Comune di
CANTAGALLO

FUTURA LA SCUOLA PER L'ITALIA DI DOMANI

Unione Europea NextGenerationEU · Ministero dell'Istruzione · Italiadomani

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA
Componente 1 – Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università
Investimento 1.1: Piano per asili nido e scuole dell'infanzia e servizi di educazione e cura per la prima infanzia

INTERVENTO DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA DI MIGLIANA

CUP : F82C22000010006

Codice ARES Edificio: 100010002

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

R.U.P. :
Arch. Nicola Serini

Progetto :
AREA TECNICA – Servizio Patrimonio e Infrastrutture

Gruppo di progettazione :
Ing. Elia NISTRI; Ing. Giorgia ZURLA; Geom. Edoardo GIARDI

Relazioni
RELAZIONE GEOLOGICA

C

GENNAIO 2022

STUDIO DI GEOLOGIA
B A R S A N T I , S A N I & A S S O C I A T I
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA – Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI CANTAGALLO
PROVINCIA DI PRATO

RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
E
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
DI SUPPORTO ALLA VERIFICA SISMICA DELLA SCUOLA PER L'INFANZIA
DI MIGLIANA

Relazione tecnica **Dicembre 2012**

Il Geologo:

I N D I C E

PREMESSA 3
PARTE I – RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA 5
1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO 5
2. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DELL'AREA 7
3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEI TERRENI E STRATIGRAFIA 10
3.1. Prove penetrometriche statiche 10
3.2. Analisi di laboratorio 11
3.3. Prospezioni sismiche a rifrazione 11
3.4. Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola 12
3.5. Misure della frequenza di vibrazione fondamentale del fabbricato 13
3.6. Sintesi dei dati raccolti : stratigrafia del sito 15
4. AZIONE SISMICA 16
4.1. Parametri sismici 16
4.2. Categoria di sottosuolo 18
4.3 Verifica della stabilità alla liquefazione 19
PARTE II – RELAZIONE GEOTECNICA 20
1. CARATTERISTICHE DEL FABBRICATO 20
2. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) 22
2.1. Verifica carico limite 24
2.2. Verifica allo scorrimento 24
3. VERIFICA IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO (SLE) - CEDIMENTI – DISTORSIONI 25

ELENCO DEGLI ALLEGATI E FIGURE

ALL. N. 1 – ALCUNI ESTRATTI DEL PIANO STRUTTURALE E DEL PAI DEL F. ARNO
ALL. N. 2 – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
ALL. N. 3 – ANALISI DI LABORATORIO
ALL. N. 4 – PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE - MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA - MISURE DELLA FREQUENZA DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO
ALL. N. 5 – VERIFICHE CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONI

Fig. 1 - CARTA GEOLOGICA - Scala 1:5.000
Fig. 2 – PLANIMETRIA - Scala 1:500
Fig. 3 - SEZIONE STRATIGRAFICA - Scala 1:100

PREMESSA

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Cantagallo – PO sono state effettuate indagini geologiche, sismiche e geotecniche a supporto del progetto di verifica sismica della Scuola per l'infanzia di Migliana.

La riclassificazione sismica del territorio nazionale intervenuta a seguito dell'emanazione della O.P.C.M. n° 3274/03 del 20 Marzo 2003, pubblicata sulla G.U. n° 105 dell'8 Maggio 2003, e delle successive proroghe, ha definito il territorio del Comune di Cantagallo sismico di Zona 2. Tale classificazione è stata riconfermata dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006, in base alla quale la Regione Toscana pone il Comune di Cantagallo, secondo la "Proposta di riclassificazione sismica RT4" del Giugno 2006, in Zona 2 con accelerazione su suolo rigido $a_g = 0.25$.

Con Decreto del 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30, sono state inoltre approvate le nuove *Norme tecniche per le costruzioni*, entrate in vigore il 23 Marzo 2008. Da tale data, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più "zona dipendente": in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni (Allegato A del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione, calcolato secondo la relazione sottostante, che dipenderà anche dalla tipologia della costruzione (vita di riferimento Vr) e dal tipo di verifica progettuale (Stati Limite di Esercizio SLO e SLD; Stati limite Ultimi SLV e SLC).

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{a_{g_i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}} =$$

Coordinate ED 50 del sito: 43,988699 lat, 11,100177 long

L'intervento in studio è considerato "rilevante" e quindi ricadente in Classe d'uso III ex NTC 2008 ed in Classe di indagine 4 secondo l'art. 7 del DPRG 9 Luglio 2009, n° 36/R.

Secondo La cartografia allegata al Piano Strutturale del Comune di Cantagallo e del PAI del F. Arno, di cui alcuni estratti sono compresi in All. n° 1, l'area delle indagini risulta inserita nelle seguenti classi di pericolosità:

Piano Strutturale Tav. 2: Carta della pericolosità geomorfologica: Classe 2 – Substrato lapideo su pendenze < 35% e depositi sciolti su pendenze < 25%

Autorità di Bacino del F. Arno: Pai_pf_25k_017: Pericolosità geomorfologica PF1 - moderata

Nel presente rapporto, redatto a norma del vigente DPGR N° 36/R e del D.M. 14 Gennaio 2008 "*Norme tecniche per le Costruzioni*", che detta le Norme per le opere interagenti con i terreni e con le rocce, per gli interventi nei terreni e per la sicurezza dei pendii, vengono illustrate le condizioni geologico-stratigrafiche e sismiche generali dell'area, le indagini particolari eseguite, l'elaborazione dei dati ed i risultati conseguiti, con particolare riferimento alla valutazione dell'azione sismica locale.

PARTE I – RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area delle indagini si trova nel centro dell'abitato di Migliana sulla sommità di uno sprone roccioso orientato in direzione E-W, alla quota di circa 594 m. s.l.m. (vedi Carta Geologica di Fig. 1 – Scala 1:5.000).

Nell'area affiorano estesamente, con giaciture variabili, formazioni appartenenti all'Unità del M. Cervarola (Oligocene sup.- Miocene inf.), in particolare il membro arenaceo pelitico delle Arenarie del M. Cervarola, che costituisce l'ossatura dei rilievi della zona.

L'Unità di M. Cervarola è una massa alloctona rappresentata da terreni mesozoico-terziari, caratterizzata da una struttura plicativa, diretta conseguenza della tettonica compressiva polifasata che ha interessato l'Appennino Settentrionale fino al Miocene superiore. Tale tettonica compressiva è da collegare alla chiusura dell'area oceanica ligure-piemontese che diede luogo ad una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche.

In questa fase il fronte compressivo, che migra verso E, è seguito, a partire dal Miocene medio, da un fronte distensivo, legato alla distensione crostale che ha portato all'apertura del Bacino Tirrenico. Attualmente i due regimi tettonici diversi coesistono in due fasce contigue della catena: nel versante tirrenico Ë attivo il regime distensivo, in quello adriatico quello compressivo.

Da un punto di vista regionale questa complessa storia tettonica ha portato prima (Cretaceo superiore-Eocene) allo sradicamento delle Unità Liguri dal loro substrato oceanico e al loro appilamento su se stesse secondo un ordine tettonico-geometrico che vede in alto le unità più interne e in basso le piu esterne, tra cui ricordiamo l'Unità della Calvana, affiorante poco più ad est.

Successivamente, dopo la messa in posto della Falda Toscana (Dominio Toscano interno), avvenuta nel Miocene medio-superiore, sopra la più esterna Unità Cervarola-Falterona, le Unità Liguri si sono rimosse, per mettersi in posto prima sopra la Falda Toscana, e poi sopra l'Unità Cervarola-Falterona.

Nel frattempo erano iniziati nelle aree più occidentali i movimenti disgiuntivi che hanno portato, attraverso una serie di faglie normali principali immergenti verso W, allo smembramento della catena a falde, precedentemente

costituita, con lo sviluppo di depressioni tettoniche a semi graben (bacini intermontani) sempre più giovani da W verso E, tra cui ricordiamo il bacino del Valdarno superiore, sviluppatosi a partire dal Pliocene superiore, e i bacini di Firenze-Pistoia, del Mugello e del Casentino, attivi dal Pleistocene inferiore.

UNITA' TETTONICA CERVAROLA – FALTERONA

Arenarie di M. Falterona (FAL2) - Questa formazione è articolata in vari membri sulla base dello spessore medio degli strati e del rapporto arenite/pelite. Nel caso specifico (c.d. membro di Camaldoli) trattasi di arenarie grigio chiare e grigio verdi in strati dello spessore di 0.5-2 metri e peliti subordinate. 2< A/P <10, le arenarie sono sempre molto grossolane e con quasi totale assenza di componenti carbonatici (né clasti, né cemento), si presentano in pacchi di 7-10 strati di arenaria con assenza di pelite, alternati a livelli dello spessore di un paio di metri di siltiti e argilliti scure con poche marne. Sono presenti livelli calcarenitici in strati da medi a spessi. La potenza è stimabile intorno ai 600 metri. Età: Chattiano

DEPOSITI QUATERNARI

Detriti eluvio-colluviali (b2a). Depositi costituiti da elementi eterometrici a granulometria minore del detrito di versante, in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto o dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità. Età: Pleistocene Medio finale-Olocene.

Il plesso scolastico oggetto del presente studio è situato sull'arenaria Oligo-miocenica, ma le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di una copertura detritica dello spessore di circa 4÷6 m, legata a processi di alterazione del substrato, che comunque affiora estesamente sul retro del fabbricato.

Non si rilevano allo stato attuale indizi di dissesti indicatori di possibili instabilità del versante: la lesione che interessa lo spigolo sudorientale del fabbricato appare verosimilmente legata al cedimento differenziale tra la parte di fabbricato appoggiata su roccia e quella fondata sui depositi di alterazione molto più compressibili.

Sotto il profilo idrogeologico si rileva la presenza di una debole circolazione idrica all'interno della copertura detritica di alterazione, il cui livello piezometrico è stato rilevato attualmente intorno a -4.5 m di profondità, che trova nel tetto del substrato arenaceo il livello di base impermeabile. Circolazioni più profonde trovano sede nelle zone più intensamente fratturate delle arenarie.

2. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DELL'AREA

Con la pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003) è finalmente entrata in vigore la nuova Classificazione Sismica del Territorio Italiano, basata sulle indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998: la nuova classificazione è stata recepita dalla Regione Toscana con D.G.R.T. n. 751 del 28 luglio 2003, in base alla quale il territorio del Comune di Cantagallo è stato definito sismico di Zona 2, equiparabile alla II Categoria della precedente classificazione sismica.

Successivamente la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile ha approvato, nella seduta del 6 aprile 2004, la nuova Mappa di Pericolosità sismica del Territorio Nazionale (vedi Fig. 1 e 2): questa è stata recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 (vedi Fig. 3) ed è divenuta infine la mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

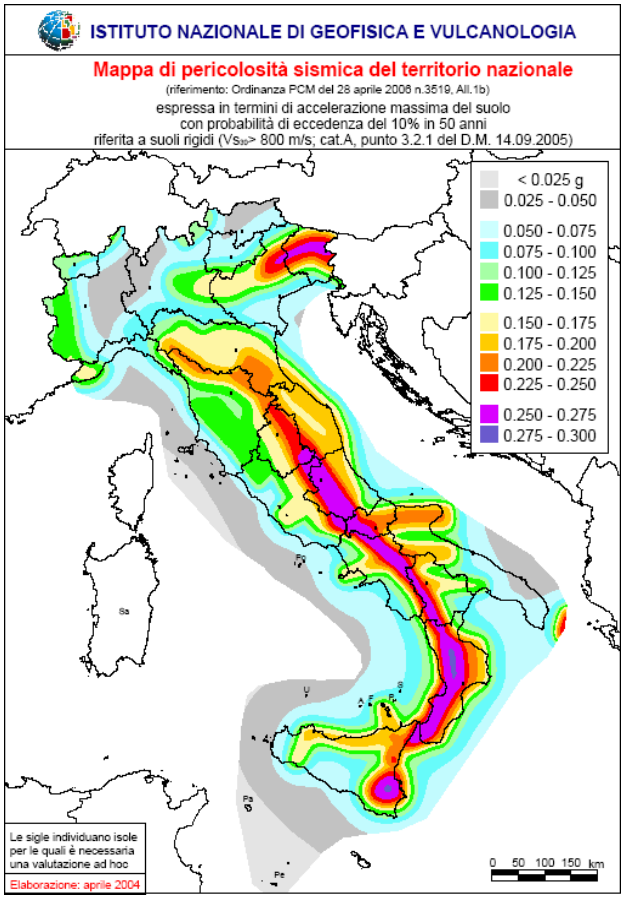


Fig. 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

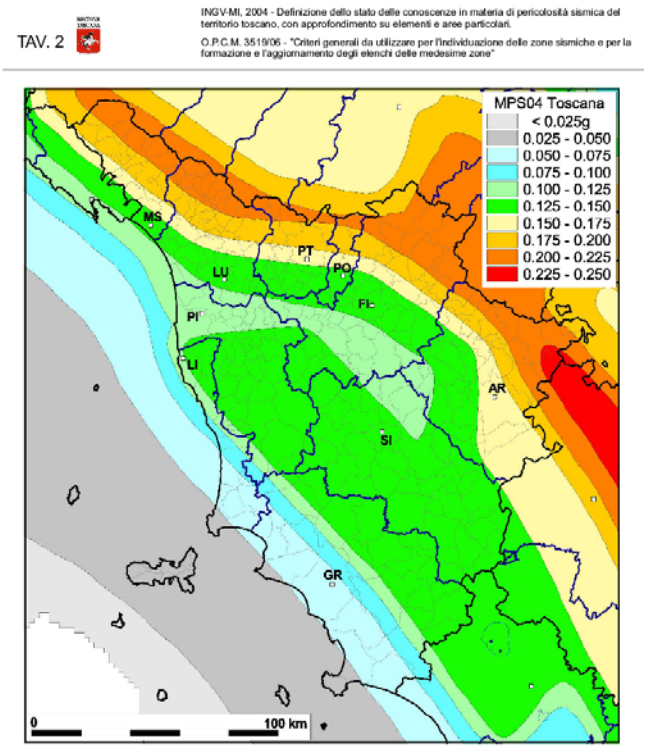


Fig. 2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio regionale

Fig. 3 – Classificazione sismica del territorio regionale

Con Decreto del 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30, sono state infine approvate le nuove Norme tecniche per le costruzioni, entrate in vigore il 23 Marzo 2008 ma prorogate successivamente fino alla definitiva scadenza del 30 giugno 2009. Da tale data, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più "zona dipendente": in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra 4 dei 10751 punti della griglia di accelerazioni (Tab 1 del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione. La classificazione sismica regionale e la suddivisione in zone rimangono pertanto al solo fine di disciplinare le modalità di controllo dei progetti.

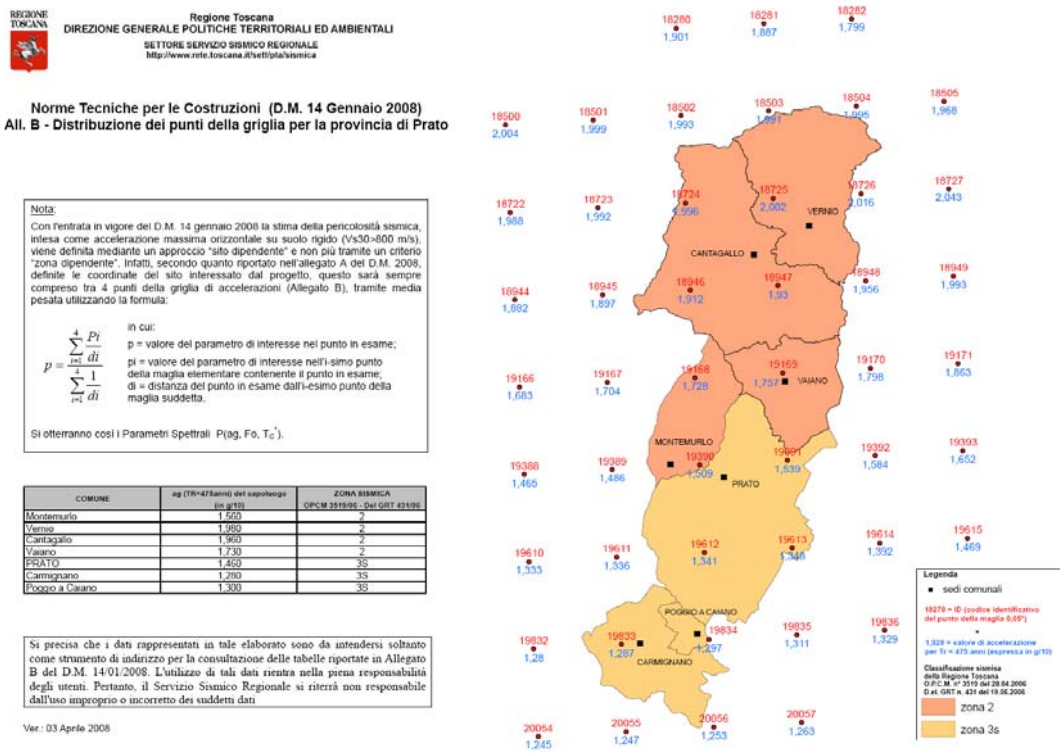


Fig. 4 – Classificazione sismica del territorio della Provincia di Prato e griglia delle accelerazioni

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEI TERRENI E STRATIGRAFIA

Per la definizione delle caratteristiche stratigrafiche, litotecniche ed idrogeologiche locali è stata effettuata una campagna geognostica a mezzo di

- n. 2 prove penetrometriche statiche con prelievo di un campione di terreno indisturbato;
- analisi di laboratorio sul campione (peso di volume ed umidità naturale, granulometria, limiti di Atterberg, peso specifico dei granuli, prova di taglio diretto consolidata drenata);
- n. 1 prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh per il calcolo della V_{s30} e per l'individuazione della categoria di suolo di fondazione ex D.M. 14 Gennaio 2008;
- n. 3 misure di rumore sismico ambientale a stazione singola;
- n. 1 misura di vibrazione fondamentale dell'edificio.

il tutto ubicato come indicato nella Fig. 2 - Planimetria alla scala 1:500.

3.1. Prove penetrometriche statiche

Lo strumento utilizzato è un penetrometro statico prodotto dalla PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT, modello TG63/200 da 200 kN di spinta, con punta meccanica tipo Begemann, cella di carico di sommità Hottinger classe 0,2 e centralina elettronica di rilevamento dati.

Nei diagrammi e nelle tavole dell'All.to n. 2 sono riportate le misure effettuate ogni 20 cm di avanzamento della punta. Sono stati rilevati i valori di:

- Rp: resistenza alla punta, a rottura (kg/cm^2)
- Rf: " di attrito laterale locale (kg/cm^2)
- Ft: " all'avanzamento totale della colonna (kg)

E' stato inoltre calcolato il valore del rapporto Rp/Rf, noto con il nome di rapporto Begemann: esso dipende dalla granulometria dei terreni attraversati e permette pertanto la ricostruzione della stratigrafia dei terreni, come riportato a fianco dei diagrammi con simbologia internazionale secondo l'interpretazione di SEARLE (1965).

Nelle tavole sono inoltre riportati i valori derivati di:

- angolo di attrito interno (φ in °);
- densità relativa (Dr in %);
- coesione non drenata (c_u in kg/cm^2);
- coefficiente di compressibilità volumetrica (mv in cm^2/kg).

Le prove P1 e P2 si sono arrestate al tetto del substrato arenaceo Rispettivamente alla profondità di 6.6 m e 4.6 m s.p.c..

3.2. Analisi di laboratorio

Immediatamente a fianco della prova penetrometrica P2 è stato prelevato un campione di terreno indisturbato mediante campionatore da penetrometro e fustella Shelby, alla profondità di 2.0÷2.5 m.

Sul campione sono state eseguite le seguenti determinazioni di laboratorio: peso di volume ed umidità naturale, granulometria, limiti di Atterberg, peso specifico dei granuli, prova di compressione con espansione laterale libera ELL, prova di taglio diretto consolidata drenata CD.

I certificati delle analisi di laboratorio, eseguite presso il Laboratorio di meccanica delle terre ICHNOGEO S.a.S. di s. Miniato Basso - Pisa (munito di regolare concessione ministeriale ai sensi del D.M. 54143), sono riportati in All.to n. 3.

3.3. Prospezioni sismiche a rifrazione

La campagna geofisica è stata effettuata per ricostruire l'assetto sismostratigrafico locale e per la definizione della categoria di sottosuolo ex D.M. 14 Gennaio 2008 – *Norme tecniche per le costruzioni,* ovvero per individuare la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri sotto la superficie del terreno (Vs30) .

Per i principi della prospezione sismica a rifrazione e delle altre tecniche utilizzate si rimanda al relativo rapporto della Geoprove S.a.S. di cui all'All.to n. 4.

Di seguito si riportano soltanto le conclusioni in merito alla successione locale dei sismostrati:

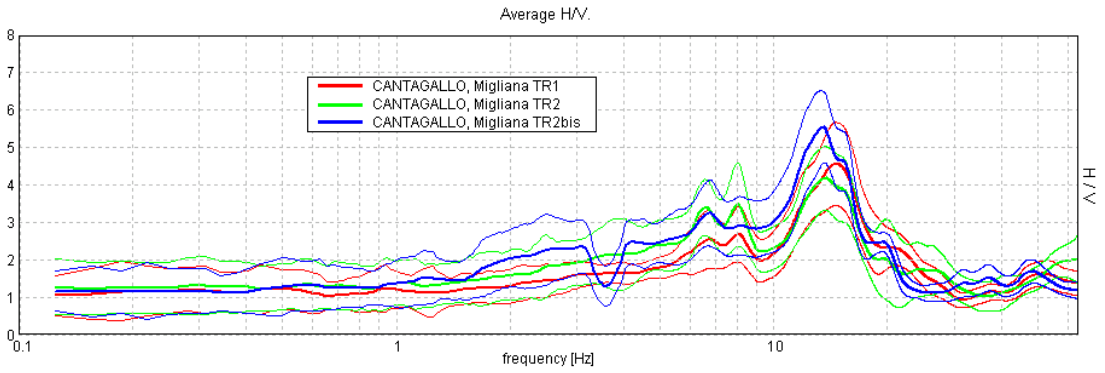
- dalla superficie fino a profondità di 0.5÷3 m (onde P)/0.5÷4.5 m (onde SH) si incontra un primo strato a bassa velocità con V_p = 315÷808 *m/sec* e V_s = 281÷325 *m/sec*, correlabile con materiale di riporto e con una copertura detritica sabbioso-limoso-argillosa mediamente addensata;
- segue un secondo strato caratterizzato da V_p = 944÷1552 *m/sec* e da V_s =997÷720 *m/*sec, riferibili ad un bedrock in prevalenza arenaceo da molto a mediamente fratturato. La base dello strato si incontra a profondità di 4.5÷10 m, secondo le onde P e a profondità di 2÷11 m, secondo le onde SH;
- segue un terzo ed ultimo strato caratterizzato da V_p = 3505÷3507 *m/sec* e da V_s = 1398÷1640 *m/sec*, riferibili ad arenarie quarzoso-feldspatiche con intercalazioni pelitiche, poco fratturate o sane (*Arenarie di M. Falterona-Membro arenaceo/pelitico-**FAL 2***).

3.4. Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola

Sono state effettuate misure di rumore sismico ambientale a stazione singola, i cui risultati sono riassumibili nella tavole di confronto di seguito riportata:

CONFRONTO MISURE TR 1- TR2 – TR2bis

RAPPORTI SPETTRALI ORIZZONTALI SU VERTICALI



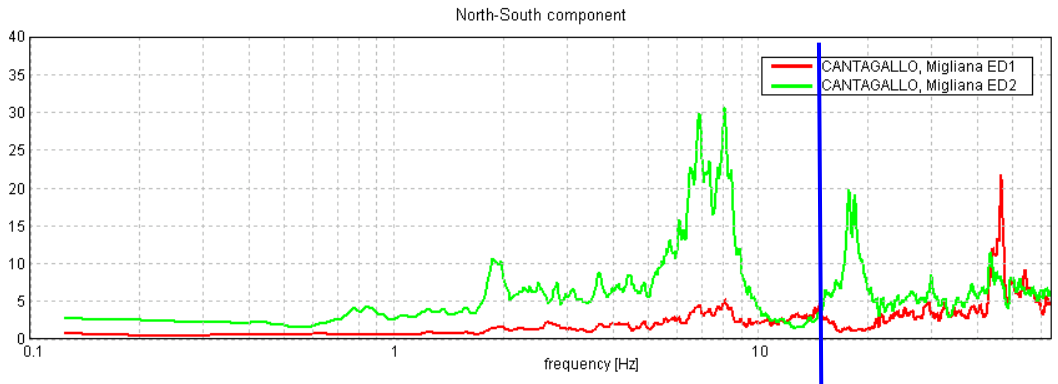
Tutte e tre le curve mostrano un unico picco intorno ai 14 Hz (H/V=4.5-5.5), correlabile con il contrasto di impedenza sismica al passaggio tra copertura detritica e/o di alterazione e bedrock arenaceo fratturato, documentato dalla sismica a rifrazione e dai dati penetrometrici a 4-6 metri di profondità.

3.5. Misure della frequenza di vibrazione fondamentale del fabbricato

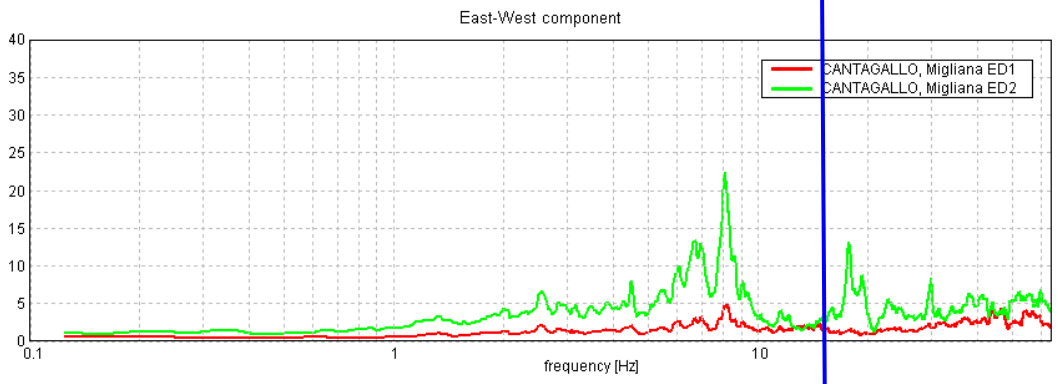
Sono state eseguite 3 misure all'interno della scuola, una per ogni piano, allineate lungo una verticale (ED1) situata in corrispondenza dell'angolo sud-est dell'edificio (vedi planimetria alla scala allegata).

CONFRONTO TRA LE CURVE Hi/Ho (misure ED) e H/V (misura TR1)

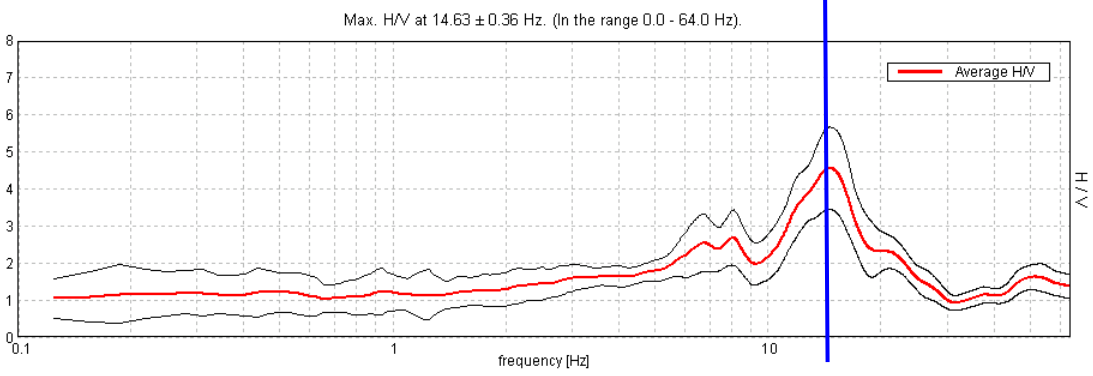
MISURE ED 1: COMPONENTE N-S



MISURE ED 1: COMPONENTE E-W



MISURA TR1: CURVA H/V



Alla pag. precedente sono mostrati i grafici delle componenti orizzontali E-W e N-S dei rapporti spettrali Hi/Ho. Inoltre, per confronto, viene anche riportato (grafico in basso) il rapporto H/V della misura TR1, effettuata sul terreno naturale all'esterno dell'edificio a meno di 10 metri dalla verticale ED1.

Le curve Hi/Ho della verticale di misura ED1 mostrano i massimi assoluti intorno a 7-8 Hz e picchi di ampiezza significativa ma più modesta a frequenze intorno a circa 17-18 Hz, corrispondenti verosimilmente a diversi modi di vibrare della struttura. La frequenza di risonanza fondamentale del terreno sottostante l'edificio scolastico, dedotta dalla misura TR2, è invece di 14.6 Hz; quindi nessuna delle frequenze di risonanza rilevate nell'edificio coincide con la frequenza di vibrazione propria del terreno sottostante: è tuttavia opportuno tener conto del modo di vibrare della struttura a 17-18 Hz (modo verosimilmente di ordine superiore), ossia a frequenza superiore ma molto prossima a quella di risonanza del sottosuolo, che potrebbe determinare fenomeni di doppia risonanza in caso di terremoto. Infatti, occorre tener conto della possibile riduzione della forbice tra la risonanza del suolo e quella della struttura attualmente a 17-18 Hz, a causa della diminuzione della rigidezza strutturale durante il sisma come conseguenza della dissipazione di energia.

3.6. Sintesi dei dati raccolti : stratigrafia del sito

L'assetto stratigrafico dei terreni è visibile nella sezione di Fig. 3, alla scala 1:100, condotta in direzione circa Sud- Nord.

- A: in superficie è presente un primo strato di alterazione del substrato arenaceo, costituito da **limo argilloso sabbioso con livelli granulari e litici sparsi, da compatto a duro**, di spessore variabile tra 0 e un massimo di circa 6 m in P1, caratterizzato da valori di resistenza alla punta del penetrometro statico crescenti con la profondità Rp =10÷20 kg/cm^2 fino a circa - 3.0 m, Rp = 40÷80 kg/cm^2 da -3 a -6, cui si fa corrispondere una coesione non drenata c_u = 0.5÷>3 kg/cm^2 ed un coefficiente di compressibilità volumetrico mv = 0,030÷0,005 cm^2/kg. La velocità delle onde sismiche di taglio vale Vs = 280÷325 m/s. Le prove di laboratorio sul campione prelevato nel corso della prova P2 a -2÷2.5 m, costituito da **limo argilloso sabbioso con ghiaia** hanno determinato i seguenti parametri:
    - peso di volume naturale γ = 18,85 kN/m^3 (=1,92 kg/dm^3)
    - umidità naturale: W = 30,46%
    - limiti di Atterberg : LP = 27%, LL = 40%, Ip = 13
    - coesione non drenata c_u = 27 kPa (0.27 kg/cm^2)
    - angolo di attrito interno (condizioni drenate) φ' = 34.4°
    - coesione (condizioni drenate) c' = 7,4 kPa (= 0,075 kg/cm^2),

- B: segue il substrato arenaceo alterato e fratturato fino a profondità dell'ordine di 5÷9 m lungo la sezione, caratterizzato da Vs = 720÷740 m/s, le cui caratteristiche meccaniche possono essere cautelativamente stimate, con riferimento alla classificazione di Bieniawski, come segue:
    - peso di volume naturale γ = 2.2÷2.3 kg/dm^3
    - angolo di attrito interno φ = 25°÷35°
    - coesione c = 2,0÷3.0 kg/cm^2

- C: segue infine il substrato arenaceo sano, caratterizzato da Vs = 1400÷1640 m/s, le cui caratteristiche meccaniche possono essere cautelativamente stimate, con riferimento alla classificazione di Bieniawski, come segue:
    - peso di volume naturale γ = 2.4÷2.5 kg/dm^3
    - angolo di attrito interno φ > 45°
    - coesione c > 4 kg/cm^2

4. AZIONE SISMICA

Per effetto della propagazione delle onde sismiche, il terreno trasmette sui fabbricati il moto sismico ovvero l'*azione sismica*, alla quale le strutture reagiscono con una *risposta dinamica* che va verificata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese dell'opera in progetto.

4.1. Parametri sismici

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione: questa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria **A**), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S_c (T), con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza T_{VR} (vedi tabella) nel periodo di riferimento V_r ("Vita di riferimento").

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g: accelerazione orizzontale massima al sito
F_o: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T_c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, di esercizio ed ultimi, sono i seguenti

Stati limite		PVr: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento Vr
Stati limite di esercizio	**SLO**	**81%**
	SLD	**63%**
Stati limite Ultimi	**SLV**	**10%**
	SLC	**5%**

SLO: Stato limite di operatività
SLD: Stato limite di danno
SLV: Stato limite di salvaguardia della vita
SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso
Vr = Vn * Cu vita di riferimento, data dal prodotto della Vita Nominale Vn per il Coefficiente d'uso Cu

La nuova normativa definisce l'azione sismica per quattro classi d'uso delle strutture:

2.4.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

In particolare, per le coordinate del sito 43,988699 lat, 11,100177 long (riferite al sistema ED50) si otterranno, in base alla relazione

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{a_{g_i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}}$$

i valori di accelerazione di base di seguito riportati (dal programma Spettri-NTC_ver 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici):

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,058	2,481	0,254
50	0,074	2,448	0,263
72	0,087	2,435	0,267
101	0,102	2,408	0,270
140	0,117	2,403	0,275
201	0,135	2,402	0,279
475	0,184	2,408	0,285
975	0,237	2,414	0,288
2475	0,316	2,409	0,317

Per quanto concerne i parametri da assumere nella progettazione, secondo le indicazioni del Progettista, per una vita nominale del manufatto V_N = 50 anni ed una Classe d'uso III, si ha una vita di riferimento **V_R=C_u*V_N=1.5*50 = 75 anni**, il che determina i seguenti valori dei parametri da assumere per la progettazione agli stati limite, ancora ottenuti con il programma "Spettri – NTC"pubblicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici C.S.L.P.:

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,070	2,455	0,261
SLD	75	0,089	2,432	0,268
SLV	712	0,212	2,411	0,287
SLC	1462	0,268	2,412	0,301

4.2. Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, nelle nuove norme viene data importanza sostanziale ai diversi profili stratigrafici del sottosuolo, i quali, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica, possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base.

Secondo quanto desunto dalla prospezione sismica a rifrazione, la situazione sismostratigrafica locale, riferibile quanto meno alla porzione meridionale della scuola, è caratterizzata dalla presenza di una coltre di alterazione di 4÷6 m di spessore e velocità Vs = 280 m/s, sovrastante il bedrock da fratturato a sano con velocità Vs rapidamente crescenti da circa 700 ad oltre 1600 m/s. Tale situazione è associabile alla categoria di sottosuolo E:

E) ***Terreni dei sottosuoli tipo C o D per spessore non superiore a*** 20 m, posti sul substrato di riferimento (con V_{s3o} > 800 m/sec).

Per quanto concerne invece le condizioni topografiche, il sito è classificabile in Categoria T1, come da tabella seguente:

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

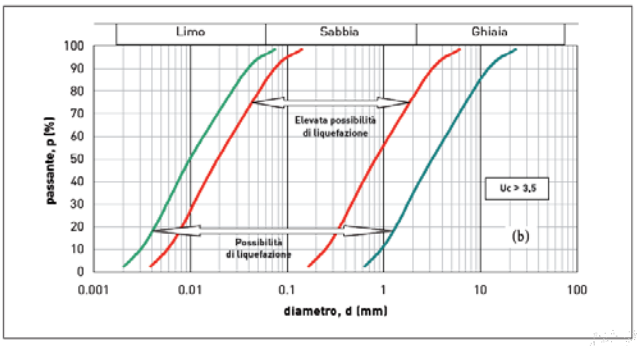
4.3 Verifica della stabilità alla liquefazione

Per quanto concerne la verifica alla liquefazione del deposito, il D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni, prescrive che la verifica alla liquefazione non sia eseguita qualora si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

1) Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2) accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (assenza di manufatti) minore di 0.1 g;
3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ kPa, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle Fig. 7.11.1 delle norme.

Al territorio in esame è associata, secondo la zonazione sismogenetica ZS9 – 915 Garfagnana Mugello ed i dati di disaggregazione della pericolosità sismica INGV, una magnitudo massima Mw = 6,6 e media M = 5,08, quindi in condizioni per cui possono verificarsi fenomeni di liquefazione.

Tuttavia i terreni di alterazione presenti in loco e sotto il livello della falda acquifera presentano granulometria fine prevalentemente argilloso limosa e pertanto, in base al criterio granulometrico, risultano <u>non liquefacibili.</u>



Lucca, 15/02/12

STUDIO DI GEOLOGIA BARSANTI, SANI & ASSOCIATI

Dr. Pietro Barsanti

PARTE II – RELAZIONE GEOTECNICA

1. CARATTERISTICHE DEL FABBRICATO

Come anticipato nella Parte I relativa alla Relazione Geologica, cui si rimanda interamente per la caratterizzazione geologica s.l. e la ricostruzione del modello geologico, ivi compresi i parametri geomeccanici medi del terreno di fondazione, trattasi di un fabbricato caratterizzato da una vita nominale V_N = 50 anni e da una Classe d'uso III, con conseguente vita di riferimento $V_R=C_u*V_N=1.5*50$ = 75 anni.

Il fabbricato in studio presenta struttura portante in pietra ed è elevato a due piani lato Ovest e Nord e tre piani lato Sud ed Est. In assenza di indicazioni progettuali specifiche, si presume che la fondazione sia di tipo continuo "a sacco" di larghezza B = 1.0 m ed incastro D = 1.0 m. Sul prospetto orientale spigolo Sud il fabbricato presenta una lesione con andamento a 45°, passante anche internamente, già monitorata mediante l'apposizione di spie estensimetriche micrometriche. I controlli micrometrici, per quanto è stato possibile evincere da una sommaria lettura del relativo rapporto, non hanno comunque evidenziato particolari trends evolutivi del dissesto, che, anche secondo quanto riferito dall'insegnante della scuola materna, sembra stabilizzato.

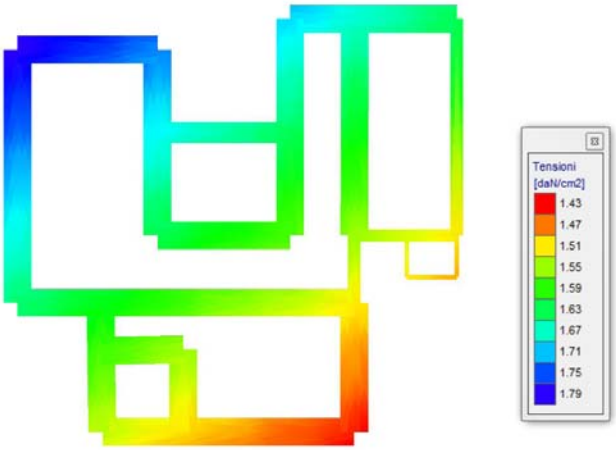
Si presume che la lesione sia stata causata dal cedimento differenziale di questa porzione del fabbricato, poggiante sul materiale detritico compressibile derivante dall'alterazione del substrato arenaceo, e la porzione settentrionale del fabbricato fondata sulle arenarie alterate o comunque su spessori più esigui e meno compressibili di terreno di alterazione.

Circa l'origine del cedimento, a parte il cedimento edometrico causato dalla consolidazione del terreno sotto il carico trasmesso dalla fondazione, non si esclude la possibilità di un modesto assestamento a seguito di una scossa sismica.

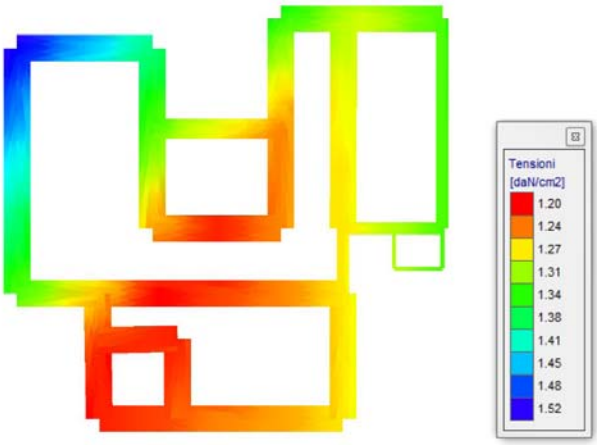
L'ultima significativa è quella del 24/08/1995 di magnitudo 4.67 con epicentro a Borgo Capanne.

In merito alla distribuzione delle tensioni sul terreno, si fa riferimento allo schema predisposto dall'Ing. F. Nucara nell'ipotesi di fondazione B = 1.0 m e D = 1,0 m:

Verifica allo SLV



Verifica allo SLD



Le tensioni SLV sul terreno variano tra un minimo di 1,43 daN/cm^2 ed un massimo di 1,79 daN/cm^2.

Le tensioni SLD sul terreno variano tra un minimo di 1,20 daN/cm^2 ed un massimo di 1,52 daN/cm^2.

2. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi verranno eseguiti con riferimento ai soli SLU ed in particolare rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV).

Per le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) deve essere rispettata la condizione :

$$Ed \leq Rd$$

ove Ed è il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni e Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Nella formulazione della resistenza Rd compare esplicitamente un coefficiente γ_r che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi (Approccio 1 e Approccio 2):

Approccio 1:

Combinazione 1: (A1+M1+R1)

Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2: (A1+M1+R3)

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 1 devono essere prese in considerazione entrambe le combinazioni.

Le <u>azioni</u>, la cui determinazione deve essere effettuata dal Progettista unitamente alla scelta dell'approccio progettuale, ed i relativi coefficienti parziali γ_F sono riportati nel seguente specchietto (vedi anche Tab. 6.2.I. delle *Norme tecniche per le costruzioni*):

CARICHI	AZIONE	SIMBOLO $\gamma_{F\ (o\ \gamma_E)}$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti portati (non strutturali)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

I coefficienti parziali γ_R da utilizzare a seconda delle varie combinazioni e/o approcci sono invece i seguenti:

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE **R1**	COEFFICIENTE PARZIALE **R2**	COEFFICIENTE PARZIALE **R3**
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Nel caso specifico il valore di progetto della resistenza Rd viene determinato con metodo analitico: trattandosi di un manufatto in zona di bassa sismicità, la verifica viene condotta con analisi pseudo-statica, utilizzando le consuete formule, ad esempio quelle di Brinch - Hansen proposte in All. 5, per la determinazione del carico limite di una fondazione superficiale.

Di seguito si riportano i coefficienti parziali γ_M (vedi anche Tab. 6.2.II. delle *Norme tecniche per le costruzioni*):

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZIALE	COEFF. PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

2.1. Verifica carico limite

Le fondazioni superficiali devono essere verificate almeno con riferimento a meccanismi di rottura per carico limite e scorrimento.

E' stato calcolato il *carico limite ultimo*, secondo le relazioni di Brinch-Hansen (vedi All. n. 5), per le fondazioni maggiormente sollecitate indicate al Progettista, considerando, nel senso della sicurezza, l'incastro minimo di 1.0 m sotto il p.c..

Sono stati assunti i seguenti parametri geotecnici caratteristici dei terreni interessati dalla curva di inviluppo degli sforzi di taglio sotto la base della fondazione:

Parametri caratteristici

	γ_K (kg/dm³)	γ'_k (kg/dm³)	c_u (kg/cm²)	φ'(°)	c' (kg/cm²)	mv (cm²/kg)
Limo argilloso e sabbioso con livelli granulari e litici sparsi, da compatto a duro	1,90	1,00	0,50	30	0,05	0,030÷0,005
Substrato arenaceo alterato e fratturato	2,20	1,20	--	28°	2,0	<0,003
Substrato arenaceo sano	2,50	1,50	--	45°	4,0	<0,003

In via cautelativa si è considerata la falda acquifera coincidente con la base della fondazione.

Le verifiche sono condotte in condizioni drenate (φ' e c') in ragione del fatto che il fabbricato esiste da tempo ed i terreni hanno ampiamente dissipato le sovrapressioni interstiziali. Per la fondazione considerata, la **Resistenza di progetto del terreno Rd** e la **Verifica della capacità portante** per la combinazione SLV è riassunta di seguito ed esplicitata nell'All. 5.

Trave rovescia condizioni SLV (condizione drenata e sisma):

Azioni Ed	1,79 daN/cm^2
Carico limite	7,58 daN/cm^2
Resistenza di progetto Rd	3,30 daN/cm^2
Condizioni di verifica [Ed<=Rd]:	Verificato

2.2. Verifica allo scorrimento

In conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità di una fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento oltre a quello per rottura generale. Rispetto al collasso per slittamento la resistenza viene

valutata come somma di una componente dovuta all'adesione e una dovuta all'attrito fondazione-terreno; la resistenza laterale derivante dalla spinta passiva del terreno può essere messa in conto secondo una percentuale indicata dell'utente. La resistenza di calcolo per attrito ed adesione è valutata secondo l'espressione:

$$F_{Rd} = N_{sd} \tan\delta + c_a A'$$

Nella quale N_{sd} è il valore di calcolo della forza verticale, δ è l'angolo di resistenza a taglio alla base della fondazione, c_a è l'adesione fondazione-terreno e A' è l'area della fondazione efficace, intesa, in caso di carichi eccentrici, come area ridotta al centro della quale è applicata la risultante.

Sarà cura del Progettista, una volta noti i valori di N_{sd} e A', verificare la fondazione allo scorrimento.

3. VERIFICA IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO (SLE-SLD) - CEDIMENTI – DISTORSIONI

La verifica in condizioni di esercizio (SLE-SLD) si concretizza essenzialmente nella verifica degli spostamenti e delle distorsioni compatibili con la funzionalità della struttura in elevato, ovvero con i cedimenti assoluti e differenziali attesi per la fondazione in progetto, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.

In questo caso il terreno, a seguito dell'incremento di carico dovuto alla costruzione del fabbricato, ha esaurito da tempo il consolidamento determinando cedimenti differenziali di una certa entità tra la parte di edificio fondata praticamente su roccia e la parte fondata sullo strato di terreno detritico più compressibile.

Si procede pertanto di seguito alla verifica degli assestamenti in corrispondenza della situazione stratigrafica più sfavorevole individuata dalla prova penetrometrica P1.

Il cedimento di tipo edometrico, dovuto al consolidamento sotto carico del terreno di fondazione, è stato valutato secondo la Teoria della consolidazione di Terzaghi con distribuzione delle tensioni nel terreno alla Boussinesq.

Il cedimento totale è dato dalla sommatoria dei cedimenti dei singoli strati di terreno interessati dal sovraccarico indotto. Ciò è espresso dalla relazione:

CALCOLO DEI CEDIMENTI

Fondazione rettangolare

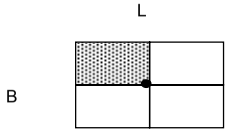
Parametri del terreno e della fondazione		
Sovraccarico	*Kg/cmq*	1,55
Profondità fondazione (D)	*m (dal p.c.)*	1,00
Lunghezza fondazione (L)	*m*	10,00
Larghezza fondazione (B)	*m*	1,00
Livello della falda	*m (dal p.c.)*	1,00

Lavoro	*Scuola Migliana*
Stratigrafia di riferimento	*CPT1*
Data	*12-dicembre-12*
Riferimento	*ced fond Migliana*

Z (m)		S	Z_{media}		γ / γ'	σ_{v0}'	I	$\Delta\sigma_v$	m_v	h
da	*a*	*m*	*dal p.c.*	*dal p.f.*	*Kg/dmc*	*Kg/cmq*		*Kg/cmq*	*cmq/Kg*	*cm*
1,01	2,00	0,99	1,51	0,51	1,00	0,241	0,204	0,316	0,017	0,532
2,00	3,00	1,00	2,50	1,50	1,00	0,340	0,099	0,153	0,021	0,321
3,00	3,60	0,60	3,30	2,30	1,10	0,423	0,066	0,103	0,013	0,080
3,60	4,80	1,20	4,20	3,20	1,10	0,522	0,047	0,073	0,006	0,053
4,80	6,40	1,60	5,60	4,60	1,10	0,676	0,031	0,048	0,008	0,062
6,40	8,00	1,60	7,20	6,20	1,30	0,868	0,021	0,032	0,002	0,010
8,00	9,00	1,00	8,50	7,50	1,30	1,037	0,016	0,024	0,002	0,000

Totale dei cedimenti

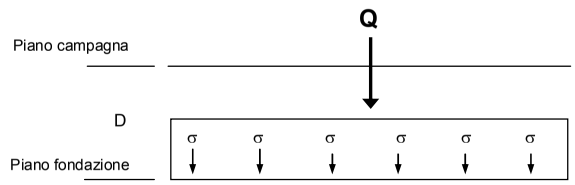
Fondazione flessibile	*allo spigolo*	1,064
Fondazione flessibile	*al bordo*	2,128
Fondazione flessibile	*al centro*	4,256
Fondazione rigida		3,192

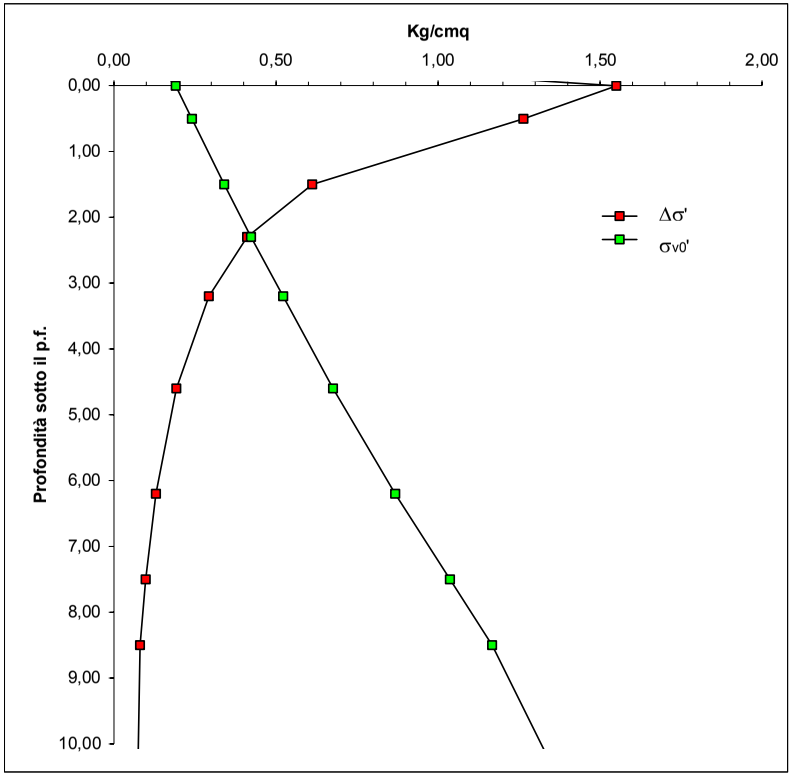


N.B. Il cedimento è calcolato sulla verticale per lo spigolo della fondazione elementare di larghezza B = B/2 e di lunghezza L = L/2

Z = Profondità inferiore e superiore dello strato
Z_{media} = Profondità media dello strato
S = Spessore dello strato
γ = peso di volume naturale dello strato
γ' = peso di volume immerso dello strato
σ_{vo}' = Pressione litostatica efficace alla profondità Z_{media}
I = Coefficiente di influenza alla profondità Z_{media}
$\Delta\sigma$ = Incremento di pressione alla profondità Z_{media} per lo spigolo della fondazione elementare
m_v = Coefficiente di compressibilità volumetrica dello strato
h = cedimento parziale relativo allo strato considerato

DISTRIBUZIONE DELLE TENSIONI NEL SOTTOSUOLO
Fondazione BXL = 1x10 m
qs SLD = 1,55 kg/cmq





$h = \Sigma (H \times \Delta p \times m_v)$

dove:

h = cedimento in cm

H = spessore dello strato di terreno interessato dai sovraccarichi indotti (cm)

Δp = aliquota di tensione verticale alla quota media dello strato considerato (kg/cm^2)

m_v = coefficiente di compressibilità volumetrica (cm^2/kg)

Sono stati considerati gli incrementi di tensione nel terreno sotto la base della fondazione secondo la teoria di Boussinesq fino alla profondità oltre le quali essi divengono inferiori al 10% del carico litostatico efficace e quindi praticamente ininfluenti ai fini del cedimento.

I coefficienti mv sono stati calcolati per i vari strati individuati dalla prova penetrometrica, sia dalla Relazione di Sanglerat $mv = 1/\alpha Rp$ in cui α è un coefficiente che varia tra 1.5 e 6 in funzione della granulometria del terreno, sia dalle analisi di laboratorio sul campione.

E' stata considerata la tensione sul terreno SLD pari a di 1,52 daN/cm^2 (= 1,55 kg/cm^2). Come si può notare dalla tavola di calcolo e dalla curva di incremento delle tensioni nel sottosuolo riportate alla pag. precedente, per la fondazione ipotizzata i cedimenti calcolati risultano dell'ordine di 3,1 cm: pertanto, assumendo cedimenti assoluti di entità nulla o trascurabile per la parte di fabbricato poggiante su roccia, il cedimento differenziale risultante può ampiamente giustificare il quadro fessurativo rilevato.

****

Lucca, 14/12/12

STUDIO DI GEOLOGIA BARSANTI SANI & ASSOCIATI

dr. Pietro Barsanti

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. PIETRO BARSANTI N. 193

STUDIO DI GEOLOGIA
B A R S A N T I , S A N I & A S S O C I A T I
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA – Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI CANTAGALLO
PROVINCIA DI PRATO

RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
E
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
DI SUPPORTO ALLA VERIFICA SISMICA DELLA SCUOLA PER L'INFANZIA
DI MIGLIANA

ALL. N° 1 - ALCUNI ESTRATTI DAL PIANO STRUTTURALE E DAL PAI DEL F. ARNO

COMUNE DI CANTAGALLO (FI)

ESTRATTI DAL REGOLAMENTO URBANISTICO

Carta geolitologica

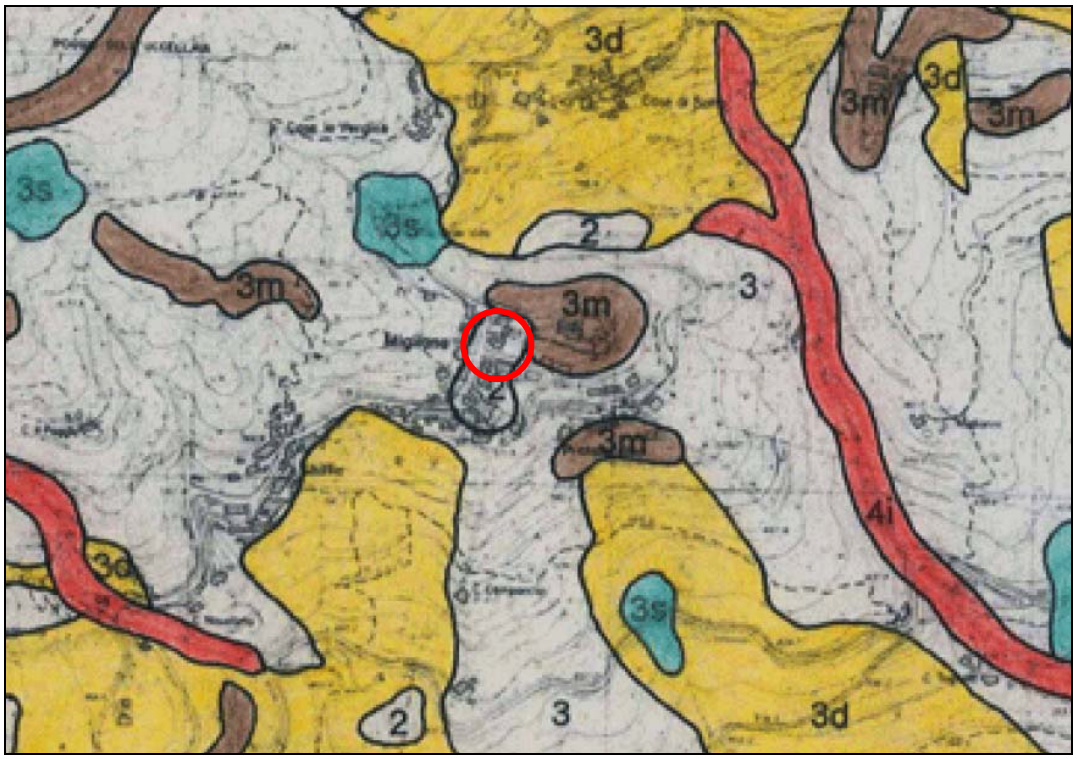
TERRENI GRANULARI E COESIVI — **Rif. Carta Geologica d'Italia 1:100.000**

1	Detrito di versante	dt

ASSOCIAZIONI LITOLOGICHE A PREVALENTE COMPONENTE LAPIDEA

7	Arenarie con argilliti e siltiti	mg, mc1, Cev
8	Arenarie e siltiti	mg, mc1, mc3,Cev
9	Siltiti con arenarie	mgL, mc1, mc3,Cev

Carta delle pericolosità geologiche



CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA

scala 1:10.000

LEGENDA

Classe 4

(morfologica)

- 4fr — instabilità dei versanti: frane attive, orlo di scarpata attivo
- 4i — forte erosione dei corsi d'acqua (con scalzamento del piede dei versanti ed instabilità delle coperture superficiali)

Classe 3

(litotecnica)

- 3 — substrato lapideo su pendenze > del 35%
- 3a — rocce a composizione argillitica
- 3d — depositi di versante su pendenze > del 25%

(morfologica)

- 3s — area soggetta a solifluso
- 3e — area soggetta ad intensi fenomeni erosivi

(sismica per effetti morfologici)

- 3m — area di cresta o di scarpata o di rottura di pendio

(sismica per effetti litologici)

- 3l — area di intensa fratturazione del substrato litologico, giustapposizione di litologie a diverso comportamento meccanico, avvallamenti con letto roccioso e copertura di terreni sciolti

(litotecnica e sismica per instabilità dinamica)

- 3di — giaciture a franapoggio meno inclinate del pendio

Classe 2

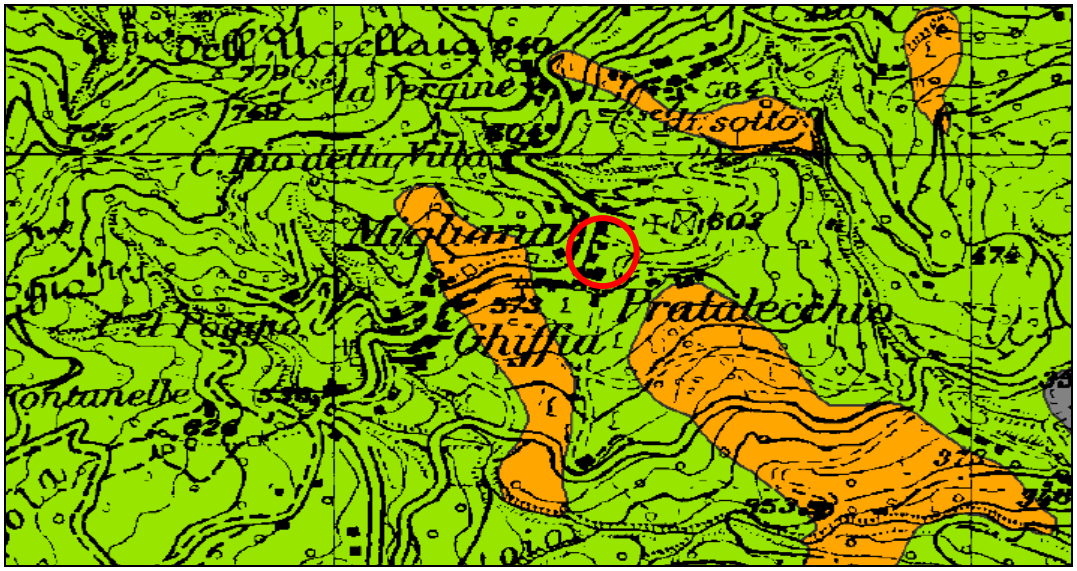
- 2 — substrato lapideo su pendenze < del 35% e depositi sciolti su pendenze < del 25%
- 2al — aree di fondovalle con una copertura di depositi alluvionali sopra il substrato roccioso

AUTORITA' DI BACINO DEL F. ARNO

PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante

Pai_pf_25k_017



Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica

Pai_pi_25k_017

NESSUNA PERICOLOSITA' IDRAULICA

STUDIO DI GEOLOGIA
B A R S A N T I , S A N I & A S S O C I A T I
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA – Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI CANTAGALLO
PROVINCIA DI PRATO

RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
E
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
DI SUPPORTO ALLA VERIFICA SISMICA DELLA SCUOLA PER L'INFANZIA
DI MIGLIANA

ALL. N° 2 - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

GEOPROVE s.a.s
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

Prove Penetrometriche Statiche

ELABORAZIONE DATI

Committente :	Comune di Cantagallo
Località:	Migliana - Cantagallo (PO)
Data:	13/11/12
N° totale di prove:	2

Cartella: MiglianaPrato121113ComuneCantagallo

Penetrometro

Ditta produttice: PAGANI GEOTHECNICAL EQUIPMENT
Modello: TG63-200
Spinta: 200 KN
Punta: meccanica tipo Begemann
Cella di carico di sommità: Hottinger - Classe: 0,2
Centralina elettronica di rilevamento dati

Legenda

A	=	resistenza totale alla punta	(Kg)
B	=	resistenza totale alla punta + manicoto	(Kg)
T	=	resistenza totale	(Kg)
Rp	=	resistenza alla punta	(Kg/cmq)
Rf	=	resistenza laterale	(Kg/cmq)
Rp/Rf	=	rapporto Begemann	

Valori derivati

Φ	=	angolo d'attrito interno	(◦)
Dr	=	densità relativa	(%)
Cu	=	coesione non drenata	(Kg/cmq)
mv	=	coefficiente di compressibilità volumetrica	(cmq/Kg)

N.B.: I valori derivati si basano sulle correlazioni empiriche o semiempiriche proposte da Begemann, Searle, Shmertmann e Altri. Si declina qualsiasi responsabilità sull'uso di tali dati senza adeguate verifiche dirette (sondaggi, prove di laboratorio su campioni indisturbati etc.)

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Legende della stratigrafia schematica

Begemann (1965)	
Torbe e arg. organiche	#=#=#=#=#
Argille	==========
Limi argillosi	~~~===~~~
Limi	~~~~~~~~~~
Limi argille sabbie	~~~===·····
Sabbie limose	·····~~~·····
Sabbie fini	·····
Sabbie grossolane	••••••••••••••••
Sabbie e ghiaie	o••o••o••o••o

Searle (1979)	
Torbe	########
Argille torbose	#=#=#=#=#
Argille	==========
Argille limose	===~~~===
Limi argillosi	~~~===~~~
Limi argillosi sabbiosi	~~~=····=~~~
Sabbie limose argillose	·····~~=~~·····
Sabbie fini	·····
Sabbie	••••••••••••••••
Sabbie ghiaiose	o••o••o••o••o
Ghiaie sabbiose	oo•oo•oo•oo•oo
Ghiaie	oooo·oooo·oooo

	Riporto Substrato roccioso	vengono indicati nei livelli per i quali sono disponibili informazioni derivanti da altri mezzi di indagine

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetronetrica statica **Prova N° 1** Geoprove S.a.s.

Committente : Comune di Cantagallo Data: 13/11/2012
Località: Migliana - Cantagallo (PO) File: ps1211131

Piezometro 6.5 m sotto p.c.

Quota: p.c. Livello della falda: -4.5

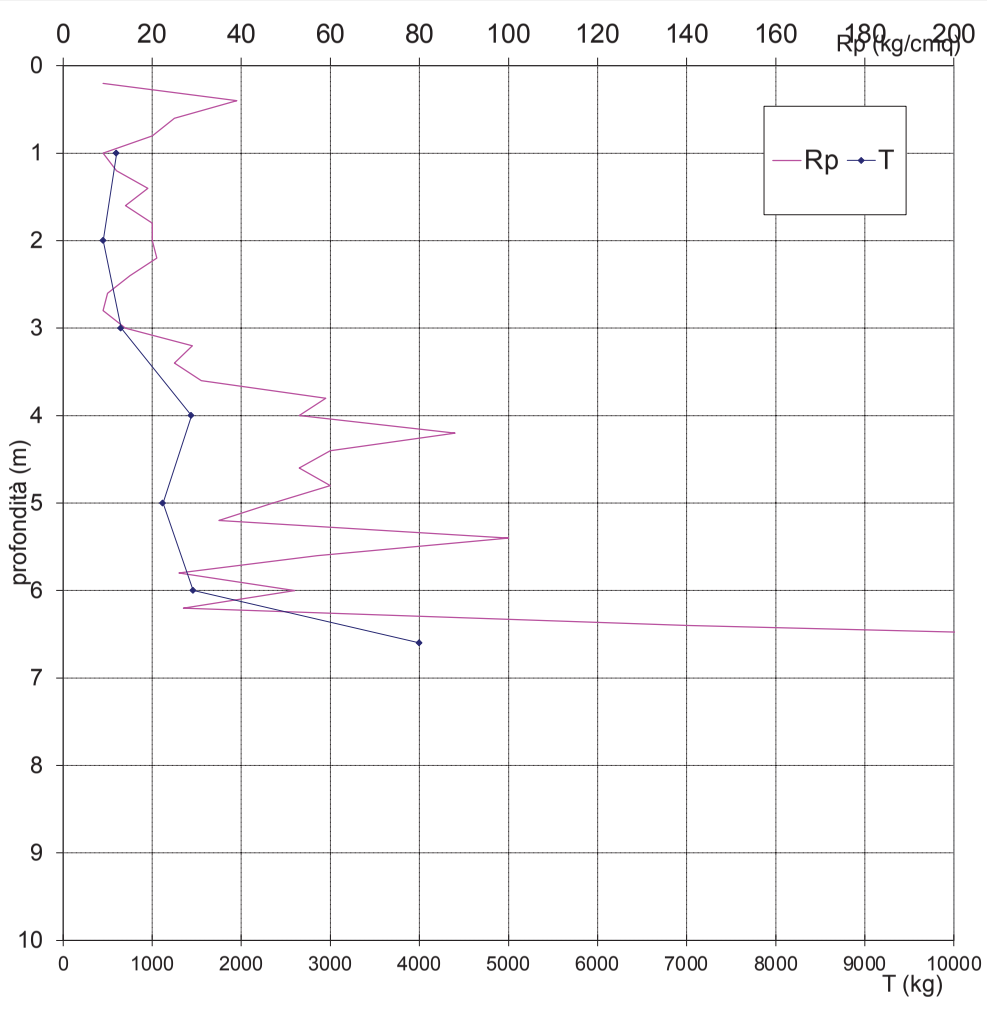
Letture di campagna				Valori derivati			Parametri meccanici del terreno (Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	ϕ	Dr	Cu	mv	ϕ	Dr	Cu	mv
0.2	90			9										
0.4	390	450		39	1.5	26.6	26.6	54%	- -	0.009	- -	- -	1.6	0.009
0.6	250	470		25	1.0	25.0	26.3	44%	- -	0.013	- -	- -	1.0	0.013
0.8	200	350		20	0.7	27.3	26.2	40%	- -	0.017	- -	- -	0.8	0.017
1	90	200	600	9	0.7	12.3	- -	- -	0.5	0.032	- -	- -	0.6	0.032
1.2	120	230		12	0.6	20.0	- -	- -	0.5	0.021	- -	- -	0.6	0.021
1.4	190	280		19	1.2	15.8	- -	- -	1.0	0.015	- -	- -	1.0	0.015
1.6	140	320		14	0.7	19.1	- -	- -	0.6	0.018	- -	- -	0.7	0.018
1.8	200	310		20	0.9	21.4	- -	- -	0.8	0.017	- -	- -	1.0	0.017
2	200	340	450	20	0.7	27.3	26.2	40%	- -	0.017	- -	- -	0.8	0.017
2.2	210	320		21	0.6	35.0	28.1	41%	- -	0.016	27.4	41%	- -	0.016
2.4	150	240		15	0.8	18.8	- -	- -	0.6	0.017	- -	- -	0.8	0.017
2.6	100	220		10	0.6	16.7	- -	- -	0.4	0.025	- -	- -	0.5	0.025
2.8	90	180		9	0.7	12.3	- -	- -	0.5	0.032	- -	- -	0.6	0.032
3	140	250	650	14	0.6	23.3	- -	- -	0.6	0.018	- -	- -	0.7	0.018
3.2	290	380		29	1.5	18.9	- -	- -	1.2	0.011	- -	- -	1.5	0.011
3.4	250	480		25	2.1	12.1	- -	- -	1.3	0.016	- -	- -	1.7	0.016
3.6	310	620		31	1.7	17.9	- -	- -	1.2	0.011	- -	- -	1.6	0.011
3.8	590	850		59	3.8	15.5	- -	- -	3.0	0.007	- -	- -	3.0	0.007
4	530	1100	1440	53	3.3	16.2	- -	- -	2.1	0.006	- -	- -	2.7	0.006
4.2	880	1370		88	4.1	21.3	- -	- -	3.5	0.004	- -	- -	4.4	0.004
4.4	600	1220		60	3.1	19.6	- -	- -	2.4	0.006	- -	- -	3.0	0.006
4.6	530	990		53	2.4	22.1	- -	- -	2.1	0.006	- -	- -	2.7	0.006
4.8	600	960		60	2.1	28.1	27.5	62%	- -	0.006	26.6	62%	- -	0.006
5	470	790	1120	47	2.4	19.6	- -	- -	1.9	0.007	- -	- -	2.4	0.007
5.2	350	710		35	2.3	15.0	- -	- -	1.8	0.011	- -	- -	1.8	0.011
5.4	1000	1350		100	2.5	40.5	31.1	60%	- -	0.003	31.1	60%	- -	0.003
5.6	570	940		57	1.5	37.2	29.4	61%	- -	0.006	28.6	61%	- -	0.006
5.8	260	490		26	0.8	32.5	27.6	45%	- -	0.013	26.9	45%	- -	0.013
6	520	640	1460	52	1.6	32.5	28.4	59%	- -	0.006	27.6	59%	- -	0.006
6.2	270	510		27	2.3	11.9	- -	- -	1.8	0.012	- -	- -	1.8	0.012
6.4	1400	1740		140										
6.6	3000		4000	300										

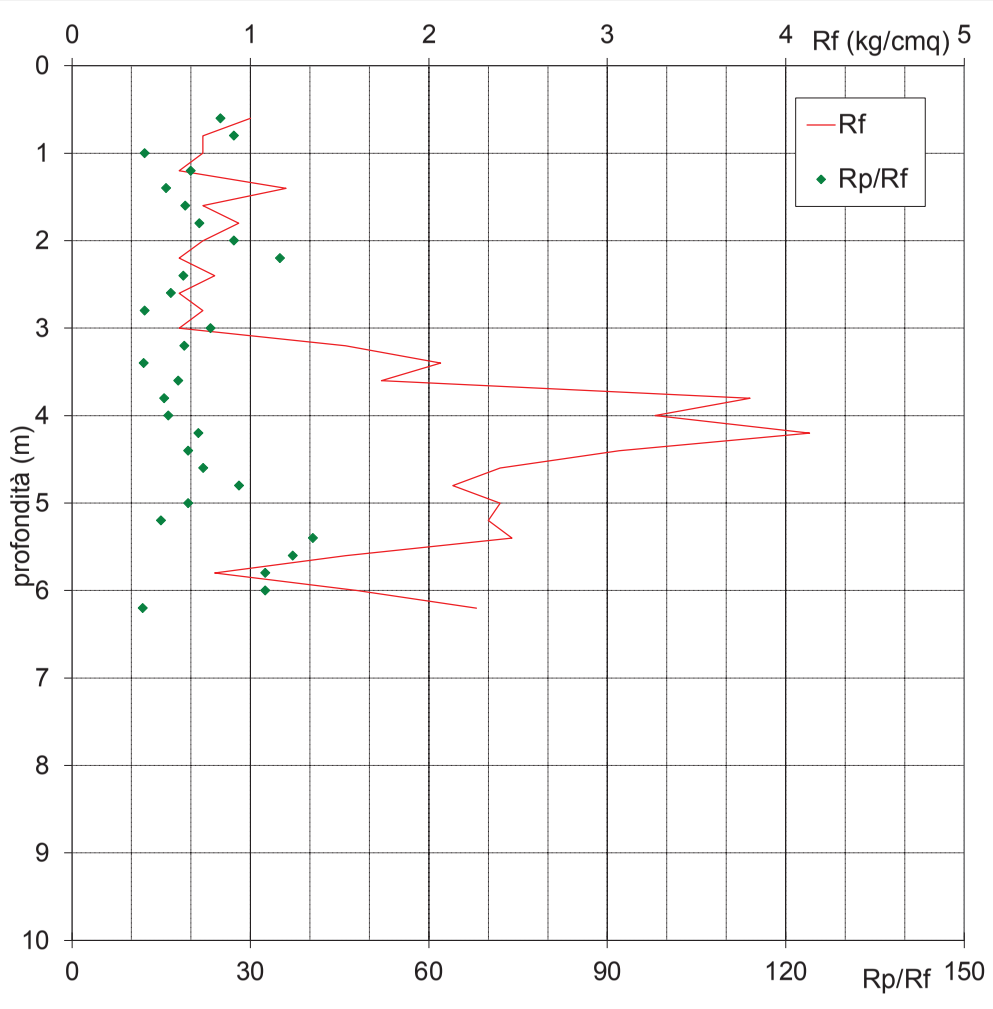
GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

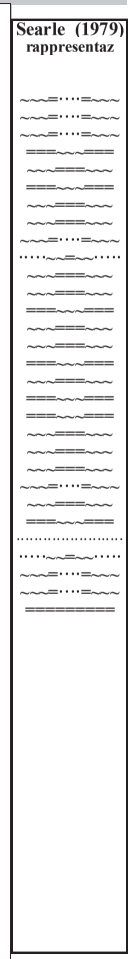
Prova penetronetrica statica | **Prova N° 1** | **Geoprove S.a.s.**

Committente : *Comune di Cantagallo* — *Data:* *13/11/2012*

Località: *Migliana - Cantagallo (PO)* — *File:* *ps1211131*







GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Prova penetronetrica statica **Prova N° 2** Geoprove S.a.s.

Committente : Comune di Cantagallo Data: 13/11/2012
Località: Migliana - Cantagallo (PO) File: ps1211132

Quota: p.c. Livello della falda:

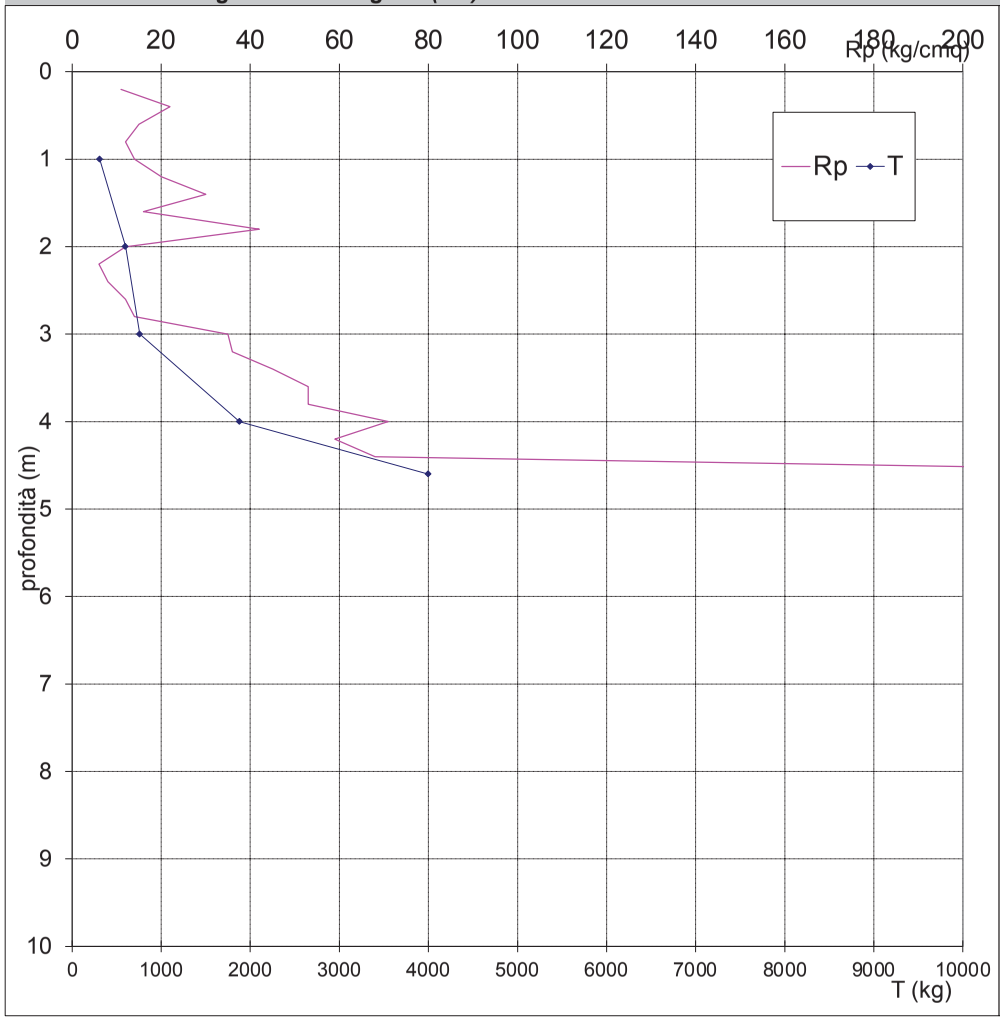
Letture di campagna				Valori derivati			Parametri meccanici del terreno (Searle 1979)				(Begemann 1968)			
profond.	A	B	T	Rp	Rf	Rp/Rf	□	Dr	Cu	mv	□	Dr	Cu	mv
0.2	110			11										
0.4	220			22	1.0	22.0	- -	- -	0.9	0.015	- -	- -	1.1	0.015
0.6	150	300		15	0.6	25.0	25.8	33%	- -	0.017	- -	- -	0.6	0.017
0.8	120	210		12	0.5	22.5	- -	- -	0.5	0.021	- -	- -	0.6	0.021
1	140	220	310	14	0.6	23.3	- -	- -	0.6	0.018	- -	- -	0.7	0.018
1.2	200	290		20	0.9	23.1	- -	- -	0.8	0.017	- -	- -	1.0	0.017
1.4	300	430		30	0.6	50.0	29.9	33%	- -	0.017	29.9	33%	- -	0.017
1.6	160	250		16	0.4	40.0	28.5	21%	- -	0.021	28.5	21%	- -	0.021
1.8	420	480		42	0.7	57.3	31.7	41%	- -	0.012	31.7	41%	- -	0.012
2	120	230	600	12	0.6	20.0	- -	- -	0.5	0.021	- -	- -	0.6	0.021
2.2	60	150		6	0.4	15.0	- -	- -	0.3	0.033	- -	- -	0.3	0.033
2.4	80	140		8	0.4	20.0	- -	- -	0.3	0.031	- -	- -	0.4	0.031
2.6	120	180		12	0.7	18.0	- -	- -	0.5	0.021	- -	- -	0.6	0.021
2.8	140	240		14	0.7	19.1	- -	- -	0.6	0.018	- -	- -	0.7	0.018
3	350	460	760	35	1.7	21.0	- -	- -	1.4	0.010	- -	- -	1.8	0.010
3.2	360	610		36	2.1	16.9	- -	- -	1.4	0.009	- -	- -	1.8	0.009
3.4	450	770		45	2.2	20.5	- -	- -	1.8	0.007	- -	- -	2.3	0.007
3.6	530	860		53	2.8	18.9	- -	- -	2.1	0.006	- -	- -	2.7	0.006
3.8	530	950		53	3.5	15.3	- -	- -	2.7	0.008	- -	- -	2.7	0.008
4	710	1230	1880	71	4.1	17.5	- -	- -	2.8	0.005	- -	- -	3.6	0.005
4.2	590	1200		59	4.1	14.5	- -	- -	3.0	0.007	- -	- -	3.0	0.007
4.4	680	1290		68										
4.6	3000		4000	300										

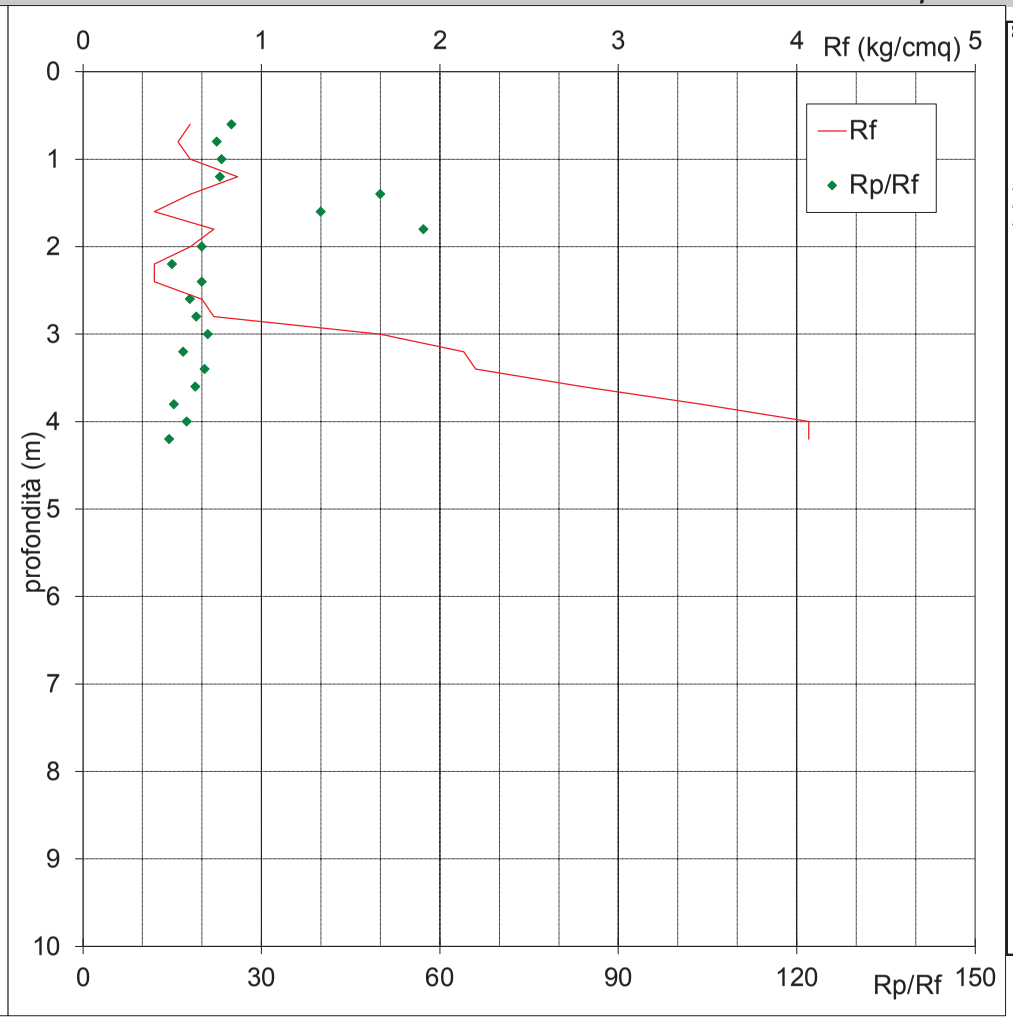
GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

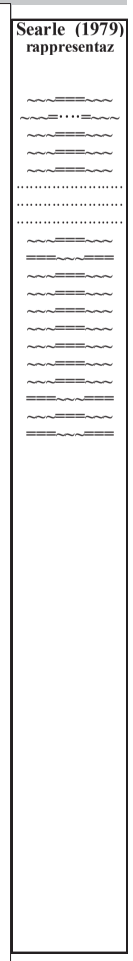
Prova penetronetrica statica | **Prova N° 2** | **Geoprove S.a.s.**

Committente : *Comune di Cantagallo* — *Data:* *13/11/2012*

Località: *Migliana - Cantagallo (PO)* — *File:* *ps1211132*







GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

STUDIO DI GEOLOGIA
B A R S A N T I , S A N I & A S S O C I A T I
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA – Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI CANTAGALLO
PROVINCIA DI PRATO

RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
E
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
DI SUPPORTO ALLA VERIFICA SISMICA DELLA SCUOLA PER L'INFANZIA
DI MIGLIANA

ALL. N° 3 - ANALISI DI LABORATORIO

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. PIETRO BARSANTI N° 193

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

PESO DI VOLUME

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-2
deviazioni dalla norma: nessuna

UMIDITA' NATURALE

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-1
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1461/12** del **14/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

DATI DI PROVA - PESO DI VOLUME

data di esecuzione: 11/12/2012

volume(cm^3)	*peso umido (g)*	*test eseguito*	*localizzazione nel campione*
82.21	159.38	taglio diretto consolidato drenato - provino 1	centro-inferiore/inferiore
82.21	157.93	taglio diretto consolidato drenato - provino 2	centro-inferiore
82.21	157.58	taglio diretto consolidato drenato - provino 3	centro-centro/inferiore
86.64	162.82	compressione non confinata - provino 1	centrale
86.64	86.64	compressione non confinata - provino 2	centro-superiore

Peso di volume γ 18.85 kN/m^3
(medio, in condizioni di umidità naturale)

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

DATI DI PROVA - UMIDITA' NATURALE

data di esecuzione: 11/12/2012

peso umido (g)	*peso secco (g)*	*test eseguito*	*localizzazione nel campione*
40.75	31.74	taglio diretto consolidato drenato - provino 1	centro-inferiore/inferiore
51.80	40.21	taglio diretto consolidato drenato - provino 2	centro-inferiore
57.04	43.32	taglio diretto consolidato drenato - provino 3	centro-centro/inferiore
32.96	24.79	compressione non confinata - provino 1	centrale
32.96	14.61	compressione non confinata - provino 2	centro-superiore

Umidità allo stato naturale **W** 30.46 %

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification

PESO DI VOLUME REALE DEI GRANULI DI UN AGGREGATO

norma di riferimento: CNR n° 64
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1462/12** del **14/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per i *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 13/12/2012

	misura I	misura II
picnometro n°	45	46
massa campione (g)	20.08	20.00
massa picnometro + acqua + campione (g)	289.24	287.54
massa picnometro + acqua (g)	277.06	275.05
temperatura (°C)	11.7	11.7
γ_r *calcolato (kN/m^3)*	24.92	26.10

peso di volume reale dei granuli: γ_r 25.51 kN/m^3

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification

ANALISI GRANULOMETRICA

norme di riferimento: Raccomandazioni AGI 1994
deviazioni dalle norme: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1463/12** del **14/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per test meccanici parzialmente ricostituiti**

DATI DI PROVA - SETACCIATURA PER VIA UMIDA

data di esecuzione: 13/12/2012
massa terreno setacciato (g): 100.00

ϕ / maglia (mm)	*trattenuto (N)*	*passante (N)*	*passante (%)*
10	0.02275	0.95791	97.68
5	0.10934	0.87132	88.85
2	0.21290	0.76776	78.29
1	0.28871	0.69196	70.56
0.425	0.32205	0.65861	67.16
0.180	0.33921	0.64145	65.41
0.075	0.37403	0.60664	61.86

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

DATI DI PROVA - ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE

data di esecuzione: 13-14/12/2012 *densimetro utilizzato:* ASTM 152 H

temperatura di prova (°C): 10.8 *massa terreno alla sedimentazione (g):* 30.00

tempo (s)	*ϕ (mm)*	*lettura densimetrica**	*passante (%)*
60	0.046	43	59.86
120	0.033	40	54.87
300	0.022	35	46.55
900	0.013	31	39.90
1800	0.009	28	34.91
3600	0.007	26	31.58
7200	0.005	24	28.26
14400	0.003	21	23.27
86400	0.001	17.5	17.45

**correzioni applicate:* $C_m = 0.5$

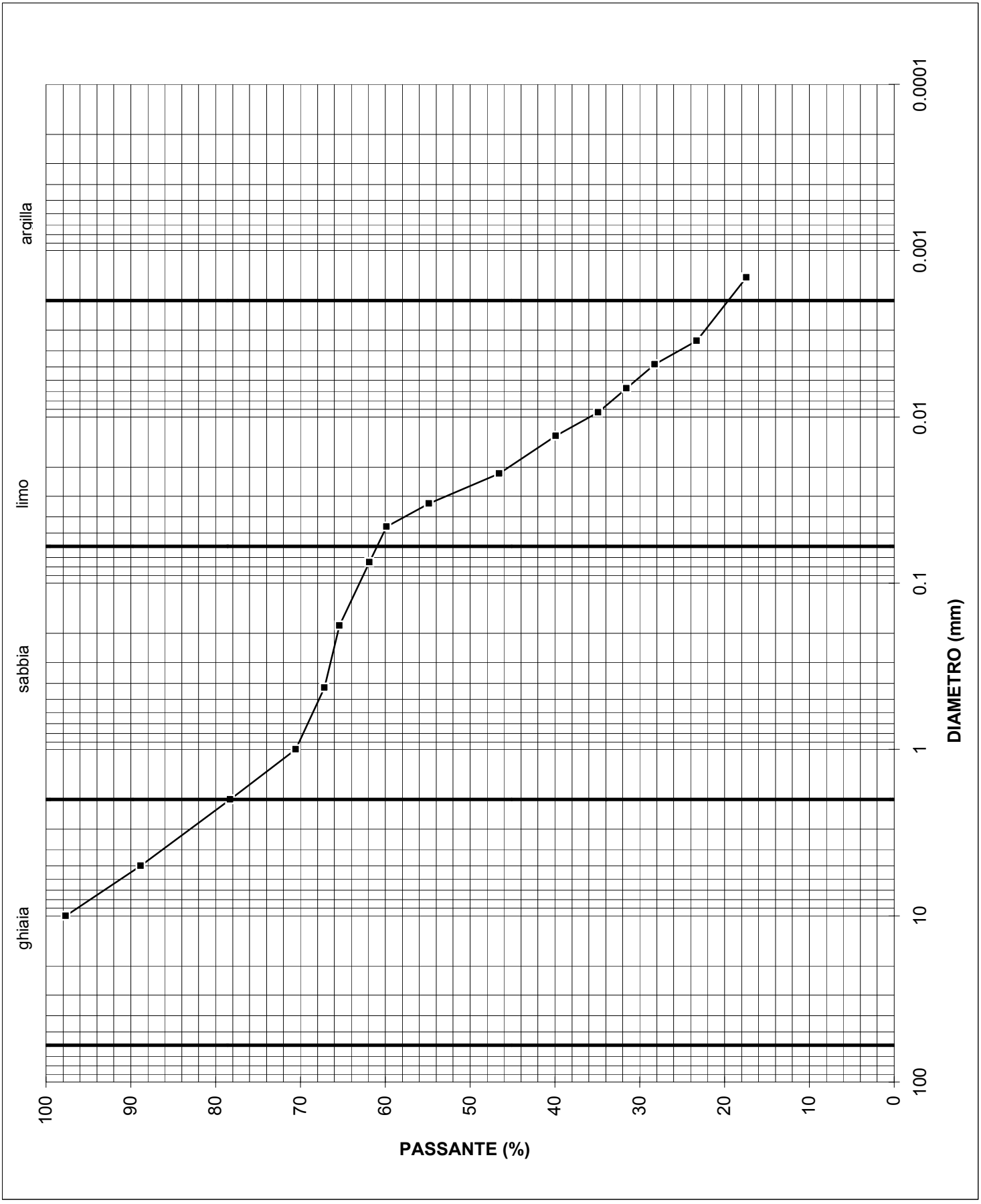
$C_d = 5$

$C_t = -1.5$

composizione granulometrica	
% ghiaia	21.7
% sabbia	17.3
% limo	41.4
% argilla	19.6
totale	100.00

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

LIMITI DI ATTERBERG

norma di riferimento : CNR-UNI 10014
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1464/12** del **14/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

DATI DI PROVA

data di esecuzione: 12/12/2012

limite di liquidità				*limite di plasticità*		
n° di cadute	*peso umido (g)*	*peso secco (g)*	*umidità (%)*	*peso umido (g)*	*peso secco (g)*	*umidità (%)*
20	6.06	4.31	40.60	1.14	0.90	26.67
25	5.91	4.24	39.39	1.46	1.15	26.96
28	6.52	4.69	39.02			

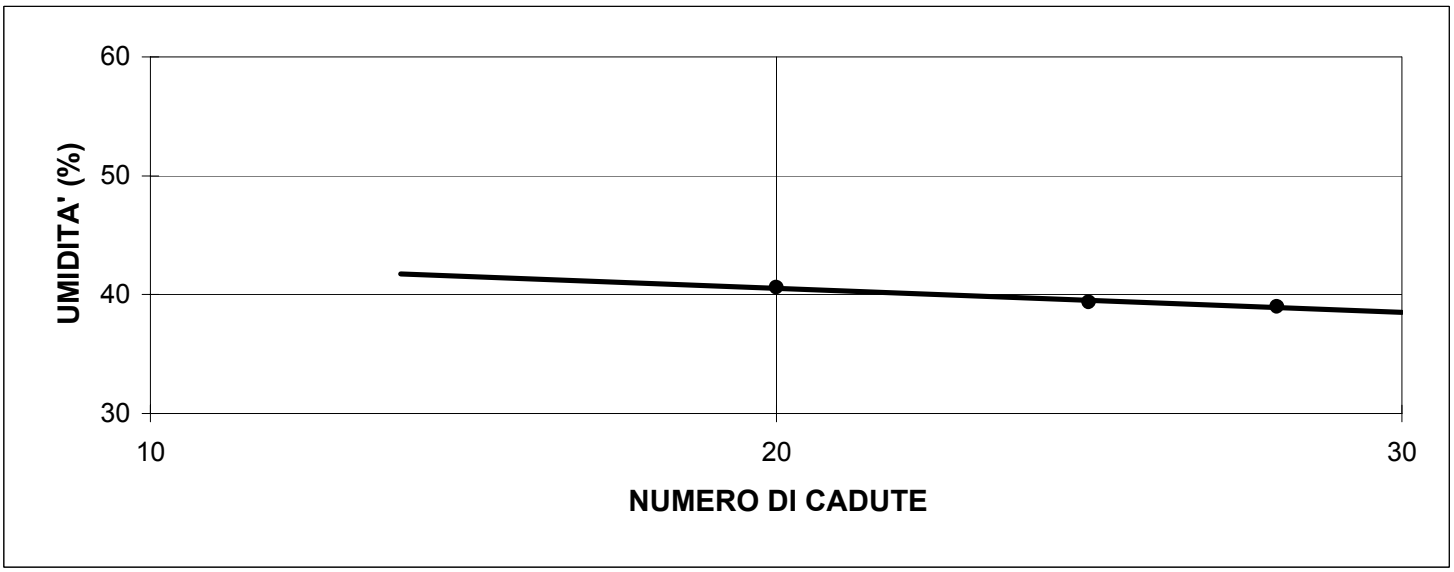
limite di ritiro

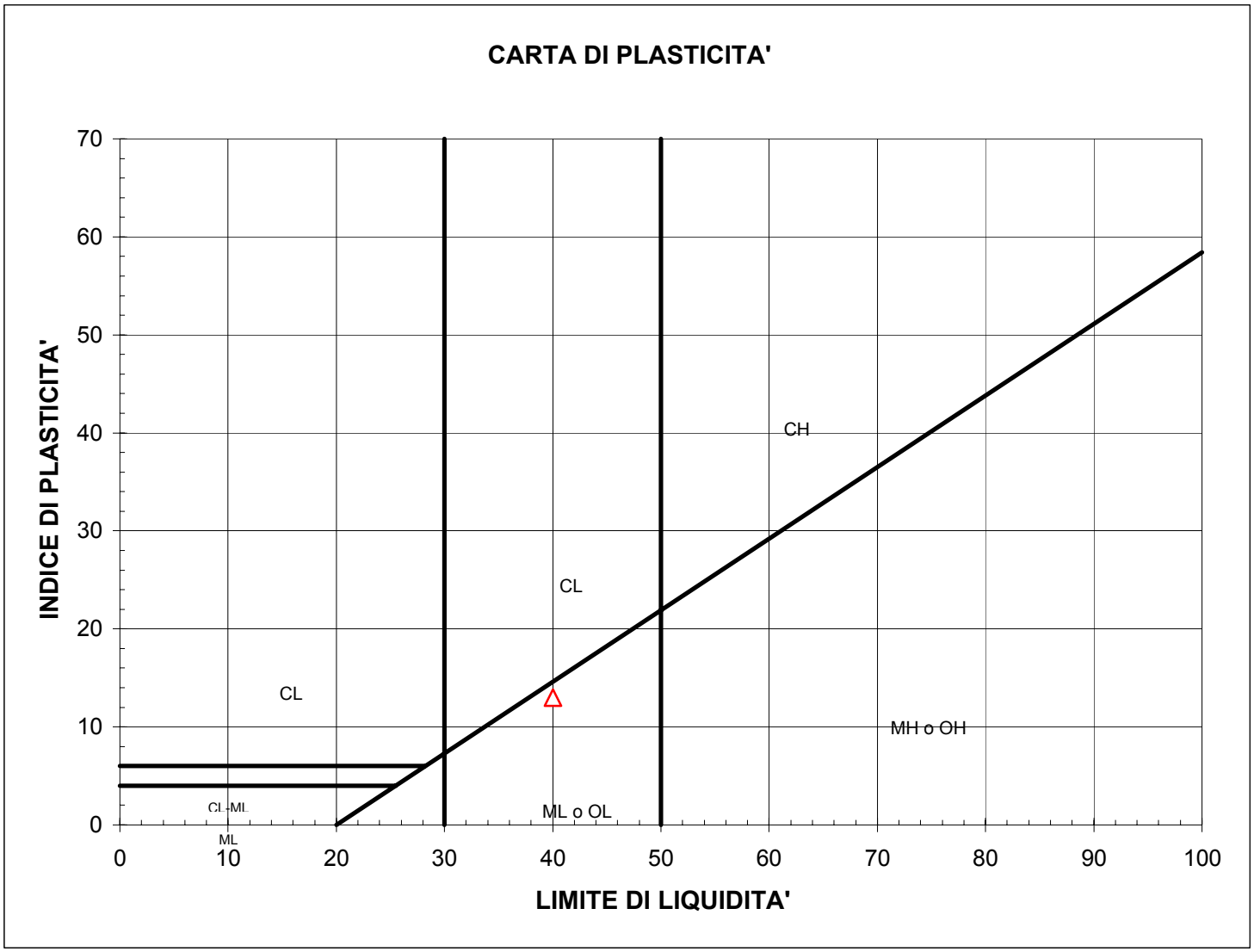
volume umido (cm^3)	*peso umido (g)*	*volume secco (cm^3)*	*peso secco (g)*

LIMITE DI LIQUIDITA'	**Wl**	40	%
LIMITE DI PLASTICITA'	**Wp**	27	%
LIMITE DI RITIRO	**Wr**		
INDICE DI PLASTICITA'	**IP**	13	

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore





M = limi inorganici
C = argille inorganiche
O = limi e argille organiche

L = basso limite di liquidità
H = alto limite di liquidità

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

PROVA DI COMPRESSIONE ASSIALE NON CONFINATA

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-7
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1465/12** del **14/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per i *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

provino n° 1

sezione	11.40	cm^2			
altezza iniziale	7.60	cm			
massa iniziale	165.79	g	*altezza finale*	6.46	cm
umidità iniziale	32.96	%	*umidità finale*	31.60	%

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

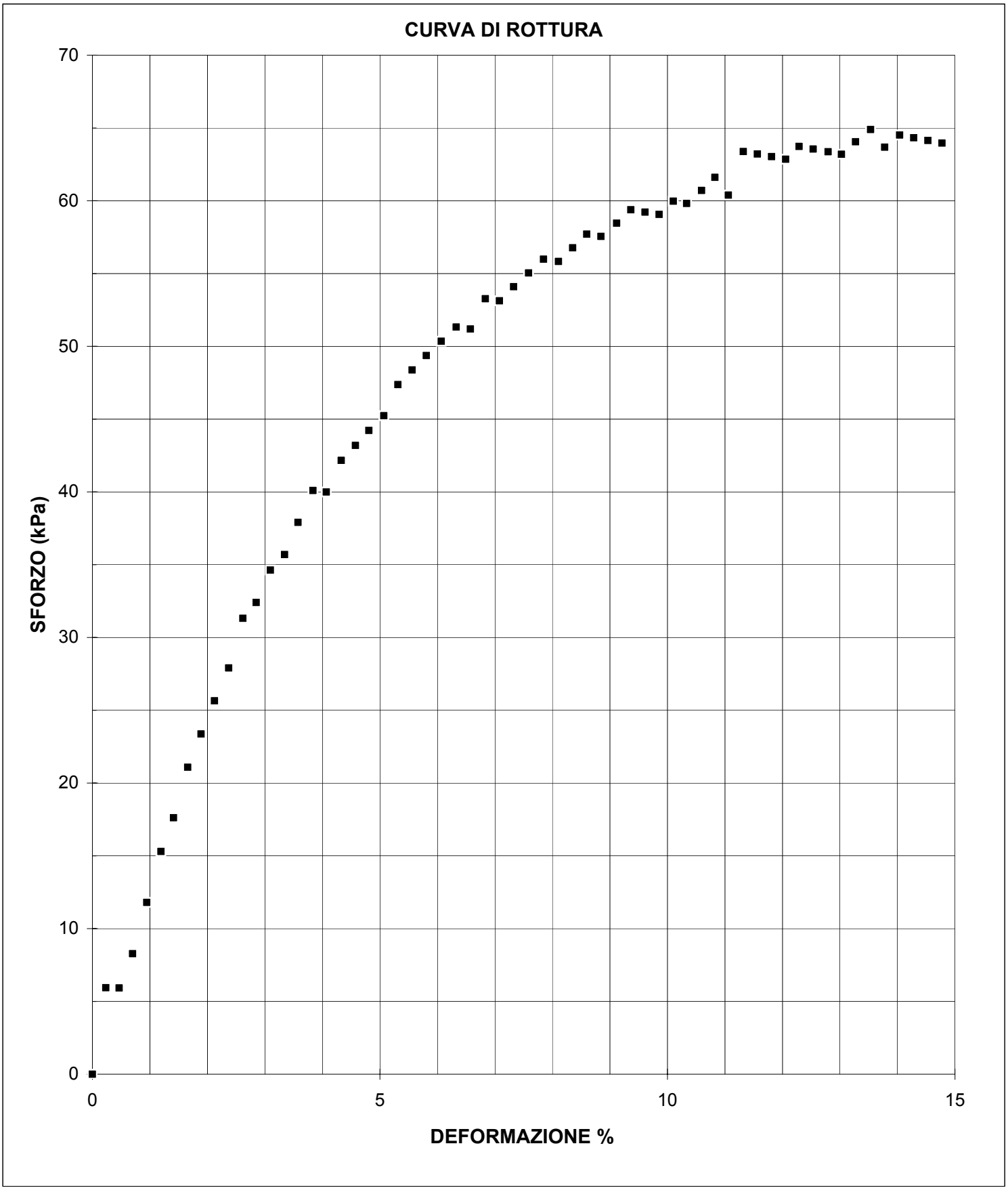
DATI DI PROVA

data di esecuzione: 11/12/2012 *velocità di deformazione:* 0.0125 mm/s

deformazione assiale (mm)	*area corretta (cm^2)*	*forza (N)*	*Pressione (kPa)*	*deformazione assiale (mm)*	*area corretta (cm^2)*	*forza (N)*	*Pressione (kPa)*
0.00	11.40	0.00	0.00	5.76	12.34	67.90	55.04
0.18	11.43	6.79	5.94	5.96	12.37	69.26	55.99
0.35	11.45	6.79	5.93	6.16	12.41	69.26	55.83
0.53	11.48	9.51	8.28	6.35	12.44	70.62	56.77
0.72	11.51	13.58	11.80	6.53	12.47	71.97	57.71
0.91	11.54	17.65	15.30	6.72	12.51	71.97	57.55
1.07	11.56	20.37	17.62	6.93	12.54	73.33	58.46
1.26	11.59	24.44	21.09	7.12	12.58	74.69	59.38
1.44	11.62	27.16	23.37	7.30	12.61	74.69	59.22
1.61	11.65	29.88	25.65	7.49	12.65	74.69	59.06
1.80	11.68	32.59	27.91	7.68	12.68	76.05	59.97
1.99	11.71	36.67	31.32	7.85	12.71	76.05	59.81
2.17	11.73	38.02	32.40	8.05	12.75	77.40	60.71
2.35	11.76	40.74	34.63	8.23	12.78	78.76	61.61
2.54	11.79	42.10	35.69	8.40	12.82	77.40	60.39
2.72	11.82	44.81	37.90	8.60	12.85	81.48	63.38
2.91	11.85	47.53	40.09	8.79	12.89	81.48	63.21
3.09	11.88	47.53	40.00	8.98	12.93	81.48	63.03
3.29	11.92	50.25	42.17	9.16	12.96	81.48	62.86
3.48	11.95	51.60	43.20	9.34	13.00	82.84	63.73
3.65	11.98	52.96	44.22	9.53	13.03	82.84	63.56
3.85	12.01	54.32	45.23	9.72	13.07	82.84	63.37
4.04	12.04	57.04	47.37	9.90	13.11	82.84	63.20
4.23	12.07	58.39	48.37	10.09	13.14	84.19	64.05
4.41	12.10	59.75	49.37	10.28	13.18	85.55	64.89
4.61	12.14	61.11	50.35	10.47	13.22	84.19	63.68
4.81	12.17	62.47	51.33	10.67	13.26	85.55	64.51
5.00	12.20	62.47	51.19	10.86	13.30	85.55	64.33
5.19	12.24	65.18	53.27	11.04	13.34	85.55	64.14
5.38	12.27	65.18	53.13	11.23	13.38	85.55	63.96
5.57	12.30	66.54	54.09	11.43	13.42	85.55	63.76

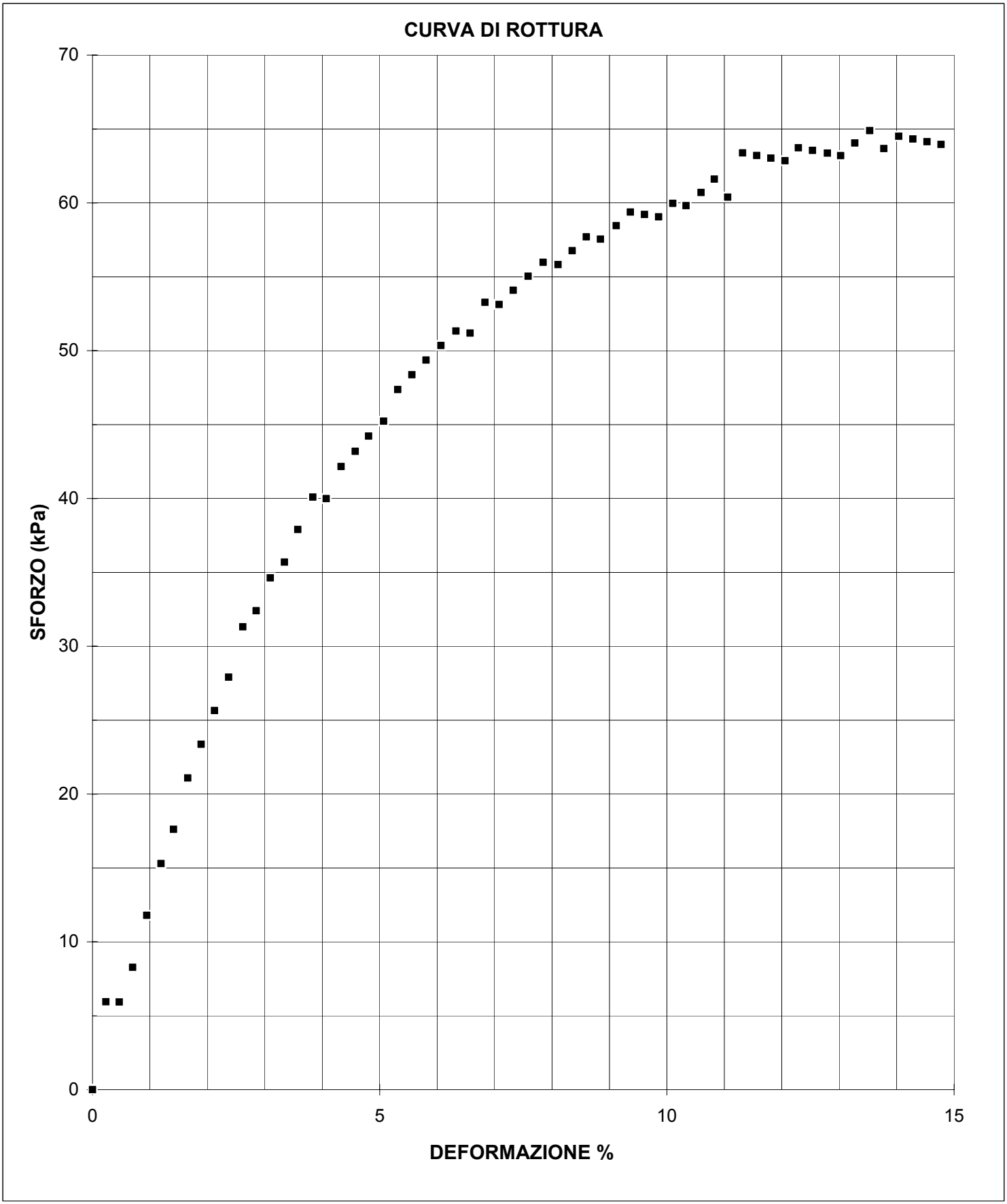
il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore



massimo valore misurato:	q_c =	53.3	kPa
stima della coesione non drenata:	c_u =	26.6	kPa
modulo di Young iniziale, non drenato:	E_0 =	1.0	MPa
modulo di Young al 50% del carico di rottura, non drenato:	E_{50} =	0.9	MPa

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

PROVA DI COMPRESSIONE ASSIALE NON CONFINATA

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-7
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1466/12** del **14/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per i *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

provino n° 2

sezione	11.40	cm^2			
altezza iniziale	7.60	cm			
massa iniziale	162.82	g	*altezza finale*	6.46	cm
umidità iniziale	33.74	%	*umidità finale*	33.82	%

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

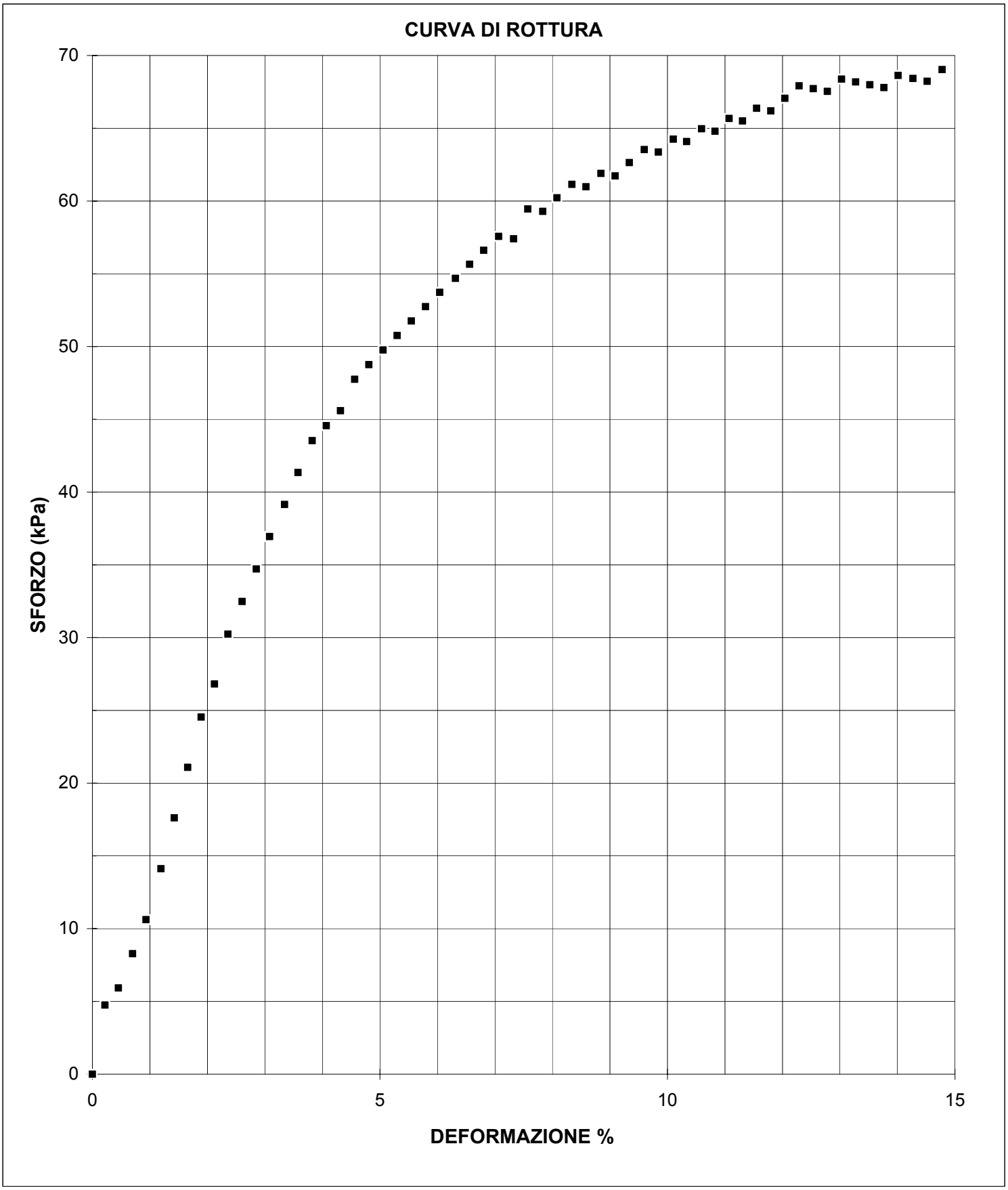
DATI DI PROVA

data di esecuzione: 11/12/2012 *velocità di deformazione:* 0.0125 mm/s

deformazione assiale (mm)	*area corretta (cm^2)*	*forza (N)*	*Pressione (kPa)*	*deformazione assiale (mm)*	*area corretta (cm^2)*	*forza (N)*	*Pressione (kPa)*
0.00	11.40	0.00	0.00	5.75	12.33	73.33	59.45
0.17	11.43	5.43	4.75	5.95	12.37	73.33	59.29
0.34	11.45	6.79	5.93	6.14	12.40	74.69	60.22
0.53	11.48	9.50	8.28	6.34	12.44	76.05	61.14
0.71	11.51	12.22	10.62	6.52	12.47	76.05	60.98
0.91	11.54	16.29	14.12	6.72	12.51	77.40	61.89
1.08	11.56	20.37	17.61	6.91	12.54	77.40	61.73
1.26	11.59	24.44	21.08	7.10	12.57	78.76	62.64
1.44	11.62	28.52	24.54	7.29	12.61	80.12	63.54
1.61	11.65	31.23	26.81	7.48	12.64	80.12	63.36
1.79	11.68	35.31	30.24	7.68	12.68	81.48	64.25
1.98	11.70	38.02	32.48	7.85	12.71	81.48	64.08
2.17	11.73	40.74	34.72	8.05	12.75	82.84	64.96
2.34	11.76	43.45	36.94	8.23	12.78	82.84	64.80
2.54	11.79	46.17	39.15	8.42	12.82	84.19	65.68
2.72	11.82	48.89	41.35	8.59	12.85	84.19	65.50
2.90	11.85	51.60	43.54	8.78	12.89	85.55	66.38
3.09	11.88	52.96	44.57	8.97	12.92	85.55	66.19
3.28	11.91	54.32	45.59	9.15	12.96	86.91	67.05
3.47	11.94	57.03	47.75	9.34	13.00	88.27	67.91
3.65	11.98	58.39	48.76	9.53	13.03	88.27	67.72
3.84	12.01	59.75	49.76	9.71	13.07	88.27	67.53
4.03	12.04	61.11	50.76	9.90	13.11	89.63	68.38
4.22	12.07	62.47	51.76	10.09	13.14	89.63	68.18
4.40	12.10	63.82	52.74	10.27	13.18	89.63	67.99
4.59	12.13	65.18	53.72	10.46	13.22	89.63	67.80
4.80	12.17	66.54	54.68	10.65	13.26	90.98	68.63
4.99	12.20	67.90	55.65	10.85	13.30	90.98	68.42
5.17	12.23	69.26	56.62	11.03	13.34	90.98	68.22
5.37	12.27	70.61	57.57	11.23	13.38	92.34	69.03
5.57	12.30	70.61	57.40	11.42	13.42	92.34	68.83

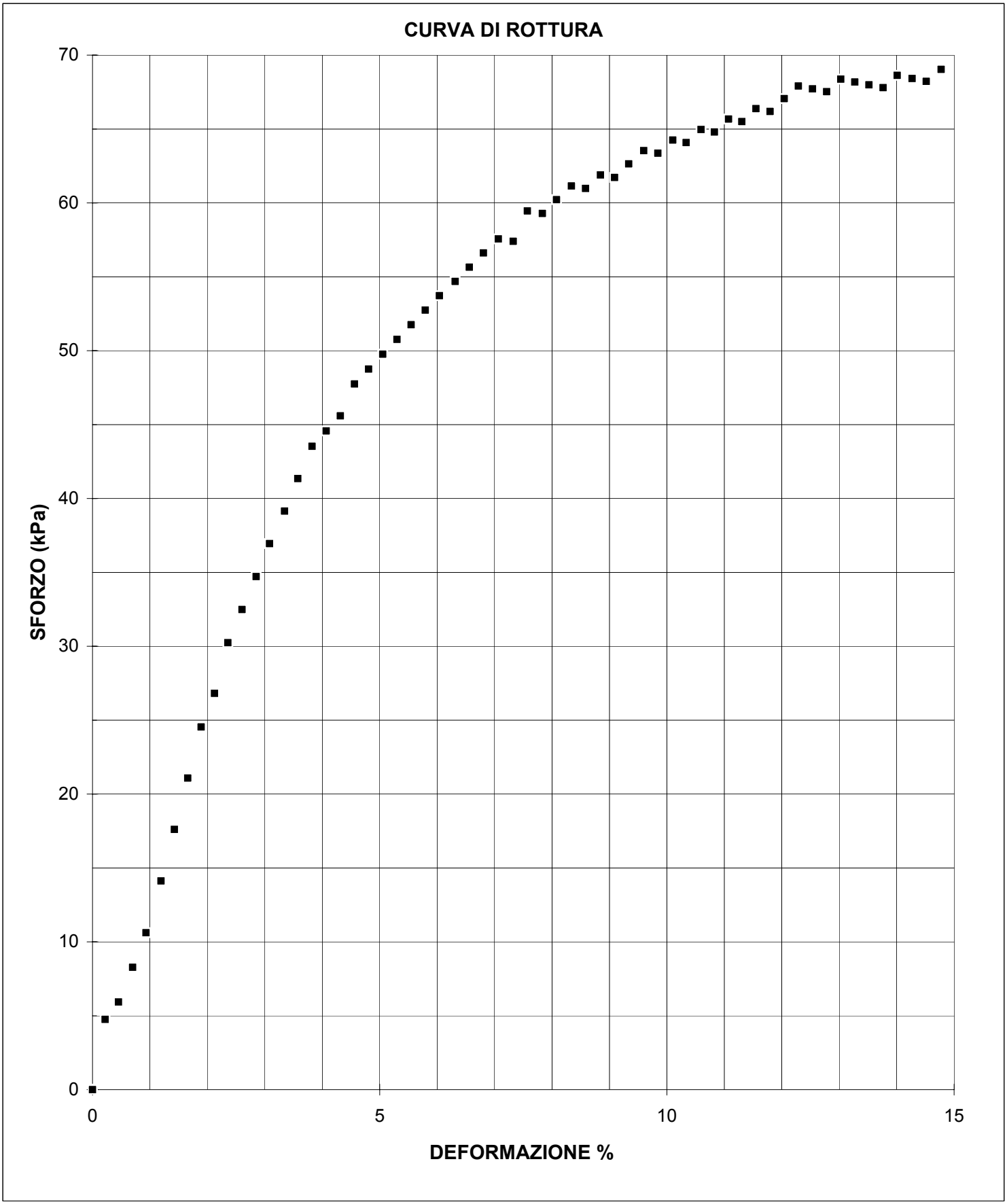
il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore



massimo valore misurato:	q_c =	56.6	kPa
stima della coesione non drenata:	c_u =	28.3	kPa
modulo di Young iniziale, non drenato:	E_0 =	1.1	MPa
modulo di Young al 50% del carico di rottura, non drenato:	E_{50} =	1.2	MPa

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATO DRENATO

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1467/12** del **17/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per i *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

provino n° 1

sezione	35.90	cm^2			
altezza iniziale	2.29	cm	*altezza finale*	2.25	cm
massa iniziale	159.38	g	*umidità finale*	28.31	%
umidità iniziale	28.39	%			

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

DATI DI PROVA: FASE DI CONSOLIDAZIONE

data di esecuzione: 11/12/2012 *carico verticale applicato:* 49 kPa

tempo (s)	*cedimento (mm)*	*tempo (s)*	*cedimento (mm)*
3	0.029	605	0.245
5	0.036	1028	0.255
9	0.049	1748	0.263
15	0.055	2971	0.267
25	0.100	5051	0.274
43	0.118	8587	0.278
72	0.142	14598	0.280
123	0.178	24817	0.286
209	0.210	42189	0.292
356	0.227	71721	0.292

DATI DI PROVA: FASE DI ROTTURA

data di esecuzione: 12/12/2012 *velocità di deformazione:* 0.02 µm/s
carico verticale applicato: 49 kPa

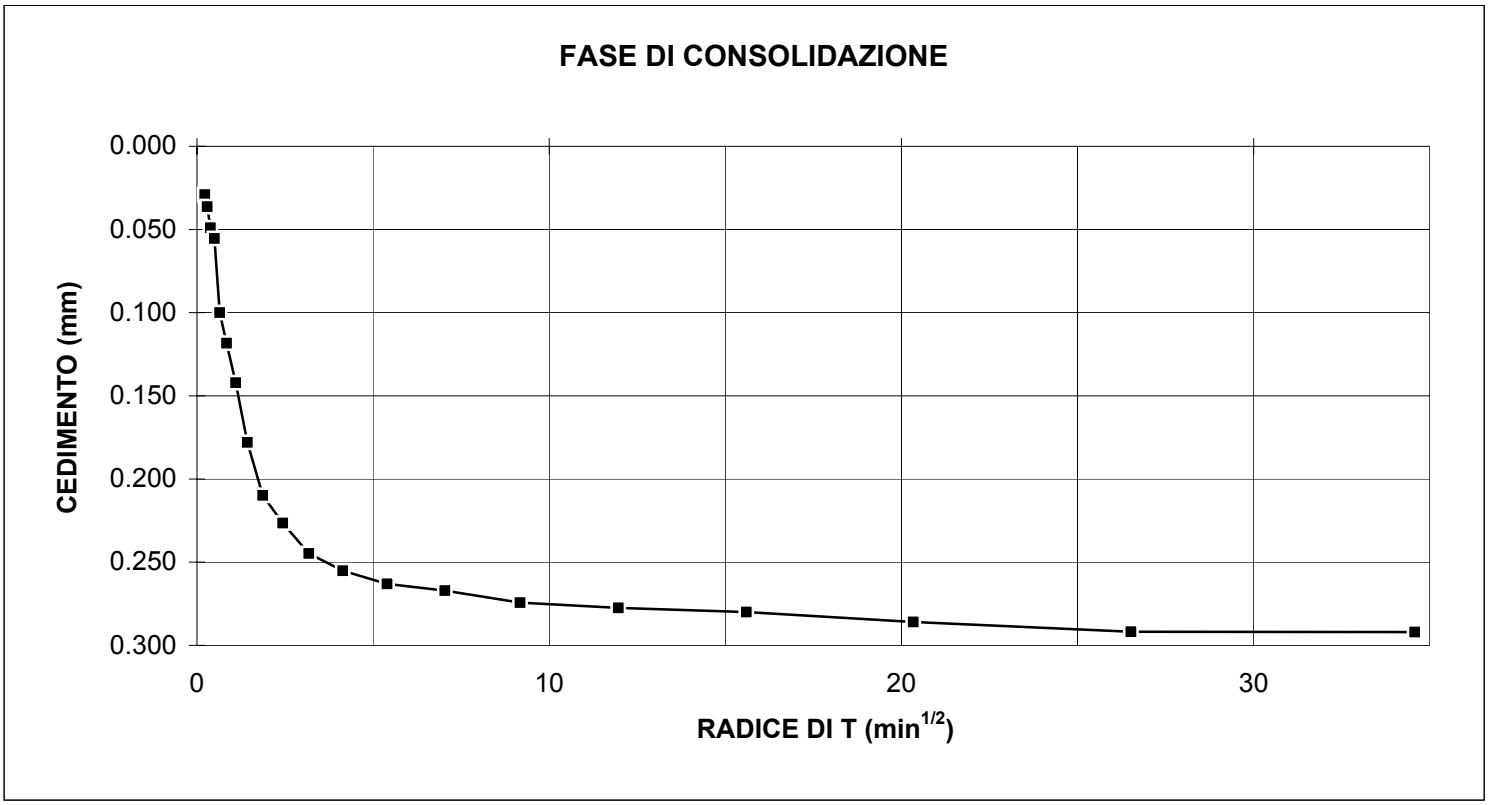
nota: lo sforzo di taglio è calcolato tenendo conto della riduzione di area del provino

dislocamento orizzontale (mm)	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*	*dislocamento orizzontale (mm)*	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*
0.000	0.000	0.0	0.00	0.788	-0.095	108.4	30.58
0.024	-0.001	29.4	8.19	0.831	-0.097	108.8	30.74
0.061	-0.008	38.7	10.78	0.882	-0.099	109.7	31.03
0.106	-0.001	57.9	16.15	0.931	-0.100	112.3	31.77
0.148	-0.016	63.7	17.78	0.983	-0.104	113.0	32.00
0.196	-0.026	69.2	19.35	1.045	-0.112	113.4	32.16
0.239	-0.030	74.3	20.79	1.100	-0.111	114.1	32.39
0.288	-0.037	79.4	22.23	1.155	-0.117	115.5	32.82
0.333	-0.043	86.8	24.32	1.212	-0.112	116.9	33.24
0.382	-0.049	88.2	24.73	1.268	-0.119	118.1	33.60
0.427	-0.053	93.1	26.11	1.321	-0.123	119.2	33.96
0.476	-0.054	96.3	27.05	1.382	-0.125	122.5	34.92
0.528	-0.065	97.9	27.52	1.436	-0.128	121.8	34.76
0.582	-0.071	99.3	27.94	1.494	-0.130	123.6	35.32
0.636	-0.077	100.5	28.29	1.545	-0.138	124.8	35.68
0.686	-0.080	102.6	28.90	1.601	-0.138	125.7	35.98
0.739	-0.085	107.0	30.17	1.654	-0.135	127.8	36.61

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

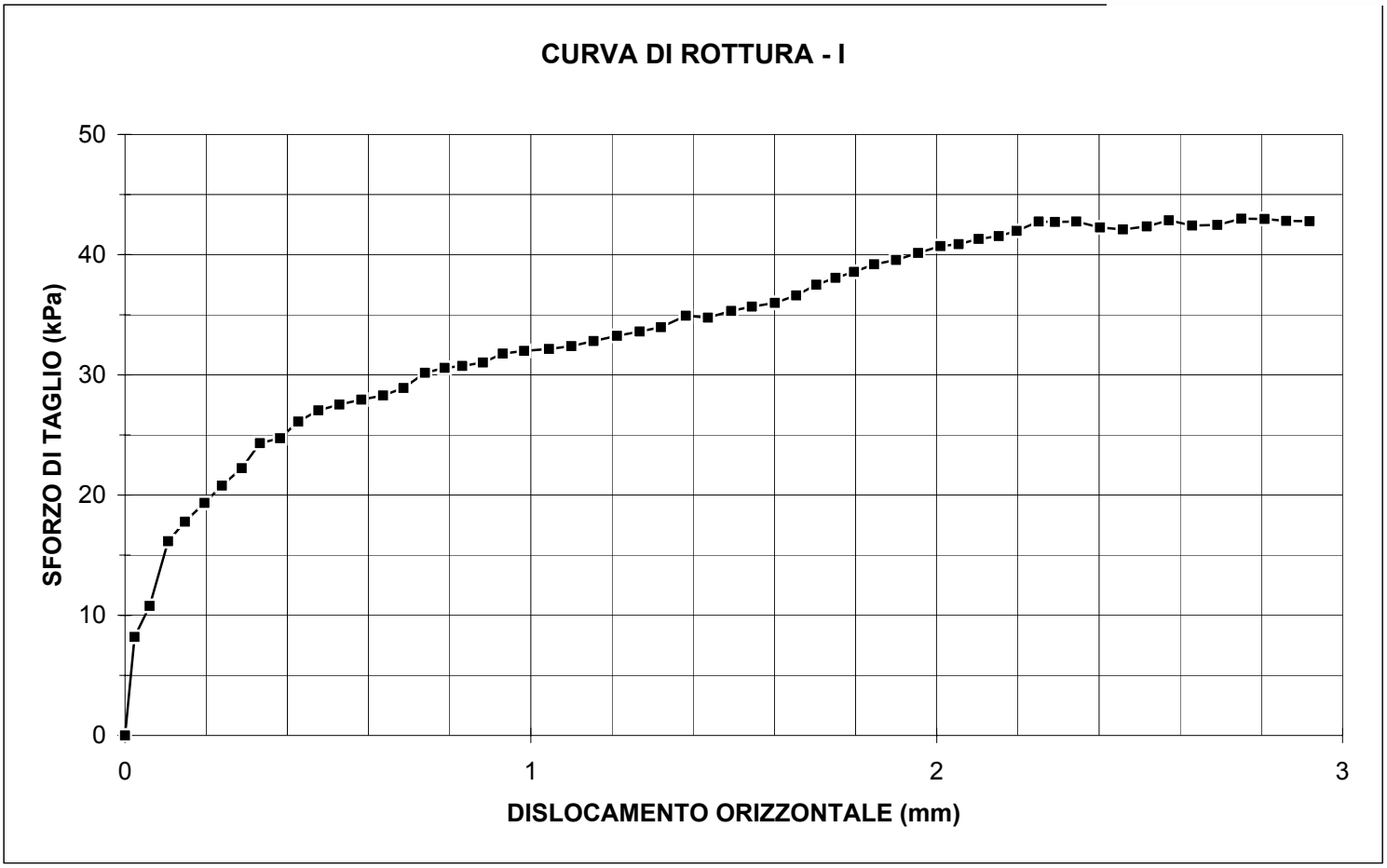
lo sperimentatore

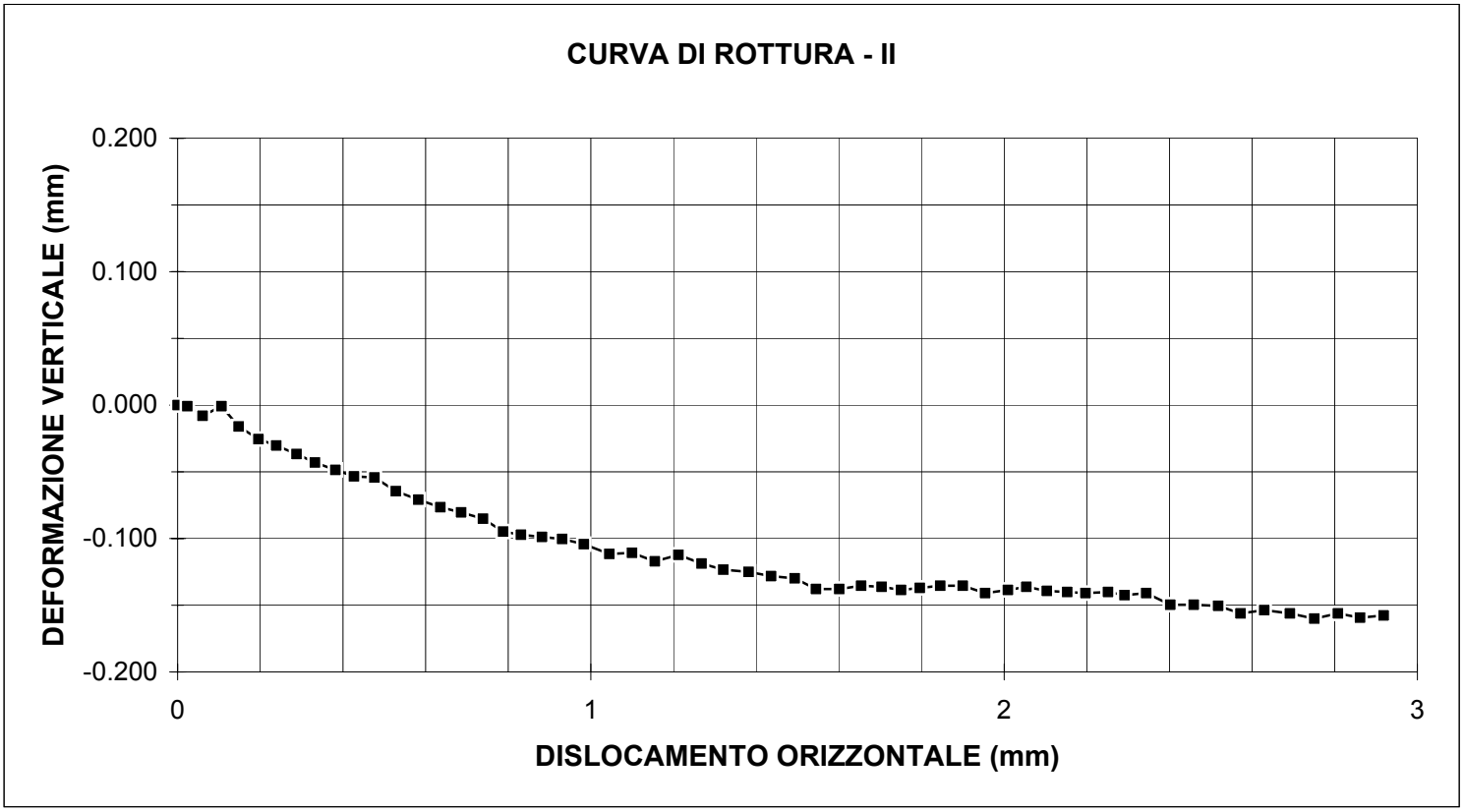
dislocamento orizzontale (mm)	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*	*dislocamento orizzontale (mm)*	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*
1.703	-0.136	130.8	37.51	2.291	-0.143	147.5	42.72
1.751	-0.139	132.7	38.07	2.344	-0.141	147.5	42.76
1.796	-0.137	134.3	38.56	2.402	-0.150	145.6	42.26
1.846	-0.135	136.4	39.20	2.459	-0.150	144.9	42.10
1.900	-0.135	137.5	39.56	2.518	-0.151	145.6	42.35
1.954	-0.141	139.4	40.14	2.572	-0.156	147.3	42.86
2.009	-0.139	141.2	40.71	2.629	-0.154	145.6	42.43
2.054	-0.136	141.7	40.87	2.692	-0.156	145.6	42.48
2.104	-0.139	143.1	41.31	2.751	-0.160	147.3	42.99
2.153	-0.140	143.8	41.54	2.808	-0.156	147.0	42.97
2.197	-0.141	145.2	41.98	2.861	-0.159	146.3	42.80
2.251	-0.140	147.7	42.75	2.919	-0.158	146.1	42.78



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore





il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATO DRENATO

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1468/12** del **17/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per i *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

provino n° 2

sezione	35.90	cm^2			
altezza iniziale	2.29	cm	*altezza finale*	2.22	cm
massa iniziale	157.94	g	*umidità finale*	29.20	%
umidità iniziale	28.82	%			

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

DATI DI PROVA: FASE DI CONSOLIDAZIONE

data di esecuzione: 11/12/2012 *carico verticale applicato:* 98 kPa

tempo (s)	*cedimento (mm)*	*tempo (s)*	*cedimento (mm)*
3	0.063	605	0.380
5	0.082	1028	0.393
9	0.107	1748	0.404
15	0.131	2971	0.411
25	0.162	5051	0.420
43	0.193	8587	0.429
72	0.233	14598	0.432
123	0.277	24817	0.438
209	0.320	42189	0.446
356	0.356	71721	0.462

DATI DI PROVA: FASE DI ROTTURA

data di esecuzione: 12/12/2012 *velocità di deformazione:* 0.02 µm/s
carico verticale applicato: 98 kPa

nota: lo sforzo di taglio è calcolato tenendo conto della riduzione di area del provino

dislocamento orizzontale (mm)	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*	*dislocamento orizzontale (mm)*	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*
0.000	0.000	0.0	0.00	0.746	-0.041	180.9	51.02
0.019	-0.001	31.7	8.83	0.805	-0.049	178.3	50.35
0.038	-0.004	54.1	15.09	0.860	-0.062	175.3	49.55
0.061	-0.007	88.1	24.57	0.912	-0.076	173.9	49.20
0.094	-0.012	112.9	31.49	0.965	-0.090	172.5	48.85
0.135	-0.014	129.3	36.10	1.021	-0.100	175.1	49.62
0.176	-0.018	141.5	39.54	1.076	-0.110	176.7	50.12
0.219	-0.020	149.2	41.71	1.132	-0.120	179.3	50.89
0.265	-0.021	157.7	44.14	1.188	-0.129	178.6	50.74
0.311	-0.019	163.3	45.72	1.240	-0.138	179.5	51.05
0.353	-0.025	168.6	47.25	1.296	-0.146	181.6	51.69
0.400	-0.028	171.4	48.06	1.351	-0.153	184.3	52.53
0.455	-0.030	175.6	49.28	1.405	-0.160	186.7	53.24
0.519	-0.032	178.3	50.11	1.457	-0.167	186.9	53.35
0.577	-0.033	179.9	50.61	1.512	-0.173	189.2	54.07
0.631	-0.035	184.8	52.03	1.573	-0.177	191.0	54.65
0.690	-0.038	183.4	51.69	1.629	-0.181	193.1	55.30

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

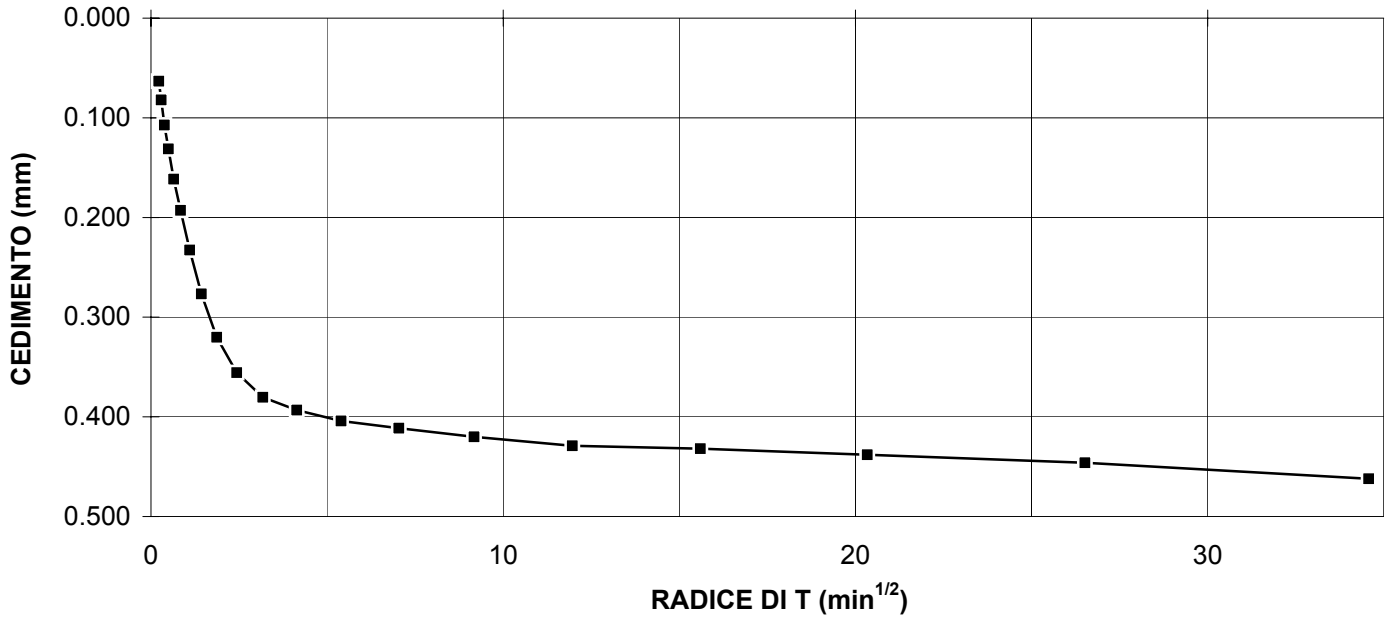
lo sperimentatore

dislocamento orizzontale (mm)	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*	*dislocamento orizzontale (mm)*	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*
1.679	-0.183	194.5	55.74	3.081	-0.232	218.1	64.05
1.721	-0.187	197.3	56.58	3.134	-0.232	217.0	63.77
1.764	-0.190	199.1	57.16	3.184	-0.234	220.0	64.71
1.809	-0.194	199.6	57.33	3.234	-0.235	221.1	65.11
1.851	-0.196	202.4	58.17	3.285	-0.236	221.8	65.37
1.896	-0.198	205.4	59.08	3.338	-0.235	228.5	67.41
1.939	-0.201	208.2	59.92	3.387	-0.234	222.7	65.76
1.990	-0.203	213.7	61.58	3.437	-0.232	225.5	66.64
2.045	-0.203	215.6	62.17	3.485	-0.231	226.0	66.83
2.102	-0.206	217.0	62.63	3.533	-0.222	226.7	67.09
2.159	-0.207	218.3	63.09	3.579	-0.224	226.0	66.94
2.219	-0.209	217.2	62.82	3.627	-0.223	226.9	67.27
2.275	-0.212	217.0	62.82	3.674	-0.233	226.7	67.26
2.336	-0.214	216.0	62.62	3.723	-0.238	228.7	67.94
2.399	-0.216	217.2	63.02	3.778	-0.239	230.1	68.42
2.460	-0.218	217.4	63.15	3.834	-0.245	232.0	69.04
2.515	-0.219	219.5	63.82	3.889	-0.245	232.4	69.24
2.571	-0.221	219.7	63.95	3.942	-0.245	234.1	69.79
2.629	-0.222	221.6	64.55	3.993	-0.247	236.2	70.48
2.682	-0.224	220.9	64.41	4.055	-0.246	234.8	70.14
2.727	-0.232	221.6	64.66	4.115	-0.246	233.8	69.94
2.793	-0.226	223.2	65.21	4.172	-0.247	231.5	69.32
2.851	-0.227	222.0	64.94	4.233	-0.248	229.0	68.63
2.904	-0.228	220.4	64.53	4.293	-0.249	226.7	68.01
2.963	-0.230	219.7	64.39	4.352	-0.249	225.5	67.74
3.023	-0.231	220.2	64.59	4.410	-0.250	224.6	67.53

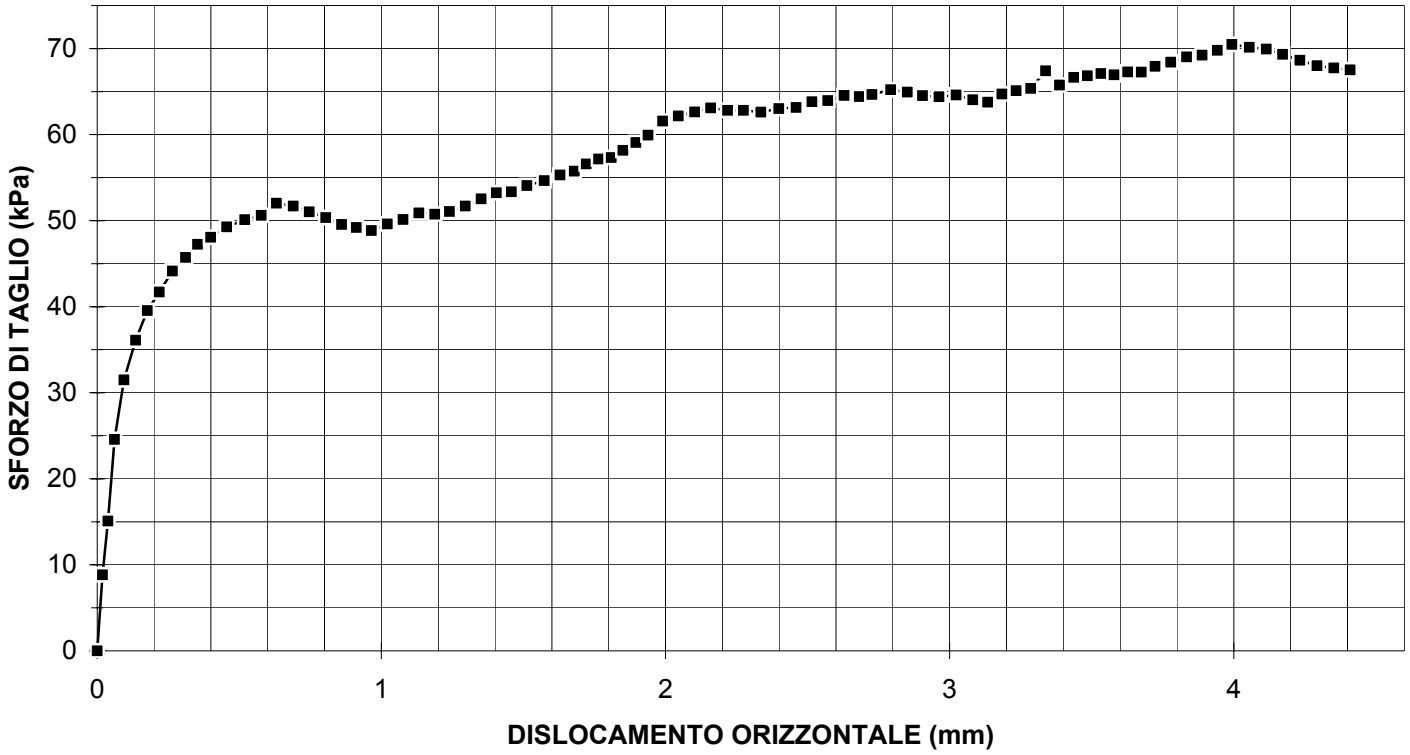
il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

FASE DI CONSOLIDAZIONE

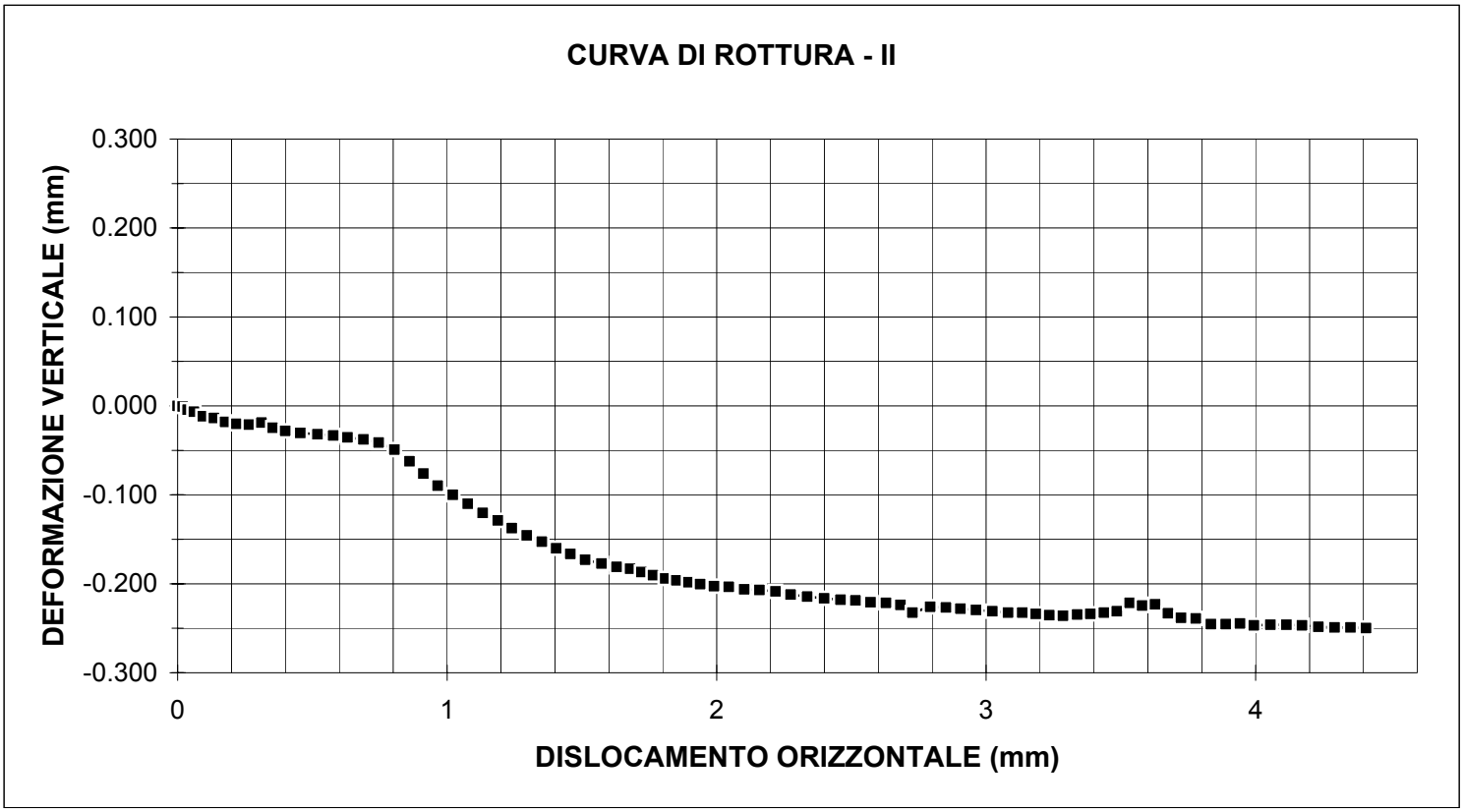


CURVA DI ROTTURA - I



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

Ichnogeo sas
56028 San Miniato Basso (PI)
via Ilaria Alpi, 18/20
tel 0571/43213 fax 0571/403063
www.ichnogeo.it- info@ichnogeo.it

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Laboratorio autorizzato - settori A e C
decreto n° 54814 del 28/04/2006
rinnovo n° 3663 del 22/03/2012

PROVA DI TAGLIO DIRETTO CONSOLIDATO DRENATO

norma di riferimento: UNI CEN ISO/TS 17892-10
deviazioni dalla norma: nessuna

verbale di accettazione n° **187/12** del **04/12/2012**
certificato di prova n° **1469/12** del **17/12/2012**

Committente: **Geoprove s.a.s**
Località: **Migliana (Cantagallo - FI)**

identificativo campione: **P1 C1** *(assegnato dal laboratorio)*
profondità nominale (m): **2,0-2,5**
data di arrivo: **04/12/2012**

tipologia: **indisturbato**
contenitore: **fustella inox a pareti sottili**
diametro nominale (mm): **88.9**
lunghezza effettiva (cm): **50**

Descrizione del campione: **limo ghiaioso sabbioso argilloso, color giallo/giallo-arancio; provini per i *test* meccanici parzialmente ricostituiti**

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

provino n° 3

sezione	35.90	cm^2			
altezza iniziale	2.29	cm	*altezza finale*	2.20	cm
massa iniziale	157.59	g	*umidità finale*	29.19	%
umidità iniziale	31.67	%			

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

DATI DI PROVA: FASE DI CONSOLIDAZIONE

data di esecuzione: 11/12/2012 *carico verticale applicato:* 147 kPa

tempo (s)	*cedimento (mm)*	*tempo (s)*	*cedimento (mm)*
3	0.073	605	0.541
5	0.099	1028	0.567
9	0.125	1748	0.578
15	0.151	2971	0.586
25	0.203	5051	0.597
43	0.229	8587	0.610
72	0.307	14598	0.622
123	0.359	24817	0.630
209	0.437	42189	0.640
356	0.489	71721	0.645

DATI DI PROVA: FASE DI ROTTURA

data di esecuzione: 12/12/2012 *velocità di deformazione:* 0.02 µm/s
carico verticale applicato: 147 kPa

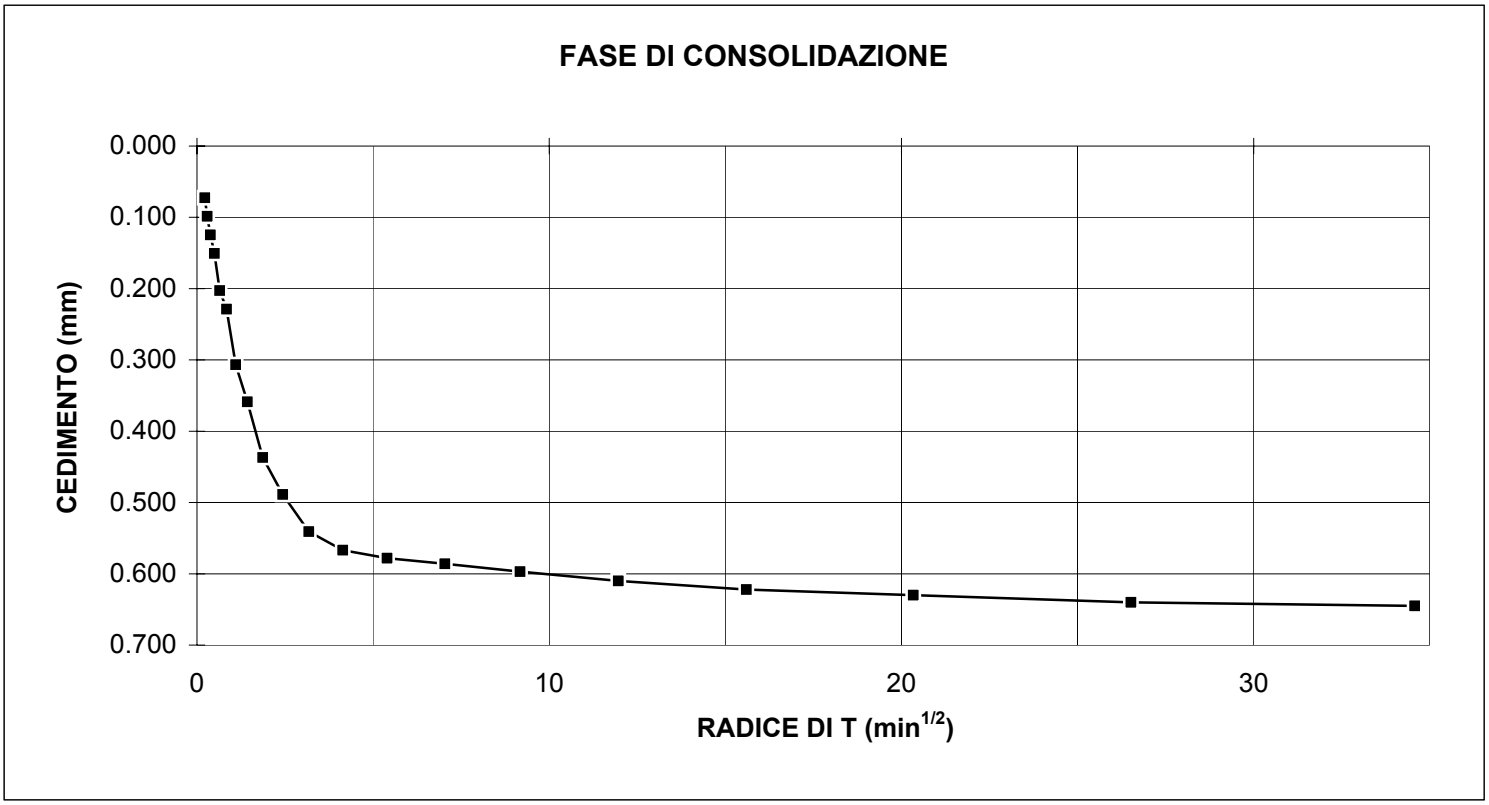
nota: lo sforzo di taglio è calcolato tenendo conto della riduzione di area del provino

dislocamento orizzontale (mm)	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*	*dislocamento orizzontale (mm)*	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*
0.000	0.000	0.0	0.00	0.883	-0.104	262.6	74.24
0.053	0.000	95.3	26.56	0.937	-0.104	269.6	76.28
0.112	0.009	145.2	40.53	0.994	-0.104	274.2	77.67
0.167	0.000	170.8	47.71	1.052	-0.104	276.5	78.40
0.207	-0.026	180.1	50.34	1.106	-0.104	278.9	79.14
0.263	-0.026	187.1	52.34	1.152	-0.104	280.0	79.53
0.317	-0.026	194.0	54.34	1.212	-0.130	281.2	79.94
0.378	-0.052	199.9	56.02	1.272	-0.130	283.5	80.68
0.435	-0.052	210.3	59.01	1.335	-0.130	289.3	82.42
0.487	-0.052	223.1	62.65	1.390	-0.130	292.8	83.50
0.529	-0.052	231.2	64.98	1.442	-0.130	297.5	84.90
0.570	-0.052	238.2	66.99	1.500	-0.130	300.9	85.98
0.617	-0.078	244.0	68.67	1.564	-0.130	304.4	87.07
0.684	-0.078	247.5	69.73	1.622	-0.130	307.9	88.15
0.730	-0.078	253.3	71.42	1.677	-0.130	309.1	88.57
0.784	-0.078	252.1	71.16	1.730	-0.130	310.2	88.98
0.832	-0.104	261.4	73.85	1.776	-0.130	311.4	89.39

il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

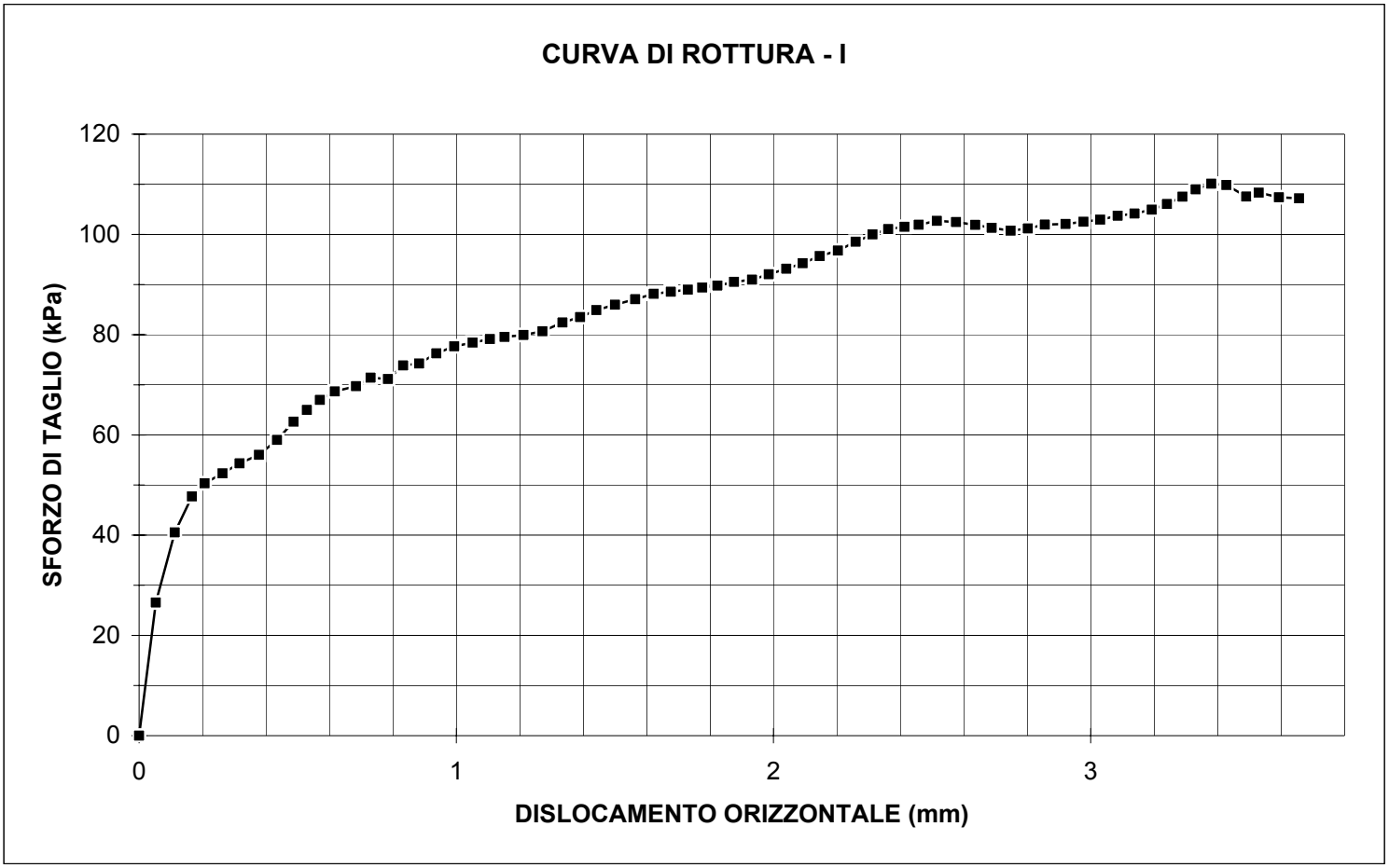
lo sperimentatore

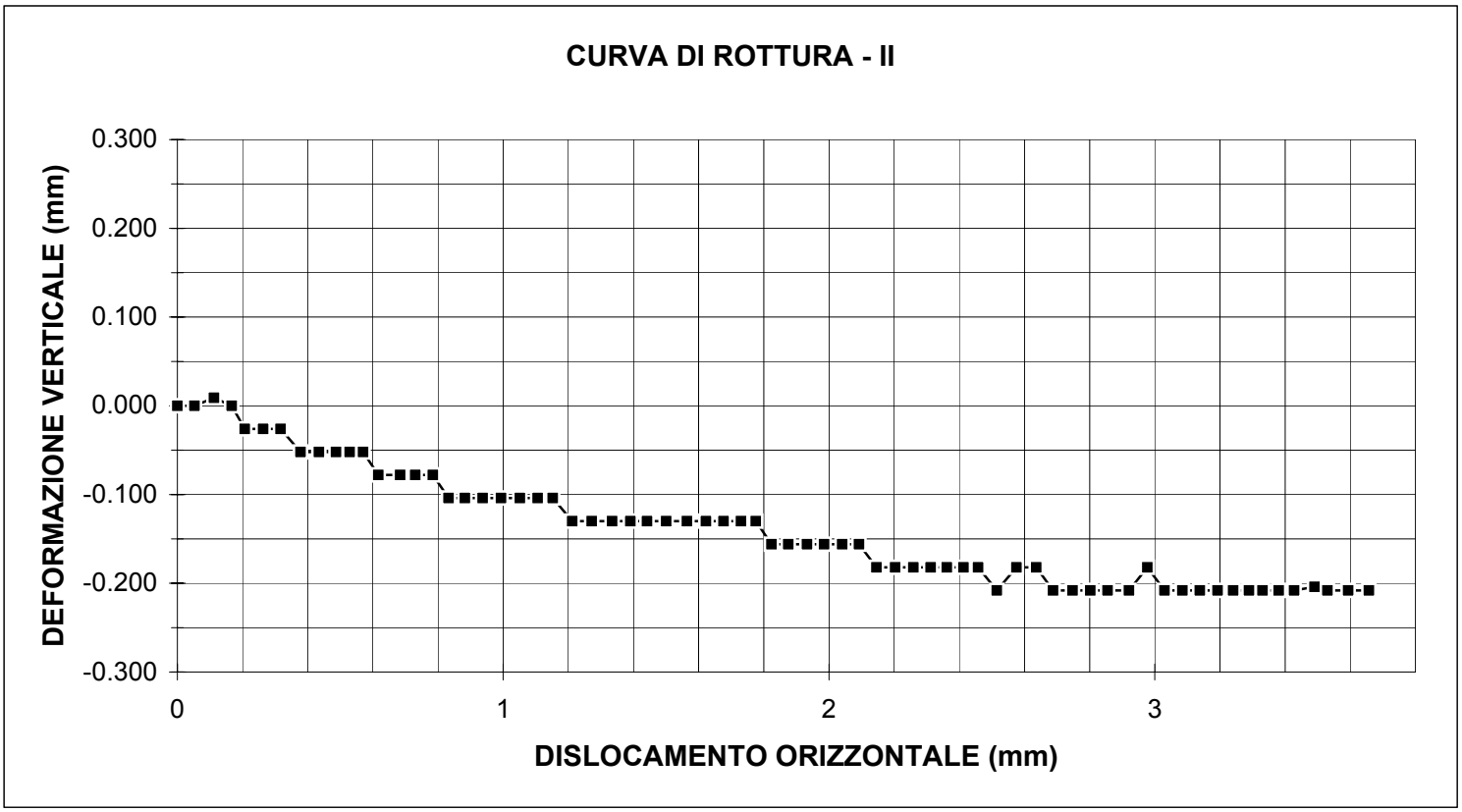
dislocamento orizzontale (mm)	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*	*dislocamento orizzontale (mm)*	*deformazione verticale (mm)*	*forza tangenziale (N)*	*sforzo di taglio (kPa)*
1.823	-0.156	312.6	89.79	2.802	-0.208	346.3	101.18
1.875	-0.156	314.9	90.54	2.855	-0.208	348.6	101.95
1.933	-0.156	316.0	90.97	2.921	-0.208	348.6	102.07
1.985	-0.156	319.5	92.05	2.977	-0.182	349.7	102.51
2.040	-0.156	323.0	93.15	3.030	-0.208	350.9	102.95
2.092	-0.156	326.5	94.23	3.085	-0.208	353.2	103.73
2.146	-0.182	331.1	95.67	3.138	-0.208	354.4	104.17
2.203	-0.182	334.6	96.77	3.193	-0.208	356.7	104.95
2.259	-0.182	340.4	98.55	3.241	-0.208	360.2	106.07
2.312	-0.182	345.1	99.98	3.289	-0.208	364.8	107.53
2.362	-0.182	348.6	101.08	3.331	-0.208	369.5	108.98
2.413	-0.182	349.7	101.51	3.380	-0.208	373.0	110.10
2.458	-0.182	350.9	101.92	3.428	-0.208	371.8	109.85
2.515	-0.208	353.2	102.70	3.490	-0.204	363.7	107.57
2.576	-0.182	352.1	102.47	3.530	-0.208	366.0	108.33
2.636	-0.182	349.7	101.90	3.593	-0.208	362.5	107.42
2.688	-0.208	347.4	101.32	3.657	-0.208	361.4	107.20
2.748	-0.208	345.1	100.74				



il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

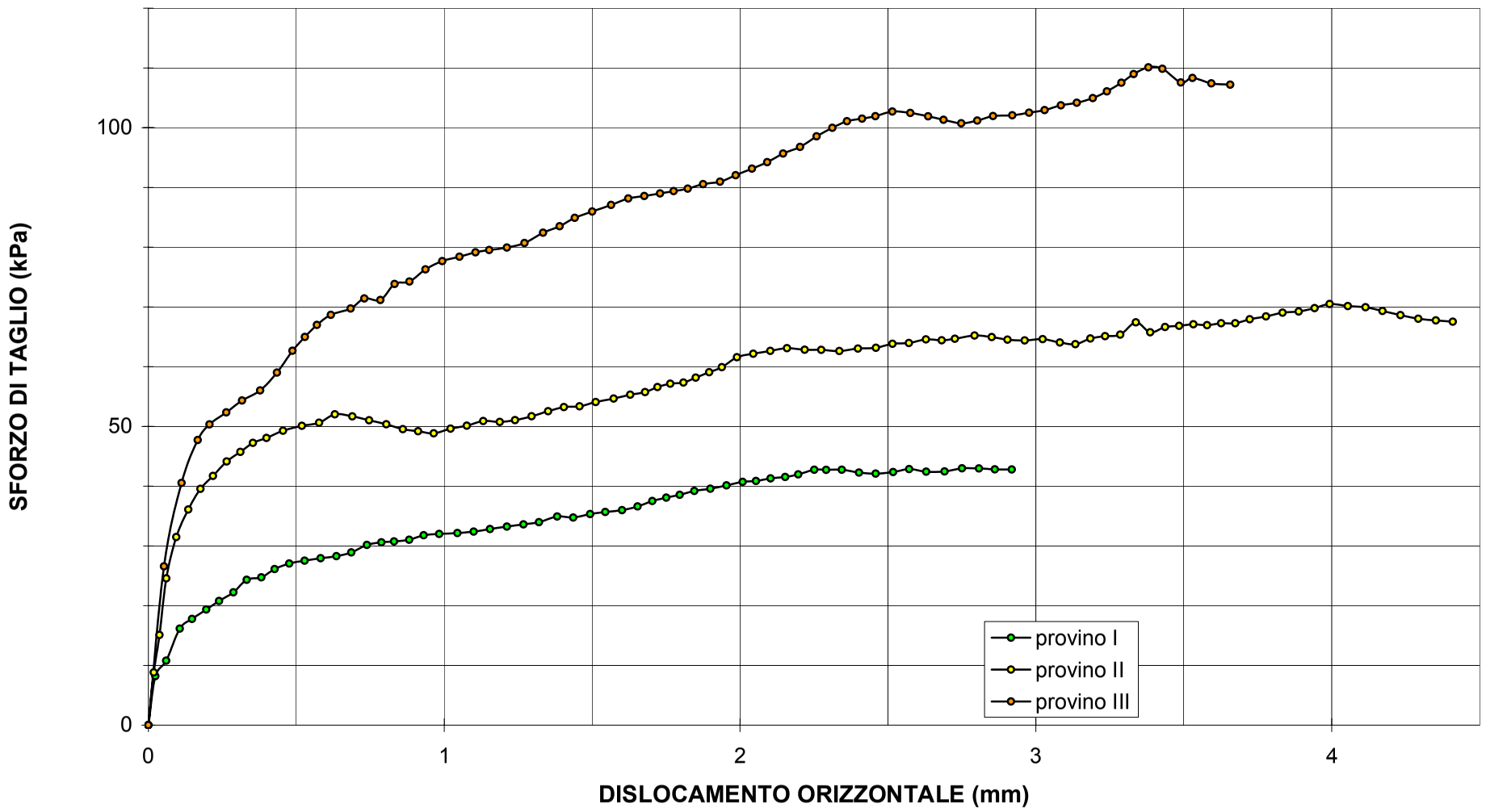




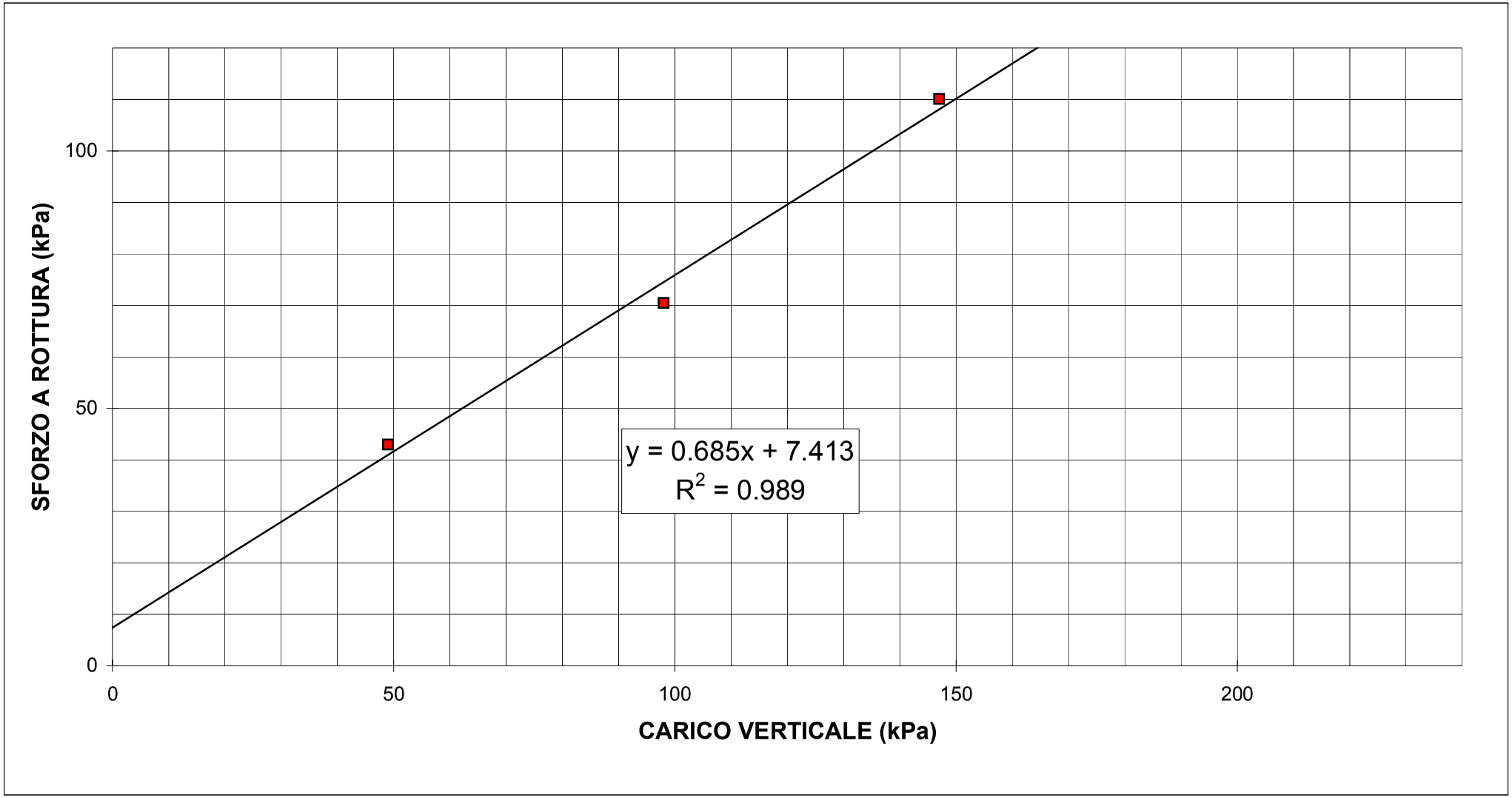
il Direttore di laboratorio
Dott. Geol. Roberto Chetoni

lo sperimentatore

P1 C1 - TAGLIO DIRETTO- sintesi del gruppo di prove



P1 C1 - TAGLIO DIRETTO- sintesi del gruppo di prove



provino	1	2	3
carico verticale (kPa)	49	98	147
sforzo di taglio (kPa)	42.99	70.48	110.10

k 0.685

c' (kPa) = 7.4

ϕ' (radianti) = 0.600

ϕ' (° sessadecimali) = 34.40

STUDIO DI GEOLOGIA
B A R S A N T I , S A N I & A S S O C I A T I
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA – Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI CANTAGALLO
PROVINCIA DI PRATO

RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
E
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
DI SUPPORTO ALLA VERIFICA SISMICA DELLA SCUOLA PER L'INFANZIA
DI MIGLIANA

ALL. N° 4 - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH - MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA - MISURE DELLA FREQUENZA DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. PIETRO BARSANTI N. 193

GEOPROVE s.a.s.
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

COMUNE DI CANTAGALLO

PROVINCIA DI PRATO

Località: Scuola dell'infanzia di Migliana

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH
TOMOGRAFIA SISMICA

MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE
A STAZIONE SINGOLA

MISURE DELLE FREQUENZE NATURALI DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO

Committente: *Comune di Cantagallo*

RELAZIONE TECNICA

Dicembre 2012

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

I N D I C E

PREMESSA 3

1. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH 4

1.1. Possibilità e limiti del metodo sismico a rifrazione 4

1.2. Ulteriori possibilità offerte dal metodo della tomografia sismica 6

1.3. Sistema di acquisizione 6

1.4. Sismografo 7

1.5. Sistema energizzante 7

1.6. Trigger 8

1.7. Apparecchiatura di ricezione 8

1.8. Elaborazione dati 8

1.9. Commento ai risultati 10

2. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA 12

2.1. Metodologia e strumentazione 12

2.2. Commento ai risultati 13

3. MISURE DELLE FREQUENZE DI VIBRAZIONE NATURALE DEL FABBRICATO 16

3.1. Metodologia e strumentazione 16

3.2. Commento ai risultati 17

ALLEGATI

Planimetria scala 1 : 1000 con ubicazione delle prospezioni sismiche

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

TAVOLE MISURE RUMORE SISMICO AMBIENTALE

COMUNE DI CANTAGALLO (PO)

Scuola dell'infanzia di Migliana

PREMESSA

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Cantagallo (PO) sono state effettuate indagini geofisiche di supporto alla verifica sismica della Scuola dell'infanzia di Migliana.

Le indagini, finalizzate alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo ed alla analisi di risposta sismica locale ai sensi del vigente D.M. 14 Gennaio 2008 – *Norme tecniche per le costruzioni*, sono state condotte mediante le seguenti tecniche:

1) N° 1 Prospezione sismica a rifrazione con onde P ed Sh
2) N° 3 misure di rumore sismico ambientale a stazione singola H/V
3) N° 3 misure delle frequenze naturali di vibrazione del fabbricato.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella planimetria alla scala 1:1000 allegata.

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati geofisici è stata effettuata in collaborazione con il Dottor Donato Merola.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

1. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

1.1. Possibilità e limiti del metodo sismico a rifrazione

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde SH o “di taglio”) per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spaziati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) o trasversali (Vs) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell’acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità Vp dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui

non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);

- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;

- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");

- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il *Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980)*, consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

1.2. Ulteriori possibilità offerte dal metodo della tomografia sismica

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica di indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SURFER 8) l'immagine della sezione tomografica.

1.3. Sistema di acquisizione

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

1.4. Sismografo

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico EG&G GEOMETRICS *STRATAVISOR NZXP* a 48 canali avente le seguenti caratteristiche:

- Impedenza di ingresso diff. 20 Kohm
- Impedenza di ingresso common mode: 20 Kohm
- Range dinamico: 144 dB
- Larghezza di banda 1.75÷20.000 Hz
- Digitalizzatore a 24 bit
- Filtri in acquisizione ed in uscita:
- Sommatoria dei segnali fino ad un massimo di 8.000 stacks
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 20.0, 31.25, 62.5, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 μs
- Durata della registrazione: 16384 campioni
- Possibilità di registrazione continua per controllo vibrazioni
- Possibilità di registrazione Autostack e Preview
- Possibilità di inversione della polarità (Stack polarity)
- CDP Roll Along
- Visore grafico a cristalli liquidi colore
- Stampante a plotter su carta termica
- Memoria su HD interno 40 Mb o su floppy 3.5" 1.44 Mb
- Sistema Windows XP
- Porta USB

1.5. Sistema energizzante

Sono stati utilizzati diversi sistemi di energizzazione per le onde P e per le onde SH.

Come sorgente energizzante per le onde P è stato utilizzata la classica mazza da 10 kg.

Le onde SH sono state ottenute con un dispositivo di energizzazione costituito da un parallelepipedo (traversina di legno) percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg sovraccaricato dal peso di due operatori, in grado di generare onde SH di buon contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

Tutte le registrazioni delle SH sono state effettuate con metodo cross-over utilizzando la funzione inversione di polarità offerta dal Geometrics Stratavisor NPXZ, ovverosia facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra con polarità invertita: in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno: tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità.

1.6. Trigger

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

1.7. Apparecchiatura di ricezione

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Mark Products con frequenza propria di 14 Hz.

Per la ricezione delle onde SH sono stati utilizzati 24 geofoni orizzontali Mark Products con frequenza propria di 10 Hz.

1.8. Elaborazione dati

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEGY.

Per quanto riguarda la sismica a rifrazione, la successiva elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi attraverso il software RAYFRACT, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione;

2. inserimento dei dati ed interpretazione con programma GRM (Generalized Reciprocal Method – Palmer 1980) del Dr. Bruno Vassallo (distribuito da P.A.S.I. s.r.l.) integrato dal metodo dei "tempi intercetti";

3. output dei tabulati:

    - dati di scoppio (ascissa e quota dei geofoni, ascissa e quota dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo)

    - velocità calcolate per ciascun strato individuato

    - profondità calcolate per ciascun strato individuato

4. output delle dromocrone sismiche e della sezione sismostratigrafica interpretativa in formato Coreldraw.

Per la tomografia sismica, l'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei tempi di primo arrivo attraverso il software RAYFRACT, operata prima in automatico e successivamente con aggiustamenti manuali, con particolare attenzione alle fasi d'onda ed alla loro evoluzione.

2. formazione di un database contenente la geometria della linea sismica (posizione altimetrica e planimetrica dei geofoni e degli scoppi) ed i tempi di primo arrivo per ciascun scoppio.

3. Conversione dei dati in formato ASCII.

4. Inversione Delta t-V che permette di ottenere profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.

5. Ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

6. Controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.

7. Output grafico della sezione tomografica in formato Sfr.

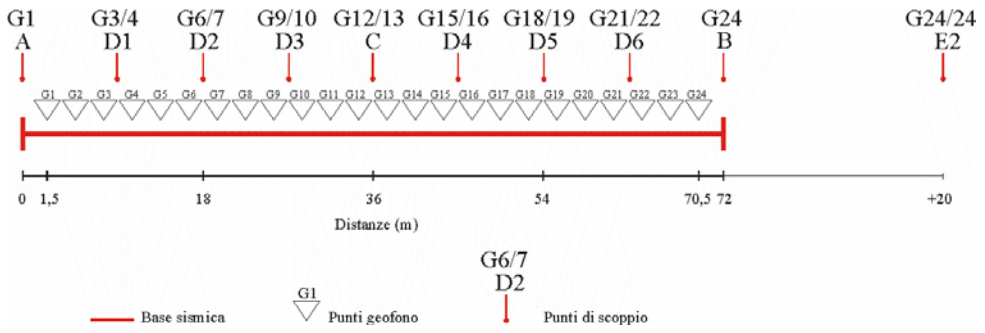
1.9. Commento ai risultati

E' stata effettuata la seguente prospezione sismica a rifrazione a 24 geofoni, con onde P e con onde SH:

ST1: interasse i = 3 m - lunghezza ml 72

Lo schema di acquisizione della linea (lunghezza, posizione dei punti di energizzazione etc.) è il seguente:

ST1



La qualità delle registrazioni ottenute è stata generalmente buona sia per le onde P che per le onde SH e tale da consentire la sicura individuazione dei primi arrivi sulle tracce dei sismogrammi, specie dopo filtraggio Hi-cut a 250 Hz.

In allegato si riportano i diagrammi tempi di arrivo - distanze e le sezioni sismostratigrafiche derivanti dall'interpretazione effettuata al calcolatore con il metodo reciproco generalizzato GRM (*Palmer 1986*) integrato dal metodo dei tempi intercetti che ha consentito la visualizzazione anche degli strati per i quali non si hanno "ricoperture". Si allegano inoltre le sezioni tomografiche elaborate con il programma RAYFRACT. Queste ultime offrono ovviamente una maggiore discretizzazione delle velocità rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale, individuando in genere, per la caratteristica intrinseca dell'algoritmo di calcolo (basato sui gradienti di velocità) spessori diversi da quelli valutati utilizzando la sismica a rifrazione classica. In questo caso si osserva comunque una buona corrispondenza tra i due metodi.

L'attribuzione delle litologie ai vari sismostrati individuati dalle prospezioni è stata effettuata sulla base dei dati stratigrafici derivanti da due prove penetrometriche statiche CPT, eseguite nello stesso contesto di indagini, e delle informazioni contenute nella sezione 263020 della *Carta Geologica della Regione Toscana* alla scala 1:10.000.

In dettaglio si ha, con riferimento alle sezioni sismostratigrafiche interpretative allegate:

SEZIONE ST1

Linea 1211131 (onde P) ÷ 1211132 (onde SH)

- dalla superficie fino a profondità di 0.5÷3 m (onde P)/0.5÷4.5 m (onde SH) si incontra un primo strato a bassa velocità con V_p = 315÷808 *m/sec* e V_s = 281÷325 *m/sec*, correlabile con materiale di riporto e con una copertura detritica sabbioso-limoso-argillosa mediamente addensata;
- segue un secondo strato caratterizzato da V_p = 944÷1552 *m/sec* e da V_s =997÷720 *m/*sec, riferibili ad un bedrock in prevalenza arenaceo da molto a mediamente fratturato. La base dello strato si incontra a profondità di 4.5÷10 m, secondo le onde P e a profondità di 2÷11 m, secondo le onde SH;
- segue un terzo ed ultimo strato caratterizzato da V_p = 3505÷3507 *m/sec* e da V_s = 1398÷1640 *m/sec*, riferibili ad arenarie quarzoso-feldspatiche con intercalazioni pelitiche, poco fratturate o sane (*Arenarie di M. Falterona-Membro arenaceo/pelitico-**FAL 2***).

Non è stato rilevato un terzo rifrattore più veloce (e quindi un quarto strato) entro i primi 30÷40 m di profondità, che è all'incirca la massima indagata dalle linee sismiche di 120 m.

2. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA

2.1. Metodologia e strumentazione

È stata utilizzata la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con tromografo digitale (indagine sismica con metodologia dei microtremori). La misura del rumore sismico ambientale è stata acquisita con strumentazione tromografica portatile, dotata di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, in grado di misurare le componenti della velocità (moto) di ogni strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V.

L'elaborazione del microtremore registrato fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970) e consente di stimare le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo.

Per gli aspetti teorici essenziali e le principali applicazioni si veda, fra gli altri, Nakamura (1989), SESAME projet (2004), Castellaro e Mulargia (2009a, 2009b), Albarello et alii (2010), Albarello e Castellaro (2011), Mucciarelli e Gallipoli (2011).

Per le analisi del microtremore sismico è stato utilizzato un tromografo digitale della ditta Micromed (Tromino modello TRZ-0101/01-10) con software di elaborazione dedicato.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate le curve H/V utilizzando i seguenti parametri:

- Tempo di acquisizione: 40 min
- Frequenza di campionamento: 128 Hz
- Larghezza delle finestre d'analisi: 20 s
- Lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 5% e al 10% della frequenza centrale.

Per ulteriori informazioni sulle misure effettuate (condizioni ambientali, tipo di superficie di misura, "pulizia" dei dati, processing, spettri ottenuti, ecc.) si rimanda alle tavole di sintesi allegate. Le tavole riportano anche, per ogni misura, una stima della sua affidabilità secondo gli standard suggeriti dalle linee guida del SESAME Projet (2004) e da Albarello et alii (2010).

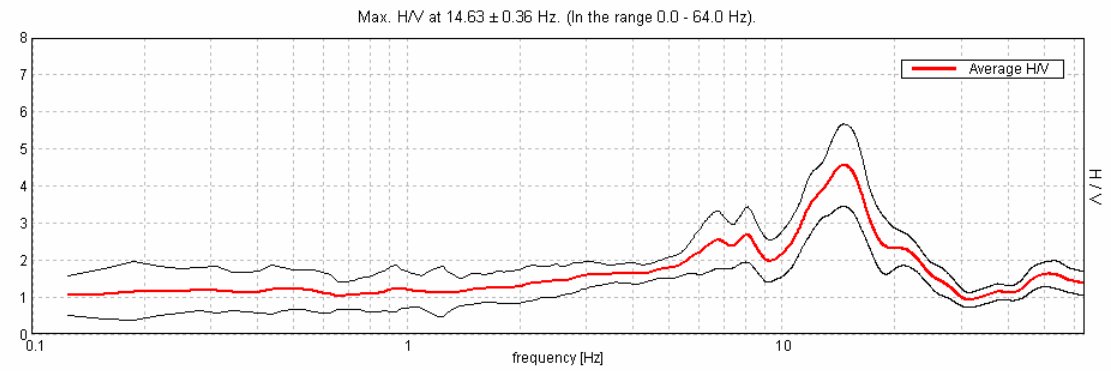
2.2. Commento ai risultati

Sono state eseguite n° 3 misure di rumore sismico ambientale, ubicate come nella planimetria alla scala 1:1000 allegata.

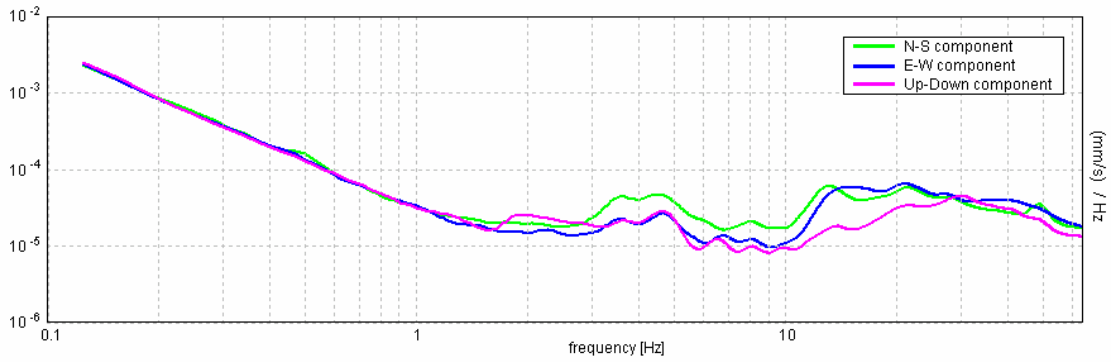
Di seguito sono riportati, per ciascuna delle misure effettuate, i grafici che mostrano, in funzione della frequenza, i valori dei rapporti spettrali H/V e l'ampiezza delle singole componenti:

Misura TR 1

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

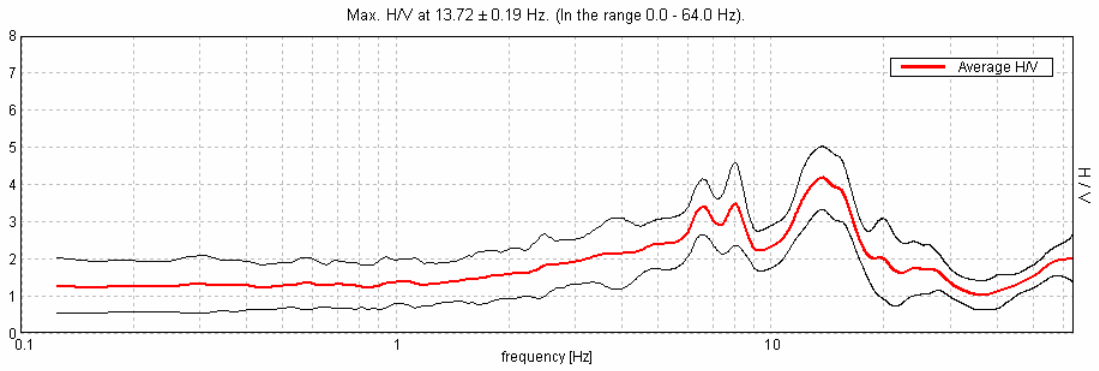


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

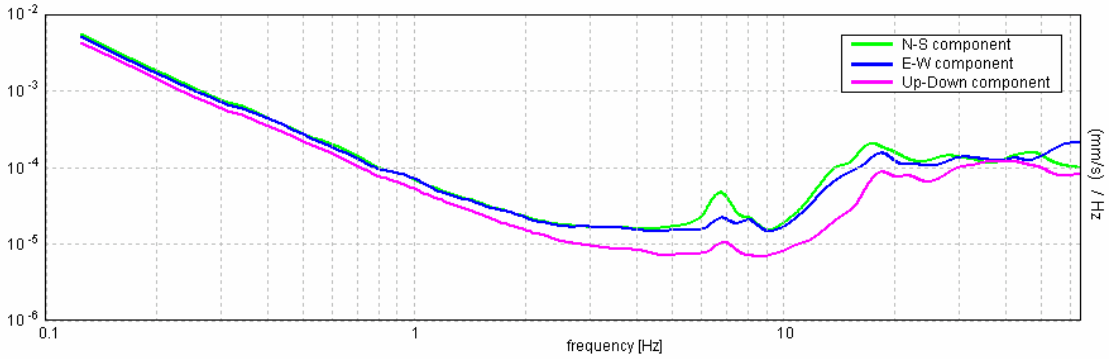


Misura TR 2

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



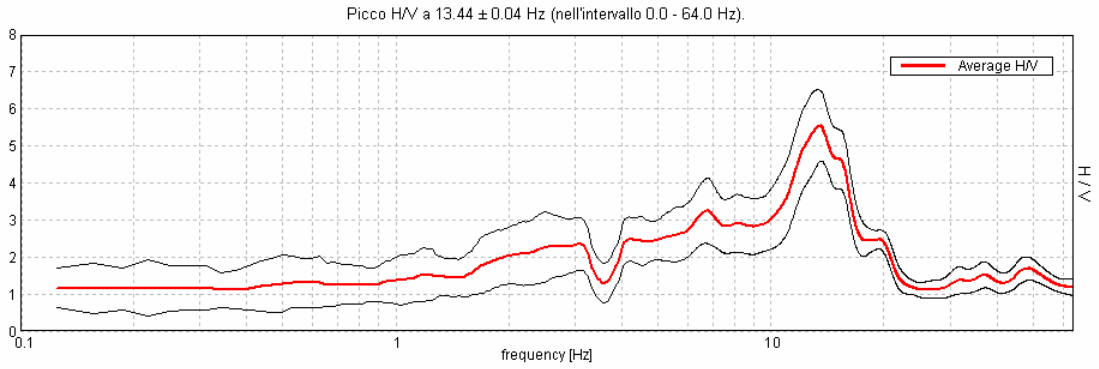
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



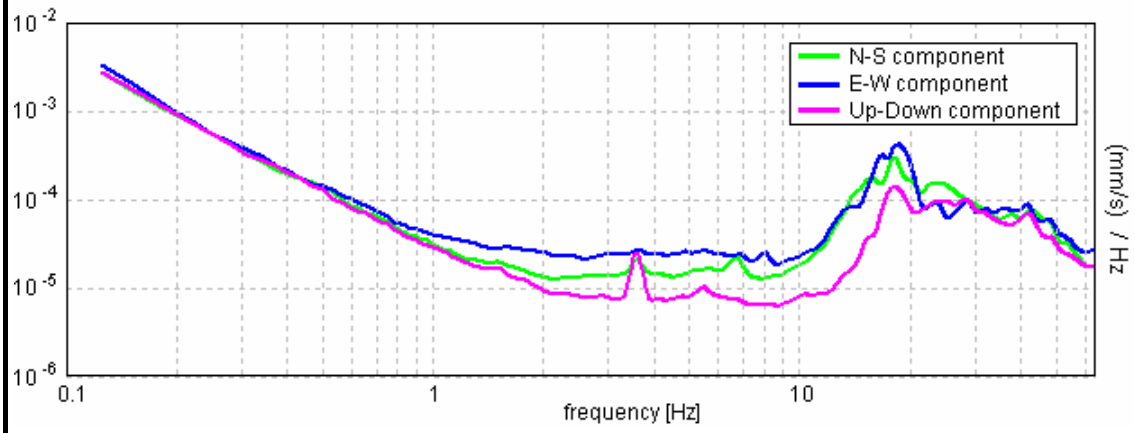
Con riferimento anche alla tavola di confronto delle tre misure riportata alla pag. seguente, tutte e tre le curve mostrano un unico picco intorno ai 14 Hz (H/V=4.5-5.5), correlabile con il contrasto di impedenza sismica al passaggio tra copertura detritica e/o di alterazione e bedrock arenaceo fratturato, documentato dalla sismica a rifrazione e dai dati penetrometrici a 4-6 metri di profondità.

Misura TR 2bis

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

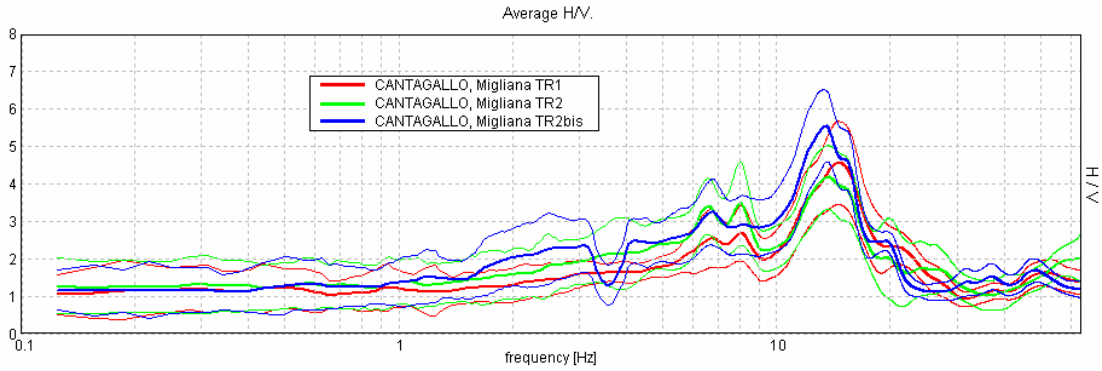


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



CONFRONTO MISURE TR 1- TR2bis

RAPPORTI SPETTRALI ORIZZONTALI SU VERTICALI



3. MISURE DELLE FREQUENZE DI VIBRAZIONE NATURALE DEL FABBRICATO

3.1. Metodologia e strumentazione

La caratterizzazione strutturale dinamica di una struttura, attraverso la misura dei suoi modi di vibrare, può essere effettuata in condizioni di vibrazioni forzate/libere oppure in condizioni di vibrazioni ambientali. Nel primo caso la struttura viene sollecitata *ad hoc*, ad esempio, attraverso la caduta di gravi o l'uso di vibrodine. Nel secondo caso vengono misurate le vibrazioni indotte sulla struttura dal microtremore sismico ambientale, presente ovunque e che ha origini sia naturali (vento, moto ondoso) sia antropiche (es. traffico, attività industriali). Nel presente lavoro è stata utilizzata la seconda metodologia.

Anche in questo caso il microtremore sismico ambientale è stato misurato con il tromografo digitale *TROMINO* TRZ-0101/01-10 ed elaborato con il software *GRILLA*. I parametri di base utilizzati sono stati i seguenti:

- Tempo di acquisizione: 10 min
- Frequenza di campionamento: 128 Hz
- Larghezza delle finestre d'analisi: 20 s
- Lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 1% della frequenza centrale

Sono state eseguite 3 misure all'interno della scuola, una per ogni piano, allineate lungo una verticale (ED1) situata in corrispondenza dell'angolo sud-est dell'edificio (vedi planimetria alla scala 1:1000 allegata).

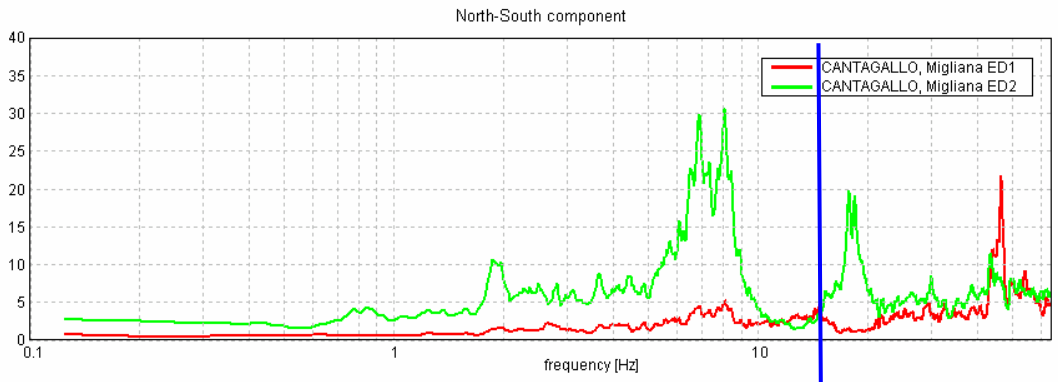
Per ogni misura sono state considerate le due componenti orizzontali E-W e N-S dello spettro misurato, orientate parallelamente alle due direzioni principali del fabbricato. Lungo la verticale è stato inoltre rimosso l'effetto di sito, ossia l'effetto delle vibrazioni tipiche del terreno su cui poggia l'edificio, in modo da evidenziare più chiaramente i modi di vibrazione propri dell'edificio e l'ampiezza delle vibrazioni ad ogni piano. Sono stati cioè considerati i rapporti spettrali Hi/Ho (componente orizzontale al piano iesimo Hi deconvoluta per l'omologa componente orizzontale al piano di fondazione Ho) e confrontati con i rapporti H/V ottenuti dalle misure eseguite sul terreno all'esterno dell'edificio, in particolare dalla misura TR1. Il confronto ha lo scopo di evidenziare eventuali coincidenze delle risonanze suolo-struttura che renderebbero possibili pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di terremoto.

3.2. Commento ai risultati

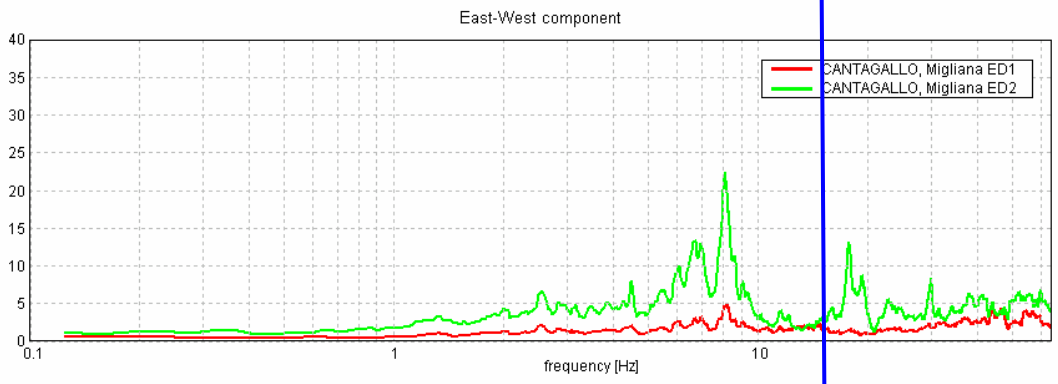
Di seguito sono mostrati i grafici delle componenti orizzontali E-W e N-S dei rapporti spettrali Hi/Ho. Inoltre, per confronto, viene anche riportato (grafico in basso) il rapporto H/V della misura TR1, effettuata sul terreno naturale all'esterno dell'edificio a meno di 10 metri dalla verticale ED1 (v. planimetria).

CONFRONTO TRA LE CURVE Hi/Ho (misure ED) e H/V (misura TR1)

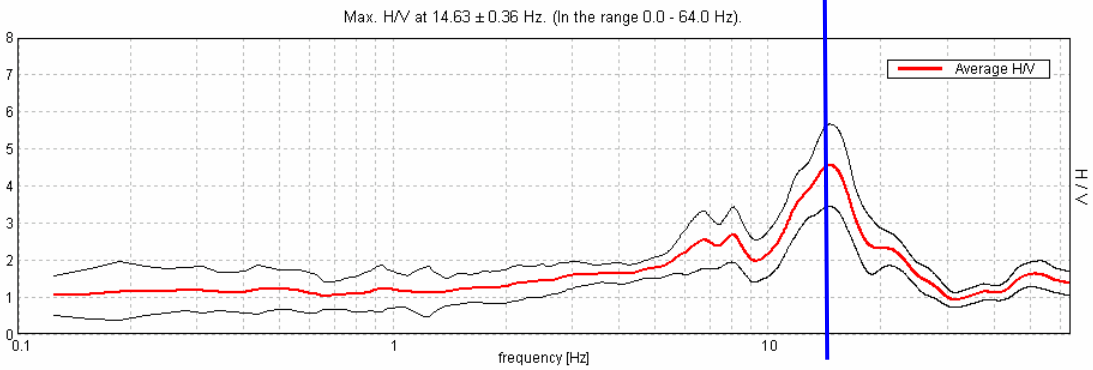
MISURE ED 1: COMPONENTE N-S



MISURE ED 1: COMPONENTE E-W



MISURA TR1: CURVA H/V



Le curve Hi/Ho della verticale di misura ED1 mostrano i massimi assoluti intorno a 7-8 Hz e picchi di ampiezza significativa ma più modesta a frequenze intorno a circa 17-18 Hz, corrispondenti verosimilmente a diversi modi di vibrare della struttura. La frequenza di risonanza fondamentale del terreno sottostante l'edificio scolastico, dedotta dalla misura TR2, è invece di 14.6 Hz; quindi nessuna delle frequenze di risonanza rilevate nell'edificio coincide con la frequenza di vibrazione propria del terreno sottostante.

La situazione riscontrata, tuttavia, considerato in particolare il modo di vibrare della struttura a 17-18 Hz (modo verosimilmente di ordine superiore), ossia a frequenza superiore ma molto prossima a quella di risonanza del sottosuolo, potrebbe comunque risultare problematica dal punto di vista della vulnerabilità sismica in quanto potenzialmente soggetta a fenomeni di doppia risonanza in caso di terremoto. Infatti, occorre tener conto della possibile riduzione della forbice tra la risonanza del suolo e quella della struttura attualmente a 17-18 Hz, a causa sia dell'usura e dell'invecchiamento dell'edificio, sia soprattutto a causa della diminuzione della rigidezza strutturale durante il sisma come conseguenza della dissipazione di energia.

****

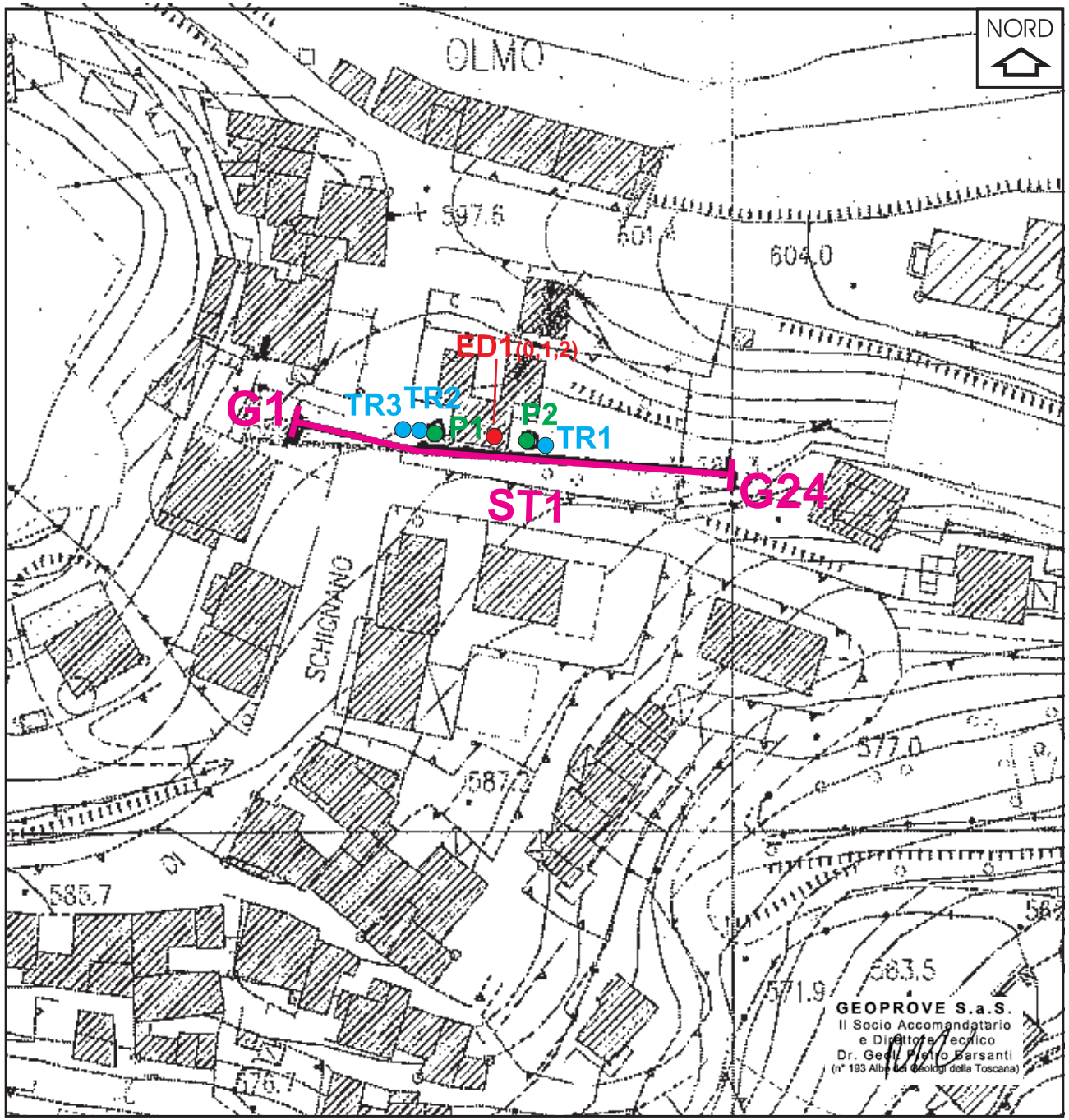
Lucca, 07/12/12

Collaboratore:
Dr. Donato Merola

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. DONATO MEROLA
N° 1628
sez. A

GEOPROVE S.A.S.
Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Pietro Barsanti

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



GEOPROVE sas
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

COMUNE DI CANTAGALLO

PROVINCIA DI PRATO

Località: Migliana

Committente: Comune di Cantagallo

PLANIMETRIA

Scala 1:1000

LEGENDA

G1 — ST1 — G24: Linea sismica a rifrazione

P1: Prove penetrometriche statiche CPT

TR1: Misure di tremore sismico ambientale

ED1(0,1,2): Misure delle frequenze di vibrazione naturale dell'edificio (i numeri tra parentesi indicano misure eseguite ai diversi piani; 0=piano terra, 1=primo piano, 2=secondo piano)

GEOPROVE sas
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

COMUNE DI CANTAGALLO

PROVINCIA DI PRATO

Località: Scuola dell'infanzia di Migliana

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH
TOMOGRAFIA SISMICA

MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE
A STAZIONE SINGOLA

MISURE DELLE FREQUENZE NATURALI DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO

Committente: ***Comune di Cantagallo***

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Comune di Cantagallo - PO

Località: Migliana

<u>Prospezioni sismiche a rifrazione con onde P ed onde S e tomografia sismica</u>

Profilo ST1 – Panoramica del sito indagato e stralcio dell'allineamento geofonico con geofoni da 14Hz spaziati 3m.

Profilo ST1 – Panoramica del sito indagato e strumento utilizzato per la registrazione del segnale sismico (sismografo G. Stratavisor NZXP).

Misure di microtremore

Misura di microtremore Tr1- Panoramica del sito indagato e strumento utilizzato per la misura (Tromino)

Misura di microtremore Tr2- Panoramica del sito indagato e strumento utilizzato per la misura (Tromino)

Misure delle frequenze di vibrazione naturale dell'edificio

ED: Misura delle frequenze di vibrazione naturale dell'edificio e strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei microtremori (Tromino).

GEOPROVE sas
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

COMUNE DI CANTAGALLO

PROVINCIA DI PRATO

Località: Scuola dell'infanzia di Migliana

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH
TOMOGRAFIA SISMICA

MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE
A STAZIONE SINGOLA

MISURE DELLE FREQUENZE NATURALI DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO

Committente: ***Comune di Cantagallo***

PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

GEOPROVE sas
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P

INTERPRETAZIONE CON METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)

Committente : Comune di Cantagallo

Data : 13/11/12

Località : Migliana – Cantagallo (PO)

Prospettore : GEOMETRICS STRATAVISOR NZXP

Sorgente : Maglio da 200 kg

Linea : 1211131 – ST1

Lunghezza : 72 ml

Orientamento : NW - SE

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

DATI DI SCOPPIO 1211131_P – ST1

SCOPPIO 1 - X (m) .10 QUOTA 582.40 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	2.300000	582.400000
4.500000	4.400000	582.200000
7.500000	6.400000	581.800000
10.500000	8.900000	581.700000
13.500000	12.300000	581.600000
16.500000	14.600000	581.600000
19.500000	17.400000	581.400000
22.500000	19.400000	581.000000
25.500000	20.500000	580.700000
28.500000	21.600000	580.400000
31.500000	23.100000	580.400000
34.500000	24.000000	580.300000
37.500000	25.600000	580.200000
40.500000	25.100000	580.100000
43.500000	26.300000	580.000000
46.500000	25.800000	580.000000
49.500000	24.900000	579.900000
52.500000	26.600000	579.900000
55.500000	27.800000	579.900000
58.500000	27.100000	579.800000
61.500000	27.100000	579.700000
64.500000	28.600000	580.000000
67.500000	30.600000	580.700000
70.500000	31.600000	581.000000

SCOPPIO 2 - X (m) 6.00 QUOTA 582.00 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	4.600000	582.400000
4.500000	1.800000	582.200000
7.500000	1.800000	581.800000
10.500000	5.500000	581.700000
13.500000	8.600000	581.600000
16.500000	11.800000	581.600000
19.500000	14.900000	581.400000
22.500000	17.800000	581.000000
25.500000	18.500000	580.700000
28.500000	19.400000	580.400000
31.500000	21.100000	580.400000
34.500000	21.800000	580.300000
37.500000	23.100000	580.200000
40.500000	22.900000	580.100000
43.500000	23.100000	580.000000
46.500000	23.600000	580.000000
49.500000	23.100000	579.900000
52.500000	24.600000	579.900000
55.500000	25.800000	579.900000
58.500000	24.600000	579.800000
61.500000	24.600000	579.700000
64.500000	26.000000	580.000000
67.500000	27.400000	580.700000
70.500000	29.100000	581.000000

SCOPPIO 3 - X (m) 18.00 QUOTA 581.50 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	14.900000	582.400000
4.500000	13.500000	582.200000
7.500000	12.300000	581.800000
10.500000	9.500000	581.700000
13.500000	6.400000	581.600000
16.500000	2.900000	581.600000
19.500000	3.100000	581.400000
22.500000	11.500000	581.000000
25.500000	17.400000	580.700000
28.500000	19.800000	580.400000
31.500000	21.400000	580.400000
34.500000	22.600000	580.300000
37.500000	24.300000	580.200000
40.500000	24.300000	580.100000
43.500000	24.500000	580.000000
46.500000	24.500000	580.000000
49.500000	24.500000	579.900000
52.500000	26.000000	579.900000
55.500000	26.600000	579.900000
58.500000	26.300000	579.800000
61.500000	26.300000	579.700000
64.500000	27.600000	580.000000
67.500000	29.100000	580.700000
70.500000	30.600000	581.000000

SCOPPIO 4 - X (m) 27.00 QUOTA 580.60 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	19.600000	582.400000
4.500000	18.500000	582.200000
7.500000	18.500000	581.800000
10.500000	18.900000	581.700000
13.500000	18.900000	581.600000
16.500000	18.600000	581.600000
19.500000	18.000000	581.400000
22.500000	12.000000	581.000000
25.500000	3.500000	580.700000
28.500000	3.500000	580.400000
31.500000	13.400000	580.400000
34.500000	19.100000	580.300000
37.500000	21.800000	580.200000
40.500000	22.500000	580.100000
43.500000	21.600000	580.000000
46.500000	22.000000	580.000000
49.500000	21.400000	579.900000
52.500000	23.100000	579.900000
55.500000	24.300000	579.900000
58.500000	24.300000	579.800000
61.500000	24.000000	579.700000
64.500000	25.600000	580.000000
67.500000	27.600000	580.700000
70.500000	29.600000	581.000000

SCOPPIO 5 - X (m) 36.00 QUOTA 580.30 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	24.300000	582.400000
4.500000	24.000000	582.200000
7.500000	23.800000	581.800000
10.500000	24.300000	581.700000
13.500000	25.100000	581.600000
16.500000	24.500000	581.600000
19.500000	25.400000	581.400000
22.500000	24.000000	581.000000
25.500000	22.000000	580.700000
28.500000	19.100000	580.400000
31.500000	14.300000	580.400000
34.500000	5.100000	580.300000
37.500000	5.300000	580.200000
40.500000	14.000000	580.100000
43.500000	17.400000	580.000000
46.500000	20.300000	580.000000
49.500000	20.600000	579.900000
52.500000	22.100000	579.900000
55.500000	23.600000	579.900000
58.500000	23.100000	579.800000
61.500000	23.100000	579.700000
64.500000	24.300000	580.000000
67.500000	26.300000	580.700000
70.500000	28.000000	581.000000

SCOPPIO 6 - X (m) 45.00 QUOTA 580.00 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	24.300000	582.400000
4.500000	23.600000	582.200000
7.500000	23.800000	581.800000
10.500000	24.500000	581.700000
13.500000	25.400000	581.600000
16.500000	25.100000	581.600000
19.500000	26.300000	581.400000
22.500000	25.400000	581.000000
25.500000	24.300000	580.700000
28.500000	23.400000	580.400000
31.500000	22.600000	580.400000
34.500000	20.000000	580.300000
37.500000	16.900000	580.200000
40.500000	11.500000	580.100000
43.500000	3.500000	580.000000
46.500000	3.100000	580.000000
49.500000	9.500000	579.900000
52.500000	14.000000	579.900000
55.500000	15.400000	579.900000
58.500000	14.600000	579.800000
61.500000	15.100000	579.700000
64.500000	16.000000	580.000000
67.500000	18.000000	580.700000
70.500000	20.100000	581.000000

SCOPPIO 7 - X (m) 54.00 QUOTA 579.90 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	27.600000	582.400000
4.500000	27.100000	582.200000
7.500000	26.600000	581.800000
10.500000	26.900000	581.700000
13.500000	28.000000	581.600000
16.500000	27.800000	581.600000
19.500000	28.300000	581.400000
22.500000	27.800000	581.000000
25.500000	26.300000	580.700000
28.500000	25.400000	580.400000
31.500000	25.400000	580.400000
34.500000	24.300000	580.300000
37.500000	22.900000	580.200000
40.500000	20.000000	580.100000
43.500000	16.900000	580.000000
46.500000	13.800000	580.000000
49.500000	10.000000	579.900000
52.500000	5.100000	579.900000
55.500000	5.300000	579.900000
58.500000	9.400000	579.800000
61.500000	10.600000	579.700000
64.500000	12.000000	580.000000
67.500000	14.600000	580.700000
70.500000	16.900000	581.000000

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

SCOPPIO 8 - X (m) 63.00 QUOTA 579.90 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	25.600000	582.400000
4.500000	25.100000	582.200000
7.500000	25.100000	581.800000
10.500000	26.000000	581.700000
13.500000	26.500000	581.600000
16.500000	26.900000	581.600000
19.500000	26.900000	581.400000
22.500000	26.500000	581.000000
25.500000	25.400000	580.700000
28.500000	24.500000	580.400000
31.500000	23.600000	580.400000
34.500000	23.600000	580.300000
37.500000	21.800000	580.200000
40.500000	19.100000	580.100000
43.500000	16.600000	580.000000
46.500000	14.300000	580.000000
49.500000	12.500000	579.900000
52.500000	11.800000	579.900000
55.500000	9.100000	579.900000
58.500000	5.900000	579.800000
61.500000	2.000000	579.700000
64.500000	2.000000	580.000000
67.500000	6.300000	580.700000
70.500000	9.100000	581.000000

SCOPPIO 9 - X (m) 72.00 QUOTA 581.00 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	32.300000	582.400000
4.500000	31.600000	582.200000
7.500000	31.600000	581.800000
10.500000	32.100000	581.700000
13.500000	32.800000	581.600000
16.500000	33.400000	581.600000
19.500000	33.100000	581.400000
22.500000	32.900000	581.000000
25.500000	32.000000	580.700000
28.500000	31.600000	580.400000
31.500000	30.100000	580.400000
34.500000	29.400000	580.300000
37.500000	27.900000	580.200000
40.500000	25.600000	580.100000
43.500000	23.400000	580.000000
46.500000	20.600000	580.000000
49.500000	18.000000	579.900000
52.500000	16.900000	579.900000
55.500000	15.100000	579.900000
58.500000	12.300000	579.800000
61.500000	9.900000	579.700000
64.500000	8.300000	580.000000
67.500000	5.500000	580.700000
70.500000	2.100000	581.000000

SCOPPIO 10 - X (m) 92.00 QUOTA 582.60 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	40.600000	582.400000
4.500000	40.300000	582.200000
7.500000	40.600000	581.800000
10.500000	39.800000	581.700000
13.500000	40.600000	581.600000
16.500000	41.100000	581.600000
19.500000	40.600000	581.400000
22.500000	40.300000	581.000000
25.500000	39.800000	580.700000
28.500000	40.300000	580.400000
31.500000	39.400000	580.400000
34.500000	38.400000	580.300000
37.500000	37.800000	580.200000
40.500000	36.600000	580.100000
43.500000	34.000000	580.000000
46.500000	32.000000	580.000000
49.500000	29.800000	579.900000
52.500000	30.000000	579.900000
55.500000	28.300000	579.900000
58.500000	25.800000	579.800000
61.500000	23.800000	579.700000
64.500000	22.900000	580.000000
67.500000	22.500000	580.700000
70.500000	20.600000	581.000000

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

VELOCITÀ 1211131_P – ST1

Ascissa	Velocità
STRATO # 1	
3.100000	833.338000
6.100000	750.139600
9.100000	666.941200
12.100000	583.742800
15.100000	500.544500
18.100000	476.534100
21.100000	452.523700
24.100000	428.513400
27.100000	381.850600
30.100000	335.187800
33.100000	288.525100
36.100000	344.438300
39.100000	400.351600
42.100000	456.264900
45.100000	441.354900
48.100000	303.547000
51.100000	329.602900
54.100000	520.793900
57.100000	752.950900
60.100000	739.312300
63.100000	762.421900
66.100000	785.531500
69.100000	808.641100

STRATO # 2	
3.100000	1357.784000
6.100000	1359.771000
9.100000	1361.758000
12.100000	1363.744000
15.100000	1365.731000
18.100000	1358.260000
21.100000	941.128900
24.100000	933.657400
27.100000	939.122000
30.100000	944.586600
33.100000	950.051200
36.100000	993.701700
39.100000	996.386400
42.100000	1040.037000
45.100000	1197.833000
48.100000	1355.629000
51.100000	1554.392000
54.100000	1548.654000
57.100000	1542.916000
60.100000	1537.179000
63.100000	1542.382000
66.100000	1547.584000
69.100000	1552.787000

STRATO # 3	
3.100000	3511.367000
6.100000	3509.880000
9.100000	3508.393000
12.100000	3506.906000
15.100000	3505.418000
18.100000	3505.418000
21.100000	3505.418000
24.100000	3505.418000
27.100000	3505.418000
30.100000	3505.418000
33.100000	3505.418000
36.100000	3505.418000
39.100000	3505.418000
42.100000	3505.418000
45.100000	3505.418000
48.100000	3505.418000
51.100000	3505.418000
54.100000	3505.418000
57.100000	3505.418000
60.100000	3505.418000
63.100000	3505.418000
66.100000	3505.418000
69.100000	3505.418000

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

PROFONDITÀ 1211131_P – ST1

Ascissa	Profondità
STRATO # 2	
1.000000E-01	8.553056E-02
3.100000	6.625051E-01
6.100000	1.031757
9.100000	1.220075
12.100000	1.590429
15.100000	1.573356
18.100000	2.016229
21.100000	2.259066
24.100000	3.057494
27.100000	3.127866
30.100000	2.927704
33.100000	2.887562
36.100000	3.115832
39.100000	2.223500
42.100000	1.559289
45.100000	2.094683
48.100000	1.913655
51.100000	1.295700
54.100000	9.742405E-01
57.100000	1.268784
60.100000	1.301976
63.100000	2.016213
66.100000	1.807279
69.100000	1.574683

STRATO # 3	
1.000000E-01	4.237175
3.100000	4.733114
6.100000	5.392226
9.100000	6.391564
12.100000	8.928854
15.100000	9.694553
18.100000	9.534554
21.100000	8.157598
24.100000	7.067015
27.100000	6.726257
30.100000	6.498598
33.100000	6.230471
36.100000	6.246762
39.100000	5.809374
42.100000	6.122158
45.100000	6.196623
48.100000	6.252750
51.100000	6.741281
54.100000	7.496211
57.100000	7.460444
60.100000	7.544263
63.100000	7.477953
66.100000	8.578226
69.100000	10.394290

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

GEOPROVE sas
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH

INTERPRETAZIONE CON METODO RECIPROCO GENERALIZZATO (GRM)

Committente	: Comune di Cantagallo
Data	: 13/11/12
Località	: Migliana – Cantagallo (PO)
Prospettore	: GEOMETRICS STRATAVISOR NZXP
Sorgente	: Pendolo da 30 kg
Linea	: 1211132 – ST1
Lunghezza	: 72 ml
Orientamento	: NW - SE

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

DATI DI SCOPPIO 1211132_SH – ST1

SCOPPIO 1 - X (m) .10 QUOTA 582.40 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	4.000000	582.400000
4.500000	6.400000	582.200000
7.500000	10.400000	581.800000
10.500000	14.400000	581.700000
13.500000	19.800000	581.600000
16.500000	26.900000	581.600000
19.500000	34.900000	581.400000
22.500000	41.100000	581.000000
25.500000	42.000000	580.700000
28.500000	42.000000	580.400000
31.500000	45.100000	580.400000
34.500000	46.000000	580.300000
37.500000	49.100000	580.200000
40.500000	47.800000	580.100000
43.500000	47.800000	580.000000
46.500000	46.900000	580.000000
49.500000	47.300000	579.900000
52.500000	47.800000	579.900000
55.500000	50.000000	579.900000
58.500000	49.500000	579.800000
61.500000	50.000000	579.700000
64.500000	50.400000	580.000000
67.500000	53.100000	580.700000
70.500000	54.400000	581.000000

SCOPPIO 2 - X (m) 6.00 QUOTA 582.00 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	8.300000	582.400000
4.500000	4.100000	582.200000
7.500000	4.000000	581.800000
10.500000	7.800000	581.700000
13.500000	12.300000	581.600000
16.500000	18.000000	581.600000
19.500000	26.400000	581.400000
22.500000	37.100000	581.000000
25.500000	39.300000	580.700000
28.500000	39.800000	580.400000
31.500000	42.000000	580.400000
34.500000	43.300000	580.300000
37.500000	46.400000	580.200000
40.500000	45.500000	580.100000
43.500000	43.800000	580.000000
46.500000	42.900000	580.000000
49.500000	42.900000	579.900000
52.500000	44.300000	579.900000
55.500000	45.100000	579.900000
58.500000	44.600000	579.800000
61.500000	44.600000	579.700000
64.500000	46.400000	580.000000
67.500000	47.800000	580.700000
70.500000	51.300000	581.000000

SCOPPIO 3 - X (m) 18.00 QUOTA 581.50 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	25.500000	582.400000
4.500000	22.000000	582.200000
7.500000	17.500000	581.800000
10.500000	14.000000	581.700000
13.500000	9.100000	581.600000
16.500000	4.600000	581.600000
19.500000	4.500000	581.400000
22.500000	18.000000	581.000000
25.500000	29.500000	580.700000
28.500000	37.100000	580.400000
31.500000	42.000000	580.400000
34.500000	47.300000	580.300000
37.500000	49.500000	580.200000
40.500000	52.600000	580.100000
43.500000	50.000000	580.000000
46.500000	47.500000	580.000000
49.500000	49.100000	579.900000
52.500000	50.000000	579.900000
55.500000	51.800000	579.900000
58.500000	51.300000	579.800000
61.500000	50.900000	579.700000
64.500000	52.300000	580.000000
67.500000	54.400000	580.700000
70.500000	56.300000	581.000000

SCOPPIO 4 - X (m) 27.00 QUOTA 580.60 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	41.100000	582.400000
4.500000	40.800000	582.200000
7.500000	41.100000	581.800000
10.500000	42.000000	581.700000
13.500000	42.900000	581.600000
16.500000	40.300000	581.600000
19.500000	32.300000	581.400000
22.500000	20.300000	581.000000
25.500000	4.500000	580.700000
28.500000	4.500000	580.400000
31.500000	18.900000	580.400000
34.500000	28.600000	580.300000
37.500000	39.400000	580.200000
40.500000	43.800000	580.100000
43.500000	45.500000	580.000000
46.500000	45.100000	580.000000
49.500000	45.600000	579.900000
52.500000	47.800000	579.900000
55.500000	48.300000	579.900000
58.500000	46.900000	579.800000
61.500000	46.500000	579.700000
64.500000	48.600000	580.000000
67.500000	50.000000	580.700000
70.500000	51.300000	581.000000

SCOPPIO 5 - X (m) 36.00 QUOTA 580.30 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	47.800000	582.400000
4.500000	47.800000	582.200000
7.500000	47.800000	581.800000
10.500000	48.300000	581.700000
13.500000	50.900000	581.600000
16.500000	50.900000	581.600000
19.500000	50.900000	581.400000
22.500000	46.900000	581.000000
25.500000	38.000000	580.700000
28.500000	29.100000	580.400000
31.500000	18.400000	580.400000
34.500000	4.500000	580.300000
37.500000	4.500000	580.200000
40.500000	16.600000	580.100000
43.500000	28.300000	580.000000
46.500000	35.800000	580.000000
49.500000	43.300000	579.900000
52.500000	44.300000	579.900000
55.500000	47.800000	579.900000
58.500000	47.300000	579.800000
61.500000	47.300000	579.700000
64.500000	49.500000	580.000000
67.500000	50.900000	580.700000
70.500000	53.100000	581.000000

SCOPPIO 6 - X (m) 45.00 QUOTA 580.00 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	44.300000	582.400000
4.500000	44.300000	582.200000
7.500000	44.300000	581.800000
10.500000	46.400000	581.700000
13.500000	47.800000	581.600000
16.500000	49.100000	581.600000
19.500000	49.500000	581.400000
22.500000	49.500000	581.000000
25.500000	46.900000	580.700000
28.500000	45.100000	580.400000
31.500000	42.400000	580.400000
34.500000	36.600000	580.300000
37.500000	27.800000	580.200000
40.500000	17.500000	580.100000
43.500000	4.500000	580.000000
46.500000	4.500000	580.000000
49.500000	15.800000	579.900000
52.500000	22.000000	579.900000
55.500000	26.000000	579.900000
58.500000	26.900000	579.800000
61.500000	27.800000	579.700000
64.500000	30.400000	580.000000
67.500000	33.500000	580.700000
70.500000	35.300000	581.000000

SCOPPIO 7 - X (m) 54.00 QUOTA 579.90 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	47.800000	582.400000
4.500000	46.900000	582.200000
7.500000	46.400000	581.800000
10.500000	47.300000	581.700000
13.500000	48.600000	581.600000
16.500000	51.800000	581.600000
19.500000	52.900000	581.400000
22.500000	52.300000	581.000000
25.500000	50.000000	580.700000
28.500000	48.000000	580.400000
31.500000	45.500000	580.400000
34.500000	44.300000	580.300000
37.500000	39.400000	580.200000
40.500000	31.800000	580.100000
43.500000	26.400000	580.000000
46.500000	22.000000	580.000000
49.500000	15.300000	579.900000
52.500000	4.600000	579.900000
55.500000	4.600000	579.900000
58.500000	13.100000	579.800000
61.500000	17.100000	579.700000
64.500000	20.600000	580.000000
67.500000	24.500000	580.700000
70.500000	28.000000	581.000000

SCOPPIO 8 - X (m) 63.00 QUOTA 579.90 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	47.300000	582.400000
4.500000	46.400000	582.200000
7.500000	45.600000	581.800000
10.500000	47.300000	581.700000
13.500000	48.500000	581.600000
16.500000	51.400000	581.600000
19.500000	52.500000	581.400000
22.500000	53.100000	581.000000
25.500000	50.500000	580.700000
28.500000	48.500000	580.400000
31.500000	47.800000	580.400000
34.500000	46.900000	580.300000
37.500000	43.400000	580.200000
40.500000	36.000000	580.100000
43.500000	30.900000	580.000000
46.500000	26.900000	580.000000
49.500000	24.300000	579.900000
52.500000	20.900000	579.900000
55.500000	14.900000	579.900000
58.500000	7.500000	579.800000
61.500000	4.500000	579.700000
64.500000	4.500000	580.000000
67.500000	7.800000	580.700000
70.500000	12.500000	581.000000

SCOPPIO 9 - X (m) 72.00 QUOTA 581.00 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	56.600000	582.400000
4.500000	55.400000	582.200000
7.500000	55.400000	581.800000
10.500000	55.800000	581.700000
13.500000	58.000000	581.600000
16.500000	60.600000	581.600000
19.500000	62.500000	581.400000
22.500000	62.500000	581.000000
25.500000	61.500000	580.700000
28.500000	59.800000	580.400000
31.500000	58.900000	580.400000
34.500000	57.500000	580.300000
37.500000	53.100000	580.200000
40.500000	49.100000	580.100000
43.500000	43.800000	580.000000
46.500000	39.400000	580.000000
49.500000	35.900000	579.900000
52.500000	30.500000	579.900000
55.500000	26.900000	579.900000
58.500000	20.600000	579.800000
61.500000	17.100000	579.700000
64.500000	13.500000	580.000000
67.500000	10.000000	580.700000
70.500000	4.600000	581.000000

SCOPPIO 10 - X (m) 92.00 QUOTA 582.60 PROF: .00

POSIZIONE	TEMPO DI ARRIVO	QUOTA
1.500000	78.000000	582.400000
4.500000	77.100000	582.200000
7.500000	77.600000	581.800000
10.500000	78.900000	581.700000
13.500000	81.100000	581.600000
16.500000	82.500000	581.600000
19.500000	84.800000	581.400000
22.500000	84.800000	581.000000
25.500000	83.400000	580.700000
28.500000	82.000000	580.400000
31.500000	79.800000	580.400000
34.500000	76.300000	580.300000
37.500000	73.600000	580.200000
40.500000	70.000000	580.100000
43.500000	65.600000	580.000000
46.500000	58.900000	580.000000
49.500000	54.900000	579.900000
52.500000	52.300000	579.900000
55.500000	48.600000	579.900000
58.500000	44.300000	579.800000
61.500000	40.600000	579.700000
64.500000	38.800000	580.000000
67.500000	34.400000	580.700000
70.500000	31.800000	581.000000

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

VELOCITÀ 1211132_SH – ST1

Ascissa	Velocità
STRATO # 1	
3.100000	370.428800
6.100000	350.474000
9.100000	330.519100
12.100000	310.564200
15.100000	290.609300
18.100000	272.329800
21.100000	254.050300
24.100000	235.770800
27.100000	258.607100
30.100000	281.443500
33.100000	304.279900
36.100000	294.548700
39.100000	284.817500
42.100000	275.086300
45.100000	289.806300
48.100000	304.526200
51.100000	319.246200
54.100000	324.004900
57.100000	328.763500
60.100000	333.522200
63.100000	330.930100
66.100000	328.338000
69.100000	325.745800

STRATO # 2	
3.100000	998.275400
6.100000	1000.270000
9.100000	998.639600
12.100000	997.009500
15.100000	881.136200
18.100000	721.314400
21.100000	724.696900
24.100000	728.079400
27.100000	724.491100
30.100000	720.903000
33.100000	733.635200
36.100000	740.795800
39.100000	747.956600
42.100000	755.117400
45.100000	750.111500
48.100000	745.105500
51.100000	740.099500
54.100000	755.081900
57.100000	753.743800
60.100000	752.405800
63.100000	747.106300
66.100000	741.806900
69.100000	752.827800

STRATO # 3	
3.100000	1648.947000
6.100000	1646.036000
9.100000	1640.638000
12.100000	1653.261000
15.100000	1653.892000
18.100000	1408.401000
21.100000	1398.897000
24.100000	1398.897000
27.100000	1398.897000
30.100000	1398.897000
33.100000	1398.897000
36.100000	1398.897000
39.100000	1398.897000
42.100000	1398.897000
45.100000	1398.897000
48.100000	1398.897000
51.100000	1398.897000
54.100000	1398.897000
57.100000	1398.897000
60.100000	1398.897000
63.100000	1398.897000
66.100000	1398.897000
69.100000	1398.897000

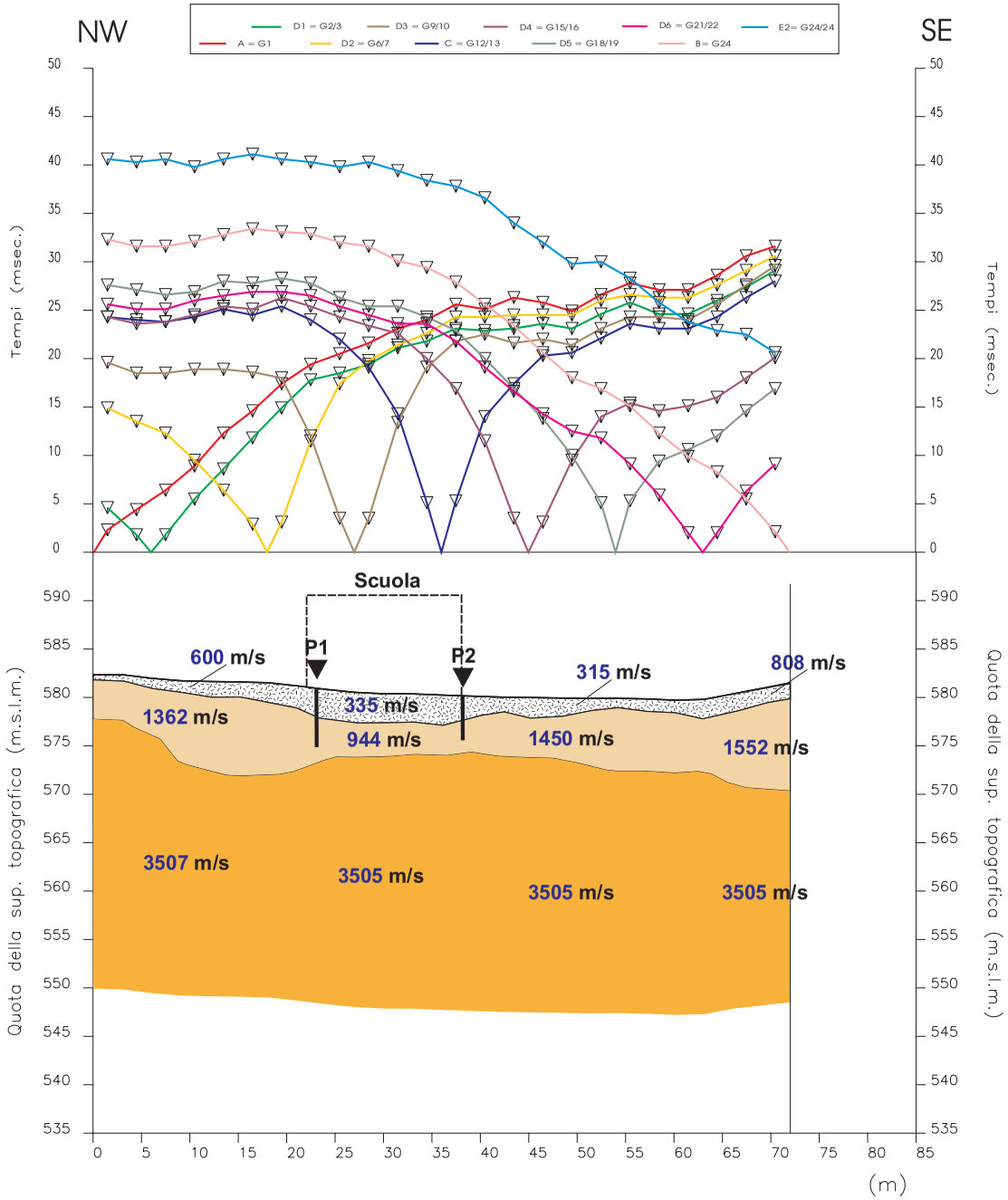
GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

PROFONDITÀ 1211132_SH – ST1

Ascissa	Profondità
STRATO # 2	
1.000000E-01	4.381152E-01
3.100000	5.810006E-01
6.100000	1.139502
9.100000	1.173581
12.100000	1.972239
15.100000	3.213995
18.100000	3.441085
21.100000	3.476295
24.100000	4.288517
27.100000	4.424322
30.100000	4.189055
33.100000	4.058885
36.100000	4.105663
39.100000	3.548289
42.100000	3.001140
45.100000	2.921736
48.100000	2.499402
51.100000	1.572428
54.100000	8.707768E-01
57.100000	7.899402E-01
60.100000	5.238401E-01
63.100000	4.429337E-01
66.100000	4.985079E-01
69.100000	8.580630E-01

STRATO # 3	
1.000000E-01	1.733380
3.100000	1.802071
6.100000	2.893750
9.100000	6.216993
12.100000	9.604955
15.100000	10.659840
18.100000	10.856710
21.100000	9.926906
24.100000	9.481080
27.100000	10.147450
30.100000	10.647570
33.100000	10.336890
36.100000	9.524281
39.100000	8.313144
42.100000	7.502639
45.100000	6.286686
48.100000	5.397574
51.100000	4.835605
54.100000	5.139223
57.100000	4.459084
60.100000	2.956234
63.100000	2.096956
66.100000	1.951658
69.100000	2.353657

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



GEOPROVE S.a.S.
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P

LEGENDA

Tempi dei primi arrivi ai geofoni

Profilo topografico

Distanza dalla superficie topografica del limite di strato

3505 m/s Velocità sismica dello strato in metri al secondo

Materiale di riporto, copertura detritica sabbioso-limoso-argillosa mediamente addensata

Bedrock in prevalenza arenaceo da molto a mediamente fratturato

Arenarie quarzoso-feldspatiche con intercalazioni pelitiche, poco fratturate o sane (*Arenarie di M. Falterona-Membro arenaceo/pelitico-**FAL 2***)

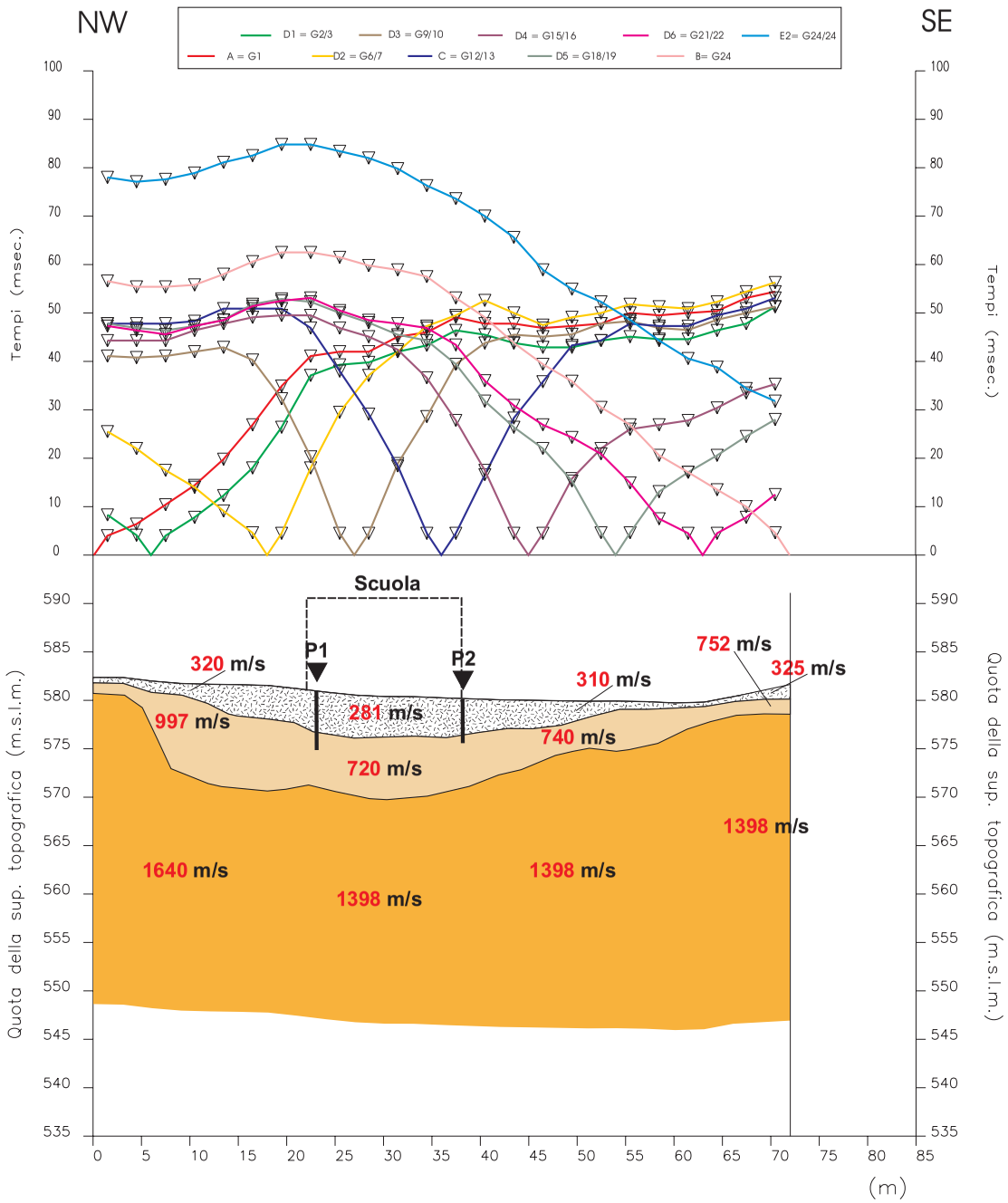
P Proiezione di prova penetrometrica statica CPT

Committente: Comune di Cantagallo

Località: Migliana - Cantagallo (PO)

Profilo: ST 1	**Scala 1:500**
File: 1211131	**Data: 13/11/12**

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)



GEOPROVE s.a.s.
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH

LEGENDA

Tempi dei primi arrivi ai geofoni

Profilo topografico

Distanza dalla superficie topografica del limite di strato

1398 m/s Velocità sismica dello strato in metri al secondo

Materiale di riporto, copertura detritica sabbioso-limoso-argillosa mediamente addensata

Bedrock in prevalenza arenaceo da molto a mediamente fratturato

Arenarie quarzoso-feldspatiche con intercalazioni pelitiche, poco fratturate o sane (*Arenarie di M. Falterona-Membro arenaceo/pelitico-**FAL 2***)

P Proiezione di prova penetrometrica statica CPT

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

Committente: Comune di Cantagallo	
Località: Migliana - Cantagallo (PO)	
Profilo: ST 1	Scala 1:500
File: 1211132	Data: 13/11/12

GEOPROVE sas
DI PIETRO BARSANTI, ALESSANDRO PETRONI & C.
GEOGNOSTICA - GEOFISICA
PROVE PENETROMETRICHE
via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090
http://www.geoprove.com e-mail info@geoprove.com P.I. 01066010461

COMUNE DI CANTAGALLO

PROVINCIA DI PRATO

Località: Scuola dell'infanzia di Migliana

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH
TOMOGRAFIA SISMICA

MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE
A STAZIONE SINGOLA

MISURE DELLE FREQUENZE NATURALI DI VIBRAZIONE DEL FABBRICATO

Committente: ***Comune di Cantagallo***

TAVOLE MISURE RUMORE SISMICO AMBIENTALE

GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

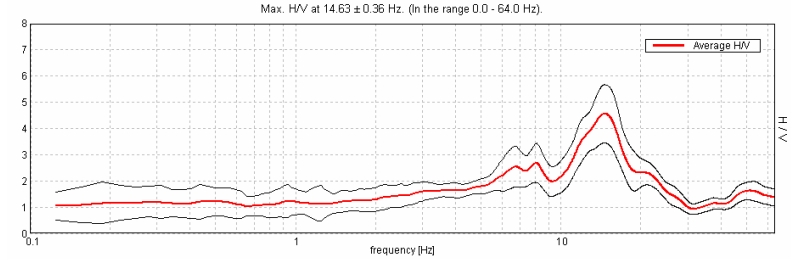
CANTAGALLO, MIGLIANA **TR1**

Coordinate (WGS84): N 43,98766°; E 11,09921°

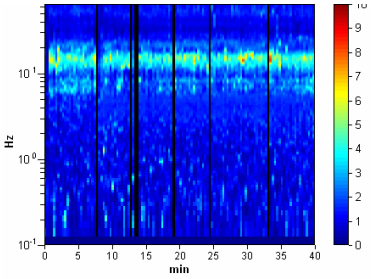
Strumento: TRZ-0101/01-10
Inizio registrazione: 13/11/12 13:35:50
Fine registrazione: 13/11/12 14:15:51

Durata registrazione: 0h40'00".
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 5% (*) e 10% (**)
Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)
Condizioni meteo: nuvoloso, pioggia leggera
Tipo di superficie: terreno naturale
Disturbi: alcuni transienti ed alcuni artefatti

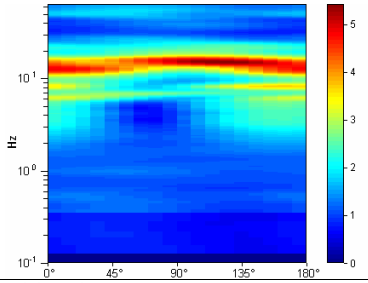
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (**)



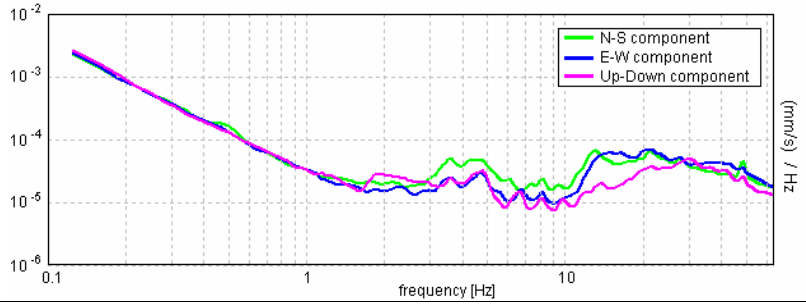
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (*)



GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

CRITERI SESAME (2004) (1)

Picco H/V a 14.63 ± 0.36 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	14.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	33052.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5Hz$	Superato 0 volte su 703	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.25 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	21.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.56 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.0122| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.17844 < 0.73125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.5593 < 1.58	OK	

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

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

CLASSIFICAZIONE DELLA CURVA H/V (2) (3)

CLASSE	B
TIPO	1

La classificazione delle curve H/V prevede le seguenti tre classi di qualità:

Classe A (H/V affidabile, **può essere utilizzata anche da sola**)
1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.
Eccezione: nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (H/V tipo 2, v. sotto).

Classe B (H/V da "interpretare": ***va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine***)
Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)
Classe C (H/V scadente e di difficile interpretazione: ***non va utilizzata***)

1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (*deriva*) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:
Tipo 1: H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (*possibile risonanza*)
Tipo 2: H/V senza picchi "chiari" nell'intervallo di frequenze di interesse (ampiezza della curva circa uguali ad 1: *assenza di risonanza*)

NOTE

(1) - SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation*, WP12, deliverable no. D23.12
(2)- Albarello D., Cesi C., Eulilli V. *et alii* (2010): *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake*. Boll. Geofis.Teor. Appl., 52 (3).
(3) – Albarello D. & Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola.* Supplemento alla rivista *Ingegneria sismica* Anno XXVIII, n. 2-2011.

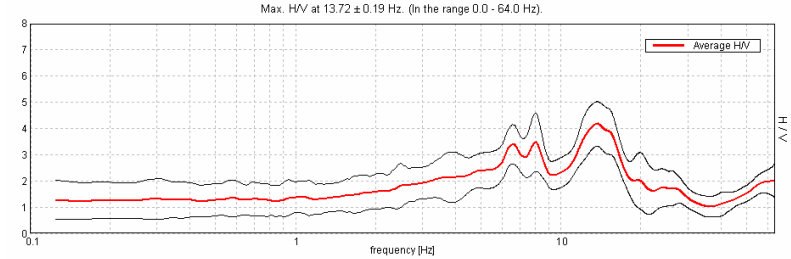
CANTAGALLO, MIGLIANA **TR2**

Coordinate (WGS84): N 43,98771°; E 11,09905°

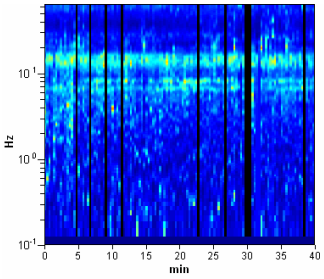
Strumento: TRZ-0101/01-10
Inizio registrazione: 13/11/12 14:37:52
Fine registrazione: 13/11/12 15:17:53

Durata registrazione: 0h40'00".
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 5% (*) e 10%(**)
Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)
Condizioni meteo: nuvoloso, pioggia leggera
Tipo di superficie: terreno naturale
Disturbi: alcuni transienti ed alcuni artefatti

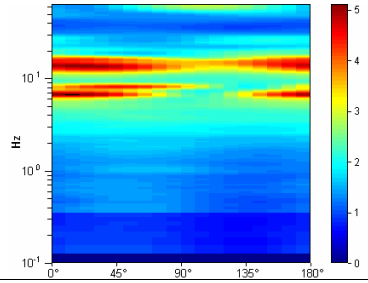
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (**)



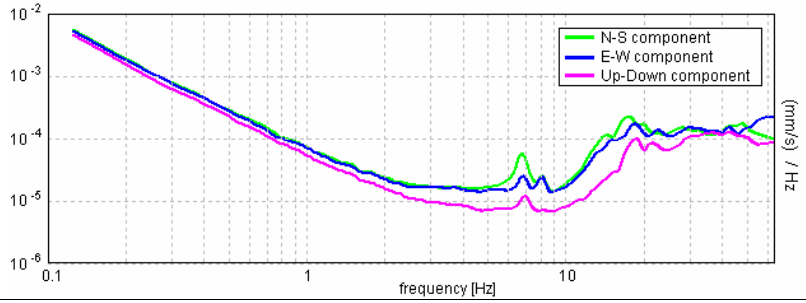
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (*)



GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

CRITERI SESAME (2004) (1)

Picco H/V a 13.72 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	13.72 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	30181.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5Hz$	Superato 0 volte su 660	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.438 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.18 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00689| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.09454 < 0.68594	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4247 < 1.58	OK	

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

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

CLASSIFICAZIONE DELLA CURVA H/V (2) (3)

CLASSE	B
TIPO	1

La classificazione delle curve H/V prevede le seguenti tre classi di qualità:

Classe A (H/V affidabile, **può essere utilizzata anche da sola**)
1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.
Eccezione: nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (H/V tipo 2, v. sotto).

Classe B (H/V da "interpretare": ***va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine***)
Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)

Classe C (H/V scadente e di difficile interpretazione: ***non va utilizzata***)

1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (*deriva*) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:
Tipo 1: H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (*possibile risonanza*)
Tipo 2: H/V senza picchi "chiari" nell'intervallo di frequenze di interesse (ampiezza della curva circa uguali ad 1: *assenza di risonanza*)

NOTE

(1) - SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation*, WP12, deliverable no. D23.12
(2)- Albarello D., Cesi C., Eulilli V. *et alii* (2010): *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake*. Boll. Geofis.Teor. Appl., 52 (3).
(3) – Albarello D. & Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola.* Supplemento alla rivista *Ingegneria sismica* Anno XXVIII, n. 2-2011.

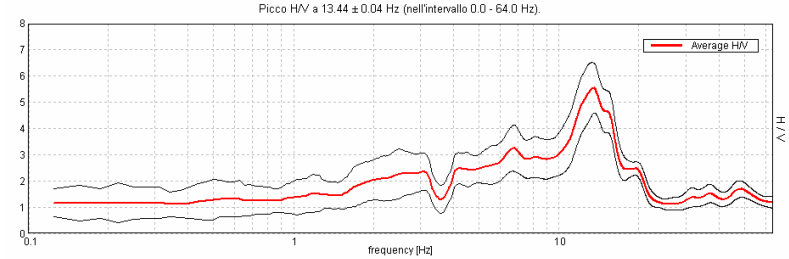
CANTAGALLO, MIGLIANA **TR2BIS**

Coordinate (WGS84): N 43,98771°; E 11,09905°

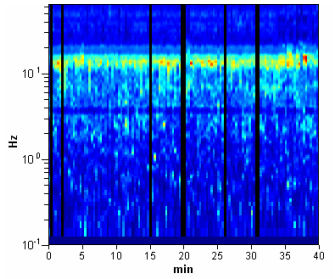
Strumento: TRZ-0101/01-10
Inizio registrazione: 13/11/12 15:51:33
Fine registrazione: 13/11/12 16:31:33

Durata registrazione: 0h40'00".
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 5% (*) e 10% (**)
Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)
Condizioni meteo: nuvoloso, pioggia leggera
Tipo di superficie: terreno naturale
Disturbi: alcuni transienti ed alcuni artefatti

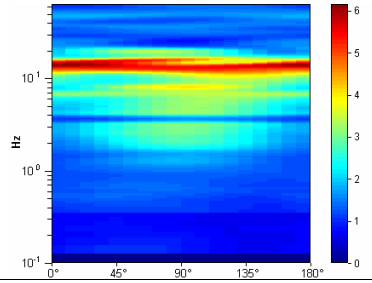
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE (**)



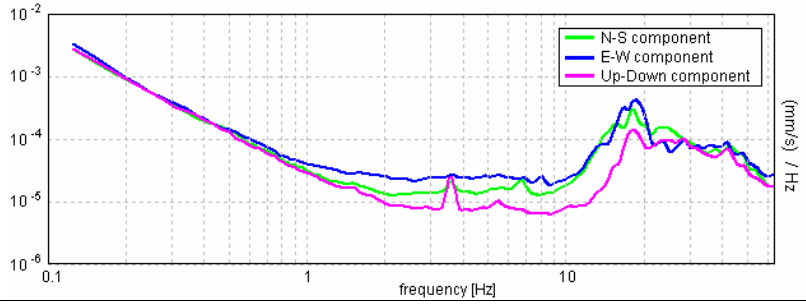
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI (*)



GEOPROVE S.a.S.
Il Socio Accomandatario
e Direttore Tecnico
Dr. Geol. Mario Barsanti
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

CRITERI SESAME (2004) (1)

Picco H/V a 13.44 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	13.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	30100.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 646	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.031 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	16.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.54 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.00145| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.01945 < 0.67188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4903 < 1.58	OK	

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

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

CLASSIFICAZIONE DELLA CURVA H/V (2) (3)

CLASSE	B
TIPO	1

La classificazione delle curve H/V prevede le seguenti tre classi di qualità:

Classe A (H/V affidabile, **può essere utilizzata anche da sola**)
1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura; 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo; 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse; 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale; 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati; 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.
Eccezione: nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati, la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è affidabile (H/V tipo 2, v. sotto).

Classe B (H/V da "interpretare": ***va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine***)
Almeno una delle 6 condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione sopra citata)
Classe C (H/V scadente e di difficile interpretazione: ***non va utilizzata***)

1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (*deriva*) indice di movimento dello strumento durante la misura; 2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:
Tipo 1: H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (*possibile risonanza*)
Tipo 2: H/V senza picchi "chiari" nell'intervallo di frequenze di interesse (ampiezza della curva circa uguali ad 1: *assenza di risonanza*)

NOTE

(1) - SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation*, WP12, deliverable no. D23.12
(2)- Albarello D., Cesi C., Eulilli V. *et alii* (2010): *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April, 2009 L'Aquila (Italy) earthquake*. Boll. Geofis.Teor. Appl., 52 (3).
(3) – Albarello D. & Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola.* Supplemento alla rivista *Ingegneria sismica* Anno XXVIII, n. 2-2011.

STUDIO DI GEOLOGIA
B A R S A N T I , S A N I & A S S O C I A T I
via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA – Partita IVA: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

COMUNE DI CANTAGALLO
PROVINCIA DI PRATO

RELAZIONE GEOLOGICA, RELAZIONE SISMICA
E
RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
DI SUPPORTO ALLA VERIFICA SISMICA DELLA SCUOLA PER L'INFANZIA
DI MIGLIANA

ALL. N° 5 - VERIFICHE CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONI

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA TOSCANA
DOTT. GEOL. PIERO BARSANTI N° 193

CALCOLO PORTANZA E CEDIMENTI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Norme tecniche per le Costruzioni 2008
Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.
Eurocodice 7
Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
Eurocodice 8
Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SU TERRENI

Il carico limite di una fondazione superficiale può essere definito con riferimento a quel valore massimo del carico per il quale in nessun punto del sottosuolo si raggiunge la condizione di rottura (metodo di Frolich), oppure con riferimento a quel valore del carico, maggiore del precedente, per il quale il fenomeno di rottura si è esteso ad un ampio volume del suolo (metodo di Prandtl e successivi).

Prandtl ha studiato il problema della rottura di un semispazio elastico per effetto di un carico applicato sulla sua superficie con riferimento all'acciaio, caratterizzando la resistenza a rottura con una legge del tipo:

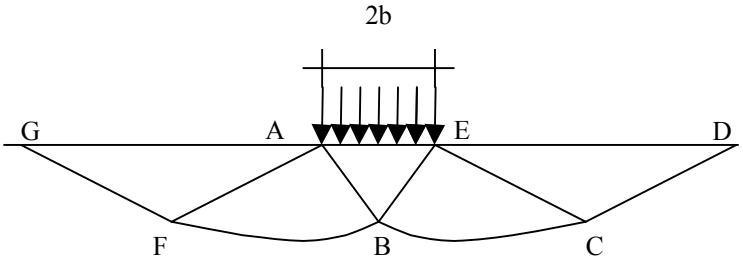
$$\tau = c + \sigma \times tg\ \varphi \quad \textit{valida anche per i terreni.}$$

Le ipotesi e le condizioni introdotte dal Prandtl sono le seguenti:

- Materiale privo di peso e quindi $\gamma=0$
- Comportamento rigido - plastico
- Resistenza a rottura del materiale esprimibile con la relazione $\tau=c + \sigma \times tg\varphi$
- Carico uniforme, verticale ed applicato su una striscia di lunghezza infinita e di larghezza 2b (stato di deformazione piana)
- Tensioni tangenziali nulle al contatto fra la striscia di carico e la superficie limite del semispazio.

All'atto della rottura si verifica la plasticizzazione del materiale racchiuso fra la superficie limite del semispazio e la superficie *GFBCD.*

Nel triangolo *AEB* la rottura avviene secondo due famiglie di segmenti rettilinei ed inclinati di $45°+\varphi/2$ rispetto all'orizzontale.
Nelle zone *ABF e EBC* la rottura si produce lungo due famiglie di linee, l'una costituita da segmenti rettilinei passanti rispettivamente per i punti *A* ed *E* e l'altra da archi di de famiglie di spirali logaritmiche.
I poli di queste sono i punti *A* ed *E*. Nei triangoli *AFG e ECD* la rottura avviene su segmenti inclinati di $\pm(45°+ \varphi/2)$ rispetto alla verticale.



Individuato così il volume di terreno portato a rottura dal carico limite, questo può essere calcolato scrivendo la condizione di equilibrio fra le forze agenti su qualsiasi volume di terreno delimitato in basso da una qualunque delle superfici di scorrimento.

Si arriva quindi ad una equazione q =B × c, dove il coefficiente B dipende soltanto dall'angolo di attrito φ del terreno.

$$B = \cot g\varphi\left[e^{\pi tg\varphi}\, tg^{2}(45° + \varphi/2) - 1\right]$$

Per φ =0 il coefficiente B risulta pari a 5.14, quindi q=5.14 × c.

Nell'altro caso particolare di terreno privo di coesione (c=0, γ≠0) risulta q=0, secondo la teoria di **Prandtl**, non sarebbe dunque possibile applicare nessun carico sulla superficie limite di un terreno incoerente.

Da questa teoria, anche se non applicabile praticamente, hanno preso le mosse tutte le ricerche ed i metodi di calcolo successivi.

Infatti ***Caquot*** si pose nelle stesse condizioni di Prandtl ad eccezione del fatto che la striscia di carico non è più applicata sulla superficie limite del semispazio, ma a una profondità h, con h ≤ 2b; il terreno compreso tra la superficie e la profondità h ha le seguenti caratteristiche*: γ≠0, φ=0, c=0*
e cioè sia un mezzo dotato di peso ma privo di resistenza.

Risolvendo le equazioni di equilibrio si arriva all'espressione:

$$q = A \times \gamma_1 + B \times c$$

che è sicuramente è un passo avanti rispetto a Prandtl, ma che ancora non rispecchia la realtà.

Metodo di Terzaghi (1955)
Terzaghi, proseguendo lo studio di Caquot, ha apportato alcune modifiche per tenere conto delle effettive caratteristiche dell'insieme opera di fondazione-terreno.

Sotto l'azione del carico trasmesso dalla fondazione il terreno che si trova a contatto con la fondazione stessa tende a sfuggire lateralmente, ma ne è impedito dalle resistenze tangenziali che si sviluppano fra la fondazione ed il terreno. Ciò comporta una modifica dello stato tensionale nel terreno posto direttamente al di sotto della fondazione; per tenerne conto ***Terzaghi*** assegna ai lati AB ed EB del cuneo di Prandtl una inclinazione ψ rispetto all'orizzontale, scegliendo il valore di ψ in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno al contatto terreno-opera di fondazione.
L'ipotesi γ_2 =0 per il terreno sotto la fondazione viene così superata ammettendo che le superfici di rottura restino inalterate, l'espressione del carico limite è quindi:

$$q = A \times \gamma \times h + B \times c + C \times \gamma \times b$$

in cui C è un coefficiente che risulta funzione dell'angolo di attrito φ del terreno posto al di sotto del piano di posa e dell'angolo φ prima definito;
b è la semilarghezza della striscia.
Inoltre, basandosi su dati sperimentali, *Terzaghi* passa dal problema piano al problema spaziale introducendo dei fattori di forma.

Un ulteriore contributo è stato apportato da *Terzaghi* sull'effettivo comportamento del terreno.
Nel metodo di Prandtl si ipotizza un comportamento del terreno rigido-plastico, *Terzaghi* invece ammette questo comportamento nei terreni molto compatti.
In essi, infatti, la curva carichi-cedimenti presenta un primo tratto rettilineo, seguito da un breve tratto curvilineo (comportamento elasto-plastico); la rottura è istantanea ed il valore del carico limite risulta chiaramente individuato (rottura generale).
In un terreno molto sciolto invece la relazione carichi-cedimenti presenta un tratto curvilineo accentuato fin dai carichi più bassi per effetto di una rottura progressiva del terreno (rottura locale); di conseguenza l'individuazione del carico limite non è così chiara ed evidente come nel caso dei terreni compatti.

Per i terreni molto sciolti, Terzaghi consiglia di prendere in considerazione il carico limite il valore che si calcola con la formula precedente introducendo però dei valori ridotti delle caratteristiche meccaniche del terreno e precisamente:

$$tg\varphi_{rid} = 2/3 \times tg\varphi \text{ e } c_{rid} = 2/3 \times c$$

Esplicitando i coefficienti della formula precedente, la formula di Terzaghi può essere scritta:

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c + \gamma \times D \times N_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma$$

dove:

$$N_q = \frac{a^2}{2\cos^2(45 + \varphi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \varphi/2)\tan\varphi}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan\varphi}{2}\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\varphi} - 1\right)$$

Formula Brich-Hansen (EC 7 – EC 8)

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Vd \leq Rd$$

Dove Vd è il carico di progettto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali , tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.
Nella valutazione analitica del carico limite di progetto Rd si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine.

Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$R/A' = (2 + \pi)\, c_u\, s_c\, i_c + q$$

Dove:

A' = B' L' area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata.

q pressione litostatica totale sul piano di posa.

s_c Fattore di forma

$s_c = 1 + 0{,}2\,(B'/L')$ per fondazioni rettangolari
$s_c = 1{,}2$ Per fondazioni quadrate o circolari.

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 0{,}5\left(1 + \sqrt{1 - H / A' c_u}\right)$$

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c'\, N_c\, s_c\, i_c + q'\, N_q\, s_q\, i_q + 0{,}5\, \gamma'\, B'\, N_\gamma\, s_\gamma\, i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2\left(45 + \phi'/2\right)$$
$$N_c = \left(N_q - 1\right)\cot \phi'$$
$$N_\gamma = 1.5\left(N_q - 1\right)\tan \phi'$$

Fattori di forma

$s_q = 1 + (B'/L')\,\mathrm{sen}\phi'$ per forma rettangolare

$s_q = 1 + \mathrm{sen}\phi'$ per forma quadrata o circolare

$s_\gamma = 1 - 0{,}3(B'/L')$ per forma rettangolare

$s_\gamma = 0{,}7$ per forma quadrata o circolare

$s_c = \left(s_q \cdot N_q - 1\right)/\left(N_q - 1\right)$ per forma rettangolare, quadrata o circolare.

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a L'

$i_q = i$ ▪ $= 1 - H / (V + A' c' \cot$ ▪ $')$

$i_c = (i_q N_q - 1) / (N_q - 1)$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left[1 - 0{,}7H/\left(V + A'\cdot c'\cdot \cot\phi'\right)\right]^3$$
$$i_\gamma = \left[1 - H/\left(V + A'\cdot c'\cdot \cot\phi'\right)\right]^3$$
$$i_c = \left(i_q \cdot N_q - 1\right)/\left(N_q - 1\right)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

FATTORI CORRETTIVI SISMICI: PAOLUCCI E PECKER
Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del q_{lim} vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{tg\phi}\right)^{0,35}$$
$$z_c = 1 - 0{,}32 \cdot k_h$$
$$z_\gamma = z_q$$

Dove Kh è il coefficiente sismico orizzontale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti Kh e Kv in dipendenza di vari fattori:

$$Kh = \beta\times(a_{max}/g)$$

$$Kv=\pm 0{,}5\times Kh$$

β = coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;
a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g = accelerazione di gravità;

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S\, S_T\, a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq Ss \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendi.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1 ($S_T = 1.0$) T2 ($S_T = 1.20$) T3($S_T = 1.20$) T4($S_T = 1.40$).

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R=-V_R/\ln(1-PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$Kh = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

a_{gR} : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,
γ_I: fattore di importanza,
S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale Kv è definito in funzione di Kh, e vale:

$$Kv = \pm 0.5 \cdot Kh$$

DATI GENERALI

==========

Azione sismica	NTC 2008
Larghezza fondazione	1,0 m
Lunghezza fondazione	10,0 m
Profondità piano di posa	1,0 m
Altezza di incastro	1,0 m
Profondità falda	1,0

==========

SISMA

==========

Accelerazione massima (ag/g)	0,305
Effetto sismico secondo	Paolucci e Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0,0854

==========

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,69	2,46	0,26
S.L.D.	75,0	0,87	2,43	0,27
S.L.V.	712,0	2,08	2,41	0,29
S.L.C.	1462,0	2,63	2,41	0,3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	1,104	0,2	0,0225	0,0113
S.L.D.	1,392	0,2	0,0284	0,0142
S.L.V.	2,9904	0,28	0,0854	0,0427
S.L.C.	3,3901	0,28	0,0968	0,0484

STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams:Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [Kg/m³]	Gams [Kg/m³]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [Kg/cm²]	c Corr. [Kg/cm²]	cu [Kg/cm²]	Ey [Kg/cm²]	Ed [Kg/cm²]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
6,0	1950,0	2000,0	30,0	30	0,05	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,0	2200,0	2250,0	28,0	28	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6,0	2500,0	2550,0	45,0	45	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	Sisma	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef.Rid.Capacità portante orizzontale
1	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1

CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...Sisma
Autore: Brinch - Hansen 1970

Carico limite [Qult]	7,44 Kg/cm²
Resistenza di progetto[Rd]	3,24 Kg/cm²
Tensione [Ed]	1,83 Kg/cm²
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	4,08
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata

Sisma

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)
==========

Fattore [Nq]	18,4
Fattore [Nc]	30,14
Fattore [Ng]	15,07
Fattore forma [Sc]	1,05
Fattore profondità [Dc]	1,4
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,05
Fattore profondità [Dq]	1,29
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	0,97
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0,95
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0,95
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0,97

==========

Carico limite	7,44 Kg/cm²
Resistenza di progetto	3,24 Kg/cm²

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

==========

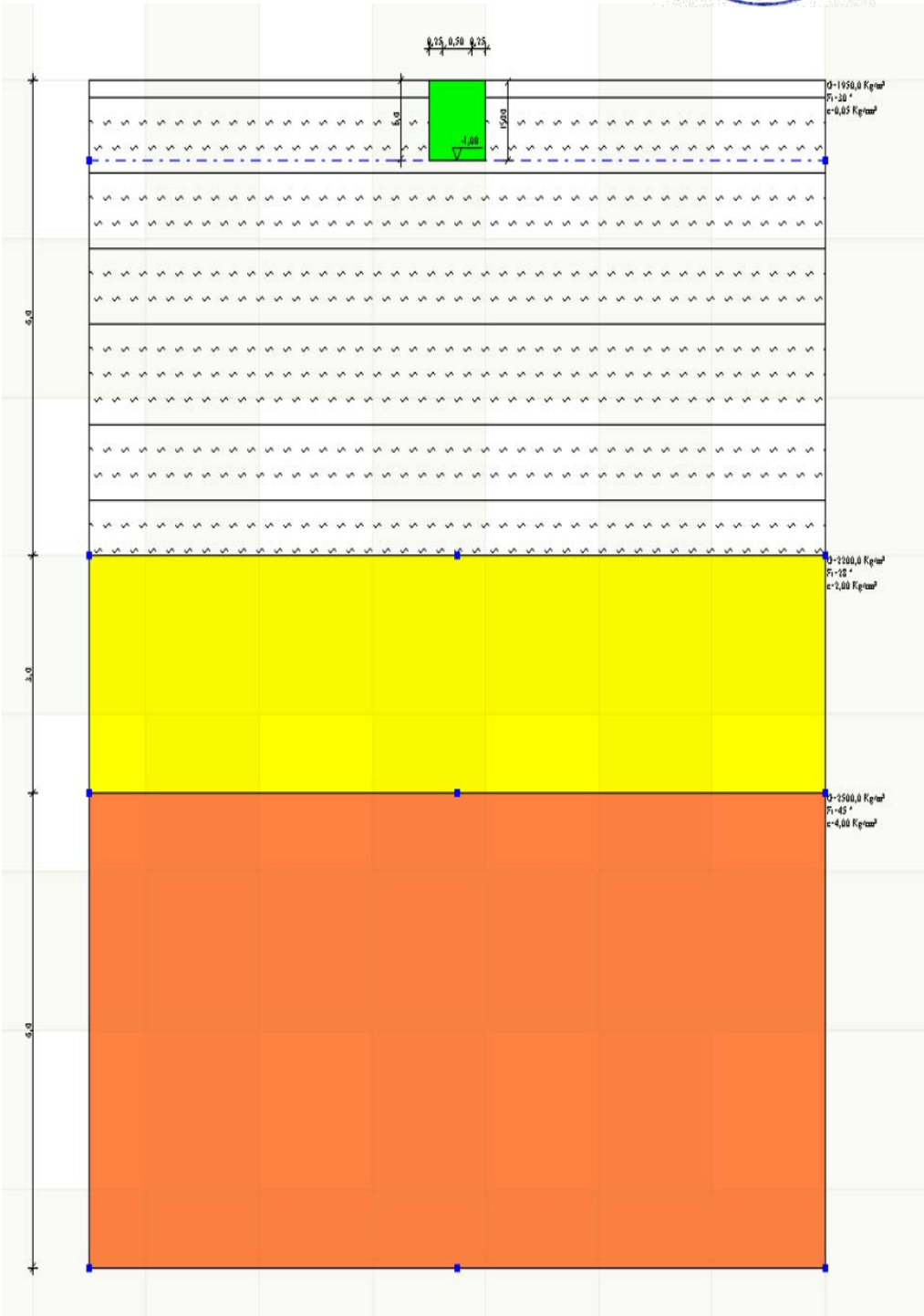
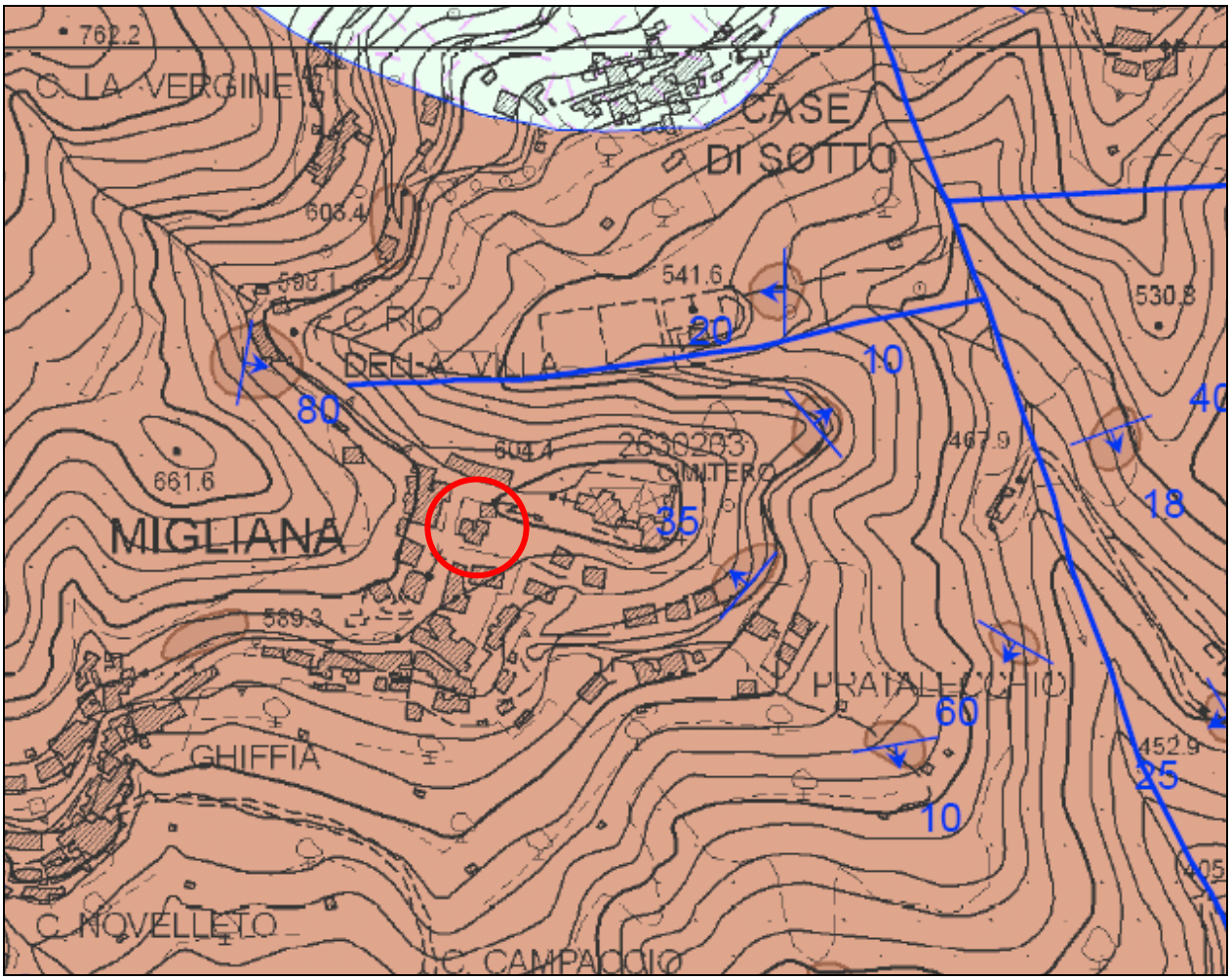


Fig. 1 – Carta geologica – Scala 1: 5.000



b2a — Depositi eluvio-colluviali

FAL2 — ARENARIE DI M. FALTERONA
Membro arenaceo pelitico
Miocene inf.

Contatto stratigrafico

Faglia

Stratificazione a polarità sconosciuta

Area oggetto di indagine

Fig. 2 - Planimetria - Scala 1:500

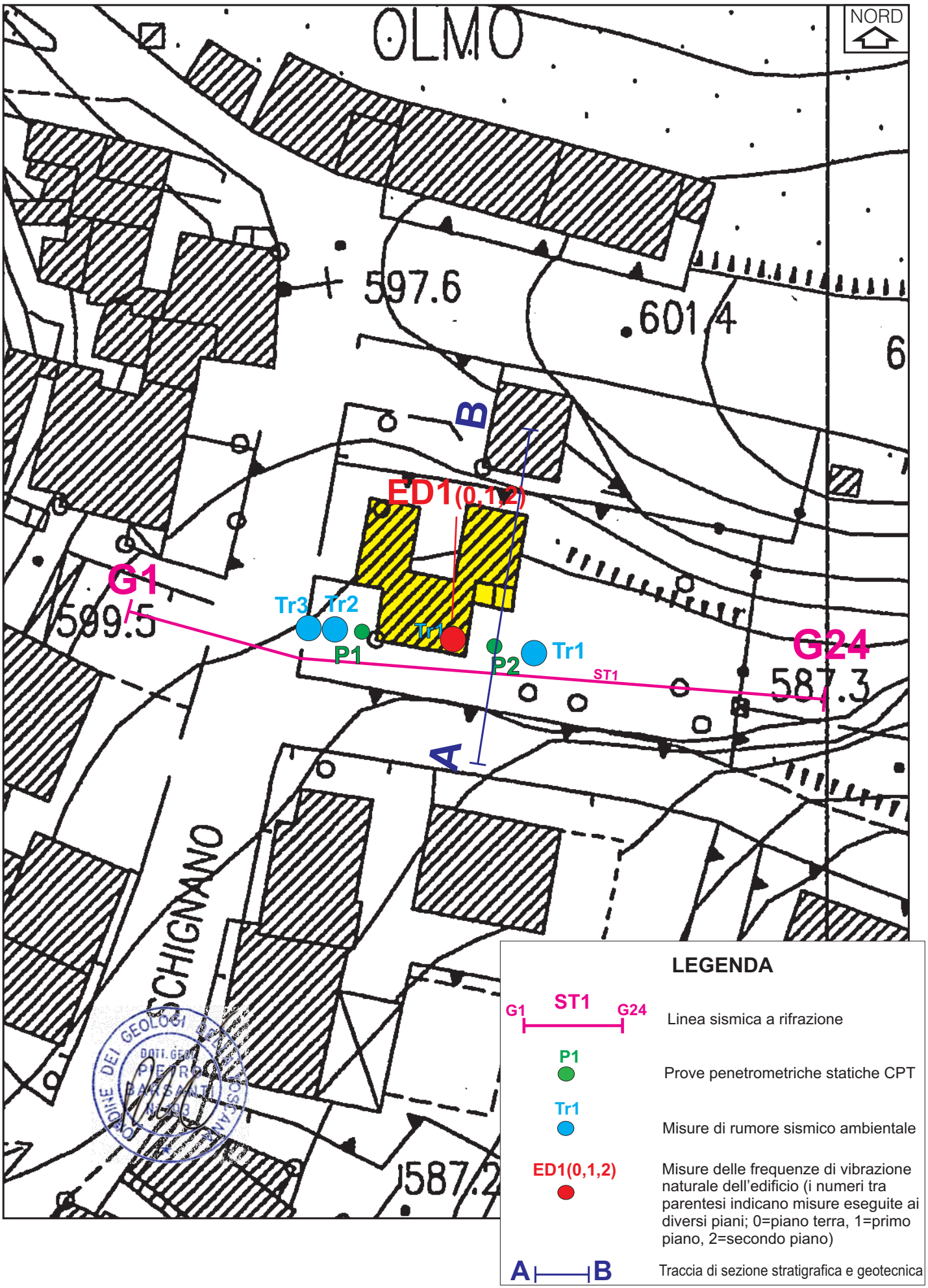


Fig. 3 - Sezione stratigrafica e geotecnica - Scala 1:100

P2 Prova penetrometrica statica

Vs= 280 m/sec Velocità sismica onde SH in metri al secondo

A Copertura detritica argilloso-limosa e sabbiosa, compatta

B Substrato arenaceo fratturato ed alterato

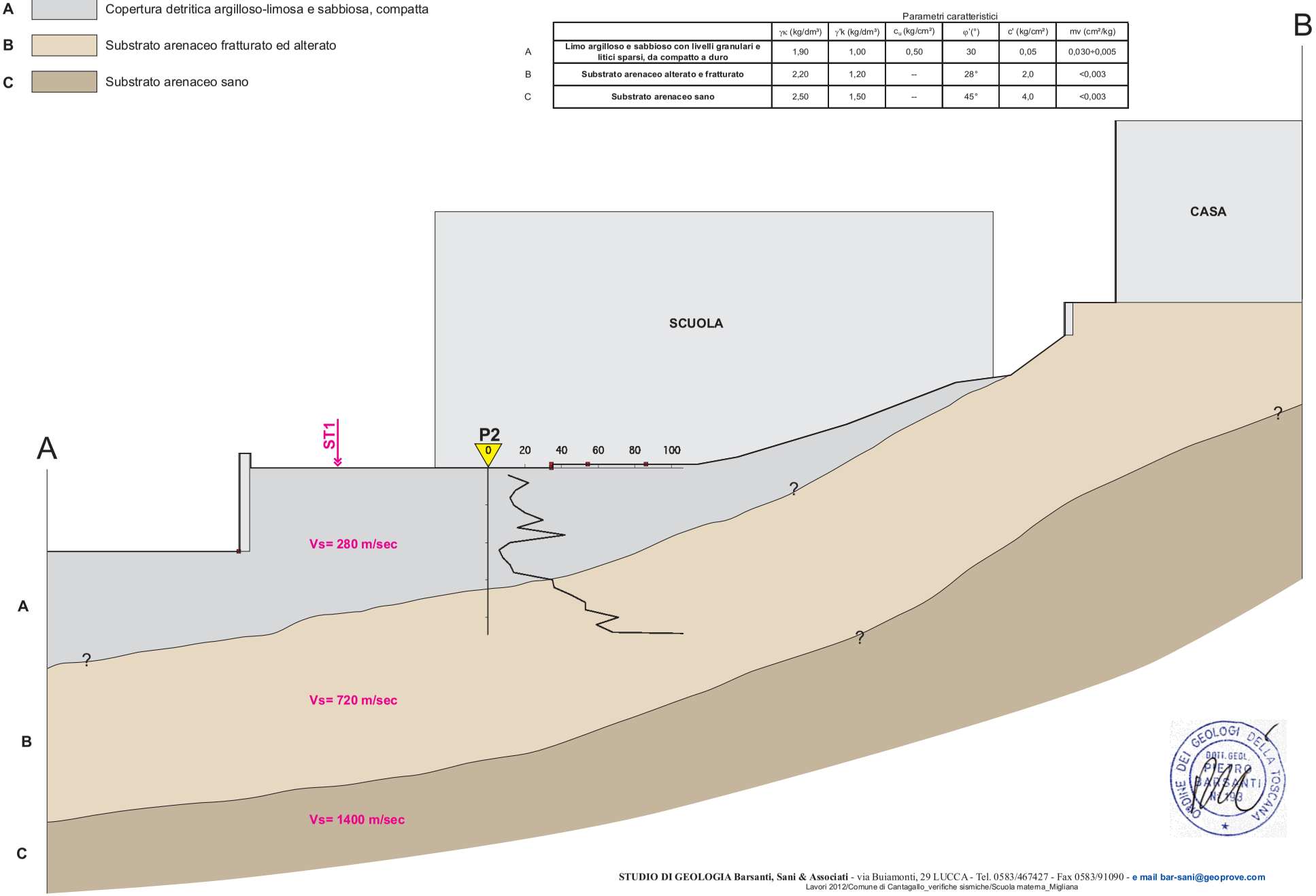
C Substrato arenaceo sano

Campo di variabilità dei parametri geotecnici

		γ (kg/dm³)	γ' (kg/dm³)	c_u (kg/cm²)	φ'(°)	c' (kg/cm²)	mv (cm²/kg)
A	**Limo argilloso e sabbioso con livelli granulari e litici sparsi, da compatto a duro**	1,9÷2,0	1,0÷1,1	0,4÷>3	25°÷35°	0,05÷1,0	0,030÷0,005
B	**Substrato arenaceo alterato e fratturato**	2,2÷2,3	1,2÷1,3	--	25°÷30°	2,0÷3,0	<0,003
C	**Substrato arenaceo sano**	2,4÷2,5	1,4÷1,5	--	>45°	>4,0	<0,003

Parametri caratteristici

		γK (kg/dm³)	γ'k (kg/dm³)	c_u (kg/cm²)	φ'(°)	c' (kg/cm²)	mv (cm²/kg)
A	**Limo argilloso e sabbioso con livelli granulari e litici sparsi, da compatto a duro**	1,90	1,00	0,50	30	0,05	0,030÷0,005
B	**Substrato arenaceo alterato e fratturato**	2,20	1,20	--	28°	2,0	<0,003
C	**Substrato arenaceo sano**	2,50	1,50	--	45°	4,0	<0,003



STUDIO DI GEOLOGIA Barsanti, Sani & Associati - via Buiamonti, 29 LUCCA - Tel. 0583/467427 - Fax 0583/91090 - e mail bar-sani@geoprove.com