosità Geomorfologica media – G.2** (vedi figura 3 allegata), comprendente le aree con elementi

geomorfologici, litologici e giacitureali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto;

- il comparto 4a rientra in parte nella classe di **Pericolosità Idraulica elevata – I.3** (aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < Tr < 200$ anni) ed in parte nella classe di **Pericolosità Idraulica media – I.2** (aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < Tr < 500$ anni), mentre il comparto 4b nella classe di Pericolosità Idraulica molto elevata – I.4 (aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr \leq 30$ anni) – vedi figura 4 allegata. Nello specifico, una minima porzione del fabbricato in progetto rientra nella classe di Pericolosità I.3, mentre la restante nella classe I.2, mentre il garage e locali accessori della piscina nella classe I.2., come osservabile nella planimetria generale di figura 7 allegata.
- l'intero comparto rientra nella Classe di **Pericolosità Sismica Locale elevata – S.3** (vedi figura 5 allegata), comprendente zone stabili suscettibili di amplificazioni locali per un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.

Secondo la cartografia prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno in allegato alla Del. C.I. n° 185/04 relativa al Piano di Bacino del fiume Arno – Stralcio "Assetto idrogeologico", si osserva che l'area interessata dal progetto ricade nella classe di Pericolosità Idraulica media – P.I.2 non soggetta a particolari prescrizioni da parte dell'Autorità di Bacino stessa.

Alla luce di quanto sopra descritto, al Comparto in esame sono state attribuite le seguenti classi di Fattibilità (vedi Scheda Norma del Comparto n. 4 soggetto al Piano Attuativo in esame):

✓ **Classe di Fattibilità Geologica con normali vincoli – F2**

Per le nuove costruzioni (fabbricato, garage e locali accessori) ricadenti nel subcomparto 4a e per la risistemazione del verde privato ricadente nel subcomparto 4b, non si hanno particolari prescrizioni in merito; le indagini geognostiche, geotecniche e sismiche, come riportato nella Scheda Norma, sono

state condotte in ottemperanza ai disposti della vigente normativa in materia (D.M. 14-01-2008 e D.P.G.R. 36/R-2009).

✓ **Classe di Fattibilità Sismica condizionata – F3**

Sia per la nuova costruzione che per la risistemazione del verde privato, si ha una fattibilità condizionata, per la quale è richiesta l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche mirata alla verifica puntuale di quanto emerso con le indagini di supporto al R.U. Comunale circa l'alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido rilevato entro alcune decine di metri.

Le indagini condotte in sito (sondaggio geognostico a 10.0 m di profondità e indagine sismica MASW) non hanno messo in evidenza tale contrasto di impedenza sismica; inoltre, poiché l'intervento edilizio non ricade tra quelli classificati come Strategici o Rilevanti, la Risposta Sismica Locale è stata definita ricorrendo all'approccio semplificato di cui al D.M. 14-01-2008.

Infine, come richiesto dalla Scheda Norma, è stata verificata la suscettibilità alla liquefazione dinamica dei terreni, anche se le indagini condotte in sito hanno rilevato la presenza di depositi prevalentemente coesivi con una certa componente granulare entro i primi 3.0 m di profondità (vedi capitolo 4.4).

✓ **Classe di Fattibilità Idraulica con normali vincoli – F2**

La nuova costruzione, come osservabile nella planimetria di figura 7 allegata, ricade per la maggior parte della sua superficie nella classe di pericolosità Idraulica I.2 e, pertanto, secondo la Scheda Norma, si ha una classe di fattibilità F2.

In tali aree, per le nuove edificazioni e infrastrutture, al fine di perseguire un maggior livello di sicurezza idraulica, si devono prevedere i necessari accorgimenti costruttivi per la riduzione della vulnerabilità delle opere previste, così come indicato al punto 3.2.2.3 dell'Allegato A al Regolamento 53/R del 25.10.2011.

Secondo tale punto, la messa in sicurezza idraulica è garantita poiché il rilievo plano-altimetrico condotto sul sito e fornitoci dal Progettista ha rilevato una quota del p.c. attuale in corrispondenza del fabbricato superiore a quella dell'altezza massima del battente idraulico per eventi con $T_r = 200$ anni dedotta sulla base di

studi idrologico-idraulici condotti e pari a + 11.70 m sul l.m.m. (quota media pari a circa + 12.2 m sul l.m.m.).

Tuttavia, al fine di non creare aggravii di pericolosità in aree limitrofe, saranno compensati i volumi per la parte di superficie del fabbricato che ricade nelle classi di inviluppo esondazioni del Rio Brandano per Tr di 200 anni sulla base delle lame di acqua individuate tramite lo studio idrologico-idraulico condotto a supporto della Variante al R.U. Comunale.

Come osservabile nella planimetria di figura 10 allegata, una parte di fabbricato ricade nella porzione avente un'altezza della lama d'acqua compresa tra 0.01 m e 0.3 m, mentre una ridotta porzione risulta compresa tra 0.3 m e 0.5 m; il volume ottenuto di possibile acqua di esondazione, pari a circa 24 mc, sarà stoccato nell'intercapedine al di sotto degli igloo previsti nella parte inferiore del piano interrato, tramite la realizzazione di apposite griglie di presa .

Inoltre, per garantire un maggior livello di salvaguardia idraulica, la nuova pavimentazione carrabile posta ad Ovest del Comparto sarà resa completamente drenante in quanto realizzata a verde, in modo tale da consentire l'infiltrazione delle acque (vedi planimetria di figura 7 allegata ed elaborati di Progetto); per la realizzazione dei marciapiedi e delle pavimentazioni del resede del fabbricato, se possibile, saranno impiegati materiali semipermeabili. Tutte le altre zone rimanenti saranno, invece, mantenute a verde in modo da non modificare lo stato attuale.

✓ **Classe di Fattibilità Idraulica condizionata – F3**

Per la porzione di fabbricato ricadente nella classe di pericolosità Idraulica elevata – I.3, è stata attribuita una classe di Fattibilità condizionata.

Come già sopra descritto, le quote del p.c. attuali, come da rilievo eseguito appositamente sul sito fornitoci dal Progettista, risultano superiori alla quota massima del battente idraulico per Tr = 200 anni individuata tramite lo studio idrologico-idraulico condotto a supporto del R.U. Comunale pari a + 11.70 m sul l.m.m. e, pertanto, il fabbricato risulta già in sicurezza idraulica.

Inoltre, ai fini della mitigazione del rischio idraulico nelle aree circostanti, sarà comunque compensato il volume derivante dalle altezze delle lame di acqua dedotte dallo studio idrologico-idraulico condotto in sito indicate nelle classi di

inviluppo delle esondazioni del Rio Brandano, come sopra descritto (vedi figura 10 allegata). La pavimentazione carrabile in progetto ad Ovest del Comparto, ricadente nelle classi di Pericolosità Idraulica elevata (I.3) e molto elevata (I.4), sarà resa completamente permeabile in modo da non costituire un ostacolo al normale deflusso delle acque superficiali, come descritto nel paragrafo precedente.

✓ **Classe di Fattibilità Idraulica senza particolari limitazioni – F1**

Per il verde privato, ricadente nelle classi di Pericolosità Idraulica media (I.2) e molto elevata (I.4) , si ha una classe di Fattibilità F1, per la quale non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia. E' bene ricordare che l'area competente al verde privato di accesso alla nuova costruzione , risulta esteso a quota superiore al battente idraulico di sicurezza (+ 11.70 mt s.l.m.) e coinvolge un passaggio carrabile già esistente al momento della presentazione del progetto di P. A. di Iniziativa Privata. Il manufatto lineare in elevazione di progetto (muro) verrà costruito con un franco idraulico trasparente esteso all'altezza del piano di posa o meglio dallo spiccato fuori terra; tutto quanto sopra garantirà il NON incremento di pericolosità idraulica verso le aree a contermini e tanto meno alla proprietà stessa. Le sezioni ambientale riportate negli elaborati di progetto esplicano al meglio i concetti sopra descritti . (L. 21/2012 art. 2 comma 1 , lettera b ; art. 6) .

4 SISMICITA'

4.1 Rischio sismico

Il territorio del Comune di Vicopisano, classificato sismico ai sensi del D.M. 19.03.1982, in seguito all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 e successivamente con Deliberazione GRT n° 878 del 8 Ottobre 2012 della regione Toscana, viene inserito nella **zona sismica 3** alla quale corrisponde un accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, di **0.15 a_g/g** .

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, invece, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi "stati limite" presi in considerazione, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di intervento, che rappresenta l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo, in un detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. In base a quanto riportato nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" V_R , legato alla "vita nominale" dell'edificio in progetto V_N ($V_R = V_N \times C_u$ dove C_u è il coefficiente d'uso legato alla categoria dell'edificio), e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" PVR.

Per descrivere la pericolosità sismica in un generico sito con un livello di precisione sufficiente, sia in termini geografici che in termini temporali, i risultati dello studio di pericolosità sismica devono essere forniti:

- a) in corrispondenza dei punti di un reticolo ("reticolo di riferimento") i cui nodi, individuati in termini di latitudine e longitudine, debbono distare di un passo $\leq 0,05^\circ$;
- b) per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadendo in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;
- c) in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sottosuolo rigido affiorante.

In particolare, i caratteri del moto sismico sul sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica PVR.

a_g = accelerazione massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Il valore di a_g viene desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita dall' INGV, mentre F_o e TC^* vengono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Lo scuotimento del suolo così individuato deve essere corretto per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e della morfologia di superficie (con la determinazione della categoria di sottosuolo specifica del sito e dei coefficienti di amplificazione topografica **ST** e stratigrafica **Ss**).

4.2 Categorie del suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

La classificazione deve riguardare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento, (bedrock) ovvero quelli presenti ad una profondità commisurata all'estensione ed all'importanza dell'opera. Sulla base di quanto riportato nel "Testo Unico – Norme tecniche per le costruzioni" i terreni possono essere classificati sulla base del valore di **Vs30** (velocità media delle onde sismiche di taglio) ed in base a tale grandezza si identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione (Tabella 3.2.II – categorie di sottosuolo):

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 1

La velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $< 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

In fase di intervento diretto, alla luce di quanto dettato dal D.P.G.R. 9 luglio 2009 n. 36/R, la velocità media delle onde di taglio e, quindi, la categoria sismica di suolo, deve essere determinata mediante apposite indagini geofisiche eseguite sul sito oggetto di studio.

Nel caso in esame, vista la volumetria dell'edificio (superiore a 1.500 mc – classe di indagine n. 3) e dei locali accessori e garage da realizzare (inferiore a 1.500 mc – classe di indagine n. 2), al fine di definire la categoria di suolo e quindi per l'individuazione del parametro V_{s30} è stata appositamente realizzata un' indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) basata sull'analisi spettrale delle onde sismiche superficiali (onde Raylight).

Nel paragrafo successivo vengono riportati i risultati ottenuti con tale indagine.

4.3 Indagine sismica MASW

L'indagine sismica è stata svolta in data Marzo 2014 attraverso l'esecuzione di un profilo sismico la cui ubicazione è riportata nella planimetria generale di figura 7 allegata alla presente relazione geologica.

La tecnica MASW consiste nella registrazione simultanea di più ricevitori (minimo 12) di una vibrazione prodotta da una sorgente sismica impulsiva posta ad una data distanza dal primo ricevitore.

Tale tecnica, attraverso la registrazione delle modalità di propagazione delle onde superficiali (Onde di Rayleigh) permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S_v lungo un profilo verticale.

L'indagine realizzata è stata condotta mediante uno stendimento sismico costituito da 24 geofoni allineati e separati tra loro da una distanza intergeofonica costante di 1.5 m.

Il sismografo utilizzato è stato attrezzato con 12 canali a 16 bit, collegati a 12 geofoni verticali da 4,5 Hz, mentre, per l'energizzazione è stata utilizzata una massa di 8 kg battente perpendicolarmente al terreno.

La lunghezza complessiva dello stendimento, fra il primo e l'ultimo geofono, è stata quindi di 34.5 m e sono state eseguite due energizzazioni, disposte rispettivamente a 2.0 m di distanza dal primo e dall'ultimo geofono, in modo da ottenere due profili 1 – D da poter confrontare.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti è stata effettuata mediante software "MASW 2.0.0.9" (software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione sperimentale secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves).

Nella tabella seguente vengono riassunte le caratteristiche adottate per l'indagine MASW realizzata in sito:

N. GEOFONI	24
DISTANZA INTERGEOFONICA	1.5 m
LUNGHEZZA COMPLESSIVA STENDIMENTO	34.5 m
N. PUNTI DI SCOPPIO	2
OFF SET SCOPPI	2 m
TIPO DI ENERGIZZAZIONE	Mazza battente da 8 Kg
TEMPO DI ACQUISIZIONE	2 sec.
INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO	4000 Hz

Tabella 2 – caratteristiche adottate per indagine MASW

Il modello conseguito dell'elaborazione dei sismogrammi ottenuti con il profilo G1-G24 (vedi planimetria generale di figura 7 allegata) individua un valore di Vs30 pari a **195 m/s** al quale corrisponde una categoria di suolo sismico di tipo **C** così come indicato nella tab. 3.2.II del D.M. 14/01/08.

In allegato 3 vengono riportati i risultati e l'elaborazione completa dell'indagine MASW eseguita.

L'indagine sismica condotta in sito, alla luce delle volumetrie lorde in progetto, potrà essere riutilizzata anche nella fase successiva di intervento diretto, secondo quanto dettato dal D.P.G.R. 36/R-2009.

4.4 Verifica alla liquefazione

Il fenomeno di liquefazione si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un sisma, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero. Deve pertanto essere verificata la suscettibilità alla liquefazione nei casi in cui la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una modesta frazione fine limo argillosa. La possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione nel terreno di fondazione, con conseguente perdita di capacità portante, è legata appunto alla presenza di terreni sabbiosi monogranulari saturi (sotto falda) di bassa densità relativa (sciolti); inoltre, l'entità è direttamente correlabile all'omogeneità granulometrica e decresce all'aumentare sia della frazione fine, annullandosi, sia alla presenza di argille che di ghiaie e ciottolami.

Le indagini condotte nell'area in esame hanno permesso di riconoscere la presenza di litologie prevalentemente coesive, con una certa percentuale di materiale granulare entro una profondità massima di 3.0 m dal p.c., seguite da argille limose con presenza di ciottoli detritici sino alla profondità massima di 10.0 m indagata.

Anche se durante l'esecuzione delle indagini condotte in sito non è stata rilevata presenza di acqua all'interno dei fori penetrometrici e del foro del sondaggio, dai dati limitrofi esistenti non è da escludere la possibilità di circolazione di acqua nel primo spessore di terreno rimaneggiato limoso-sabbioso (1.5 m) e nel sottostante livello limoso-argilloso poco compatto in corrispondenza di periodi piovosi più intensi e, pertanto, qui di seguito, è stata condotta una verifica alla liquefazione per gli strati indagati con la campagna geognostica condotta in sito.

La verifica, a scopo cautelativo, è stata eseguita considerando un livello di falda collocato a – 1.5 m di profondità dal p.c.

I calcoli del potenziale di liquefazione degli strati sabbiosi sono stati eseguiti utilizzando i risultati delle prove penetrometriche dinamiche (Nspt) eseguite in sito (vedi allegato 1).

In virtù di ciò, relativamente ai dati in nostro possesso, è stata calcolata la tendenza alla liquefazione degli strati immersi in falda tramite il metodo NTC (2008).

La suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo di taglio ciclico CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot \frac{r_d}{MSF} \cdot \frac{1}{K_\sigma}$$

dove a_{\max} rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa in superficie contenente gli effetti amplificativi di sito. Il coefficiente riduttivo r_d viene valutato secondo quanto proposto da Idriss (1999):

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \operatorname{sen} \left[\left(\frac{z}{11,73} \right) + 5,133 \right]$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \operatorname{sen} \left[\left(\frac{z}{11,28} \right) + 5,142 \right]$$

con M si indica la magnitudo momento.

Laddove il terremoto atteso nell'area sia caratterizzato da una magnitudo con momento $M \neq 7,5$ occorre rivalutare la sollecitazione sismica introducendo un coefficiente correttivo MSF, nel metodo proposto si fa riferimento ai valori suggeriti dal NCEER riportati in Tabella 3.

Tabella 3- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988)	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

K_σ è un fattore di correzione della tensione litostatica compreso fra 1 e 1,5 (Olsen, 1984):

$$K_\sigma = 1 \quad \text{per } \sigma'_{vo} < 100$$

$$K_\sigma = (\sigma'_{vo}/100)^{f-1} \quad \text{per } \sigma'_{vo} \geq 100$$

dove f è un parametro funzione di $(N_{1,60})$ e σ'_{vo} .

La resistenza alla liquefazione CRR viene calcolata in funzione di parametri desunti da prove SPT attraverso le seguenti espressioni:

$$CRR = \left[\frac{1}{34 - (N_{1,60})_{cs}} \right] \frac{(N_{1,60})_{cs}}{135} + \left[\frac{50}{10(N_{1,60})_{cs} + 45} \right]^2 - \frac{1}{200}$$

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

$$N_{1,60} = C_N C_E C_R C_S C_B N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (Tabella 4).

Tabella 4- Rendimenti dei sistemi di infissione

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7÷1,2
Donut Hammer (USA)	0,5÷1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1÷1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8÷1,4

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	per $FC > 35\%$

CR è un fattore di correzione per la lunghezza L delle aste della prova, i valori suggeriti si riportano in Tabella 5:

Tabella 5- Fattore di correzione da applicare in funzione della lunghezza delle aste dello strumento

L	C_R
≤ 3	0,75
$3 < L \leq 4$	0,80
$4 < L \leq 6$	0,85
$6 < L \leq 10$	0,95
> 10	1,00

CS è un fattore di correzione per il tipo di campionatore:

per campionatori di tipo standard CS è sempre uguale a 1,0

per campionatori di tipo non-standard CS è compreso fra 1,1 e 1,3

CB è un fattore di correzione per il diametro del foro di sondaggio, assume i valori riportati in Tabella 6:

Tabella 6- *Fattore di correzione per il diametro del foro di sondaggio*

Diametro foro	C _B
65÷115 mm	0,75
115÷150 mm	0,80
150÷200 mm	0,85

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve essere $FS \leq 1,25$.

La probabilità di liquefazione PL, invece, è data dall'espressione proposta da Juang et alii (2001):

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_S}{0,72} \right)^{3,1}}$$

DATI GENERALI

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 1.5 m

DATI SIMICI

Tipo Suolo: A-Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi $V_{s30} > 800$

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	5.5
Peak ground acceleration (PGA)	0.25

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	limo sabbioso argilloso	1.5	3	19	19	8	0	1800	184	115
2	argilla limosa	3	10	20	21	30	0	6700	285	165

Energy Ratio (ER) 0.6
Indice di comportamento Ic

Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo Suolo	Validità
50	20	> 10	C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360	Valido
40	50		C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360	Valido

Correzione per ER (CE) (CE) 1
Resistenza alla punta normalizzata (CB) 1
Correzione per la magnitudo (MSF) 2.21

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Modificato	Interventi di stabilizzazione	Numero colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Dreni o pali di ghiaia (Ks)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1.70	32.700	30.739	1.700	1.000	0.750	17.240	0.623	1.000	0.183	0.061	3.01	Terreno NL	1.170
1.90	36.900	32.977	1.700	1.000	0.750	17.240	0.623	1.000	0.183	0.064	2.86	Terreno NL	1.366
2.10	41.100	35.216	1.685	1.000	0.750	17.133	0.623	1.000	0.182	0.067	2.73	Terreno NL	1.583
2.30	45.300	37.455	1.634	1.000	0.750	16.765	0.623	1.000	0.178	0.069	2.58	Terreno NL	1.886
2.50	49.500	39.693	1.587	1.000	0.750	16.428	0.623	1.000	0.175	0.071	2.45	Terreno NL	2.200

2.70	53.700	41.932	1.544	1.000	0.750	16.119	0.623	1.000	0.171	0.073	2.34	Terren o NL	2.522
2.90	57.900	44.171	1.505	1.000	0.750	15.833	0.623	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
3.10	62.100	46.409	1.468	1.000	0.800	47.276	0.623	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
3.30	66.300	48.648	1.434	1.000	0.800	46.291	0.623	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
3.50	70.500	50.887	1.402	1.000	0.800	45.373	0.623	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
3.70	74.700	53.125	1.372	1.000	0.800	44.513	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
3.90	78.900	55.364	1.344	1.000	0.800	43.706	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
4.10	83.100	57.603	1.318	1.000	0.850	45.318	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
4.30	87.300	59.841	1.293	1.000	0.850	44.557	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
4.50	91.500	62.080	1.269	1.000	0.850	43.837	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
4.70	95.700	64.319	1.247	1.000	0.850	43.155	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
4.90	99.900	66.557	1.226	1.000	0.850	42.508	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
5.10	104.10 0	68.796	1.206	1.000	0.850	41.893	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
5.30	108.30 0	71.035	1.186	1.000	0.850	41.307	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
5.50	112.50 0	73.273	1.168	1.000	0.850	40.748	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
5.70	116.70 0	75.512	1.151	1.000	0.850	40.214	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
5.90	120.90 0	77.751	1.134	1.000	0.850	39.703	0.622	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
6.10	125.10 0	79.989	1.118	1.000	0.950	43.239	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
6.30	129.30 0	82.228	1.103	1.000	0.950	42.715	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
6.50	133.50 0	84.467	1.088	1.000	0.950	42.212	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
6.70	137.70 0	86.705	1.074	1.000	0.950	41.728	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
6.90	141.90 0	88.944	1.060	1.000	0.950	41.263	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
7.10	146.10 0	91.183	1.047	1.000	0.950	40.815	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
7.30	150.30 0	93.421	1.035	1.000	0.950	40.384	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
7.50	154.50 0	95.660	1.022	1.000	0.950	39.967	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
7.70	158.70 0	97.899	1.011	1.000	0.950	39.565	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
7.90	162.90 0	100.13 8	0.999	1.000	0.950	39.177	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
8.10	167.10 0	102.37 6	0.988	1.000	0.950	38.801	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850

8.30	171.30 0	104.61 5	0.978	1.000	0.950	38.437	0.621	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
8.50	175.50 0	106.85 3	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
8.70	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
8.90	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
9.10	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
9.30	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
9.50	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
9.70	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850
9.90	0.000	0.000	0.967	1.000	0.950	38.085	0.620	1.000	0.169	0.075	2.25	Terren o NL	2.850

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

In conclusione, relativamente ai calcoli evidenziati nelle tabelle soprastanti, il valore del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (F_s) rientra nei margini di sicurezza evidenziati in letteratura tecnica; infatti, affinché il pericolo di liquefazione sia scongiurato, il valore di F_s non deve essere inferiore ad 1,25.

5 STRATIGRAFIA E PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

Come già accennato precedentemente, ai fini della caratterizzazione specifica dei terreni presenti nell'area in esame, sono state eseguite in data Marzo 2014 n. 3 prove penetrometriche di tipo dinamico spinte sino alla profondità massima di 6.0 m dal p.c. (vedi allegato 1); in data Giugno 2015 è stato, inoltre, eseguito in sito un sondaggio geognostico a carotaggio continuo spinto sino a 10.0 m di profondità dal p.c. (vedi log stratigrafico di figura 6 allegata), durante il cui avanzamento è stato prelevato un campione di terreno indisturbato tra 4.0 m e 4.5 m di profondità sottoposto ad analisi geotecniche di laboratorio (vedi certificati in allegato 2).

L'ubicazione delle suddette indagini viene riportata nella planimetria di figura 7 allegata.

Mediante la correlazione dei risultati delle analisi geotecniche di laboratorio, e dell'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche con l'analisi visiva delle carote estratte durante il sondaggio, è stato possibile ricostruire la seguente stratigrafia media (vedi log. stratigrafico di figura 6 e sezione A - A di figura 9 allegata):

- Strato n° 1 – TERRENO RIMANEGGIATO (P.C. – 1.50 M)

Si tratta di un primo livello di terreno rimaneggiato limoso-sabbioso con presenza di ciottoli sparsi, caratterizzato da un più elevato grado di permeabilità, sede di un possibile ristagno delle acque di infiltrazione superficiali in casi di eventi meteorici particolarmente intensi.

- Strato n° 2 – LIMO ARGILLOSO POCO COMPATTO DI COLORE GRIGIO (1.50 M – 3.00 M)

Livello prevalentemente coesivo in cui la frazione granulare è comunque presente; durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche tale livello è stato intercettato sino ad una profondità media di 3.0 m dal p.c., mentre il sondaggio geognostico ha rilevato un suo minor spessore, intercettandolo solamente tra 1.5 m e 2.0 m di profondità.

Attraverso l'elaborazione delle prove dinamiche, è possibile attribuire a tale livello i seguenti parametri geotecnici medi:

- peso di volume $\gamma = 1.88 \text{ t/mc}$
- coesione non drenata $C_u = 0.30 \text{ Kg/cmq}$
- modulo edometrico $M_o = 38 \text{ Kg/cmq}$

- Strato n° 3 – ARGILLA LIMOSA COMPATTA DI COLORE OCRA ROSSO CON PRESENZA DI SPORADICI CIOTTOLI DETRITICI (3.00 M – 10.00 M)

Livello prevalentemente coesivo con presenza sporadica di ciottoli detritici di piccole dimensioni; nell'ultimo metro di perforazione (tra 9.0 m e 10.0 m) si osserva un aumento dei ciottoli detritici, a grana da media a grossolana.

In corrispondenza di tale livello è stato prelevato n. 1 campione di terreno indisturbato alla profondità di 4.0 m. Il campione C1 è stato sottoposto alla determinazione del peso di volume (γ), umidità naturale (W), prova di taglio consolidato-drenato CD (ϕ' , c') e prova ad espansione laterale libera ELL (Cu).

Le suddette analisi di laboratorio, integrate e mediate con l'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche, hanno permesso di ricavare i seguenti parametri geotecnici medi:

- peso di volume $\gamma = 2.03 \text{ t/mc}$
- umidità naturale $W = 17.9 \%$
- angolo di attrito efficace $\phi' = 31.1^\circ$
- coesione efficace $c' = 0.14 \text{ Kg/cm}^2$
- coesione non drenata $C_u = 0.7 \text{ Kg/cm}^2$
- modulo edometrico $M_o = 208 \text{ Kg/cm}^2$

Nelle tabelle seguenti si descrivono gli orizzonti litologici, con i relativi parametri geotecnici mediati, lungo le n. 3 verticali di prova relative alle prove penetrometriche dinamiche (vedi allegato 1).

Prova penetrometrica dinamica PD 1

STRATO	PROFONDITÀ (m)	LITOLOGIA	$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)}$	ϕ (°)	C_u (Kg/cm ²)	M_o (Kg/cm ²)
1	p.c. – 1.60	Terreno rimaneggiato	-	-	-	-
2	1.60 – 3.00	Limo argilloso poco compatto	1.89	-	0.31	38.95
3	3.00– 6.00	Argilla limosa compatta	2.16	-	1.11	221.25

Tabella 7 – Parametri geotecnici lungo la verticale di prova PD 1. γ - peso di volume; ϕ – angolo di attrito interno; C' – coesione efficace; M_o – Modulo edometrico.

Prova penetrometrica dinamica PD 2

STRATO	PROFONDITÀ (m)	LITOLOGIA	γ (t/m ³)	ϕ (°)	Cu (Kg/cm ²)	M _o (Kg/cm ²)
1	p.c. – 1.50	Terreno rimaneggiato	-	-	-	-
2	1.50 – 3.00	Limo argilloso poco compatto	1.88	-	0.30	37
3	3.00– 5.60	Argilla limosa compatta	2.13	-	1.03	203.4

Tabella 8 – Parametri geotecnici lungo la verticale di prova PD 2. γ - peso di volume; ϕ – angolo di attrito interno; C' – coesione efficace; M_o – Modulo edometrico.

Prova penetrometrica dinamica PD 3

STRATO	PROFONDITÀ (m)	LITOLOGIA	γ (t/m ³)	ϕ (°)	Cu (Kg/cm ²)	M _o (Kg/cm ²)
1	p.c. – 1.70	Terreno rimaneggiato	-	-	-	-
2	1.70 – 3.00	Limo argilloso poco compatto	1.88	-	0.30	37.7
3	3.00– 5.70	Argilla limosa compatta	2.13	-	1.01	199.43

Tabella 9 – Parametri geotecnici lungo la verticale di prova PD 3. γ - peso di volume; ϕ – angolo di attrito interno; C' – coesione efficace; M_o – Modulo edometrico.

All'interno dei fori penetrometrici (Marzo 2014) come all'interno del foro del sondaggio geognostico (Giugno 2015) non è stata rilevata acqua sino alla profondità massima di 10.0 m indagata.

Alla luce di quanto sopra, la platea di fondazione sarà impostata all'interno dello strato di argilla limosa compatta (strato 3).

6 PRESCRIZIONI RELATIVE AGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Alla luce dei risultati delle indagini geognostiche condotte sul sito e della definizione delle Classi di Pericolosità e di Fattibilità di appartenenza ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011, si possono esprimere le seguenti considerazioni:

1. L'area interessata dal progetto risulta caratterizzata dalla presenza di uno strato superficiale di terreno rimaneggiato seguito da depositi limoso-argillosi poco compatti, questi ultimi intercettati sino a 3.0 m di profondità durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche, mentre sino a 2.0 m di profondità durante il sondaggio geognostico. Pertanto, per la realizzazione del garage e dei locali accessori previsti a Nord del fabbricato si consiglia l'esecuzione di saggi geognostici preliminari con escavatore meccanico o di ulteriori prove penetrometriche spinte sino ad una profondità di 3.0 m/ 4.0 m in modo tale da definire con esattezza lo spessore del terreno rimaneggiato superficiale (probabilmente avente uno spessore maggiore nella zona dove sono state eseguite le indagini geognostiche in quanto più bassa rispetto al settore Nord del Comparto) ai fini del dimensionamento delle strutture di fondazione. La platea di fondazione del fabbricato poggerà, invece, all'interno dello strato di argilla limosa compatta (vedi sezione A – A di figura 9) di buone proprietà geotecniche.
2. Le indagini condotte in questa fase di Fattibilità (sondaggio geognostico con prelievo di un campione di terreno indisturbato, prove penetrometriche dinamiche e indagine sismica Masw) sono state eseguite ai sensi del D.P.G.R. 36/R-2009 considerando la volumetria lorda del fabbricato (superiore a 1.500 mc – classe di indagine n. 3) e del garage e locali accessori da realizzare a Nord del fabbricato (inferiore a 1.500 mc – classe di indagine n. 2) e, pertanto, potranno essere utilizzate nella fase successiva di realizzazione dell'intervento diretto.
3. Dal rilievo plano-altimetrico fornitoci dal Progettista , risulta che le quote medie del p.c. attuale sono superiori a quella dell'altezza massima del battente idraulico per eventi con $Tr = 200$ anni dedotta dallo studio-idrologico-idraulico eseguito a supporto del R.U. Comunale e pari a + 11.70 m sul l.m.m.. Pertanto, la nuova costruzione risulta già in sicurezza idraulica e la sua realizzazione non comporta un incremento di pericolosità nelle aree limitrofe. Tuttavia, al fine di perseguire un maggior livello di sicurezza idraulica, visto che una parte del fabbricato da realizzare ricade nella classe elevata di Pericolosità Idraulica (I.3) e, di conseguenza, nella Classe di Fattibilità Idraulica F3, sono state prese in

considerazione le altezze delle lame di acqua dedotte dalle Classi di inviluppo esondazioni del Rio Brandano per $Tr = 200$ anni indicate dallo studio idrologico-idraulico condotto in sito a supporto della Variante al R.U. Comunale. Come osservabile nella planimetria di figura 10 allegata, una porzione del fabbricato ricade nella classe con lama di acqua compresa tra 0.01 m e 0.3 m, mentre una minima porzione nella classe con altezza compresa tra 0.3 m e 0.5 m. Il volume totale che ne deriva, pari a circa 24 mc, sarà compensato utilizzando l'intercapedine che si andrà a creare al di sotto degli igloo previsti dal Progetto, tramite la collocazione di apposite griglie di presa in modo tale che le possibili acque di esondazione possano raggiungere tale volume messo a disposizione. Inoltre, ai fini della riduzione della vulnerabilità delle opere previste, la pavimentazione in progetto ad Ovest del Comparto sarà resa completamente drenante (100% permeabile a verde) al fine di consentire l'infiltrazione delle acque; le pavimentazioni del resede del fabbricato, se possibile, saranno realizzate con materiali semipermeabili. Tutte le altre zone rimanenti saranno, invece, mantenute a verde come è lo stato attuale (vedi planimetria di figura 7 allegata ed elaborati di Progetto).

4. Le acque di scarico provenienti dal fabbricato in progetto saranno immesse nella pubblica fognatura presente a Sud del Comparto; le acque bianche provenienti dai pluviali saranno, invece, raccolte all'interno di un accumulo e utilizzate per l'irrigazione delle aree a verde.
5. Il progetto prevede la realizzazione di un parcheggio pubblico in prossimità della Chiesa (a Sud) ubicata ad Est dell'area oggetto del Piano Attuativo lungo Via della Chiesa di dimensioni di circa 35 m x 11.0 m. Come osservabile negli elaborati di Progetto, la superficie del parcheggio sarà resa completamente drenante (100% permeabile) in modo tale da non modificare lo stato attuale di permeabilità dei terreni. In fase successiva di realizzazione dell'intervento diretto, dovranno essere realizzate delle indagini puntuali quali prove di carico su piastra e/o prove penetrometriche al fine di caratterizzare i terreni di fondazione e stabilire la quota di fondo del pacchetto previsto.

7 CONCLUSIONI

La presente relazione di fattibilità geologica è stata redatta a supporto del Piano Attuativo di Iniziativa Privata - realizzazione di un edificio residenziale, di un parcheggio pubblico e dei relativi accessi in Loc. San Giovanni alla Vena, all'interno del territorio comunale di Vicopisano (vedi corografia di figura 1).

Si è proceduto ad un inquadramento dell'area oggetto di intervento in termini di Pericolosità e Fattibilità Geomorfologica e Idraulica sulla base di quanto dettato dall'art. 62 della L.R. 3 gennaio 2005, n. 1 e dal D.P.G.R. 25 Ottobre 2011, n. 53/R (Regolamento di attuazione dell'art. 62 della Legge Regionale 3 Gennaio 2005, n.1 in materia di indagini geologiche).

Al Comparto in esame, sulla base della Scheda Norma Comunale dei Comparti soggetti a Piano Attuativo – U.T.O.E. n. 2 San Giovanni alla Vena-Cevoli (Comparto 4), sono state attribuite le seguenti Classi di Fattibilità:

- **Fattibilità Geologica con normali vincoli – F2**
- **Fattibilità Idraulica con normali vincoli – F2 e condizionata - F3**
- **Fattibilità Sismica condizionata – S3**

In base a tali Fattibilità, derivanti dalla situazione di pericolosità del sito, sono state date una serie di indicazioni relative alle modalità di intervento per le opere previste, il tutto come descritto nel capitolo 6.

Alle condizioni e nei limiti sopra esposti, gli interventi previsti dal presente Piano Attuativo risultano fattibili dal punto di vista geologico – tecnico, sismico ed idrologico - idraulico.

Ponte a Egola, Agosto 2015



The stamp is circular and contains the following text: "ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA", "Dott. Geol. ERALDO SANTARNECCHI", and "N° 240".

Dott. Geol. Eraldo Santarnecchi

ALLEGATI:

- **Fig. 1** – Corografia (*scala 1:10.000*).
- **Fig. 2** – Inquadramento geologico-geomorfologico (*scala 1:10.000*) – Tratto dalla regione Toscana – Sezione n. 273110.
- **Fig. 3** – Carta della Pericolosità Geologica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 – Tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale.
- **Fig. 4** – Carta della Pericolosità Idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 – Tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale.
- **Fig. 5** – Carta della Pericolosità Sismica Locale ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011 – Tratta dalla Variante Generale al R.U. Comunale.
- **Fig. 6** – Stratigrafia sondaggio S1.
- **Fig. 7** – Planimetria generale con indicazione indagini geognostiche eseguite (*scala 1:500*).
- **Fig. 8** – Sezione ambientale D – D con ricostruzione litostratigrafica (*scala 1:200*).
- **Fig. 9** – Pianta piano terra (*scala 1:200*); Sezione litostratigrafica interpretativa A – A (*scala 1:150*).
- **Fig. 10** – Planimetria con sovrapposizione classi di involucro esondazioni R. Brandano Tr 200 anni (*scala 1:500*).

- **Allegato 1** – Elaborati prove penetrometriche dinamiche.
- **Allegato 2** – Certificati analisi geotecniche di laboratorio.
- **Allegato 3** – Elaborati indagine sismica MASW.

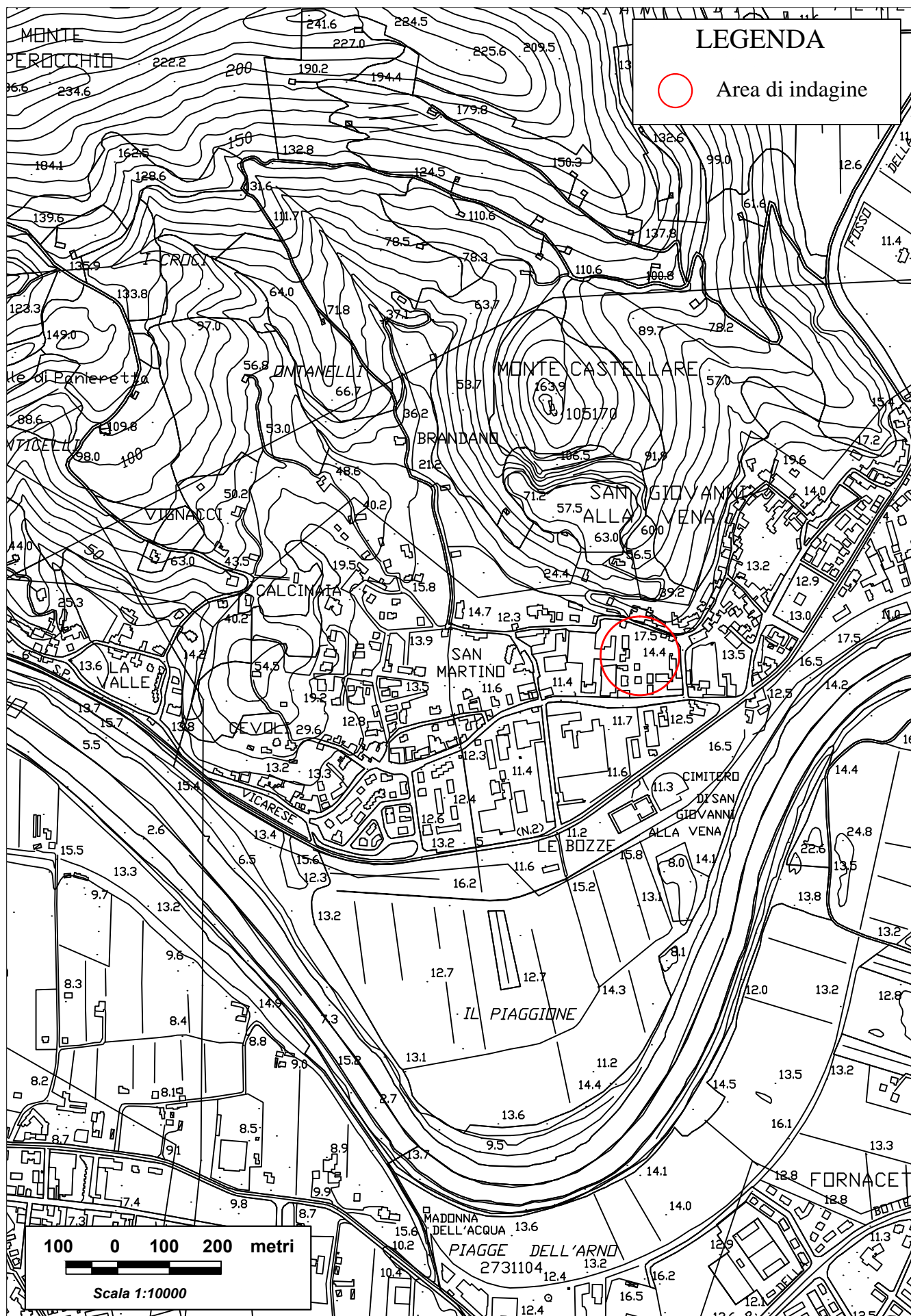


Figura 1- Corografia

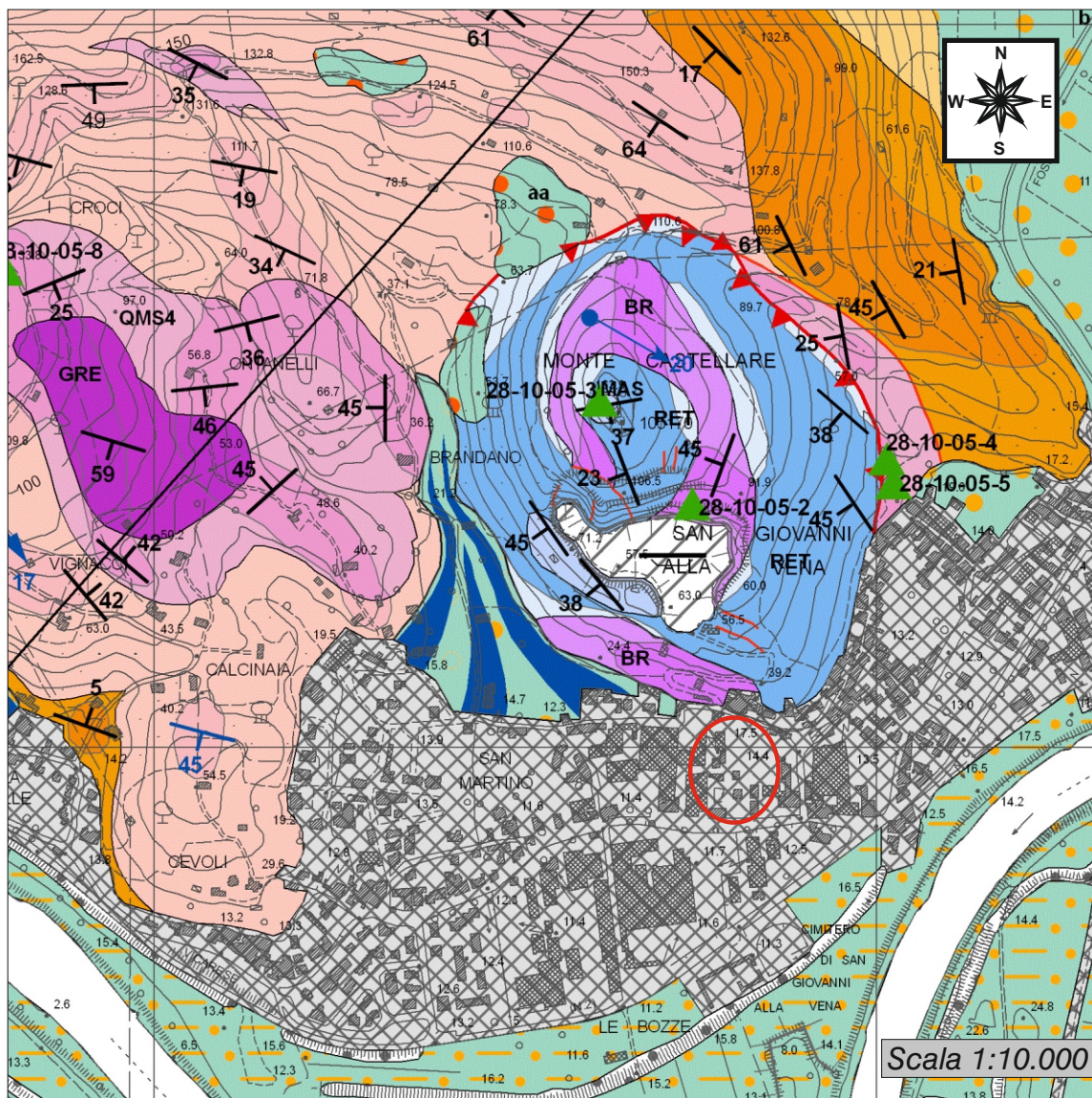
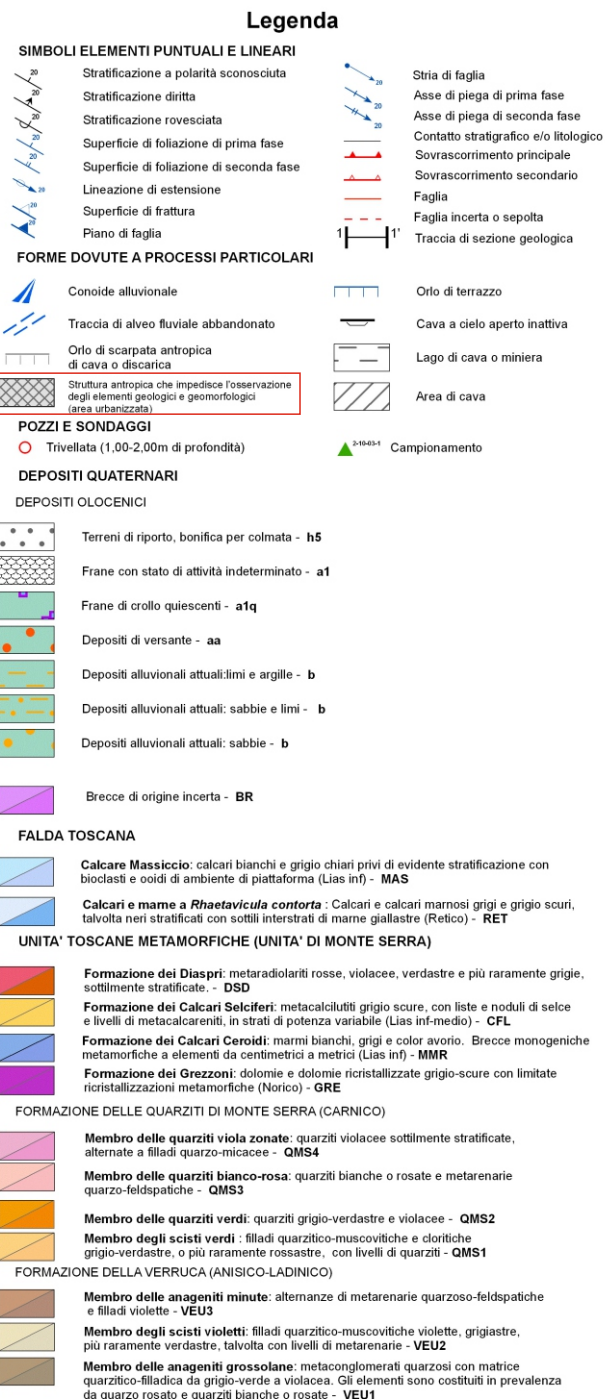
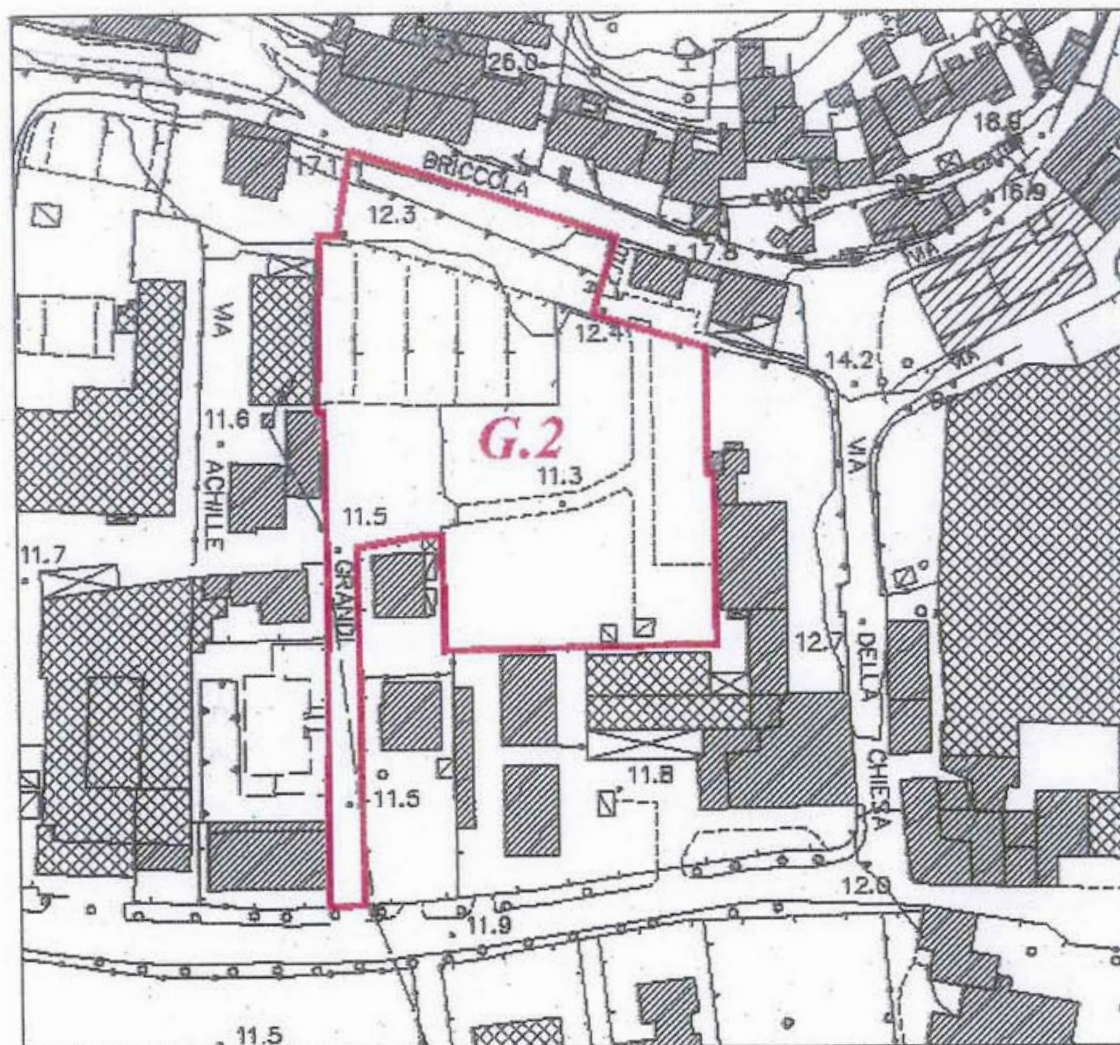
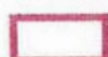


Figura 2 - INQUADRAMENTO GELOGICO-GEOMORFOLOGICO
Sezione n. 273110 - CASCINA

Area in esame



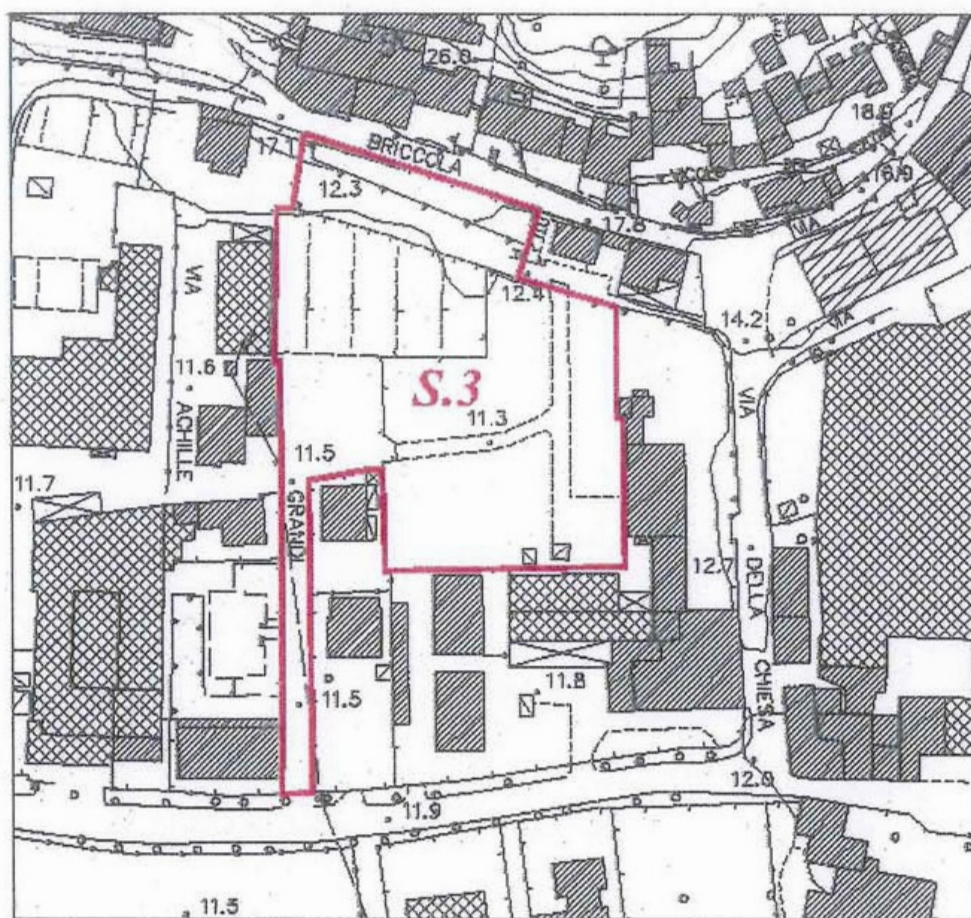


 Area di variante

Classe di pericolosità geologica

G.2 Pericolosità geologica media: aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto

**FIGURA 3 - Carta della Pericolosità Geologica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011
(Tratta dalla Relazione Indagini Geologiche di supporto alla Variante
Generale al Regolamento Urbanistico Comunale)**



Area di variante

Classe di pericolosità sismica locale

S.3 Pericolosità sismica locale elevata: zone stabili suscettibili di amplificazioni locali per un alto contrasto d'impedenza sismica tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri

**FIGURA 5 - Carta della Pericolosità Sismica Locale ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011
(Tratta dalla Relazione Indagini Geologiche di supporto alla Variante
Generale al Regolamento Urbanistico Comunale)**

FIGURA 6: Stratigrafia sondaggio S1

CANTIERE: Vicopisano (PI), Loc. San Giovanni alla Vena, Via Grandi		SONDAGGIO S1 DATA:30/06/15	Metodo di perforazione CAROTAGGIO CONTINUO	Geologo responsabile della campagna geognostica: Dott. Geol. Eraldo Santarnecchi
Quota assoluta p.c. 12.0 m l.m.m.	Impresa esecutrice Mappogeognostica s.r.l.	cassette catalogatrici n. 2	PROFONDITA' RAGGIUNTA ml 10.0 da p.c.	

	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	QUOTA	CAMPIONE	SPT	Livello piezometrico
1		Terreno rimaneggiato limoso-sabbioso con ciottoli sparsi				
			1.50			
2		Limo argilloso poco compatto grigio	2.00			
3						
4		$\gamma = 2.03 \text{ t/mc}$ $W = 17.9 \%$ $\phi' = 31.1^\circ$ $c' = 0.14 \text{ Kg/cm}^2$ $Cu = 0.32 \text{ Kg/cm}^2$		C1	- 4.0 m	
5					- 4.5 m	
6						
7						
8						
9		Argilla limosa compatta ocra rosso con sporadici ciottoli detritici (tra 9.0 m e 10.0 m presenza consistente di ciottoli detritici medio-grossolani)				
			10.00			



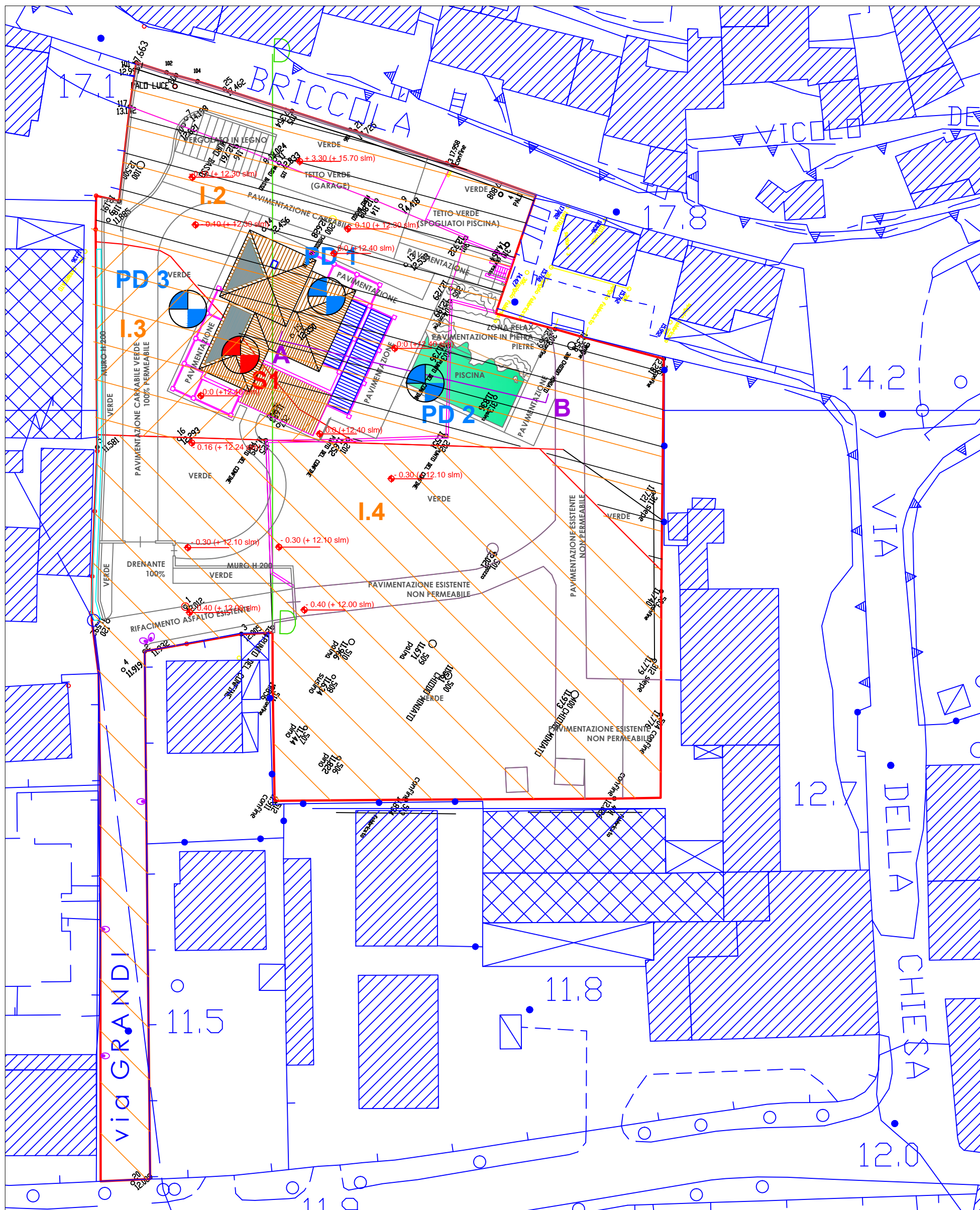
Foto 1 - Ubicazione sondaggio



Foto 2 - Cassetta n. 1 (da 0.00 a - 5.0 m)



Foto 3 - Cassetta n. 2 (da -5.00 a - 10.00 m)



LEGENDA




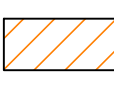

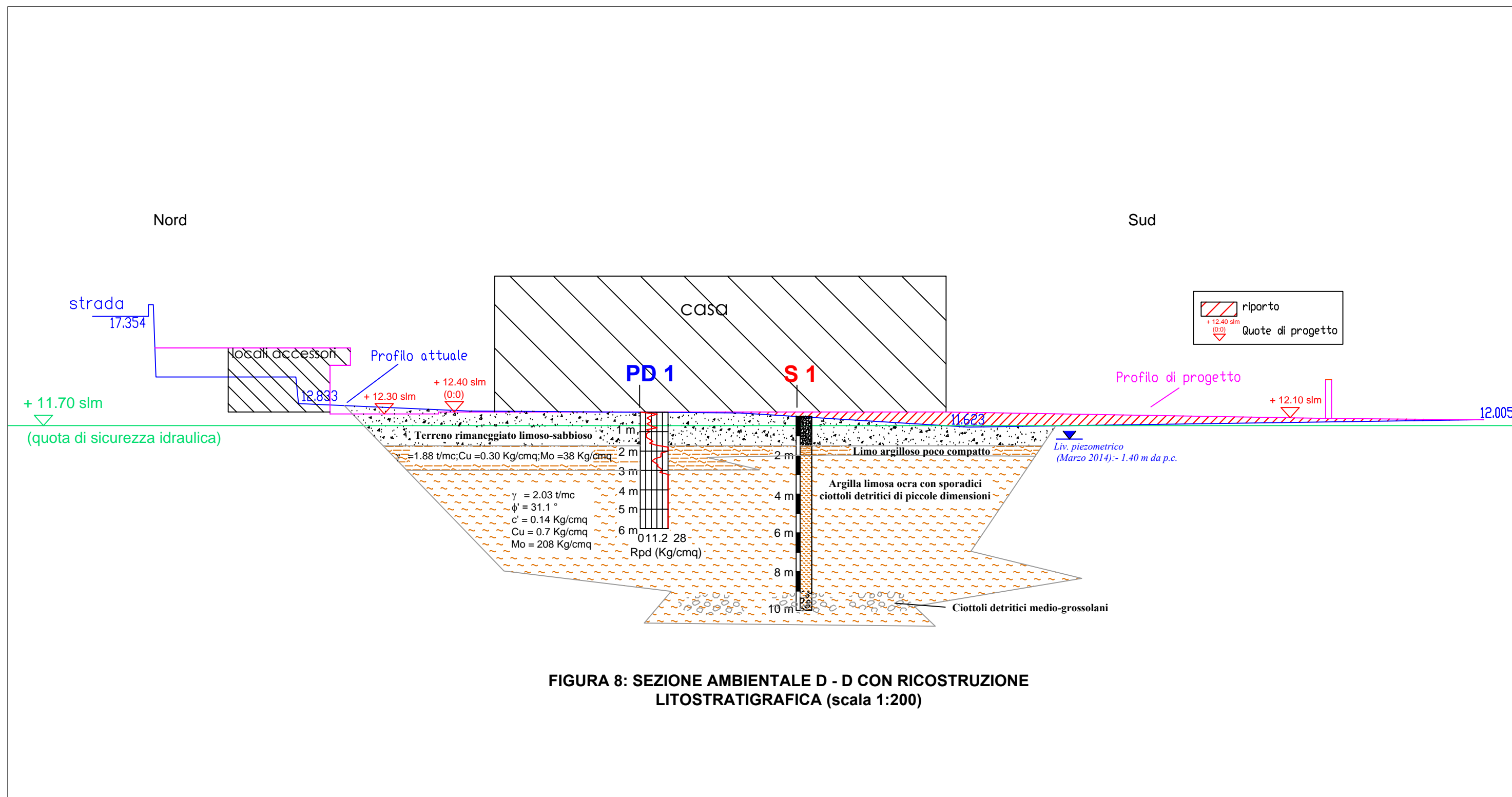
- PD 1**  Ubicazione prove penetrometriche dinamiche (Marzo 2014)
- S 1**  Ubicazione sondaggio geognostico (Giugno 2015)
- A B**  Profilo indagine sismica MASW (Marzo 2014)
-  Classi di Pericolosità Idraulica ai sensi del D.P.G.R. 53/R-2011
- D**  Sezione sezione ambientale

FIGURA 7: Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche eseguite (scala 1:500)



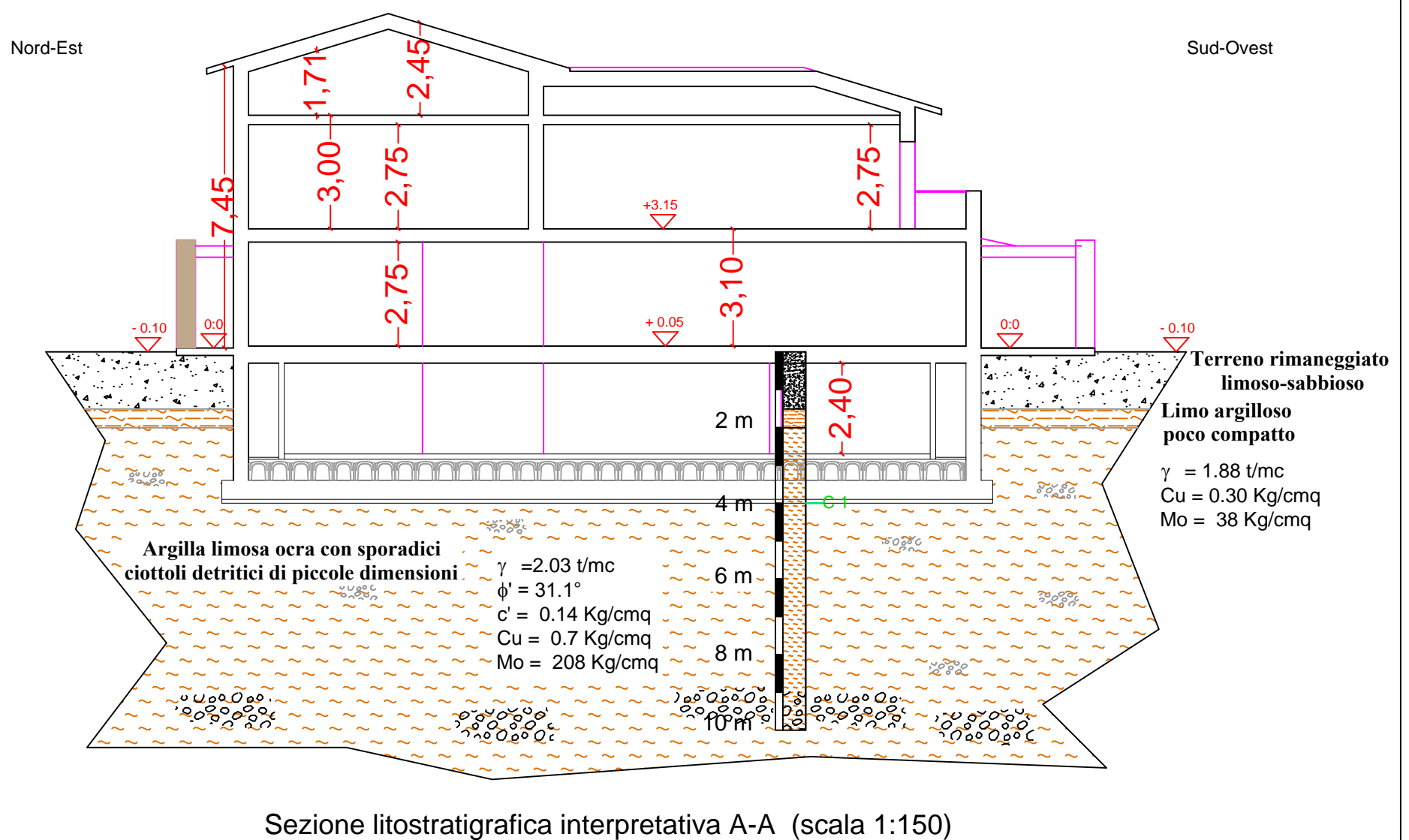
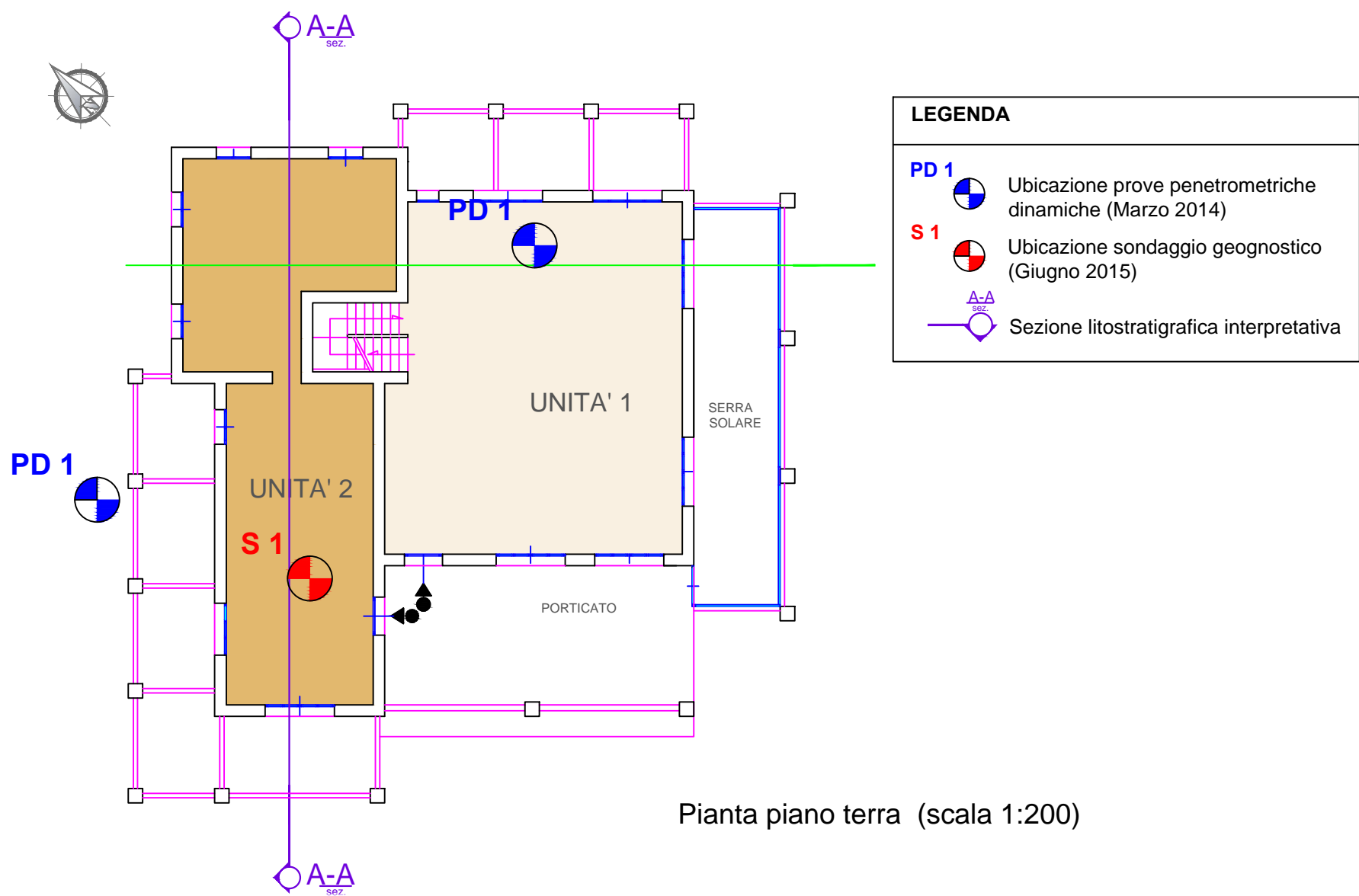
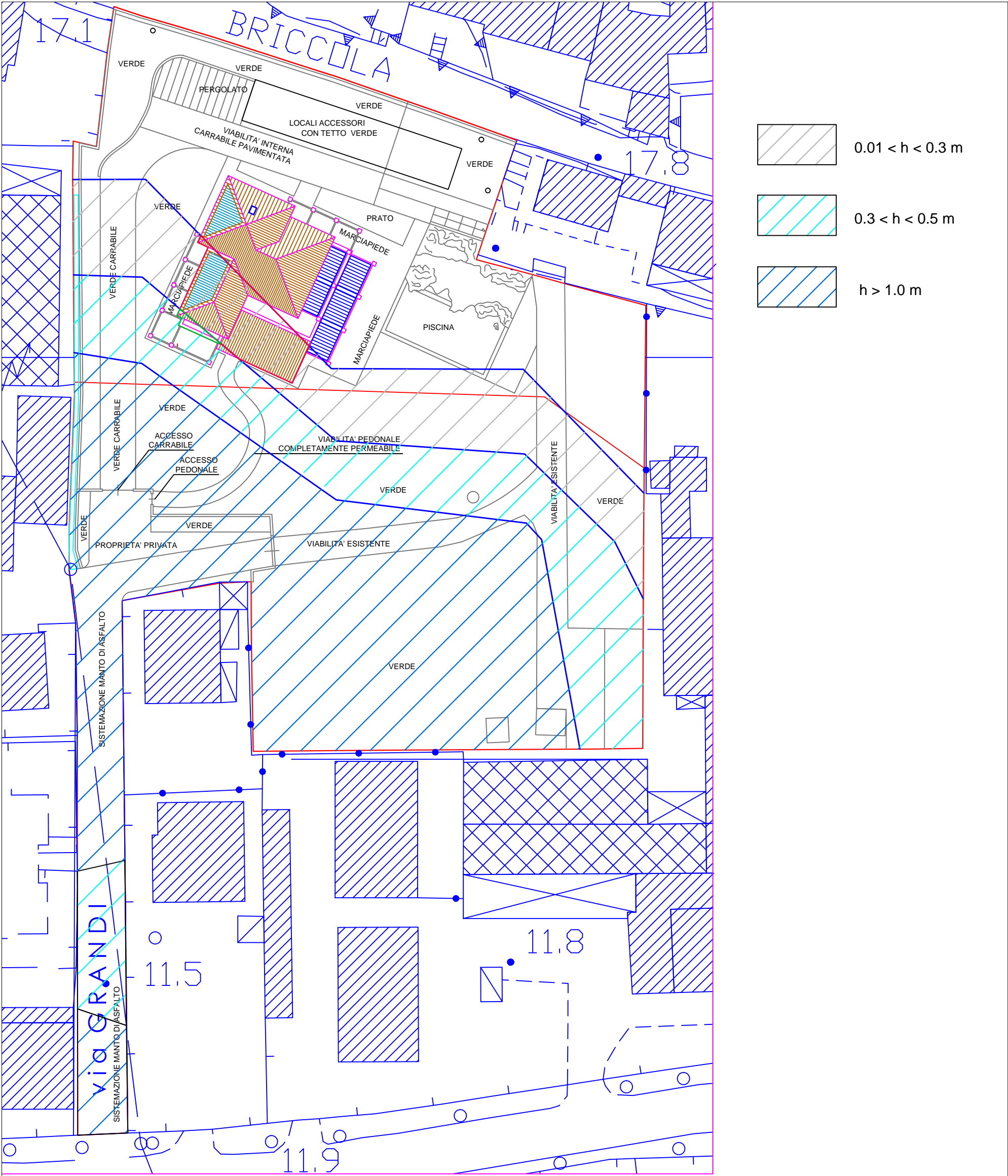


FIGURA 9



Porzione di fabbricato ricadente in area con altezza lama d'acqua compresa tra 0.01 e 0.3 m(Sup: circa 138 mq)
Volume: 138 mq x 0.155 m = 21.4 mc

Porzione di fabbricato ricadente in area con altezza lama d'acqua compresa tra 0.3 e 0.5 m (Sup: circa 6.5 mq)
Volume: 6.5 mq x 0.4 m = 2.6 mc

VOLUME TOTALE: 24 MC

Per perseguire un maggior livello di sicurezza idraulica, tale volume sarà stoccato nell'intercapedine al di sotto degli igloo

PLANIMETRIA CON SOVRAPPOSIZIONE CLASSI DI INVILUPPO
ESONDAZIONI R. BRANDANO TR 200 ANNI (scala 1:500)

FIGURA 10

ALLEGATO 1

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David Cantiere: Vicopisano (PI) Località: San Giovanni alla Vena	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PENNY 30

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	12 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.90 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Esecutore e responsabile prove:
Dott. Geol. Eraldo Santarnecchi

PROVA ...PD 1

Strumento utilizzato... PENNY 30
Prova eseguita in data 21/03/2014
Profondità prova 6.00 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	5	0.857	17.36	20.27	0.87	1.01
0.20	3	0.855	10.39	12.16	0.52	0.61
0.30	2	0.853	6.91	8.11	0.35	0.41
0.40	3	0.851	10.35	12.16	0.52	0.61
0.50	3	0.849	10.32	12.16	0.52	0.61
0.60	2	0.847	6.87	8.11	0.34	0.41
0.70	3	0.845	10.28	12.16	0.51	0.61
0.80	5	0.843	17.09	20.27	0.85	1.01
0.90	2	0.842	6.82	8.11	0.34	0.41
1.00	3	0.840	9.69	11.54	0.48	0.58
1.10	2	0.838	6.45	7.69	0.32	0.38
1.20	2	0.836	6.43	7.69	0.32	0.38
1.30	2	0.835	6.42	7.69	0.32	0.38
1.40	3	0.833	9.61	11.54	0.48	0.58
1.50	4	0.831	12.79	15.38	0.64	0.77
1.60	3	0.830	9.57	11.54	0.48	0.58
1.70	5	0.828	15.92	19.23	0.80	0.96
1.80	9	0.826	28.60	34.62	1.43	1.73
1.90	21	0.725	58.54	80.77	2.93	4.04
2.00	12	0.823	36.14	43.90	1.81	2.20
2.10	7	0.822	21.04	25.61	1.05	1.28
2.20	7	0.820	21.00	25.61	1.05	1.28
2.30	7	0.819	20.96	25.61	1.05	1.28
2.40	5	0.817	14.95	18.29	0.75	0.91
2.50	4	0.816	11.94	14.63	0.60	0.73
2.60	5	0.814	14.89	18.29	0.74	0.91
2.70	6	0.813	17.84	21.95	0.89	1.10
2.80	6	0.811	17.81	21.95	0.89	1.10
2.90	7	0.810	20.74	25.61	1.04	1.28
3.00	8	0.809	22.57	27.91	1.13	1.40
3.10	7	0.807	19.71	24.42	0.99	1.22
3.20	10	0.806	28.12	34.88	1.41	1.74
3.30	10	0.805	28.07	34.88	1.40	1.74
3.40	11	0.803	30.83	38.37	1.54	1.92
3.50	13	0.752	34.11	45.35	1.71	2.27
3.60	16	0.751	41.91	55.81	2.10	2.79
3.70	13	0.750	34.00	45.35	1.70	2.27
3.80	20	0.748	52.21	69.77	2.61	3.49
3.90	20	0.747	52.13	69.77	2.61	3.49
4.00	23	0.696	53.36	76.67	2.67	3.83
4.10	26	0.695	60.22	86.67	3.01	4.33

4.20	24	0.694	55.50	80.00	2.77	4.00
4.30	30	0.693	69.26	100.00	3.46	5.00
4.40	30	0.691	69.14	100.00	3.46	5.00
4.50	33	0.640	70.44	110.00	3.52	5.50
4.60	32	0.639	68.19	106.67	3.41	5.33
4.70	37	0.638	78.71	123.33	3.94	6.17
4.80	35	0.637	74.33	116.67	3.72	5.83
4.90	35	0.636	74.21	116.67	3.71	5.83
5.00	38	0.635	77.01	121.28	3.85	6.06
5.10	37	0.634	74.87	118.09	3.74	5.90
5.20	39	0.583	72.57	124.47	3.63	6.22
5.30	40	0.582	74.30	127.66	3.71	6.38
5.40	41	0.581	76.03	130.85	3.80	6.54
5.50	41	0.580	75.90	130.85	3.80	6.54
5.60	42	0.579	77.63	134.04	3.88	6.70
5.70	44	0.578	81.19	140.43	4.06	7.02
5.80	44	0.577	81.06	140.43	4.05	7.02
5.90	44	0.576	80.94	140.43	4.05	7.02
6.00	50	0.575	88.08	153.06	4.40	7.65

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1.6	2.94	11.66	Coesivo	0	1.63	1.86	0.13	1	2.94	terreno rimaneggiato limoso-sabbioso
3	7.79	28.86	Coesivo	0	2.11	2.16	0.41	1	7.79	limo argilloso poco compatto
6	29.5	96.56	Coesivo	0	2.16	2.36	0.88	1	29.5	argilla limosa compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PD 1

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1)	0.00-1.60	2.94	Coesivo	1.63	1.86	--	0.12	14.7	29.40	--	--	102.89
Strato (2)	1.60-3.00	7.79	Coesivo	1.89	1.90	--	0.31	38.95	77.90	--	--	149.32
Strato (3)	3.00-6.00	29.5	Coesivo	2.16	2.36	--	1.11	221.25	295.00	--	--	214.0

PROVA ...PD 2

Strumento utilizzato... PENNY 30
 Prova eseguita in data 21/03/2014
 Profondità prova 5.60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	4	0.857	13.89	16.22	0.69	0.81
0.20	4	0.855	13.86	16.22	0.69	0.81
0.30	3	0.853	10.37	12.16	0.52	0.61
0.40	3	0.851	10.35	12.16	0.52	0.61
0.50	2	0.849	6.88	8.11	0.34	0.41
0.60	2	0.847	6.87	8.11	0.34	0.41
0.70	1	0.845	3.43	4.05	0.17	0.20
0.80	2	0.843	6.84	8.11	0.34	0.41
0.90	2	0.842	6.82	8.11	0.34	0.41
1.00	1	0.840	3.23	3.85	0.16	0.19
1.10	2	0.838	6.45	7.69	0.32	0.38
1.20	2	0.836	6.43	7.69	0.32	0.38
1.30	4	0.835	12.84	15.38	0.64	0.77
1.40	4	0.833	12.81	15.38	0.64	0.77
1.50	4	0.831	12.79	15.38	0.64	0.77
1.60	7	0.830	22.33	26.92	1.12	1.35
1.70	7	0.828	22.29	26.92	1.11	1.35
1.80	7	0.826	22.25	26.92	1.11	1.35
1.90	10	0.825	31.72	38.46	1.59	1.92
2.00	7	0.823	21.08	25.61	1.05	1.28
2.10	6	0.822	18.04	21.95	0.90	1.10
2.20	7	0.820	21.00	25.61	1.05	1.28
2.30	7	0.819	20.96	25.61	1.05	1.28
2.40	7	0.817	20.93	25.61	1.05	1.28
2.50	8	0.816	23.87	29.27	1.19	1.46
2.60	8	0.814	23.83	29.27	1.19	1.46
2.70	7	0.813	20.82	25.61	1.04	1.28
2.80	7	0.811	20.78	25.61	1.04	1.28
2.90	8	0.810	23.71	29.27	1.19	1.46
3.00	8	0.809	22.57	27.91	1.13	1.40
3.10	11	0.807	30.98	38.37	1.55	1.92
3.20	11	0.806	30.93	38.37	1.55	1.92
3.30	14	0.755	36.86	48.84	1.84	2.44
3.40	14	0.753	36.79	48.84	1.84	2.44
3.50	14	0.752	36.73	48.84	1.84	2.44
3.60	14	0.751	36.67	48.84	1.83	2.44
3.70	20	0.750	52.30	69.77	2.62	3.49
3.80	22	0.698	53.60	76.74	2.68	3.84
3.90	22	0.697	53.51	76.74	2.68	3.84
4.00	24	0.696	55.68	80.00	2.78	4.00
4.10	24	0.695	55.59	80.00	2.78	4.00
4.20	26	0.694	60.12	86.67	3.01	4.33
4.30	27	0.693	62.33	90.00	3.12	4.50
4.40	28	0.691	64.53	93.33	3.23	4.67
4.50	28	0.690	64.43	93.33	3.22	4.67
4.60	32	0.639	68.19	106.67	3.41	5.33

4.70	34	0.638	72.33	113.33	3.62	5.67
4.80	36	0.637	76.45	120.00	3.82	6.00
4.90	36	0.636	76.33	120.00	3.82	6.00
5.00	37	0.635	74.99	118.09	3.75	5.90
5.10	37	0.634	74.87	118.09	3.74	5.90
5.20	38	0.633	76.77	121.28	3.84	6.06
5.30	38	0.632	76.65	121.28	3.83	6.06
5.40	39	0.581	72.32	124.47	3.62	6.22
5.50	39	0.580	72.20	124.47	3.61	6.22
5.60	40	0.579	73.93	127.66	3.70	6.38

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1.5	2.67	10.58	Coesivo	0	1.61	1.86	0.12	1	2.67	terreno rimaneggiato limoso-sabbioso
3	7.4	27.37	Coesivo	0	2.1	2.31	0.4	1	7.4	limo argilloso poco compatto
5.6	27.12	89.77	Coesivo	0	0.0	0.0	0.56	1	27.12	argilla limosa compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PD 2

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1)	0.00-1.50	2.67	Coesivo	1.61	1.86	--	0.11	13.35	26.70	--	--	99.94
Strato (2)	1.50-3.00	7.4	Coesivo	1.88	1.90	--	0.30	37.0	74.00	--	--	147.37
Strato (3)	3.00-5.60	27.12	Coesivo	2.13	2.28	--	1.03	203.4	271.20	--	--	209.07

PROVA ...PD 3

Strumento utilizzato... PENNY 30
Prova eseguita in data 21/03/2014
Profondità prova 5.70 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	2	0.857	6.95	8.11	0.35	0.41

0.20	4	0.855	13.86	16.22	0.69	0.81
0.30	2	0.853	6.91	8.11	0.35	0.41
0.40	2	0.851	6.90	8.11	0.34	0.41
0.50	2	0.849	6.88	8.11	0.34	0.41
0.60	2	0.847	6.87	8.11	0.34	0.41
0.70	2	0.845	6.85	8.11	0.34	0.41
0.80	4	0.843	13.68	16.22	0.68	0.81
0.90	4	0.842	13.65	16.22	0.68	0.81
1.00	2	0.840	6.46	7.69	0.32	0.38
1.10	4	0.838	12.89	15.38	0.64	0.77
1.20	4	0.836	12.87	15.38	0.64	0.77
1.30	4	0.835	12.84	15.38	0.64	0.77
1.40	3	0.833	9.61	11.54	0.48	0.58
1.50	3	0.831	9.59	11.54	0.48	0.58
1.60	3	0.830	9.57	11.54	0.48	0.58
1.70	4	0.828	12.74	15.38	0.64	0.77
1.80	10	0.826	31.78	38.46	1.59	1.92
1.90	10	0.825	31.72	38.46	1.59	1.92
2.00	4	0.823	12.05	14.63	0.60	0.73
2.10	6	0.822	18.04	21.95	0.90	1.10
2.20	6	0.820	18.00	21.95	0.90	1.10
2.30	7	0.819	20.96	25.61	1.05	1.28
2.40	7	0.817	20.93	25.61	1.05	1.28
2.50	8	0.816	23.87	29.27	1.19	1.46
2.60	8	0.814	23.83	29.27	1.19	1.46
2.70	9	0.813	26.76	32.93	1.34	1.65
2.80	8	0.811	23.75	29.27	1.19	1.46
2.90	7	0.810	20.74	25.61	1.04	1.28
3.00	8	0.809	22.57	27.91	1.13	1.40
3.10	8	0.807	22.53	27.91	1.13	1.40
3.20	8	0.806	22.49	27.91	1.12	1.40
3.30	9	0.805	25.26	31.40	1.26	1.57
3.40	13	0.753	34.17	45.35	1.71	2.27
3.50	13	0.752	34.11	45.35	1.71	2.27
3.60	14	0.751	36.67	48.84	1.83	2.44
3.70	18	0.750	47.07	62.79	2.35	3.14
3.80	18	0.748	46.99	62.79	2.35	3.14
3.90	18	0.747	46.92	62.79	2.35	3.14
4.00	21	0.696	48.72	70.00	2.44	3.50
4.10	22	0.695	50.96	73.33	2.55	3.67
4.20	22	0.694	50.87	73.33	2.54	3.67
4.30	30	0.693	69.26	100.00	3.46	5.00
4.40	31	0.641	66.28	103.33	3.31	5.17
4.50	31	0.640	66.17	103.33	3.31	5.17
4.60	32	0.639	68.19	106.67	3.41	5.33
4.70	32	0.638	68.07	106.67	3.40	5.33
4.80	33	0.637	70.08	110.00	3.50	5.50
4.90	33	0.636	69.97	110.00	3.50	5.50
5.00	35	0.635	70.93	111.70	3.55	5.59
5.10	36	0.634	72.84	114.89	3.64	5.74
5.20	37	0.633	74.75	118.09	3.74	5.90
5.30	38	0.632	76.65	121.28	3.83	6.06
5.40	38	0.631	76.53	121.28	3.83	6.06
5.50	40	0.580	74.05	127.66	3.70	6.38
5.60	44	0.579	81.33	140.43	4.07	7.02
5.70	44	0.578	81.19	140.43	4.06	7.02

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
1.7	3	11.83	Coesivo	0	1.63	1.86	0.14	1	3	terreno rimaneggiato limoso-sabbioso
3	7.54	27.76	Coesivo	0	2.1	2.1	0.41	1	7.54	limo argilloso poco compatto
5.7	26.59	87.69	Coesivo	0	2.13	2.27	0.84	1	26.59	argilla limosa compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PD 3

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Elastico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm ²)	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1)	0.00-1.70	3	Coesivo	1.63	1.86	--	0.12	15.0	30.00	--	--	104.47
Strato (2)	1.70-3.00	7.54	Coesivo	1.88	1.90	--	0.30	37.7	75.40	--	--	149.1
Strato (3)	3.00-5.70	26.59	Coesivo	2.13	2.27	--	1.01	199.43	265.90	--	--	208.82

Indice

1.PROVA ...PD 1	10
2.PROVA ...PD 2	12
3.PROVA ...PD 3	14
Indice	17



ALLEGATO 2

CERTIFICATI ANALISI DI LABORATORIO

-D.P.R. 06/06/2001 n. 380 -

Dr. ERALDO SANTARNECCHI - Geologo

Via della Costituente, 17 - 56024 PONTE A EGOLA (PI)

Tel: 0571/485277 Fax: 0571/1831592 e-mail: info@studiolithos.net

pec: e.santarnecci@pec.geologitoscana.net



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

Certificazione settore "A" - Prove di laboratorio su terre

Decreto 2436 del 14/03/2013 - ART. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

LABOTER s.n.c. di Paolo Tognelli e C.

Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr.2436/13

Committente :	Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David
Cantiere :	San Giovanni alla Vena - Vicopisano (PI)
Verbale Accettazione n° :	202 del 03/07/2015
Data Certificazione :	21/07/2015
Campioni n°:	1
Certificati da n° a n° :	02543 a 02546

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

**LABOTER snc**Via N. Sauro 440 - 51100 Pistoia
tel. 0573570566DNV Business Assurance
Certificato No. 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2008 (ISO 9001:2008)
Prove geotecniche di laboratorio su terreMINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE:	Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David		
RIFERIMENTO:	San Giovanni alla Vena - Vicopisano (PI)		
SONDAGGIO:	1	CAMPIONE:	1
		PROFONDITA': m	4.0-4.5

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	17,9	%
Peso di volume	19,9	kN/m ³
Peso di volume secco	16,9	kN/m ³
Peso di volume saturo	20,4	kN/m ³
Peso specifico	26,5	kN/m ³
Indice dei vuoti	0,568	
Porosità	36,2	%
Grado di saturazione	85,0	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		%
Passante al set. n° 40		%
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	%
Sabbia	%
Limo	%
Argilla	%
D 10	mm
D 50	mm
D 60	mm
D 90	mm
Passante set. 10	%
Passante set. 42	%
Passante set. 200	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	64	kPa
σ_{Rim}		kPa

SCISSOMETRO

τ	kPa
τ	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta		
C	13,7	kPa
ϕ	31,1	°
C _{Res}		kPa
ϕ_{Res}		°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	C _d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	C' _{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	C _{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	C _u	kPa	ϕ_u	°

PROVA EDOMETRICA

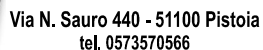
σ kPa	E kPa	C _v cm ² /sec	k cm/sec

FOTOGRAFIA**OSSERVAZIONI**

Tipo di campione: Cilindrico		Qualità del campione: Q 5
------------------------------	--	---------------------------

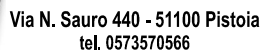
Posizione delle prove		cm	R _p kPa	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE	
CF	TD	CS			
		0			
		10	170		
		20	220		
		30	320		
			35		

Limo sabbioso compatto
Munsell Soil Color Charts : 2.5Y 4/6 rosso



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Peso di volume allo stato naturale (media delle due misure) = 19,9 kN/m³

**LABOTER snc**Via N. Sauro 440 - 51100 Pistoia
tel. 0573570566DNV Business Assurance
Certificato No. 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2008 (ISO 9001:2008)
Prove geotecniche di laboratorio su terreMINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02545** Pagina 1/1

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 202 del 03/07/15

DATA DI EMISSIONE: 21/07/15

Inizio analisi: 13/07/15

Apertura campione: 10/07/15

Fine analisi: 14/07/15

COMMITTENTE: Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David

RIFERIMENTO: San Giovanni alla Vena - Vicopisano (PI)

SONDAGGIO: 1

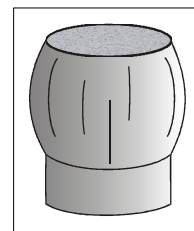
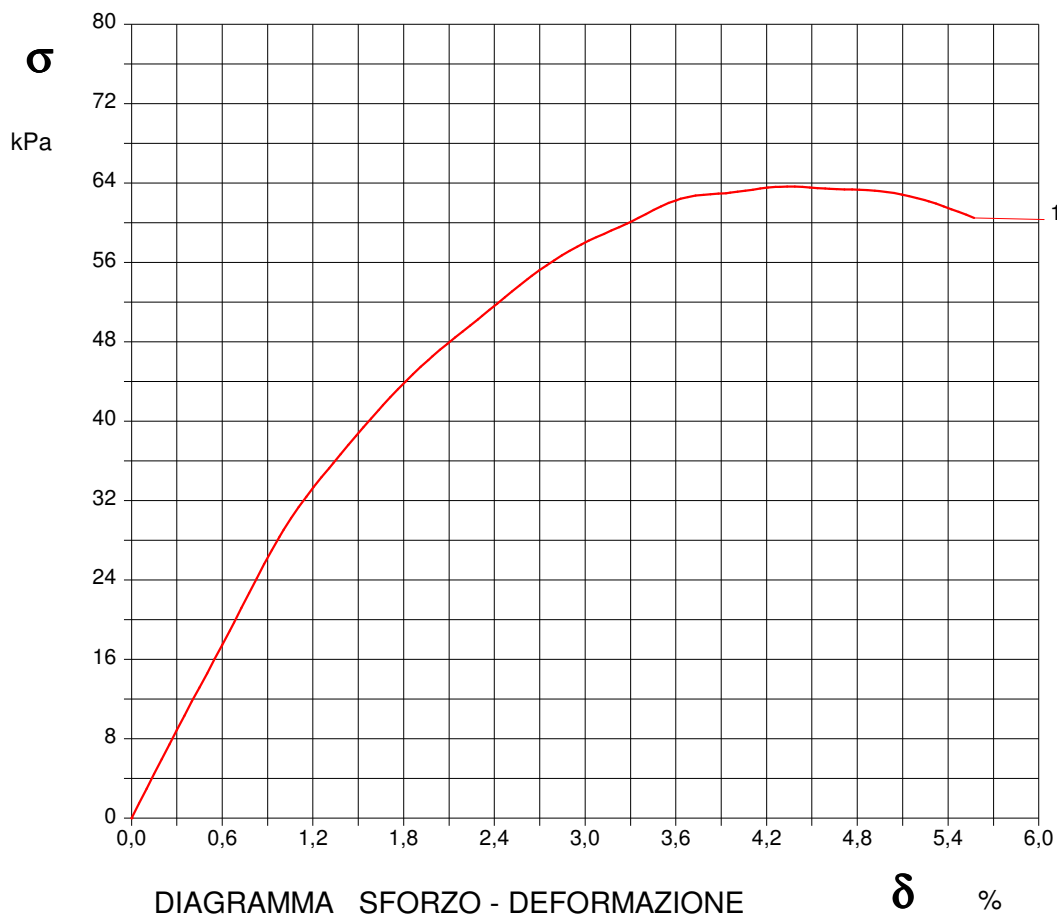
CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 4.0-4.5

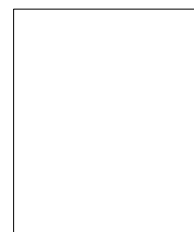
PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166-85

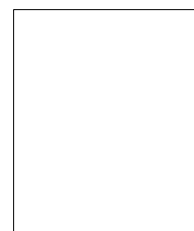
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	-----	-----
Velocità di deformazione (mm/min):	1,000	-----	-----
Altezza (cm):	7,62	-----	-----
Sezione (cm²):	11,58	-----	-----
Peso di volume (kN/m³):	18,8	-----	-----
Umidità naturale (%):	17,9	-----	-----
Deformazione a rottura (%):	4,29	-----	-----
Sforzo a rottura (kPa):	63,6	-----	-----



Provino 1

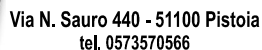


Provino 2



Provino 3

Moduli di elasticità kPa	Tangente	Provino 1: 2909	Provino 2: ---	Provino 3: ---
	Secante	Provino 1: ---	Provino 2: ---	Provino 3: ---
	A rottura	Provino 1: ---	Provino 2: ---	Provino 3: ---



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166-85

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

**LABOTER snc**Via N. Sauro 440 - 51100 Pistoia
tel. 0573570566DNV Business Assurance
Certificato No. 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2008 (ISO 9001:2008)
Prove geotecniche di laboratorio su terreMINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02546** Pagina 1/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 202 del 03/07/15

DATA DI EMISSIONE: 21/07/15

Inizio analisi: 16/07/15

Apertura campione: 10/07/15

Fine analisi: 18/07/15

COMMITTENTE: Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David

RIFERIMENTO: San Giovanni alla Vena - Vicopisano (PI)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 4.0-4.5

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-72

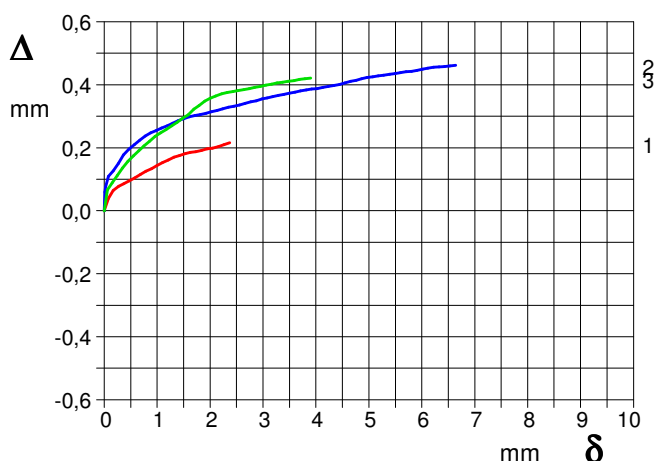
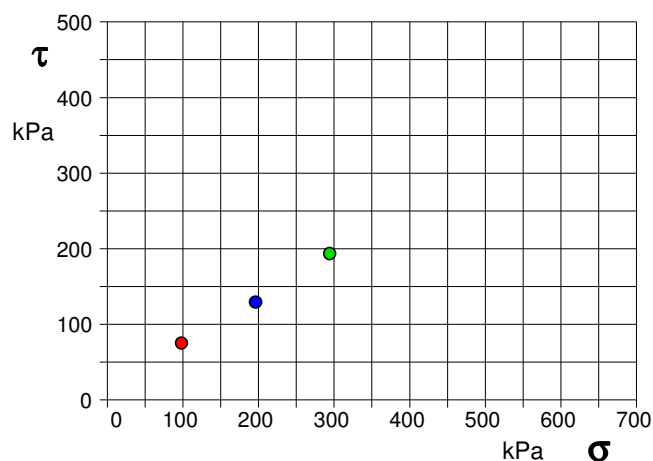
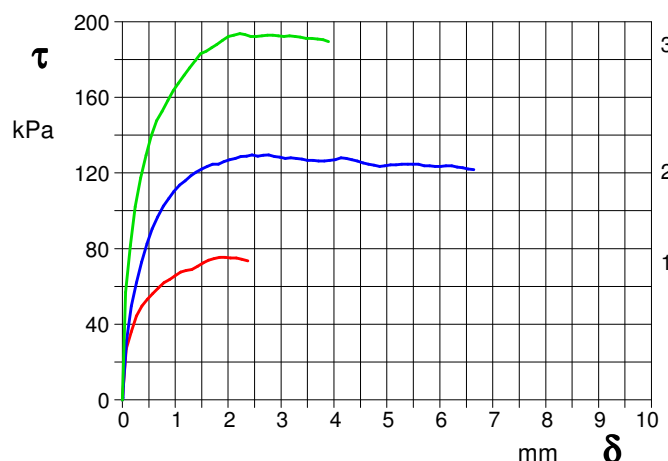
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	98	196	294
Tensione a rottura (kPa):	75	130	194
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	1,84	2,45	2,22
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,19	0,33	0,37
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 21,1	--- 20,5	--- 20,6
Peso di volume (kN/m³):	19,8	19,5	20,4

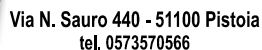
DIAGRAMMATensione - Pressione verticale

Tipo di prova: Consolidata - lenta

Velocità di deformazione: 0,007 mm / min

Tempo di consolidazione (ore): 24

DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-72

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

**LABOTER snc**Via N. Sauro 440 - 51100 Pistoia
tel. 0573570566DNV Business Assurance
Certificato No. 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2008 (ISO 9001:2008)
Prove geotecniche di laboratorio su terreMINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010**CERTIFICATO DI PROVA N°: 02546** Pagina 3/4

VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 202 del 03/07/15

DATA DI EMISSIONE: 21/07/15

Inizio analisi: 16/07/15

Apertura campione: 10/07/15

Fine analisi: 18/07/15

COMMITTENTE: Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David

RIFERIMENTO: San Giovanni alla Vena - Vicopisano (PI)

SONDAGGIO: 1

CAMPIONE: 1

PROFONDITA': m 4.0-4.5

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-72

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1

Pressione (kPa)	98
Altezza iniziale (cm)	2,25
Altezza finale (cm)	2,19
Sezione (cm ²)	27,81
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

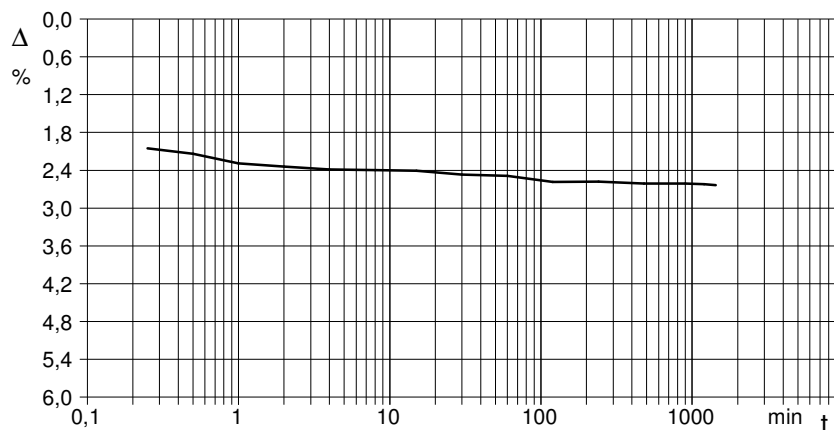


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2

Pressione (kPa)	196
Altezza iniziale (cm)	2,26
Altezza finale (cm)	2,13
Sezione (cm ²)	27,81
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

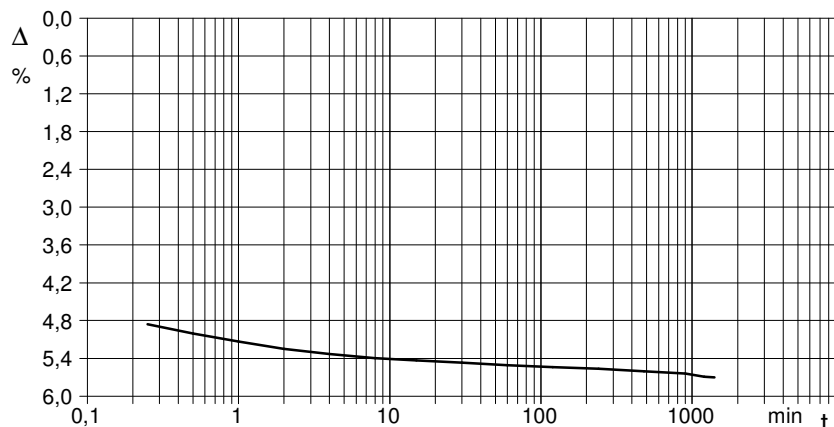
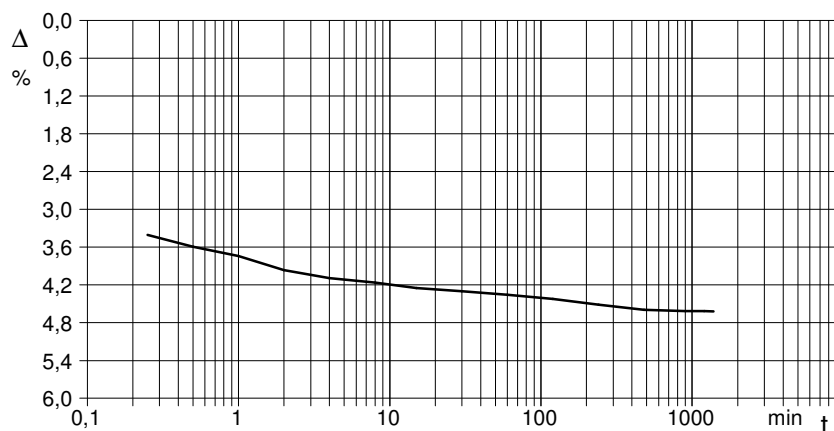


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3

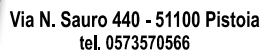
Pressione (kPa)	294
Altezza iniziale (cm)	2,25
Altezza finale (cm)	2,15
Sezione (cm ²)	27,81
T ₅₀ (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



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

tf = 50 x T₅₀

Vs = Df / tf



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Certificazione Settore A - Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 - del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-72

SGEO - Laboratorio 4.3 - 2015

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

COMMITTENTE: Sig.ri Niccolai Giovanni e Niccolai David			
RIFERIMENTO: San Giovanni alla Vena - Vicopisano (PI)			
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m	4.0-4.5

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-72

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	98	196	294
Tensione a rottura (kPa):	75	130	194
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	1,84	2,45	2,22
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,19	0,33	0,37
Umidità iniziale e umidità finale (%):	--- 21,1	--- 20,5	--- 20,6
Peso di volume (kN/m³):	19,8	19,5	20,4

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione: 13,7 kPa
Angolo di attrito interno: 31,1 °

Tipo di prova: Consolidata - lenta
Velocità di deformazione: 0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore): 24

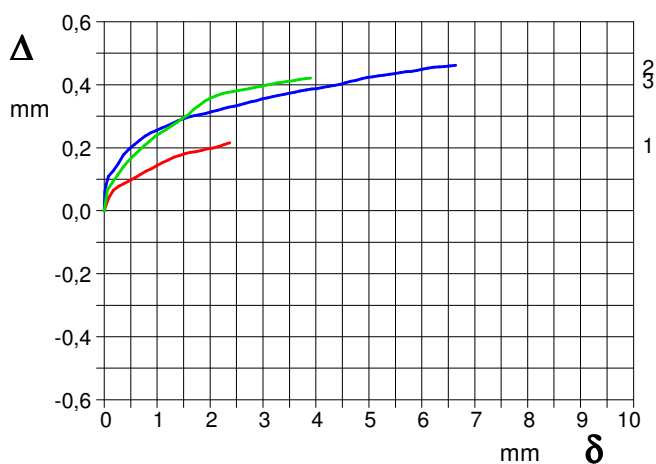
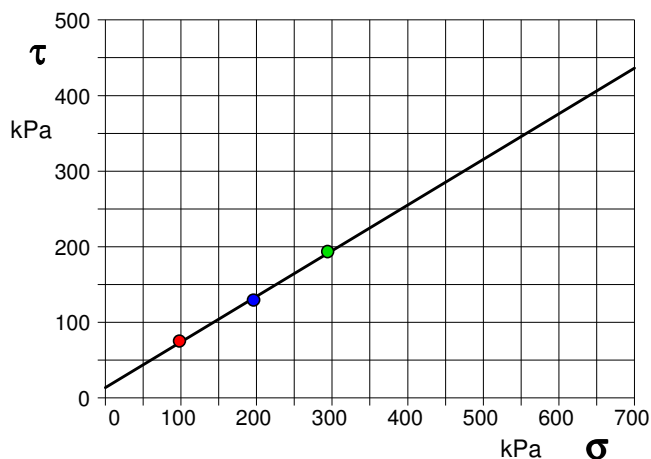


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

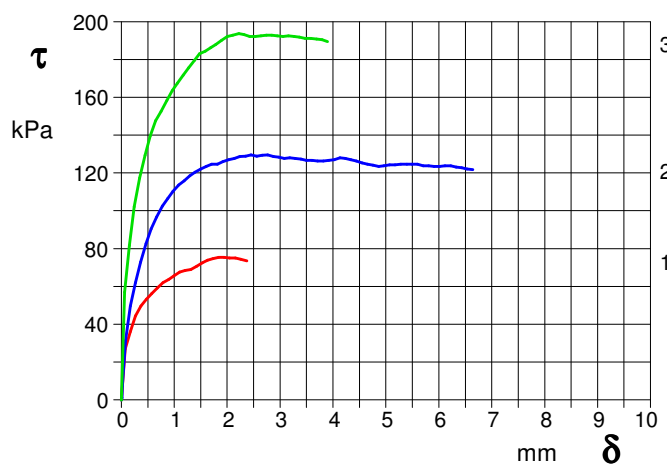


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

ALLEGATO 3

Risultati delle analisi MASW

Sito: Loc. San Giovanni alla Vena, Vicopisano (PI)
Data: Marzo 2014

Esecutore e responsabile prova:
Dott. Geol. Eraldo Santarnecki

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....24
Distanza tra i sensori:.....0m
Numero di campioni temporali8000
Passo temporale di acquisizione 0.25ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a..... 0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999.75ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

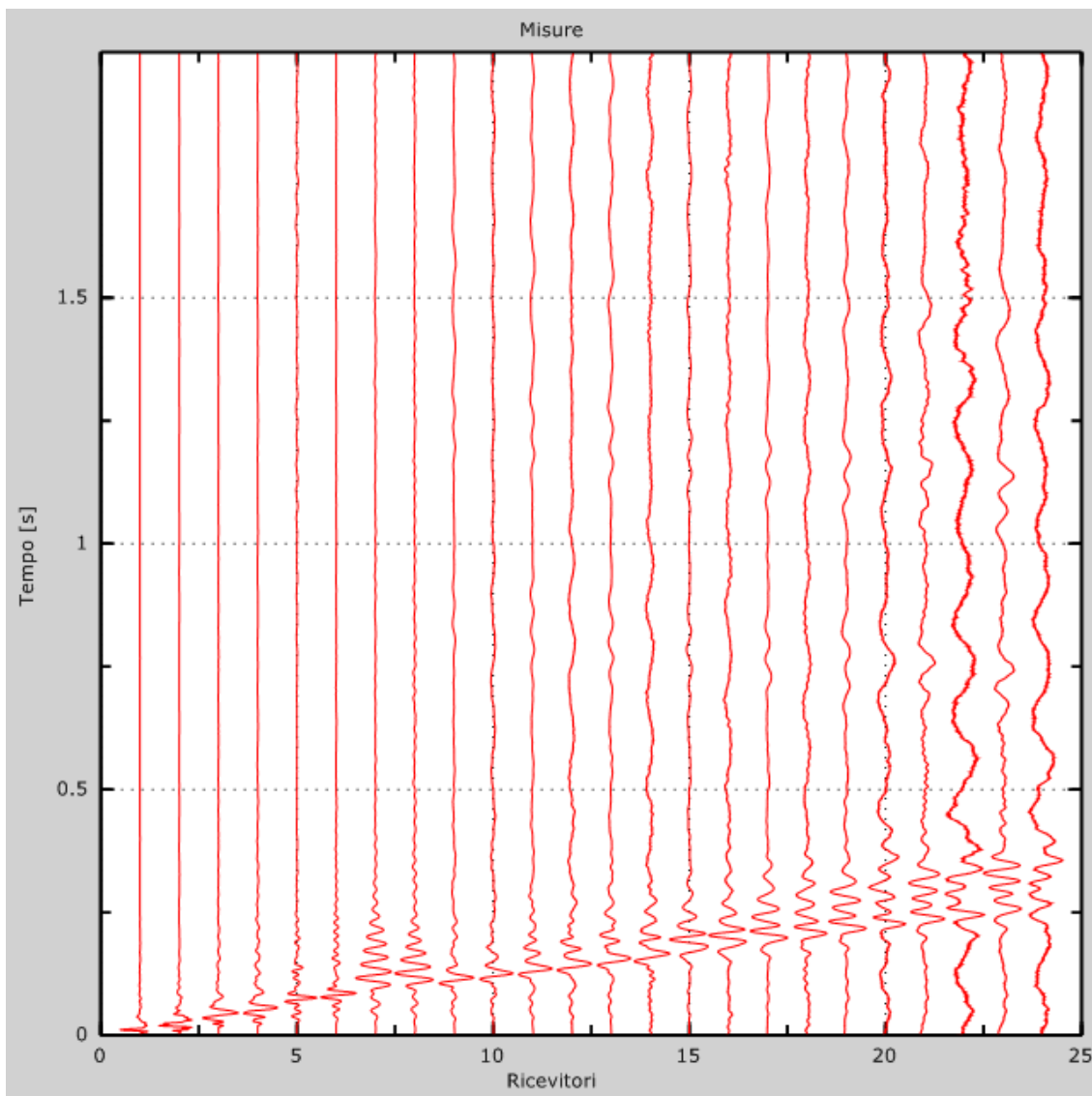


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

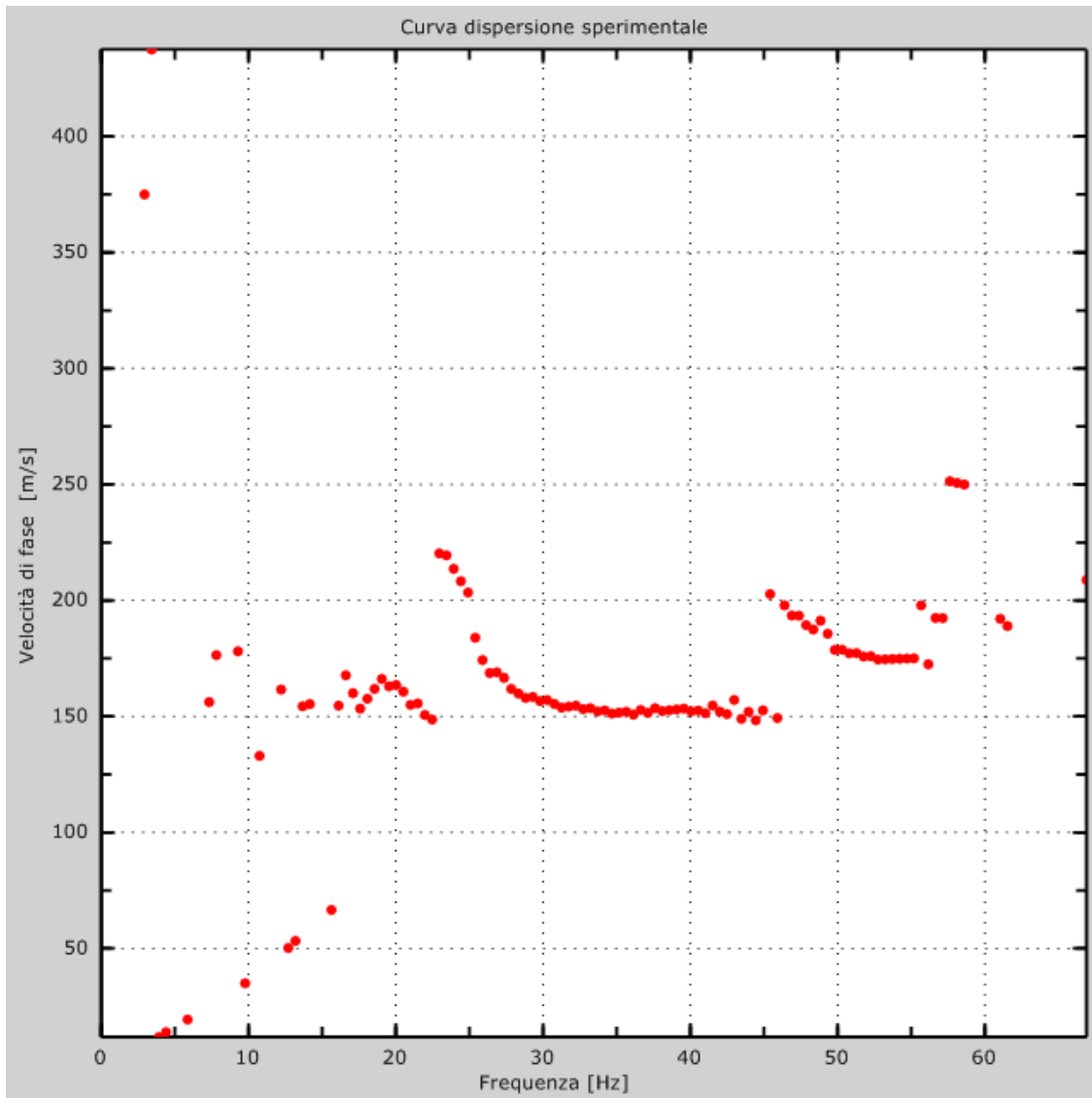


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
10.096	170.645	158.485	182.806
19.2633	162.828	154.142	171.514
26.85	164.565	153.273	175.857
31.7497	155.01	149.799	160.222
36.3334	151.536	146.324	156.747
40.759	153.273	148.93	157.616
44.8684	148.061	138.507	157.616

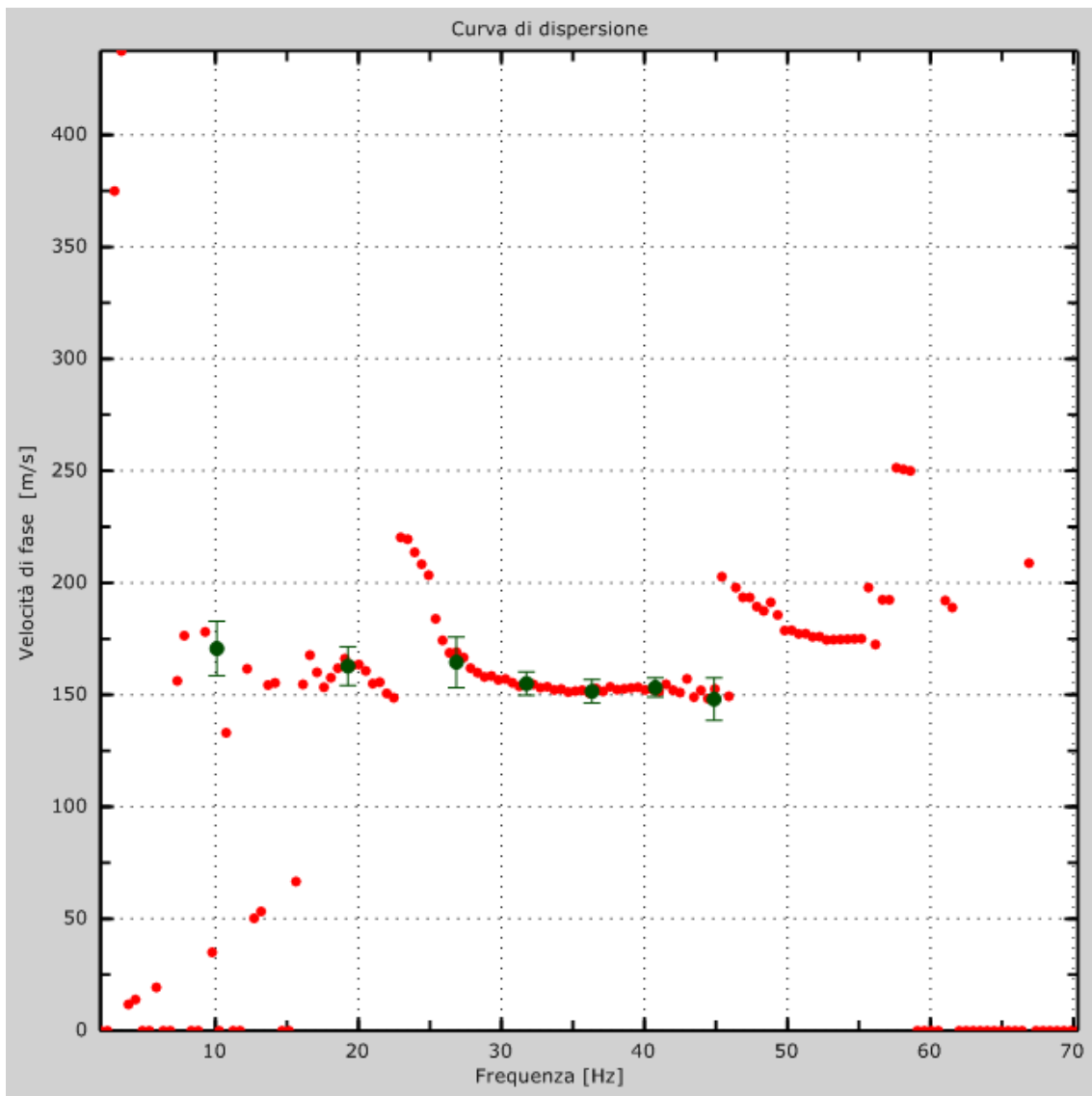


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	8
Spaziatura ricevitori [m]	1.5m
Numero ricevitori.....	24
Numero modi	1

Strato 1: terreno rimaneggiato limoso-sabbioso

h [m].....	1.5
z [m]	-1.5
Densità [kg/m ³].....	1600
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	160
Vp [m/s]	333
Vs min [m/s]	82.26
Vs max [m/s].....	240
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	160

Strato 2: limo argilloso poco compatto

h [m].....	1.5
z [m]	-3
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	160
Vp [m/s]	333
Vs min [m/s]	90.46
Vs max [m/s].....	240
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	160

Strato 3: argilla limosa compatta

h [m].....	7
z [m]	-10
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	180
Vp [m/s]	375

Vs min [m/s]	94.80
Vs max [m/s]	270
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	180

Strato 4

h [m]	5
z [m]	-15
Densità [kg/m ³]	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s]	200
Vp [m/s]	416
Vs min [m/s]	94.80
Vs max [m/s]	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	200

Strato 5

h [m]	5
z [m]	-20
Densità [kg/m ³]	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s]	200
Vp [m/s]	416
Vs min [m/s]	94.80
Vs max [m/s]	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	200

Strato 6

h [m]	5
z [m]	-25
Densità [kg/m ³]	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s]	200
Vp [m/s]	416
Vs min [m/s]	94.80
Vs max [m/s]	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	

Vs fin.[m/s]200

Strato 7

h [m].....6

z [m].....-31

Densità [kg/m³].....2000

Poisson0.35

Vs [m/s].....240

Vp [m/s]500

Vs min [m/s]94.80

Vs max [m/s].....360

Falda non presente nello strato

Strato alluvionale

Vs fin.[m/s]240

Strato 8

h [m].....0

z [m].....-00

Densità [kg/m³].....2000

Poisson0.35

Vs [m/s].....340

Vp [m/s]708

Vs min [m/s]94.80

Vs max [m/s].....510.000000

Falda non presente nello strato

Strato non alluvionale

Vs fin.[m/s]340

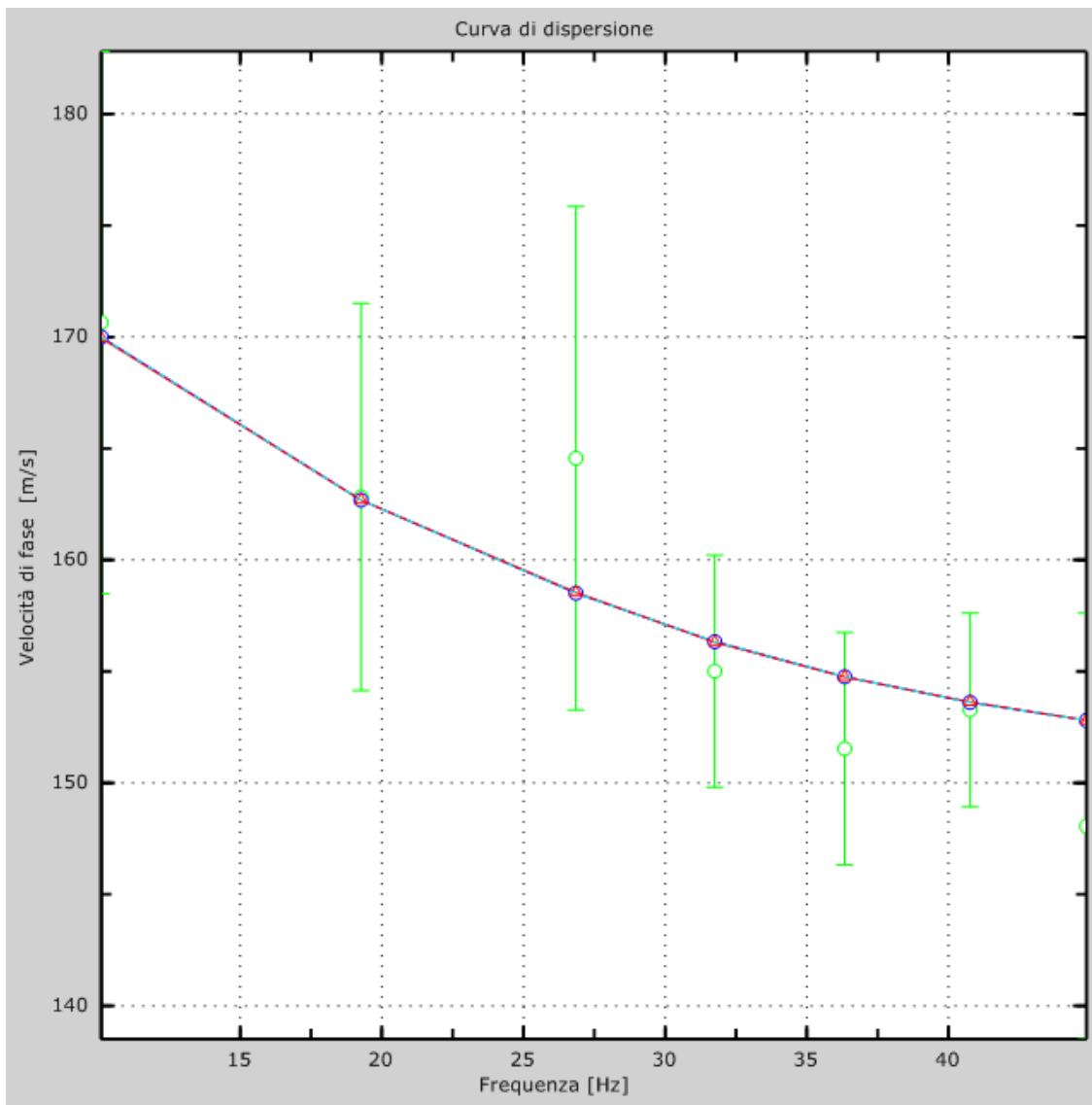


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

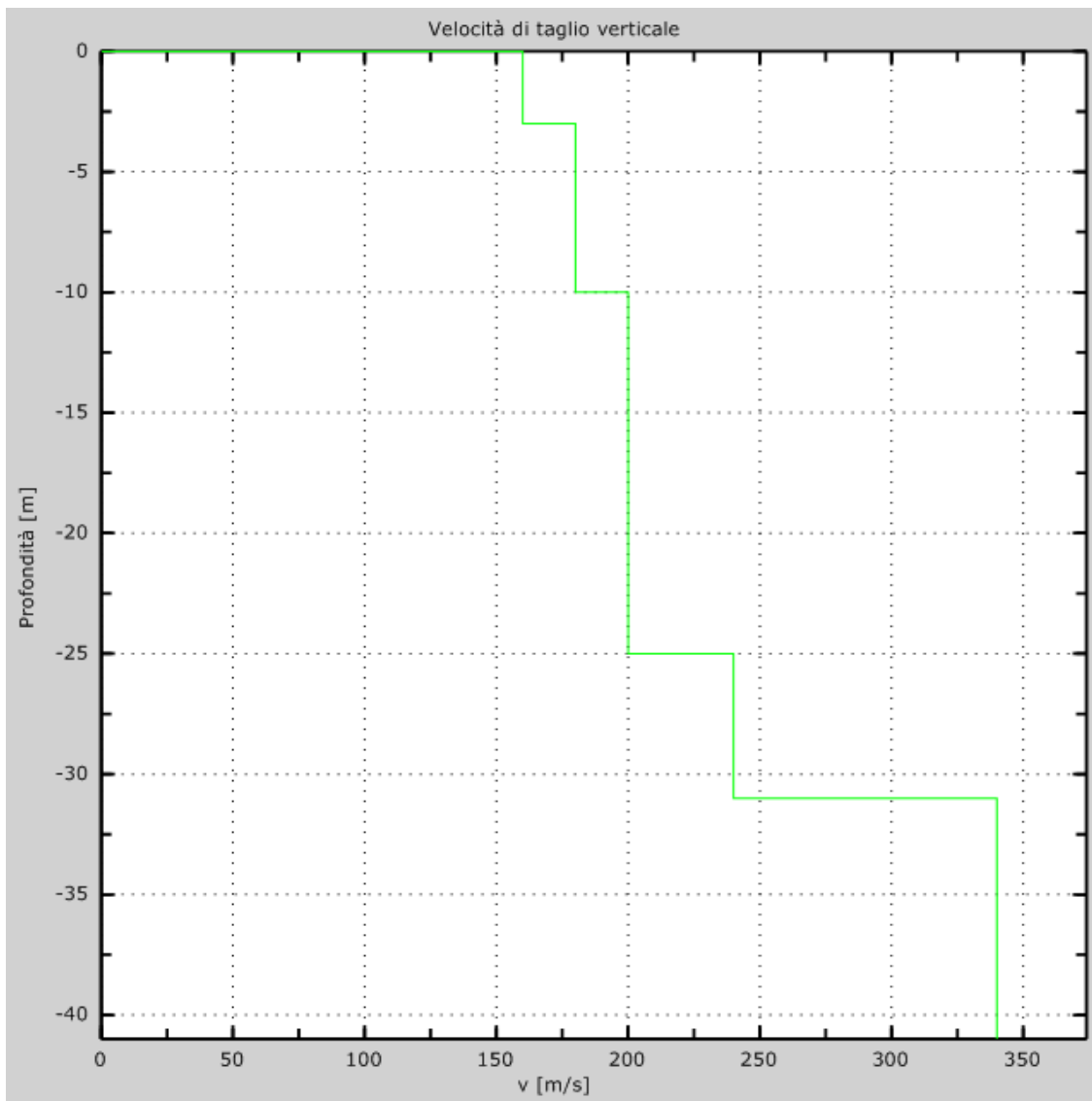


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento $z=0$ [m].....0

Vs30 [m/s]195

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 7

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano gradualmente con la profondità

Tipo di suolo C