

A.P.E.S. s.c.p.a.

AZIENDA PISANA EDILIZIA SOCIALE

via E. Fermi n. 4 - 56126 PISA

AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2000

**PROGETTO DEFINITIVO
PER LA REALIZZAZIONE DI N°18 ALLOGGI
DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA
DISPOSTI SU DUE BLOCCHI IN LINEA
VIA PIETRASANTINA - PISA**

**RELAZIONE DESCRITTIVA
DELLE INDAGINI
GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE**

Geol. Massimiliano Perini

RESPONSABILE PROCEDIMENTO:
dott. G. Federici

PROGETTISTA ARCHITETTONICO:
Ing. C. Cristiani

PROGETTISTA STRUTTURALE:
Ing. S. Carani



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI N°18 ALLOGGI DI ERP
DISPOSTI SU DUE BLOCCHI IN LINEA
VIA PIETRASANTINA - LOCALITÀ CAPOLUOGO
COMUNE DI PISA**

Relazione illustrativa
delle indagini geognostiche e geofisiche

COMMITTENTE: **A.P.E.S. s.c.p.a.**

PREMESSA

Sulla base delle caratteristiche sedimentologiche dei depositi presenti nell'area d'intervento, della tipologia d'opera prevista e dei dati disponibili è stata programmata una campagna d'indagini geognostiche mirata ad accertare la costituzione del sottosuolo e consentire la valutazione delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni di fondazione.

Prima dell'accesso all'area da parte dei mezzi e del personale incaricato per le indagini è stata eseguita una preventiva analisi geofisica magnetometrica mirata alla localizzazione di possibili infrastrutture sotterranee e, in particolare, di residuati bellici (*Debombing*) in corrispondenza dei punti in cui è prevista l'esecuzione delle prove in sito. I risultati di tale indagine sono integralmente allegati al presente documento.

La campagna d'indagini, direttamente progettata e supervisionata dallo scrivente, ha consistito nell'esecuzione di 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono. I risultati delle indagini indirette sono stati quindi integrati e tarati con un sondaggio meccanico a carotaggio continuo in corrispondenza del quale è stata effettuata una prova CPT e prelevato un campione su cui successivamente sono state effettuate prove di laboratorio.

Le indagini geognostiche sono state integrate da specifiche prospezioni geofisiche. In particolare nel foro di sondaggio, opportunamente attrezzato, è stata eseguita una prova sismica in foro (DownHole), mentre in superficie sono state eseguite registrazioni HVSR volte a completare le informazioni sismiche del sito.

Tutti i punti di ricerca/analisi sono stati tracciati in campagna e georeferenziati in Gauss-Boaga mediante specifico rilievo topografico eseguito con antenna GNSS con sistema di rilevazione RTK.

Di seguito viene descritta la metodologia d'indagine e le apparecchiature utilizzate per la caratterizzazione geotecnica e geofisica dei terreni, in allegato sono riportati i diversi certificati prodotti.

Le indagini sono state eseguite in conformità ai disposti di cui all'artt. 6 e 7 del DPGR 36R/2009. La strumentazione utilizzata e le metodiche di esecuzione sono individuate secondo le istruzioni tecniche del Programma VEL, di cui alla LR56/97.



1 – PIEZOCONO (CPTU)

Le prove con piezocono sono state eseguite in data 27.06.2012 con penetrometro su ruote motrici modello “Pagani TG 73 200 KN” equipaggiato con punta elettrica e sensore di rilevamento della pressione dell’acqua nei pori del terreno (u_2) posto tra il cono ed il manicotto.

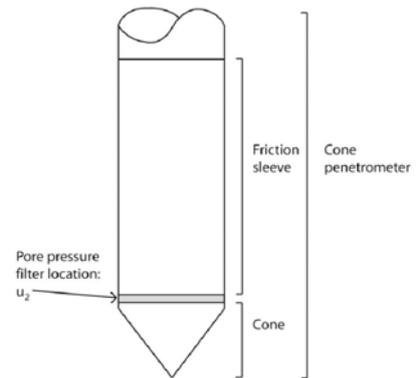


Fig 1 Schema della punta del piezocono.

Fig 2 Particolare della centralina di acquisizione del Penetrometro utilizzato.

Le principali caratteristiche strumentali sono riferite alla punta meccanica:

diametro (mm)	Angolo apertura (°)	Area punta (cm ²)	Area totale (cm ²)	Area manicotti (cm ²)	Velocità avanzamento (cm/sec)
35.7	60	10	20	150	2

Tab. 1 Caratteristiche del Penetrometro statico TG73 200KN Pagani

Per alleggerire l’attrito sulla batteria di aste alla prima asta, sopra la punta, è stato applicato un “anello allargatore” costituito da un cordolo di saldatura maggiorata.

Lo strumento, tarato e verificato secondo gli Standard ASTM (D3441-79, 1986) e IMSSGE (Commissione dell’Associazione Geotecnica Internazionale), consente di visualizzare i valori di seguito indicati con frequenza di acquisizione di 1 cm.

Per mezzo di sensori elettrici alloggiati nella punta vengono trasmesse ad una centralina di acquisizione ed elaborazione automatica (pc con apposito software) informazioni relative alle modalità esecutive in corso quali:

- profondità del cono rispetto allo zero iniziale,
- velocità di penetrazione del cono,
- inclinazione del cono rispetto alla verticale,



e alle caratteristiche del sottosuolo, come

- alla resistenza alla punta (q_c , ovvero la forza assiale agente sulla punta conica divisa l'area totale della base del cono (A_c);
- attrito laterale locale unitario (f_s , ovvero la forza di attrito agente sul manicotto, diviso l'area laterale del manicotto);
- pressione dei pori dovuta alla penetrazione della punta (u).

Attraverso il software di acquisizione sono altresì acquisiti in tempo reale i seguenti valori derivati di:

- Δu pressione generata nei pori, ovvero la differenza tra la pressione nei pori (u_2) in penetrazione e la pressione esistente nel terreno (u_0);
- q_t , ovvero la q_c corretta dell'effetto della pressione nei pori;
- B_q ovvero il rapporto della pressione nei pori.

2 – SONDAGGIO GEOGNOSTICO

L'esecuzione di n°1 sondaggi geognostici a carotaggio continuo è stata effettuata utilizzando una sonda mobile cingolata modello MASSENZA M16 nei giorni 28 e 29 giugno del 2012. Il sondaggio ha raggiunto la profondità di 33 m dal pdc mentre il fondo foro è a ca. -33 m s.l.m.



Fig 3 La sonda Massenza durante l'esecuzione del sondaggio S1.



Fig 4 Particolare della fase di posizionamento del tubo cieco per l'esecuzione della prova sismica in foro..

La sonda, dotata di aste di perforazione in acciaio di lunghezza 1500÷3000 mm e diametro $\varnothing = 101$ mm, ha consentito la realizzazione di un sondaggio a rotazione, con carotaggio continuo e recupero del materiale di perforazione ottenuto mediante utensile di perforazione costituito da tubo carotiere semplice.

La perforazione è stata eseguita a secco e accompagnata dalla collocazione di rivestimenti metallici ($\varnothing = 127$ mm) per la stabilizzazione del foro fino alla profondità di 21 m dal pdc. Oltre tale profondità il sondaggio è proseguito a distruzione per ulteriori 12 m.

Il materiale carotato è stato raccolto in cassette catalogatrici, fotografato (vedasi documentazione fotografica) e accantonato in deposito per successivi controlli.



Nel corso della perforazione è stata eseguita una prova SPT (vedasi paragrafo successivo) e, sulla base delle risorse disponibili, sono stati prelevati n°1 campioni indisturbati in corrispondenza dell'orizzonte maggiormente rappresentativo, ovvero quello rappresentante del piano d'appoggio fondazionale. Il prelievo è stato eseguito con l'impiego di un campionatore a pareti sottili (Shelby) infisso nel terreno con la pressione esercitata da un pistone idraulico. La fustella in acciaio contenente il campione è stata sigillata, siglata e inviata in laboratorio per le analisi previste.

3 - PROVE PENETROMETRICHE STANDARD

Alla quota di -9.5 m dal p.d.c. è stata eseguita una prova SPT utilizzando attrezzatura a norma (EN ISO 22476-3: 2002):

diametro foro	= 101 mm
maglio a foro centrale "donut" a rilascio automatico	
massa battente	= 63.5 Kg
altezza di caduta	= 760 mm
campionatore "split barrel sampler"	
lunghezza	= 623 mm
diametro esterno	= 51 mm
diametro interno	= 36 mm

La prova consiste nel far penetrare il campionatore per un tratto iniziale di 15 cm "seating drive" per mezzo del dispositivo standard, annotando il numero di colpi necessario N1.

Successivamente il campionatore viene fatto penetrare con le stesse modalità esecutive per il tratto della prova vero e proprio "test drive", con due incrementi successivi, ciascuno da 15 cm, e misurando il numero di colpi necessario a ciascun incremento (N2 e N3).

La resistenza alla penetrazione del terreno è data da $N_{SPT} = N2 + N3 = 1+1=2$.

La normalizzazione del risultato della prova SPT è stata effettuata con riferimento al valore corretto N'_{70} secondo la relazione che tiene di conto del fattore di correzione di sovraccarico C_N e del fattore di correzione per il rapporto di energia E_r , calcolato secondo la formula di Liao e Whitman (1986):

$$N'_{70} = C_N \times E_r \times N_{SPT} = 3$$

Il terreno estratto dal campionatore è risultato essere fine (limi argillosi) e compatto.

4 - ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

In data 04/07/12 il campione di terreno prelevato con il sondaggio è stato consegnato al laboratorio certificato dove sono state condotte, secondo Standards di riferimento ASTM e CNR-UNI, analisi mirate ad affinare e completare le informazioni relative alle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni rilevate durante le indagini in sito. Il punto di prelievo è stato stabilito sulla base della caratterizzazione preliminare effettuata con le prove penetrometriche e delle caratteristiche del sistema fondazionale.



4.1 Parametri fisici

Le prove hanno consentito la determinazione del peso di volume naturale del terreno e del contenuto d'acqua allo stato naturale del campione secondo le raccomandazioni AGI e la norma ASTM D2216-92.

4.2 Analisi Granulometriche

Per consentire il riscontro oggettivo dell'interpretazione delle prove penetrometriche e delle osservazioni di campagna effettuate sulle carote, e di conseguenza la possibilità di definire la rappresentatività o meno dei campioni di terreno prelevati di terreni a grana grossa e/o fine, sono state condotte analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione, seguendo le raccomandazioni AGI con norma ASTM D1140-97 e ASTM D422-90.

4.3 Prova di Taglio Consolidata Drenata

Al fine di determinare la tendenza del terreno ad opporsi alle deformazioni è stata eseguita una prova di taglio Consolidato Drenato (CD) o prova di Casagrande, secondo la norma ASTM 3080-90.

La prova consiste nel sottoporre i provini di campione, in condizioni di carico verticale tra loro diverse e costanti (0.5-1.0-2.0 kg/cm²), al taglio. Ciò in condizioni di velocità costante e, nel caso di terreni a grana fine, sufficientemente ridotta (0.0042 mm/min) così da garantire la corretta dissipazione della sovrappressione nei pori (pressione neutra). Nel corso della prova vengono monitorati i valori di deformazione del provino nell'intervallo di tempo.

Tramite la prova di Casagrande vengono rilevati i valori della resistenza al taglio a rottura (τ) in termini di sforzi efficaci (σ), ovvero in funzione della pressione normale a cui il campione è sottoposto durante la prova (o carico assiale). Tali valori, rappresentati sul diagramma "*carichi assiali - sforzo a rottura*", individuano la retta di Coulomb, inviluppo dei cerchi di Mohr, da cui si ricavano i parametri di resistenza efficaci del sottosuolo: il termine noto corrisponde alla coesione (c) e il coefficiente angolare corrisponde all'angolo di attrito interno (ϕ) in condizioni drenate.

4.4 Prova Edometrica

Il campione, rappresentativo della zona interessata dall'eventuale applicazione di carichi, è stato sottoposto a prova edometrica per mezzo della quale è possibile misurare i parametri di compressibilità.

La prova viene eseguita a gradini di carico costante (ASTM2435-90 e 4186-82) in due fasi: carico e scarico. Per la prima sono stati utilizzati incrementi di pressione (gradini con tempo di permanenza di 24 ore) pari a 0.12 – 0.25 – 0.5 – 1.0 – 2.0 – 4.0 – 8.0 – 16.0 Kg/cm²; per la fase di scarico sono stati utilizzati i gradini 4 – 1 – 0.25 Kg/cm². Durante ciascuna fase di carico sono misurati per ogni gradino i rispettivi valori del coefficiente di compressibilità volumetrico (mv) e l'entità del cedimento.

Viene inoltre determinato il coefficiente di consolidazione primaria (cv), e quindi il valore della permeabilità verticale del terreno (K), dal quale dipende la maggiore o minore velocità di cedimento dello stesso.



Nella tabella seguente è riportata la sintesi dei risultati delle prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati nel corso dell'indagine. In allegato sono riportati i certificati di prova.

			Norma rif.		
PARAMETRI FISICI		Campioni indisturbati		S1C1	
		Profondità (m)		3.0-3.5	
		Tipologia Campione	AGI 77	Q4÷Q5	
		Descrizione	AGI 77	Limo con argilla	
		Peso di volume naturale - γ_n (g/cm ³)	ASTM D2216	1.93	
		Contenuto d'acqua - W (%)	ASTM D2216	32.8	
		Peso di volume grani - γ_s (g/cm ³)		2.74	
		Indice dei vuoti - e		0.890	
		Porosità - n		0.471	
		Peso di volume secco - γ_{dry} (g/cm ³)		1.45	
		Analisi granulometrica	Ghiaia (%)	ASTM D421-422	0
			Sabbia (%)		1
			Limo (%)		43
			Argilla (%)		56
PARAMETRI MECCANICI	Prova edometrica	Coefficiente di consolidazione (Cv) - cm ² /sec	ASTM D2435 - 0.25 Kg/cm ²	3.57x10 ⁻⁴	
		Coefficiente di compr. volum. (mv) - cm ² /Kg		6.2 x 10 ⁻⁶	
		Modulo di compressibilità (E') - cm ² /Kg		15.4	
		Coefficiente di permeabilità Kv - cm/sec		2.4x10 ⁻¹⁰	
		Coefficiente di consolidazione (Cv) - cm ² /sec	ASTM D2435 - 0.5 Kg/cm ²	6.48x10 ⁻⁴	
		Coefficiente di compr. volum. (mv) - cm ² /Kg		6.3 x 10 ⁻⁶	
		Modulo di compressibilità (E') - cm ² /Kg		16.5	
		Coefficiente di permeabilità Kv - cm/sec		4.0x10 ⁻¹⁰	
		Coefficiente di consolidazione (Cv) - cm ² /sec	ASTM D2435 - 0.5 Kg/cm ²	7.56x10 ⁻⁴	
		Coefficiente di compr. volum. (mv) - cm ² /Kg		4.6 x 10 ⁻⁶	
		Modulo di compressibilità (E') - cm ² /Kg		22.5	
		Coefficiente di permeabilità Kv - cm/sec		3.47x10 ⁻¹⁰	
		Prova di taglio C.D.	Angolo d'attrito - ϕ' (°)	ASTM 3080-90	0.01
			Coesione - C' (kg/cm ²)		23

Tabella 3 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di laboratorio.



5 - PROSPEZIONE SISMICA DOWN-HOLE (DH)

La prova sismica in foro è stata eseguita in data 06/07/12 con metodo *Down-hole* secondo le modalità previste dalle istruzioni tecniche per l'esecuzione delle indagini del progetto VEL.

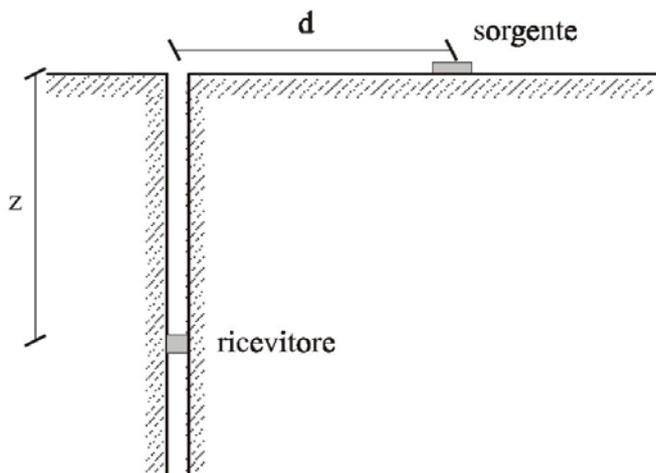


Fig 5 Schema della prova DH.

L'esecuzione della prova DH avviene all'interno del foro di sondaggio previa collocazione di apposito rivestimento (centrato e verticalizzato) e attenta cementazione dell'intercapedine tra foro e tubazione. La prova consiste nel generare sulla superficie del terreno, mediante sorgente meccanica e a distanza nota, una serie di sollecitazioni in grado di generare sia onde di compressione (longitudinali o prime) che onde di taglio (trasversali o seconde). Quindi, attraverso un ricevitore formato da 5 geofoni (3 disposti ortogonali e 2 ruotati di 45°), e posto a profondità via via crescenti avviene la registrazione del segnale

L'analisi dei tempi di arrivo dei treni d'onda che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale (con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione - onde P), e in direzione perpendicolare a quella di propagazione (polarizzate su un piano orizzontale - onde SH), consente di ricavare le principali caratteristiche elasto-meccaniche dei terreni costituenti il sottosuolo.



Fig 6 Particolare della strumentazione DH.



Fig 7 Fase esecutiva

L'impiego della metodologia DH è conforme con le evidenze dei dati stratigrafici disponibili da cui risulta che il sottosuolo può essere considerato stratificato orizzontalmente, con strati elastici, omogenei ed isotropi.

Per i dettagli sulle modalità esecutive della prova si rimanda alla specifica Relazione Sismica allegata.



6 – MISURA DEL RUMORE CON STAZIONE SINGOLA (HVSR)

La tecnica *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* si basa sul calcolo dei rapporti spettrali (H/V) tra la componente verticale e quella orizzontale del segnale (rumore) registrato. Tali rapporti presentano un comportamento differente a seconda del sito considerato evidenziando, nei contesti sismostratigrafici più semplici, un picco di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale del sito e l'eventuale localizzazione di contrasti d'impedenza sismici significativi.

La metodologia HVSR si basa sulla registrazione delle vibrazioni ambientali a basse frequenze da condursi in corrispondenza della superficie della zona in esame (nel nostro caso la misurazione è stata eseguita in prossimità della verticale DH).

La prova è stata eseguita in data 05/07/12, e anche in questo caso per i dettagli si rimanda alla specifica Relazione Sismica allegata.

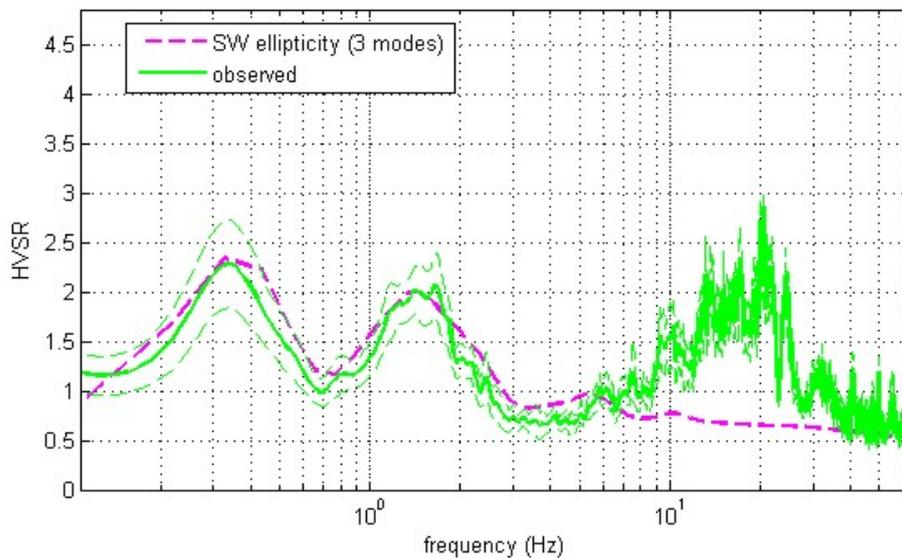


Fig. 8 – Confronto tra il modello H/V registrato e quello ricostruito.

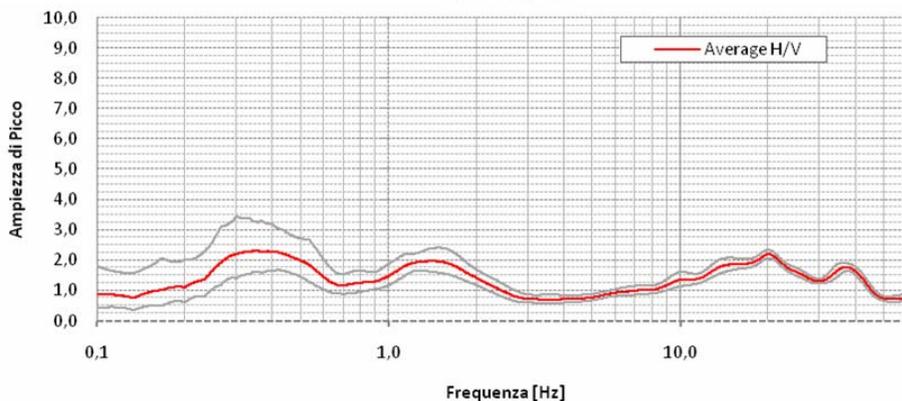


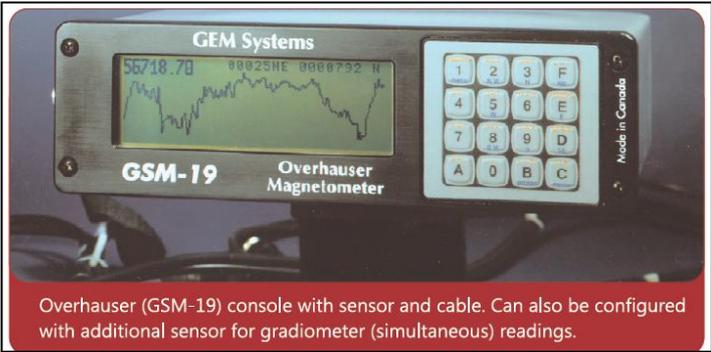
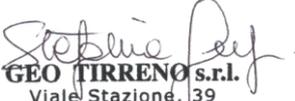
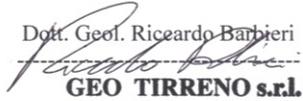
Fig. 9 – Rapporto spettrale H/V per il sito d'intervento.

Cascina, luglio 2012

Geol. Massimiliano Perini

Allegato 1

Report *Debombing*

Progetto:					
INDAGINI MAGNETOMETRICHE NEL SITO DI VIA PIETRASANTINA					
Titolo documento:					
RELAZIONE TECNICA SULLE INDAGINI					
Cliente:				Inoltro al cliente:	
RICHIEDENTE: DOTT. GEOL. M. PERINI				CHIUSURA COMMESSA [] PER INFORMAZIONE [] NON RICHIESTO []	
Località:		Comune:		Provincia:	
Responsabile indagini Dott. Paolo Cazzani		 <p>Overhauser (GSM-19) console with sensor and cable. Can also be configured with additional sensor for gradiometer (simultaneous) readings.</p>			
Elaborazione Dott. Paolo Cazzani					
Redazione documento Dott. Stefania Ghelfi					
 GEO TIRRENO s.r.l. Viale Stazione, 39 54100 MASSA C.F. e P. IVA 00713690451					
Revisione Dott. Luigi Allacorta					
Approvazione Dott. Riccardo Barbieri		Descrizione delle revisioni: 00 Prima emissione - bozza 01 Versione finale per approvazione 02 Versione definitiva			
 GEO TIRRENO s.r.l. Viale Stazione, 39 54100 MASSA C.F. e P. IVA 00713690451					
Prima emissione:	00	30 maggio 2012	Pagine:	Denominazione file:	Elaborato:
Revisione	02	31 maggio 2012	11	Rel Tec Perini.doc	A

SOMMARIO

ATTREZZATURE, SPECIFICHE TECNICHE E NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
Indagini Magnetometriche	3
Strumentazione e specifiche tecniche	3
Principi delle Indagini Magnetometriche	4
Schema della prova	4
Software di elaborazione e Mappe	5
UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	5

File: Rel Tec Perini.docx	Codifica: Rel. Tec.	Sistema Gestione Qualità Rev. 1 del 02/2008	Pag. 3 di 11
Sez. 7.5: "Produzione ed Erogazione Servizi" PROVE IN SITO - INDAGINI MAGNETOMETRICHE			

LA Ditta **GeoTirreno S.r.l.** è stata incaricata dalla società Apes su indicazione del **Dott. Geol. M. Perini** di eseguire una campagna di indagini magnetometriche in sito finalizzate all'individuazione di corpi metallici sepolti ubicate in Via Pietrasantina in Località **Pisa**, nel Comune di **Pisa (PI)**.

Questo documento costituisce la relazione tecnica redatta a chiusura della commessa e riporta la descrizione delle attività svolte in cantiere, le specifiche tecniche delle attrezzature impiegate, i dati di campagna ed i risultati delle prove eseguite in sito. Le attività di cantiere si sono svolte in conformità alle specifiche tecniche pervenute dalla direzione dei lavori.

ATTREZZATURE, SPECIFICHE TECNICHE E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Indagini Magnetometriche

Strumentazione e specifiche tecniche

L'apparecchiatura d'indagine utilizzata da GeoTirreno S.r.l. per le indagini magnetometriche è il dispositivo GEM System GSM 19 ad effetto Overhauser; magnetometro più evoluto del classico sistema a precessione di protoni.

Sotto sono riportati in dettaglio i parametri del magnetometro GSM 19:

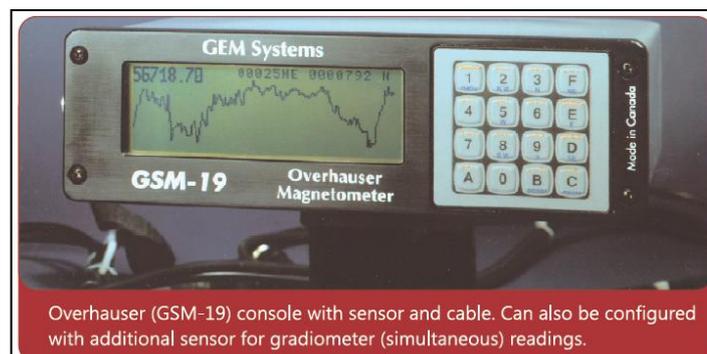


Fig. 1 Magnetometro GEM – GSM 19.

Sensibilità: < 0.015 nT / VHz

Risoluzione: 0.01 nT

Accuratezza assoluta: +/- 0.1 nT

Range operativo: 10,000 - 120,000 nT

Tolleranza al gradiente: > 10,000 nT/m

Campionamenti possibili: 60+, 5, 3, 2, 1, 0.5, 0.2 sec

Temperatura operativa: -40C +55C

Per il rilievo si è utilizzata la configurazione gradiometrica che prevede la contemporanea acquisizione del modulo del campo magnetico terrestre su due sensori spazialmente separati. E' possibile disporre i sensori ad una certa distanza verticale (gradiente verticale del campo magnetico terrestre) oppure orizzontale (configurazione scelta per il rilievo).

L'acquisizione del gradiente comporta notevoli vantaggi in quanto vengono filtrati tutti quei campi magnetici che agiscono nello stesso modo sui due sensori; si eliminano quindi i segnali prodotti da sorgenti antropiche, le veloci variazioni temporali di origine ionosferica, i campi di natura geologica a carattere regionale. Inoltre il gradiente del campo magnetico terrestre favorisce l'individuazione dei corpi ubicate nel sottosuolo oggetto di indagine in quanto i massimi delle anomalie di gradiente corrispondono ai bordi delle sorgenti. Ovviamente il segnale di gradiente di campo di una sorgente decade molto più rapidamente con la distanza rispetto al campo totale, per cui si rinuncia ad una certa profondità di indagine.

File: Rel Tec Perini.docx	Codifica: Rel. Tec.	Sistema Gestione Qualità Rev. 1 del 02/2008	Pag. 4 di 11
Sez. 7.5: "Produzione ed Erogazione Servizi" PROVE IN SITO - INDAGINI MAGNETOMETRICHE			

Principi delle Indagini Magnetometriche

Il metodo magnetometrico rappresenta uno strumento dalle grandi potenzialità nell'ambito delle indagini geofisiche finalizzate all'individuazione di strutture antropiche a rilevanza archeologica. Il metodo si basa sul fatto che, a causa della presenza del Campo Magnetico Terrestre (CMT) di origine nucleare, molte sostanze possiedono un'apprezzabile magnetizzazione per il contenuto di minerali sensibili a tale campo (caratterizzati quindi da un'alta "susceptività magnetica"). L'acquisizione di una magnetizzazione è dovuta principalmente al fenomeno dell'Induzione Magnetica: una sostanza caratterizzata da una susceptività magnetica non nulla, immersa in un campo magnetico esterno (il CMT) assume una magnetizzazione parallela al campo inducente e, a sua volta, genera un campo magnetico. La tecnica geomagnetica consiste, generalmente, nella misura del modulo del campo magnetico terrestre in varie stazioni di misura, con l'obiettivo di riuscire a discriminare da tutte le componenti del segnale di origine diversa, quella relativa a sorgenti locali la cui presenza può essere indicativa di eventuali strutture archeologiche. Per ottenere questo scopo è spesso utile ricorrere a tecniche numeriche per la rimozione di componenti del segnale misurabili, ma non attribuibili a sorgenti di interesse.

Oltre a quella per induzione, esistono anche altri tipi di magnetizzazione, chiamate "rimanenti" per il fatto che sono indipendenti dal campo magnetico terrestre attuale, e sono state acquisite durante la storia termica e meccanica della sostanza in questione "fissando" il CMT presente durante alcune fasi evolutive della sostanza; ad esempio la magnetizzazione rimanente importante in ambito archeologico è quella detta "termo-rimanente" acquisita da sostanze contenenti minerali magnetici, scaldate oltre una certa temperatura caratteristica di ogni minerale magnetico (temperatura di Curie) e poi successivamente raffreddate; durante il raffreddamento, al raggiungimento della temperatura di Curie, la sostanza acquisisce una magnetizzazione parallela al CMT presente in quel momento. Questa magnetizzazione è tipica di rocce vulcaniche e, nei manufatti, di alcune terracotte particolarmente ricche in ossidi di ferro. Il processo di cottura delle argille spesso produce ossidi di ferro che al raffreddamento acquisiscono una magnetizzazione rimanente molto intensa.

I minerali più comuni caratterizzati da una buona risposta magnetica sono rappresentati dalla serie della magnetite-titanomagnetite, maghemite, Hematite. Pertanto tutti quei processi naturali o indotti dall'attività umana che determinano un aumento relativo della concentrazione di questi minerali in un certo ambiente, producono un contrasto di magnetizzazione spesso rilevabile strumentalmente; è infatti la presenza di un corpo od una sostanza a magnetizzazione differenziata rispetto all'ambiente nel quale è immerso che produce una "anomalia". L'obiettivo dell'indagine magnetometrica è appunto l'individuazione di questi contrasti, dovuti sia ad oggetti isolati immersi nel terreno (vasellame, oggetti metallici in genere), che a strutture articolate riconducibili ad opera antropica (mura sepolte, pavimenti, fondazioni, costruzioni interrante, opere di canalizzazione interrante, cavità sia vuote sia riempite di materiale a differente magnetizzazione etc.). Ovviamente tutte queste strutture sono individuabili solo se generano una variazione relativa di magnetizzazione rispetto all'ambiente circostante, pertanto è discriminante il materiale utilizzato per le opere di costruzione. Può capitare infatti che strutture murarie importanti non siano rilevabili strumentalmente per mancanza di contrasto di magnetizzazione tra l'opera ed il terreno inglobante. Spesso però alle nostre latitudini, la parte superficiale del terreno possiede un certo grado di magnetizzazione, per cui qualsiasi modifica artificiale al suo interno può produrre un buon contrasto magnetico individuabile mediante anomalie. Chiaramente la natura stessa del fenomeno analizzato implica un certo grado di ambiguità in quanto possono esistere sorgenti di natura completamente differente che producono lo stesso effetto magnetico, e spesso un segnale naturale può non essere distinguibile da uno artificiale (un vaso di terracotta può generare la stessa anomalia di una roccia ofiolitica dalle dimensioni similari).

In sede di analisi del segnale acquisito verranno distinte le anomalie magnetiche generate da isolati oggetti di piccole dimensioni all'interno del terreno da quelle strutturate, che si manifestano con un certo sviluppo spaziale dell'anomalia tale da far supporre la presenza di oggetti strutturati sepolti.

Schema della prova

L'acquisizione ha previsto l'esecuzione di una serie di linee tra loro parallele su di un'area quadrata di lato 10,00 x 10,00 m con spaziatura di 1,00 m e con tempo di campionamento pari a 1-2 secondi, camminando a passo d'uomo; a ciascuna misura gradiometrica effettuata viene associata una posizione planimetrica mediante scheda GPS integrata (georeferenziazione automatica). Le linee sono state fatte prima lungo un lato del quadrato 10.00x10.00 m e poi lungo il lato ortogonale per meglio indagare tutta l'area di studio.

Una volta scaricati i dati questi saranno opportunamente filtrati, processati e puliti; successivamente si passerà all'importazione degli stessi su specifico software di interpolazione (es. Surfer) e relativa interpolazione degli stessi mediante algoritmo di *kriging* che fornirà una mappa a colori dei dati rappresentati; sarà possibile in questa fase modificare la scala colori al fine di individuare quella più efficace ai fini dell'individuazione delle anomalie.

Alla fine di tutte le operazioni saranno pertanto restituite due mappe (una magnetica relativa ad un sensore e l'altra gradiometrica) per ciascuna area con indicazione delle anomalie (*targets*) e, quando possibile, loro interpretazione e discriminazione da eventuali disturbi esterni.

Sez. 7.5: "Produzione ed Erogazione Servizi"

PROVE IN SITO - INDAGINI MAGNETOMETRICHE

Software di elaborazione e Mappe

Per il trattamento e l'analisi dei dati ottenuti si è utilizzato il software *Surfer*® e relativa interpolazione dei dati scaricati e opportunamente filtrati, mediante algoritmo di *kriging* con restituzio delle Mappe a colori dei dati rappresentati.

Gli elaborati (qui allegati) mostrano le due mappe denominate rispettivamente: Mappa Magnetica MAG, e Mappa Gradiometrica GRAD.

Per la **postazione 1** e la **postazione 3** abbiamo due file nei quali sono registrate le linee prima lungo un lato del quadrato 10.00x10.00 m e poi lungo il lato ortogonale delle 2 aree di studio, mentre per la **postazione 2** abbiamo un unico file sovrapposto delle linee di campionamento.

La Mappa del Gradiente è quella che favorisce l'individuazione dei corpi ubicati nel sottosuolo in quanto i massimi delle anomalie di gradiente corrispondono ai bordi delle sorgenti. Ovviamente il segnale di gradiente di campo di una sorgente decade molto più rapidamente con la distanza rispetto al campo totale, per cui si rinuncia ad una certa profondità di indagine.

UBICAZIONE DELLE INDAGINI

L'area da indagare e la posizione indicativa dei punti sono state definite dalla Committenza ed inviate, in forma di rilievo plano-altimetrico, agli operatori di GeoTirreno a mezzo posta elettronica. Durante il sopralluogo preliminare all'esecuzione delle indagini stesse, gli operatori di GeoTirreno hanno definito l'ubicazione delle indagini in funzione dei requisiti necessari per la corretta acquisizione dei dati, solo la postazione 2 è stata spostata di pochi metri perché segnava anomalie (FIG. 2).

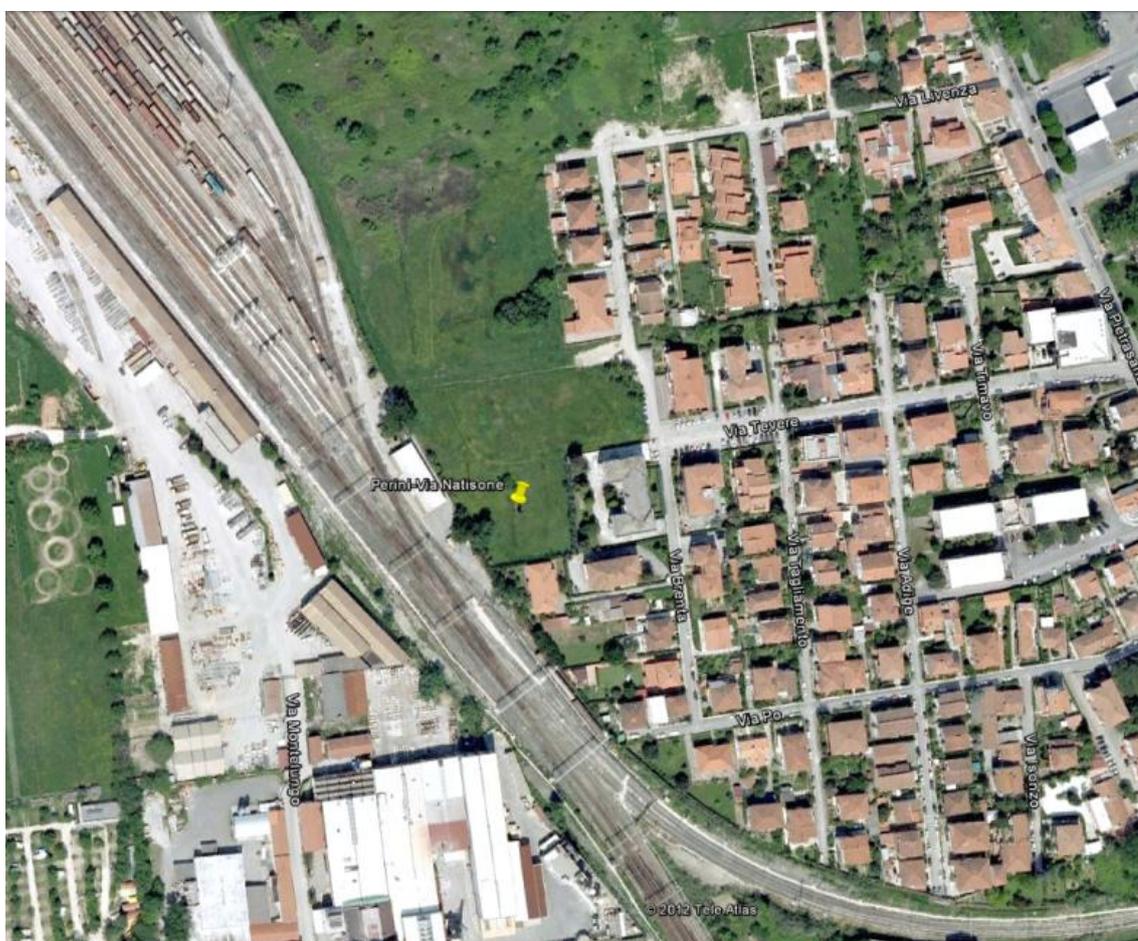
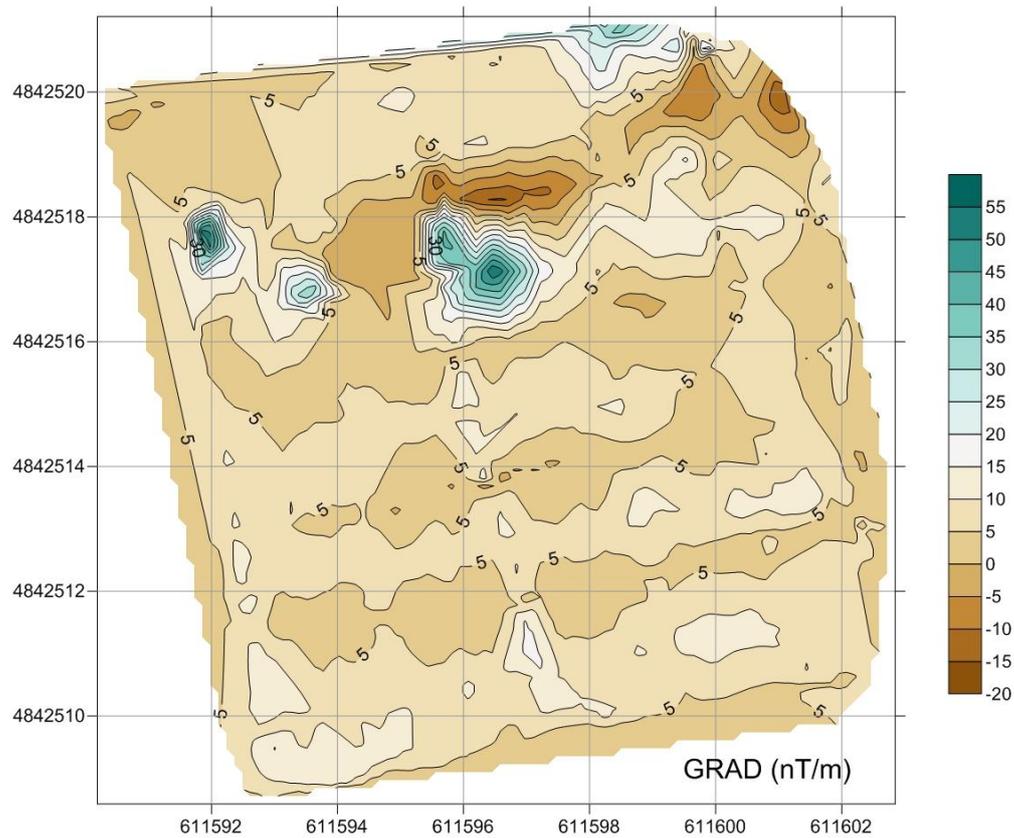
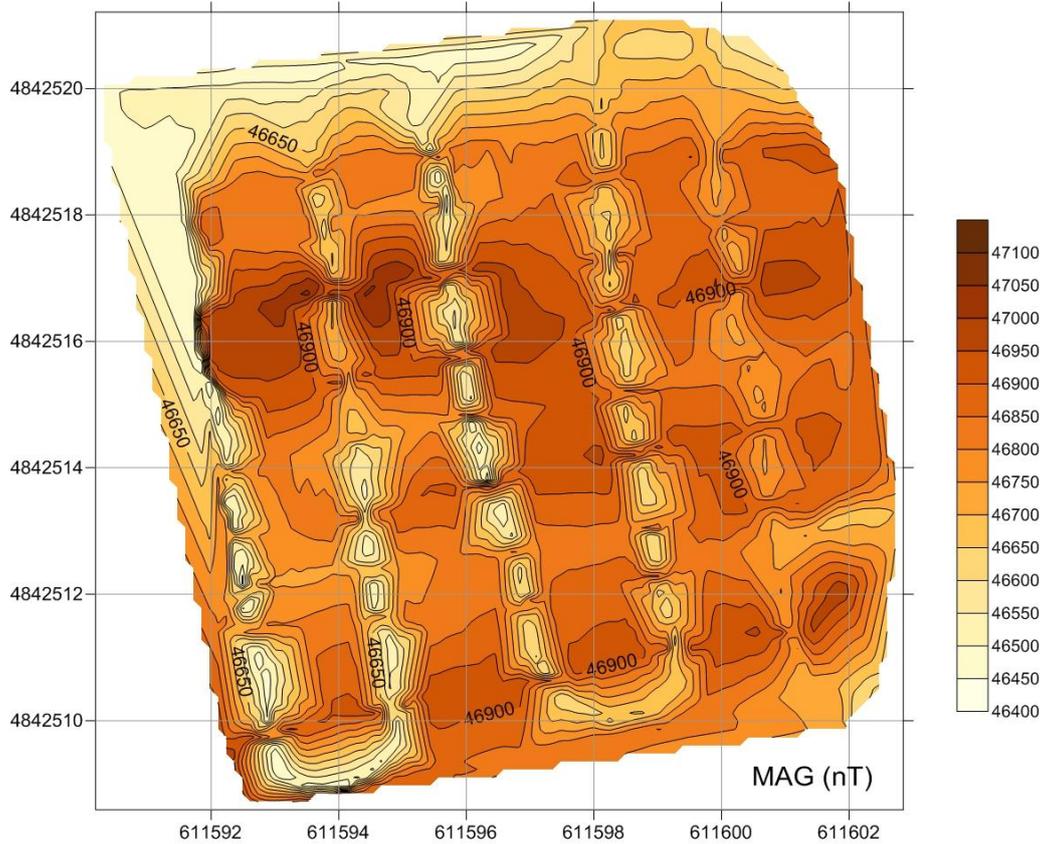


Fig. 2 Sito delle indagini magnetometriche.

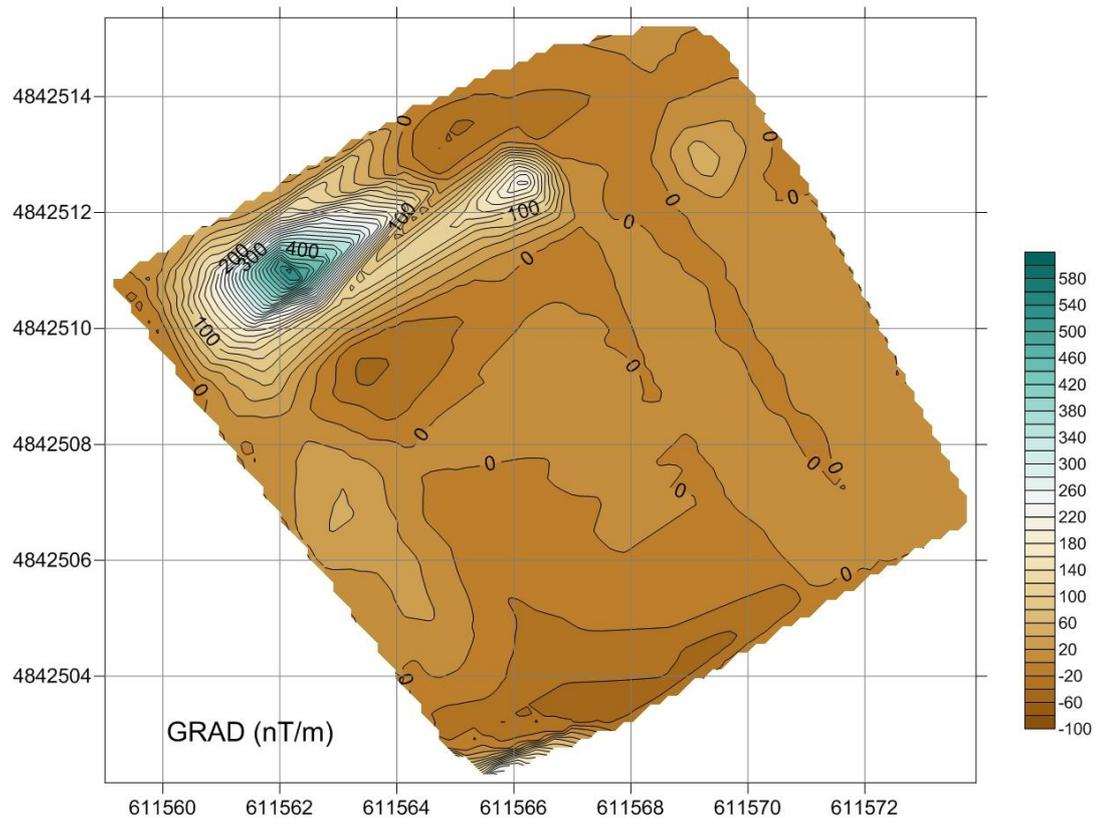
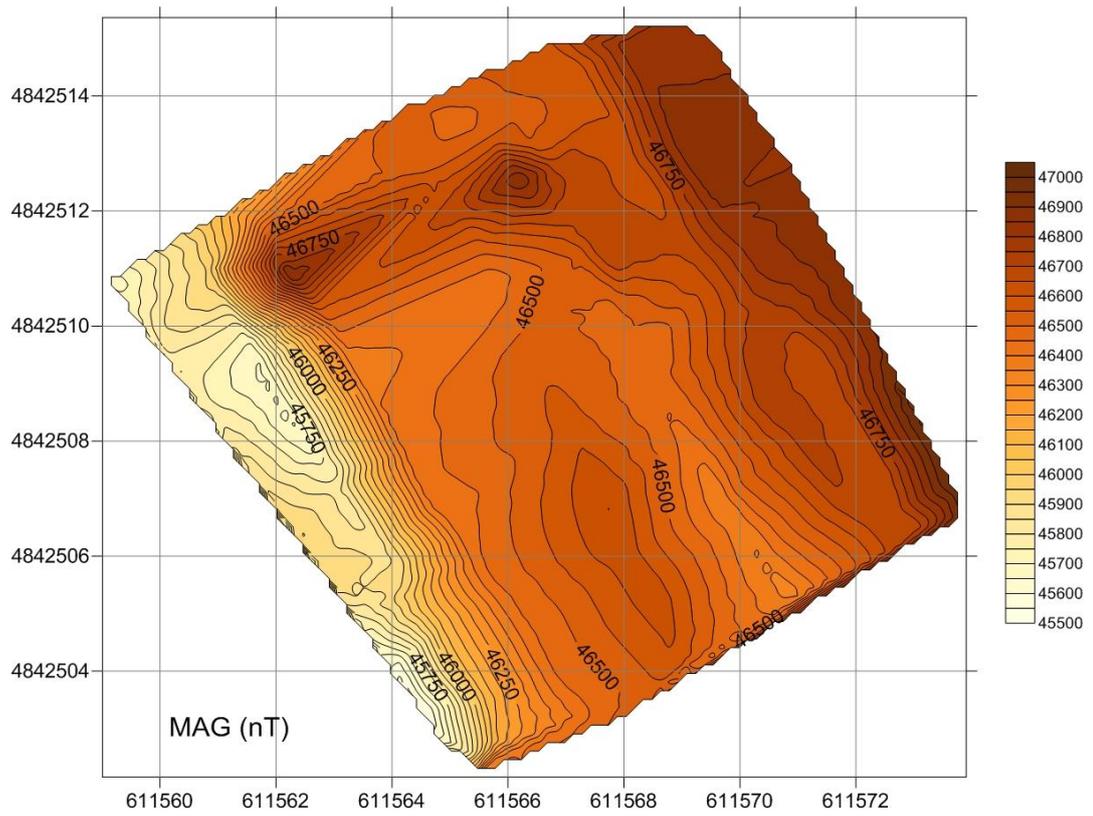
File: Rel Tec Perini.docx	Codifica: Rel. Tec.	Sistema Gestione Qualità Rev. 1 del 02/2008	Pag. 6 di 11
Sez. 7.5: "Produzione ed Erogazione Servizi" PROVE IN SITO - INDAGINI MAGNETOMETRICHE			

ALLEGATI

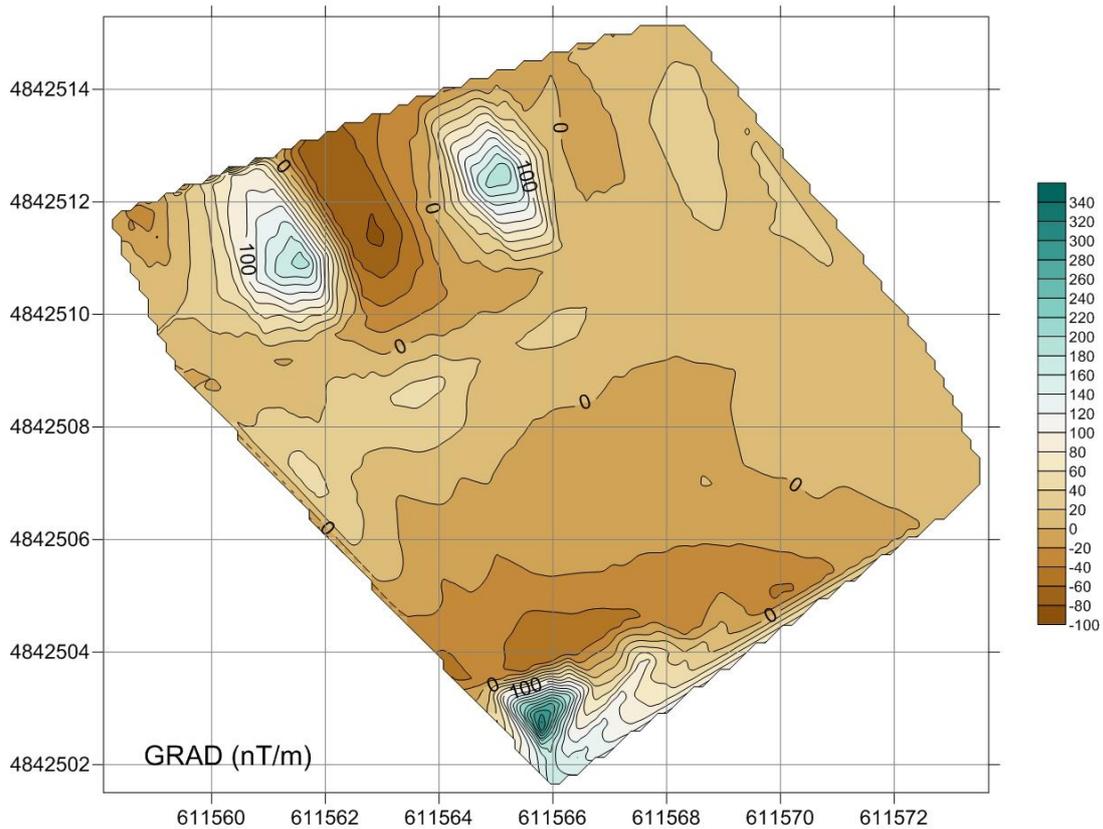
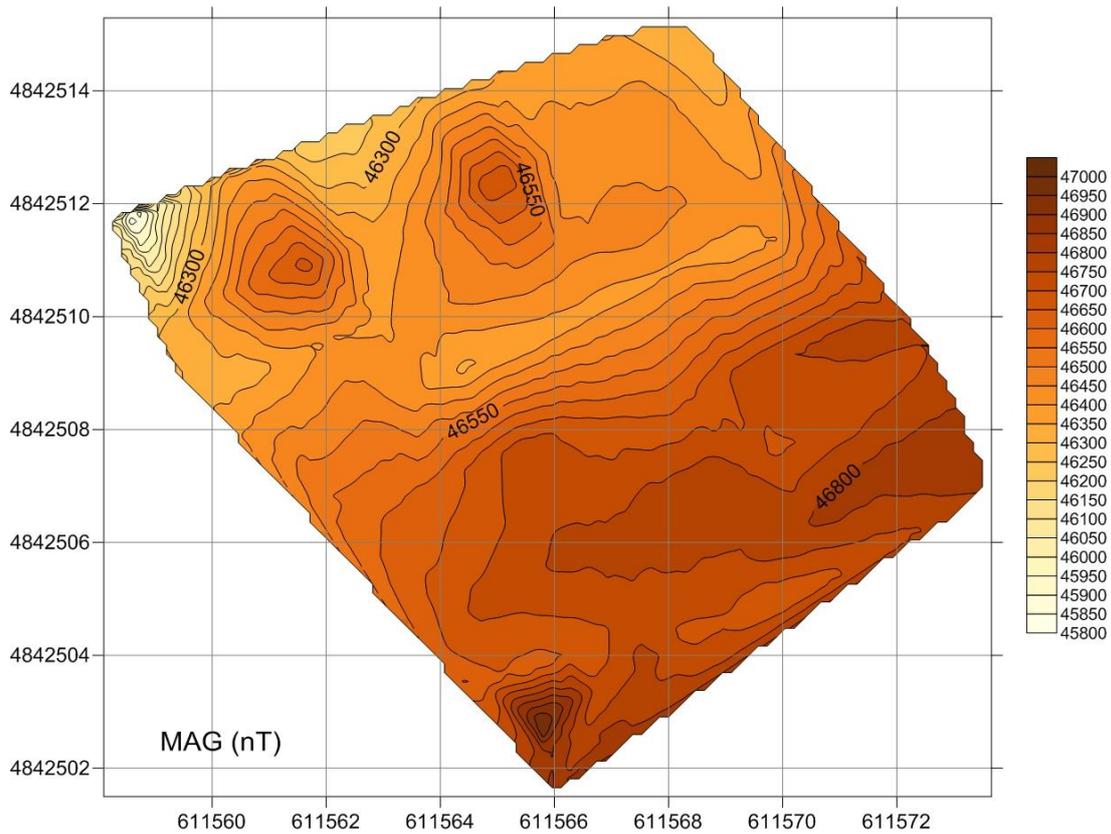
MAPPE da INDAGINE MAGNETOMETRICA



POSTAZIONE 2 - FILE 31

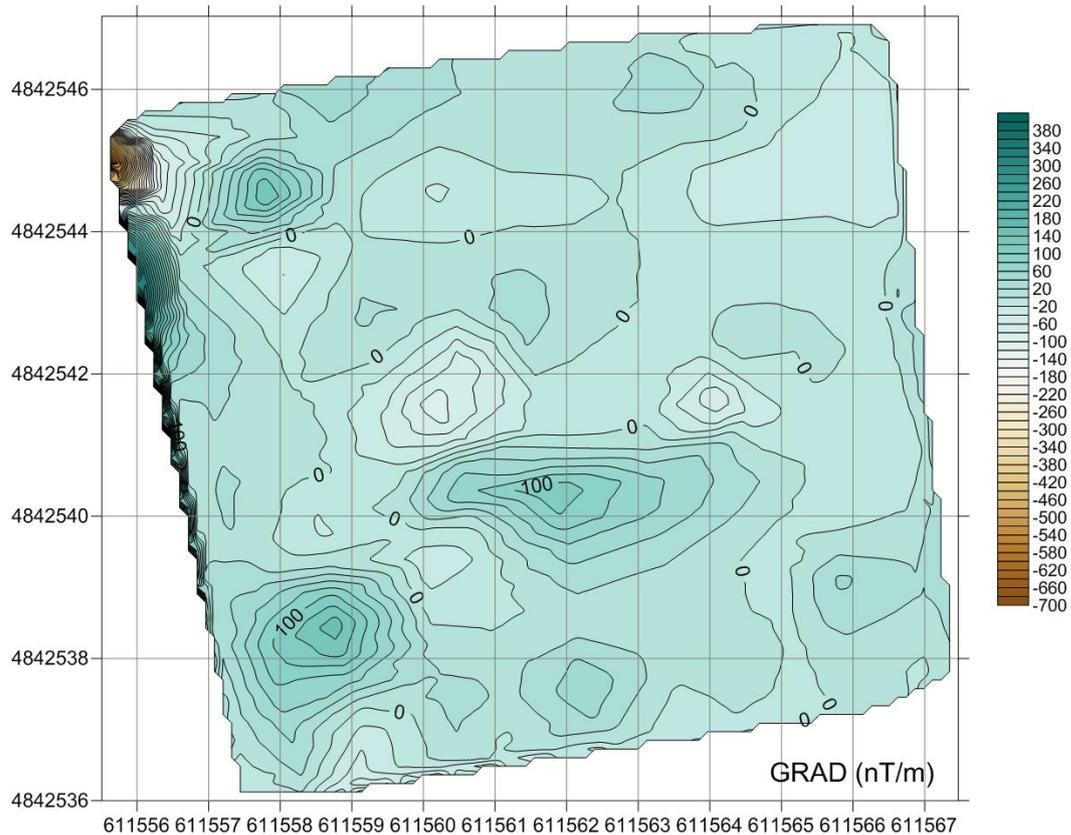
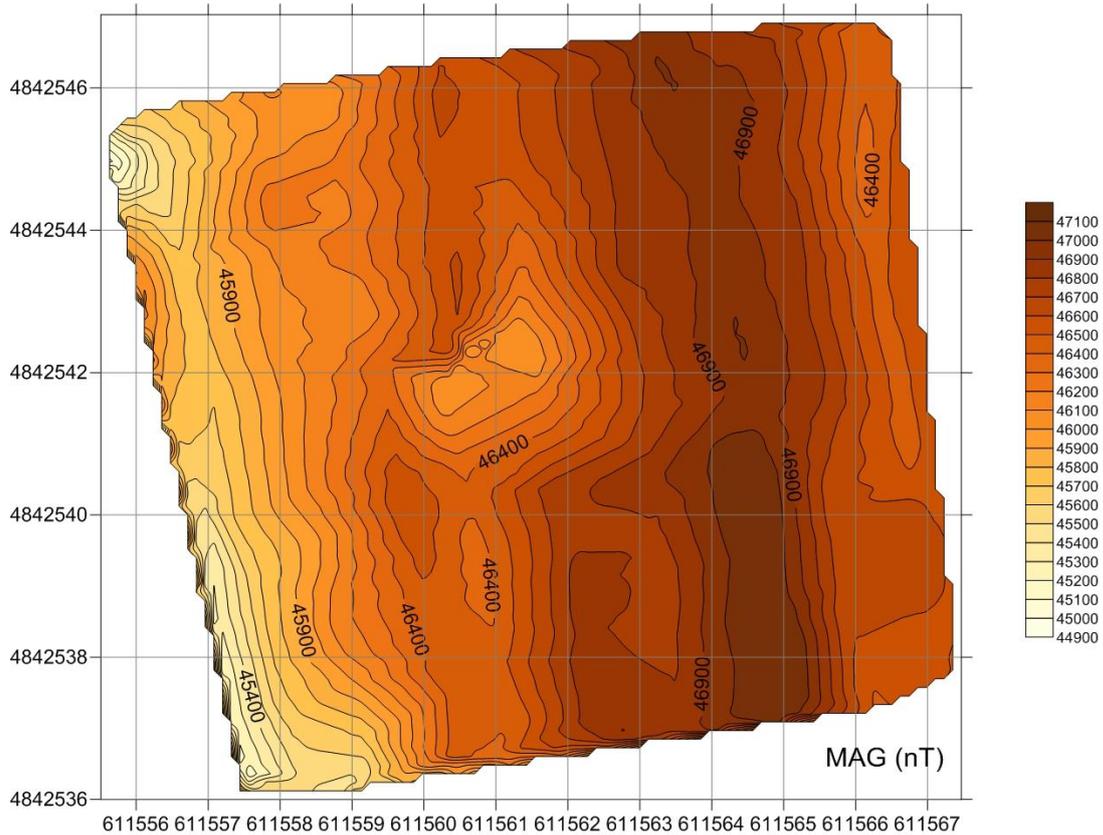


POSTAZIONE 3 - FILE 32



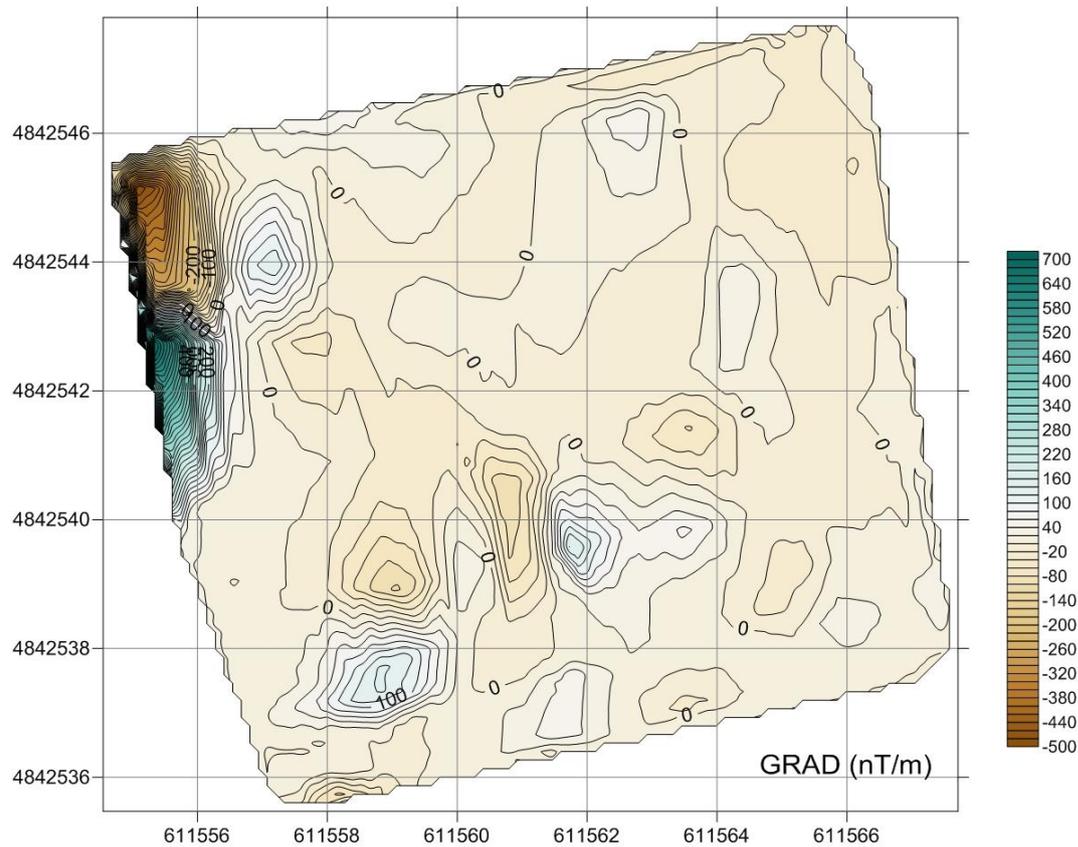
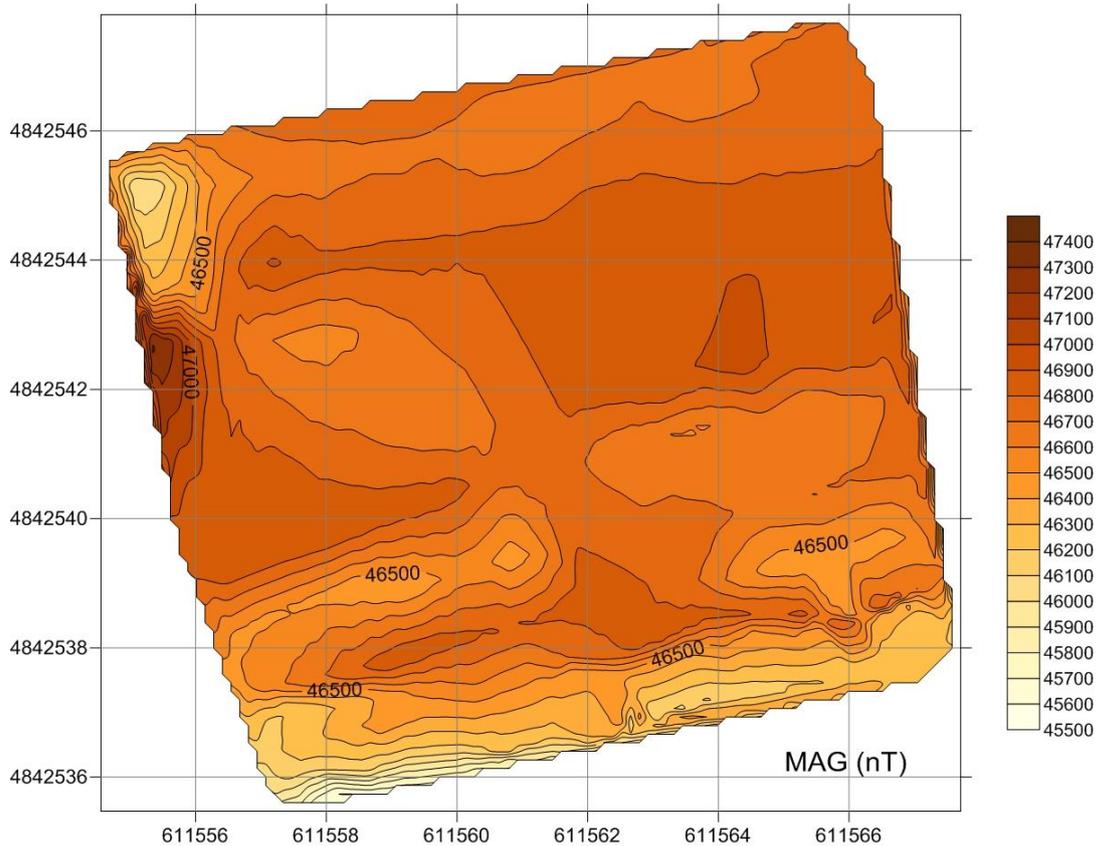
POSTAZIONE 3 - FILE 33

Sez. 7.5: "Produzione ed Erogazione Servizi"
 PROVE IN SITO - INDAGINI MAGNETOMETRICHE



POSTAZIONE 1 - FILE 34

Sez. 7.5: "Produzione ed Erogazione Servizi" PROVE IN SITO - INDAGINI MAGNETOMETRICHE



POSTAZIONE 1 - FILE 35

Allegato 2

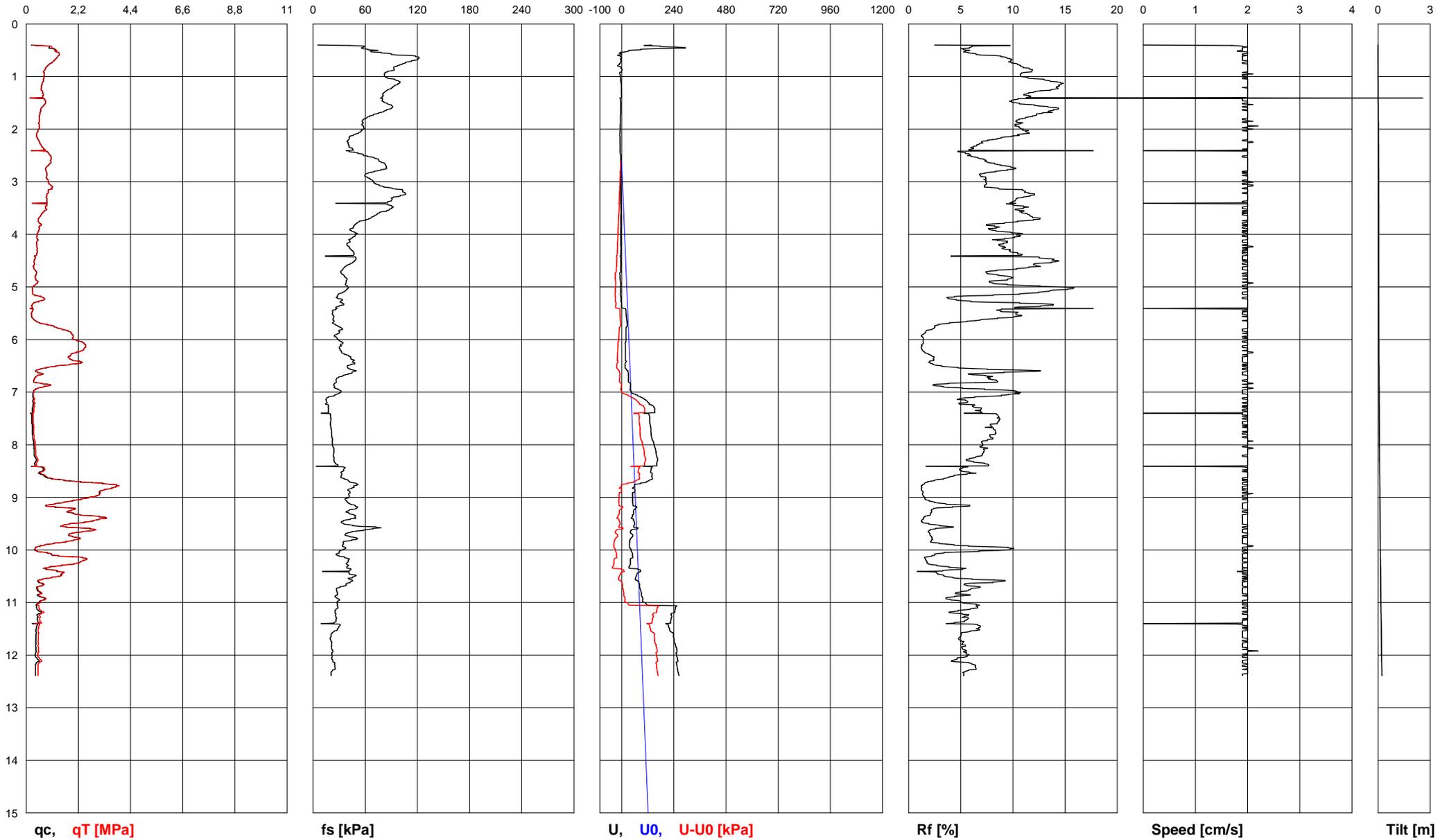
CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE

Date: 27/06/2012
Test Code: 436

Locality: PISA
Site: VIA PIETRASANTINA
Test N°: 1

Abs. quota [cm]: 0
Prehole [cm]: 40
Hydrostatic Line [cm]: 262

Page 1/1



qc, qt [MPa]

fs [kPa]

U, U0, U-U0 [kPa]

Rf [%]

Speed [cm/s]

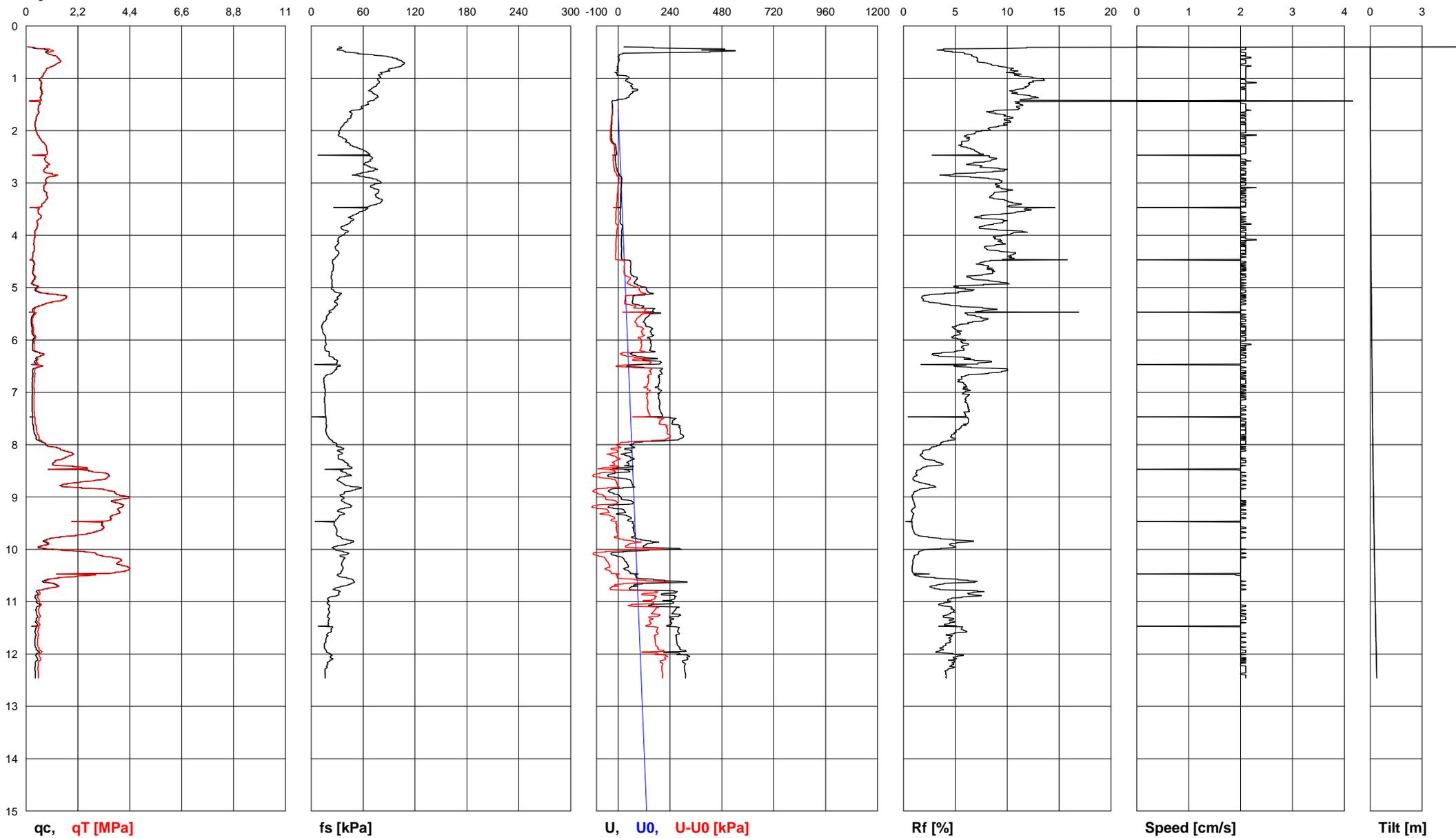
Tilt [m]

Date: 27/06/2012
Test Code: 437

Locality: PISA
Site: VIA PIETRASANTINA
Test N°: 2

Abs. quota [cm]: 0
Prehole [cm]: 40
Hydrostatic Line [cm]: 160

Page 1/1



qc, qT [MPa]

fs [kPa]

U, U0, U-U0 [kPa]

Rf [%]

Speed [cm/s]

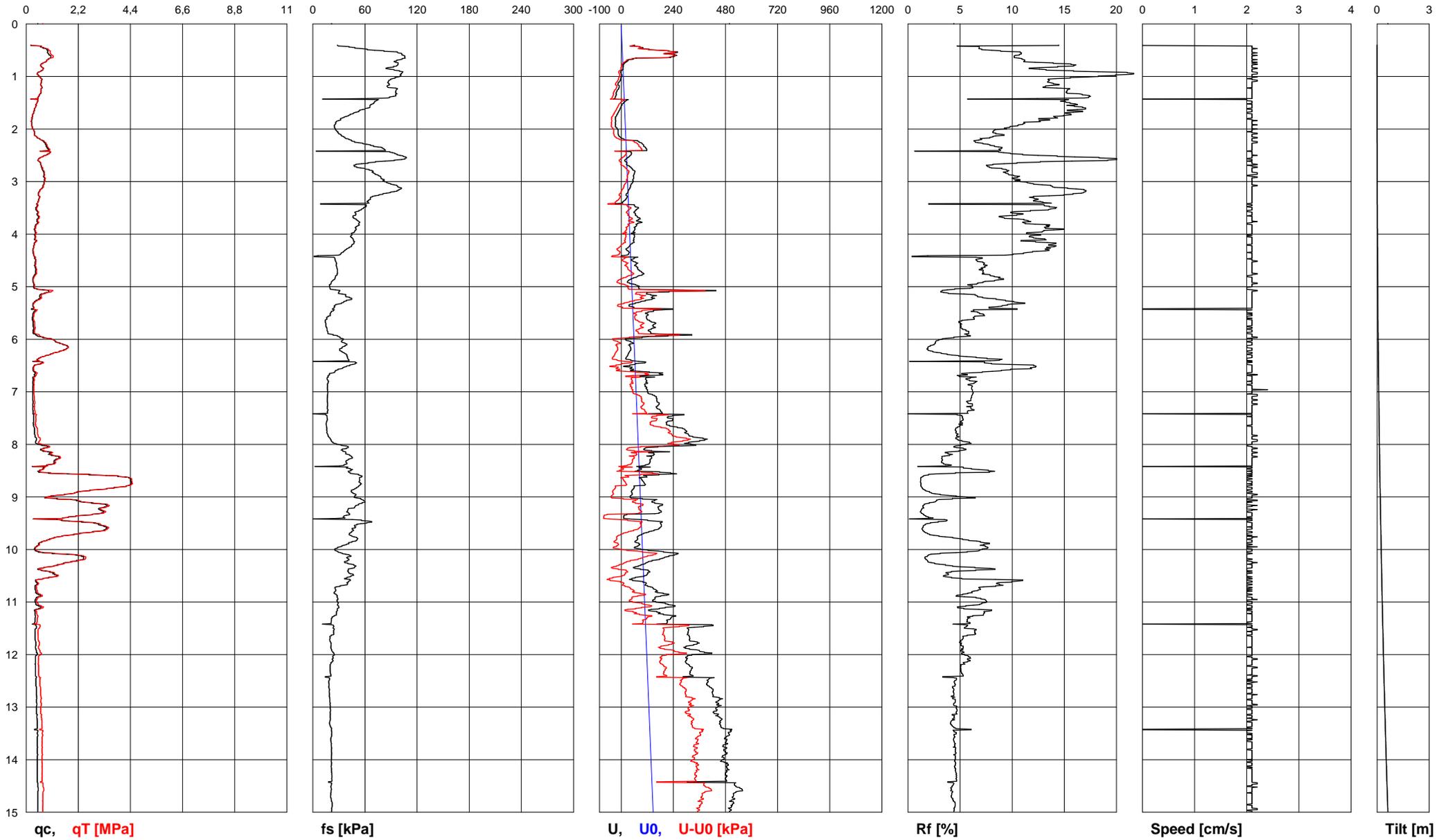
Tilt [m]

Date: 27/06/2012
Test Code: 435

Locality: PISA
Site: VIA PIETRASANTINA
Test N°: 3

Abs. quota [cm]: 0
Prehole [cm]: 40
Hydrostatic Line [cm]: 2,68

Page 1/2



qc, qT [MPa]

fs [kPa]

U, U0, U-U0 [kPa]

Rf [%]

Speed [cm/s]

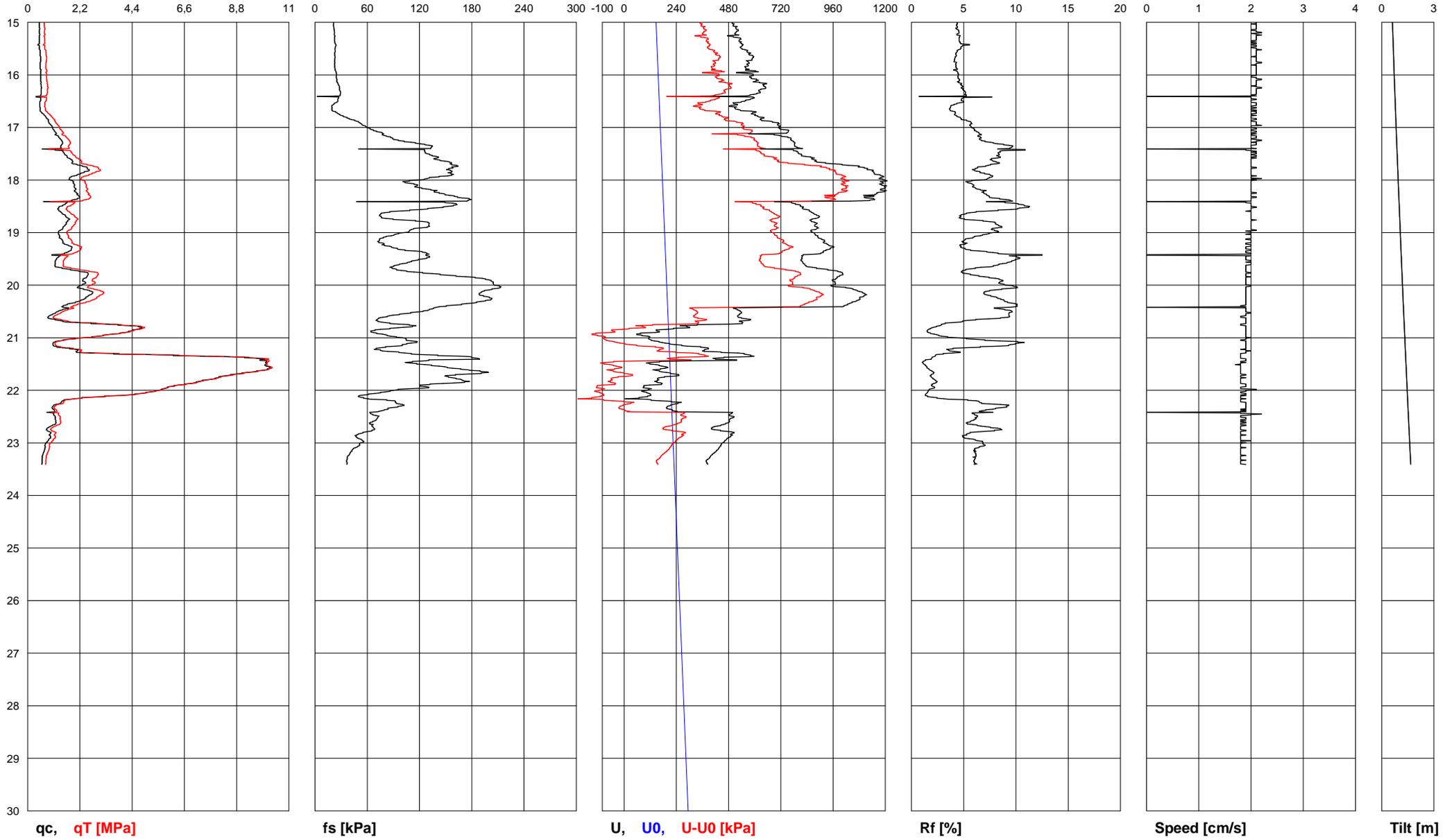
Tilt [m]

Date: 27/06/2012
Test Code: 435

Locality: PISA
Site: VIA PIETRASANTINA
Test N°: 3

Abs. quota [cm]: 0
Prehole [cm]: 40
Hydrostatic Line [cm]: 2,68

Page 2/2



qc, qt [MPa]

fs [kPa]

U, U0, U-U0 [kPa]

Rf [%]

Speed [cm/s]

Tilt [m]

Allegato 3
Documentazione Perforazione
di Sondaggio

EDIFICI ERP
PERFORAZIONE DI SONDAGGIO N.1

DOTT. Massimiliano Perini GEOLOGO



Via C. Battisti, 38 Cascina PISA tel. 050 700 508
E-mail: massimiliano.perini@tiscali.it

COMMITTENTE: APES scpa

S1₁

Cantiere: Pisa, Via Pietrasantina	Tipo di sonda (Marca, Modello, Coppia motrice) MASSENZA MI6	Geologo assistenza sondaggio: Dott. Geol. Massimiliano Perini
Quota piano campagna s.l.m. (m) : 1.4	Metodo di perforazione: (Aste o Wire line) ASTE	N. casse catalogatrici: 4
Data inizio/fine : 28/06/2012-29/06/2012	Stabilizzazione del foro: tubi rivestimento	Strumentazione in foro e sua profondità: Nessuna
Coordinate X-Y 1.611.597 E 4.842.524 N	Tipo di fluido: acqua pulita	Profondità raggiunta: 33,00 m

Giorni perforazione	Dimensione carotiere	Rivestimento 127	Profondità dal p.c. (m)	Scala di riferimento (m)	Stratigrafia (disegno)	Falda acquifera	Descrizione dei terreni attraversati ed indicazione degli spessori	POCKET (Kg/cmq)	TUBO IN PVC DA 3"	RIEMPIMENTO
28/06/2012	127		1,80	1			Terreno vegetale argillo-limoso di colore marrone-bruno, plastico, mediamente consistente. Abbondante presenza di resti organici e presenza occasionale di ciottoli arrotondati di dimensione centimetrica.	6-5-5-7-6-6-5-6 6,5-6-6,5		Cemento
			2,55	2			Limi argillosi leggermente sabbiosi organici di colore marrone chiaro contenenti resti organici vegetali ed elementi carboniosi. Presenti rare screziature azzurrognole di spessore millimetrico. Scarsa consistenza e basso grado di addensamento.	4,9-4-4-3-0,9-2 1,8-4		
	3,50	3			Argille limose mediamente consistenti alternativamente di colore marrone e grigio-azzurro. Tra 3,0 e 3,3 m aumenta la componente argillosa e si abbassa sensibilmente la consistenza del materiale.	3,6-5,1-7,2-2,6-5,3 1,5-2-3-7,4-5,9				
	4,35	4			CAMPIONE SIC1 Argille limose grigio-azzurre da poco a mediamente consistenti ricche di resti organici. Composizione granulometrica omogenea.	2,1-2,2-1,7-1,9-1,5				
	6,35	5			Sabbie fini limose grigio-azzurre organiche con basso grado di addensamento. Gusci di molluschi marini (lamellibranchi e pectinidi) sia interi che in frammenti e gusci di ostracodi. Le sabbie sono mature e tratti aumenta sia la frazione fine che il contenuto sia organico vegetale che fossilifero.					
	7,40	6								
	9,50	7			Limi argillo-sabbiosi grigio-azzurri con scadente grado di consistenza. Presenza di resti organici vegetali e fossili marini in frammenti (pectinidi e lamellibranchi).	1,1-1,5-0,7-1-1,1 1,2				
	9,95	8			Sabbie fini limose del tutto simili a quelle presenti tra 4,95 e 6,35 m. A tratti aumenta la granulometria. Tra 8,10 e 8,30 presente livello limo-sabbioso.					
	11,00	9								
	12,00	10			SPT (1-1-1)					
	16,80	11			Sabbie fini limose del tutto simili a quelle presenti tra 7,40 e 9,50 m.					
	17,90	12			Limi e sabbie grigio-marroni con abbondante materiale organico vegetale. Bassa consistenza, aspetto massivo con leggero accenno di stratificazione piana.					
	19,00	13								
	20,50	14			Limi argilloso-sabbiosi del tutto simili a quelle presenti tra 6,35 e 7,40 m.	1,2-1-0,9-1-1,2-1				
	21,00	15								
		16								
		17			Limi sabbiosi grigio-marroni scuri mediamente addensati con resti di materiale organico vegetale e inclusi arenacei arrotondati (3-4 cm).	2-1-4,5-4,7-5,8-7,9 8				
		18								

EDIFICI ERP
PERFORAZIONE DI SONDAGGIO N.1

DOCT. Massimiliano Perini GEOLOGO



Via C. Battisti, 38 Cascina PISA tel. 050 700 508
E-mail: massimiliano.perini@tiscali.it

COMMITTENTE: APES scpa

S1₂

Cantiere: Pisa, Via Pietrasantina	Tipo di sonda (Marca, Modello, Coppia motrice) MASSENZA MI6	Geologo assistenza sondaggio: Dott. Geol. Massimiliano Perini
Quota piano campagna s.l.m. (m) : 1.4	Metodo di perforazione: (Aste o Wire line) ASTE	N. casse catalogatrici: 4
Data inizio/fine : 28/06/2012-29/06/2012	Stabilizzazione del foro: tubi rivestimento	Strumentazione in foro e sua profondità: Nessuna
Coordinate X-Y 1.611.597 E 4.842.524 N	Tipo di fluido: acqua pulita	Profondità raggiunta: 33,00 m

Giorni perforazione	Dimensione carotiere	Rivestimento 127	Profondità dal p.c. (m)	Scala di riferimento (m)	Stratigrafia (disegno)	Falda acquifera	Descrizione dei terreni attraversati ed indicazione degli spessori	POCKET (Kg/cmq)	TUBO IN PVC DA 3"	RIEMPIMENTO
28/06/2012	101	127	1,80	19			Limi sabbiosi molto addensati grigio-marroni aspetto massivo e presenza di materiale organico di natura vegetale.	9-9.2-fs		Cemento
			2,55	20			Sabbie fini limose mediamente addensate. Livello argilloso-torboso tra 19,1 e 19,2 m. Il colore passa dal marrone-grigio chiaro al giallo-ocra.	4.5-8.2-6.8		
			3,50	21			Aspetto massivo con leggero accenno di stratificazione piano-parallela. A tratti aumenta la componente fine limosa e contemporaneamente la consistenza del materiale.	8-10-9.2		
			3,90	22			Argille limo-sabbiose giallo-ocra compatte, massive con grado di consistenza crescente con la profondità.			
			4,35	23						
			6,35	24						
			7,40	25						
			9,50	26						
			9,95	27						
			11,00	28				Alternanze di argille limose e limi argilloso-sabbiosi		
12,00	29									
16,80	30									
17,90	31									
19,00	32									
20,50	33									
21,00	34									
	35									
	36									

APES - PISA
28/06/12
S1 0-5 m



APES - PISA
18/06/12
S1 5-10 m



APES - PISA
18/06/12
S1 10-15 m



APES - PISA
18/06/12
S1 15-20 m



Allegato 4

Certificati Analisi di Laboratorio

geoplanning

SERVIZI PER IL TERRITORIO



Prove Geotecniche di laboratorio

Commessa: 1929
Lavoro: 087/12

Committente: A.P.E.S. S.C.p.A.

Richiedente: GeoTirreno S.r.l.

Cantiere: Via Pietrasantina - Pisa

Documento verificato da:
il Responsabile del Laboratorio
(Dott. Geol. Stefano Cianci)

Documento approvato da:
il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)



Laboratorio qualificato
n° 103

Associazione
Laboratori
Geotecnici
Italiani

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
LABORATORIO AUTORIZZATO
SETTORE A
Prove su terre, di carico su piastra, di densità in sito
Decreto n° 9194 del 14 settembre 2011
ai sensi dell'art. 59 D.P.R. 380/2001, Circolare II.TT. 7618/2010/STC



*Ministero dell'Istruzione
dell'Università e della Ricerca*
LABORATORIO ALTAMENTE QUALIFICATO
Articolo 14 del Decreto n° 593 del 8 agosto 2000
Decreto Dirigenziale n° 1956/Ric. del 20 novembre 2003
Gazzetta Ufficiale n° 285 del 9 dicembre 2003

SIMBOLOGIA

γ	=	peso di volume	(kN/m ³)	W_n	=	contenuto naturale d'acqua	(%)
γ_n	=	peso di volume naturale	(kN/m ³)	W_i	=	contenuto d'acqua iniziale	(%)
γ_{dry}	=	peso di volume secco	(kN/m ³)	W_f	=	contenuto d'acqua finale	(%)
γ_s	=	peso di volume dei grani	(kN/m ³)	W_{LL}	=	contenuto d'acqua al LL	(%)
γ_{sat}	=	peso di volume saturo	(kN/m ³)	W^*	=	contenuto d'acqua	(%)
H_0	=	altezza iniziale	(cm)	n_0	=	porosità iniziale	
H_{dry}	=	altezza del secco	(cm)	e	=	indice dei vuoti	
V_0	=	volume iniziale	(cm ³)	e_0	=	indice dei vuoti iniziale	
a	=	area	(cm ²)	S_r	=	grado di saturazione	(%)
Δh	=	cedimento	(mm)	i	=	gradiente idraulico	
d	=	deformazione	(mm)	i_0	=	gradiente idraulico iniziale	(cm)
ϕ	=	diametro	(mm)	σ_v	=	carico verticale	(kPa)
h	=	ore		σ_3	=	pressione di cella	(kPa)
n	=	porosità		σ'_{cons}	=	tens. effic. media consolidaz.	(kPa)
LL	=	limite liquido	(%)	A	=	indice di attività	
LP	=	limite plastico	(%)	IG	=	indice di gruppo	
IP	=	indice di plasticità	(%)	E'	=	modulo di compressibilità	(kPa)
LR	=	limite di ritiro	(%)	m_v	=	coefficiente di compressibilità	(kPa ⁻¹)
IC	=	indice di consistenza		c_v	=	coefficiente di consolidazione	(cm ² /sec)
IL	=	indice di liquidità		k	=	coefficiente di permeabilità	(m/sec)
I_r	=	Indice di ritiro		Md	=	modulo di deformazione	(N/mm ²)
R_r	=	Rapporto di ritiro		M'd	=	mod. deform. (2° ciclo carico)	(N/mm ²)

PROVE

Lim.	=	Limiti	TxUU*	=	Triassiale UU
Gran.	=	Granulometria	ELL*	=	Espansione Laterale Libera
TD*	=	Taglio Diretto	K	=	Permeabilità
TDRév.*	=	Taglio Diretto revèrse	Rig.	=	Rigonfiamento
TDLL*	=	Taglio Diretto al LL	CS*	=	Compressione Semplice
ED	=	Edometrica	Proctor	=	Compattazione
TxCD*	=	Triassiale CD	CBR	=	C.B.R.
TxCU*	=	Triassiale CU	S.Org.	=	Sostanza Organica

N.D. = Non Determinabile

N.E. = Non Eseguitabile

N.C. = Non Calcolabile

M.I.** = Misura Indicativa

 Zone imbibite d'acqua (rammollimenti)

 Livelli sabbiosi

 Livelli limosi

 Livelli argillosi

* I numeri riportati accanto alla prova indicano il relativo provino

** Misura eseguita con strumentazione non tarabile e/o non tarata



DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

CARATTERISTICHE DEL CAMPIONAMENTO

Tipo di perforazione (dichiarata):	carotaggio continuo con asta e carotiere	Forma del campione:	cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarato):	shelby	Diametro della carota ϕ :	85 mm
Contenitore:	fustella metallica	Lunghezza della carota:	410 mm
Diametro esterno ϕ del contenitore:	90 mm	Classe di Qualità (dichiarata):	da Q4 a Q5
Lunghezza del contenitore:	600 mm	Società di perforazione che ha prelevato il campione:	GeoTirreno S.r.l.
Data di prelievo del campione:	--	Data di apertura Commessa:	04/07/12
Data di consegna del campione:	04/07/12	Data di apertura del campione:	06/07/12
Verbale di ricezione campioni n°:	--	Stoccaggio: in camera ad umidità e temperatura controllate	
Data di inizio prova:	06/07/12	Data di fine prova:	06/07/12

SCHEMA DEL CAMPIONE	LUNGH.	POCKET PENETR.	VANE TEST	PROVE ESEGUITE	DESCRIZIONE
	cm	kPa (M.I.)	kPa (M.I.)		
ALTO		80		W_1 TD1 W_2 TD2 W_3 TD3 γ_n ED W_3	Limo con argilla grigio-azzurro con screziature nerastre, plastico, a struttura caotica, reattivo ad HCl. Sono presenti isolate e minute concrezioni carbonatiche, in particolare nella parte bassa.
10			40		
20		80			
30			45		
40	▲	80			
50					
60					
70	BASSO				

Note: la fustella era chiusa con nastro adesivo alle estremità, presentava forma normale con le superfici laterali esterna ed interna sufficientemente lisce e prive di protuberanze visivamente apprezzabili. Il filo della scarpa, di forma normale, era affilato. Sono stati eseguiti pocket penetrometer test trasversalmente alla carota a 10 ed a 31 cm circa dall'alto. Nel primo caso sono stati misurati valori di resistenza (nell'ordine dall'esterno verso l'interno) di 50, 100 e 80 kPa. Nel secondo caso sono stati misurati valori di resistenza (nell'ordine dall'esterno verso l'interno) di 70, 75 e 70 kPa. I primi 6-8 cm ca. dall'alto presentavano la zona centrale al nucleo della carota visibilmente meno consistente.

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

Roma, 19/07/12



CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO/TS 17892-1)

Data di inizio prova:	06/07/12	Data di fine prova:	07/07/12
	Determinazione W_1	Determinazione W_2	Determinazione W_3
Peso lordo umido (g)	50,94	55,94	53,43
Peso lordo secco (g)	42,59	47,30	44,81
Tara (g)	17,50	21,44	17,70
Umidità relativa W (%)	33,3	33,4	31,8
UMIDITA' NATURALE MEDIA W_n	32,8	%	
		DEVIAZIONE STANDARD	0,90

Note:

Roma, 19/07/12

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

PESO DELL'UNITA' DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

(UNI CEN ISO/TS 17892-2)

Data di inizio prova:	06/07/12	Data di fine prova:	06/07/12
Peso umido del terreno (g)	76,33	Volume (cm ³)	39,61
PESO DI VOLUME NATURALE γ_n	18,90	kN/m ³	
		Determinazione eseguita tramite:	fustella tarata

Note:

Roma, 19/07/12

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)



PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANI

(UNI CEN ISO/TS 17892-3)

Data di inizio prova:	06/07/12	Data di fine prova:	16/07/12
-----------------------	----------	---------------------	----------

Determinazione n° 1	Quantità misurate	Determinazione n° 2
83,64	Tara picnometro (g)	78,99
98,75	Picnometro + campione secco (g)	93,96
206,29	Picnometro + campione + acqua (g)	214,85
28,6	Temperatura di prova (°C)	28,5
196,68	Picnometro + acqua (g)	205,33
26,90	P. di vol. dei grani misurato (kN/m ³)	26,90

PESO DI VOLUME DEI GRANI γ_s	26,90 kN/m ³	DEVIATION STANDARD	0,001
-------------------------------------	--------------------------------	--------------------	--------------

Note:

Roma, 19/07/12

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Francesca Tropeano)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE

INDICE DEI VUOTI	e	0,890	GRADO DI SATURAZIONE	S_r	101 %
POROSITA'	n	0,471	PESO DI VOLUME SECCO	γ_{dry}	14,23 kN/m ³

Note: i controlli effettuati non hanno evidenziato errori di procedura, di misura e/o di calcolo.

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

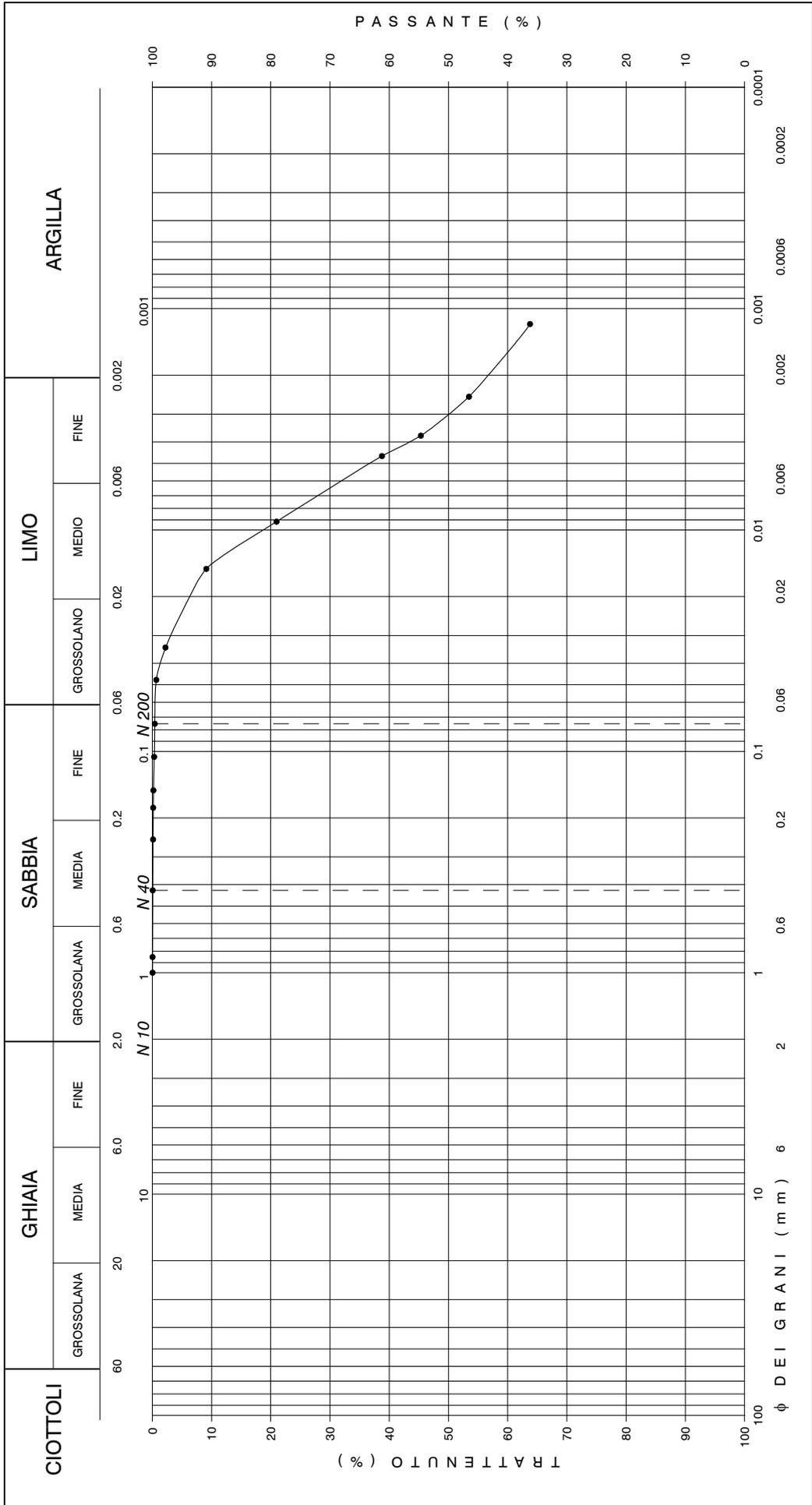


CURVA GRANULOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-4)

Descrizione granulometrica del campione: LIMO CON ARGILLA DEBOLMENTE SABBIOSO.

GHIAIA > 2 mm	%	SABBIA 0.06 - 2 mm	%	LIMO 0.002 - 0.06 mm	%	ARGILLA < 0.002 mm	%
0		100	1	40	56	43	
PASSANTE AI SETACCI		N 10 2 mm	100	N 40 0.425 mm	100	N 200 0.075 mm	100



il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

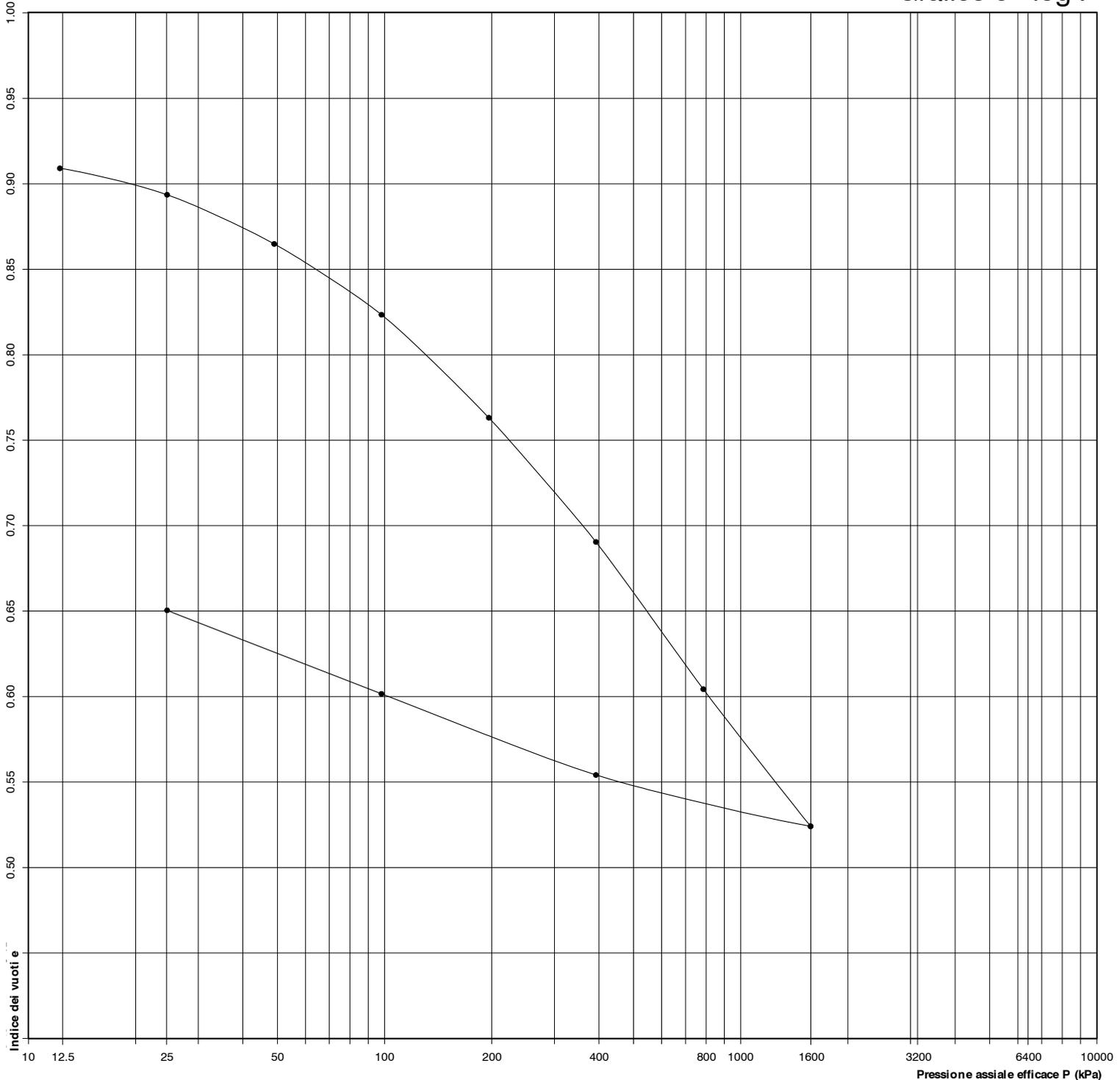
Note: il diametro del granulo maggiore è di 1 mm circa.



PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

Grafico e - log P



il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

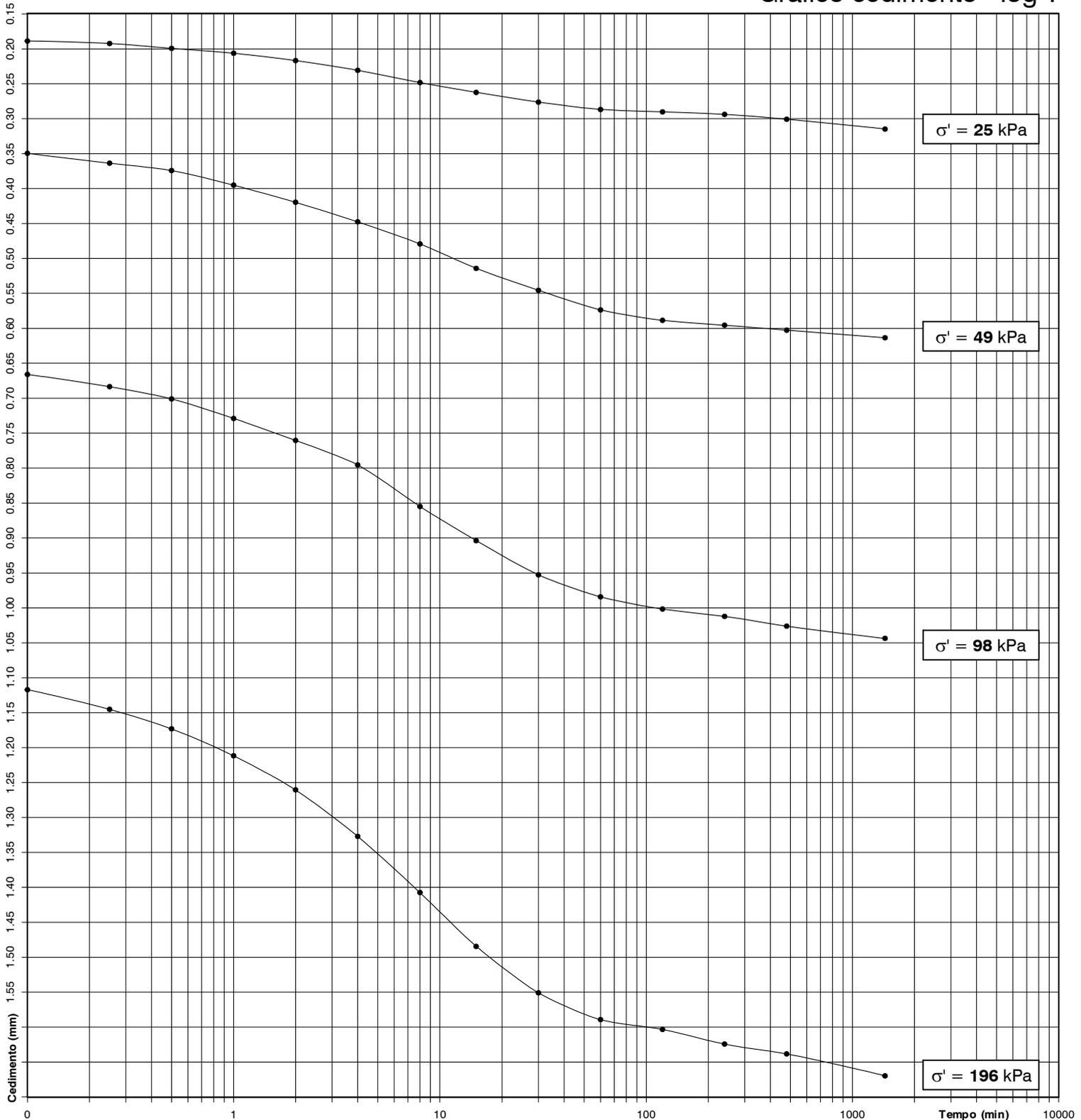
Note:



PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

Grafico cedimento - log T



il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

Note:



PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

MISURAZIONI ACQUISITE

Pressione (kPa)	12	25	49	98	196	392	785	1570	392	98	25							
Data (gg/mese)	6/7	8/7	9/7	10/7	11/7	12/7	13/7	16/7	17/7	17/7	18/7							
Tempi	Cedimenti (mm)																	
0"	0,00	0,15	0,31	0,61	1,04	1,67	2,43	3,32	4,15	3,84	3,35							
6"	0,05	0,19	0,35	0,67	1,12													
15"	0,05	0,19	0,36	0,68	1,15													
30"	0,06	0,20	0,37	0,70	1,17													
1'	0,07	0,21	0,40	0,73	1,21													
2'	0,08	0,22	0,42	0,76	1,26													
4'	0,09	0,23	0,45	0,80	1,33													
8'	0,11	0,25	0,48	0,85	1,41													
15'	0,13	0,26	0,51	0,90	1,48													
30'	0,15	0,28	0,55	0,95	1,55													
60'	0,15	0,29	0,57	0,98	1,59													
120'	0,16	0,29	0,59	1,00	1,60													
240'	0,15	0,29	0,60	1,01	1,62													
480'	0,15	0,30	0,60	1,03	1,64													
1440'	0,15	0,31	0,61	1,04	1,67	2,43	3,32	4,15	3,84	3,35	2,84							
2880'	0,15																	
4320'																		

Note:

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)



PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO/TS 17892-10)

Data di inizio prova:	06/07/12	Data di fine prova:	13/07/12
-----------------------	----------	---------------------	----------

CARATTERISTICHE INIZIALI DEI PROVINI

Provino		1	2	3
Altezza	cm	2,014	2,001	2,008
Lato	cm	6,007	6,003	6,006
Volume	cm ³	72,67	72,11	72,43
Peso di volume	kN/m ³	19,35	19,42	19,28
Contenuto d'acqua	%	30,6	29,6	30,8
Peso di volume dei grani	kN/m ³	26,90	26,90	26,90
Indice dei vuoti		0,815	0,795	0,826
Grado di saturazione	%	103	102	102

FASE DI CONSOLIDAZIONE

Provino		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	49	98	196
Durata	h	24	24	24
Cedimento	mm	0,62	1,31	1,92

FASE DI TAGLIO

Provino		1	2	3
Velocità di deformazione	mm/min	0,0042	0,0042	0,0042
Carico verticale efficace	kPa	49	98	196
Contenuto finale d'acqua	%	29,3	27,8	24,6

NOTE

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

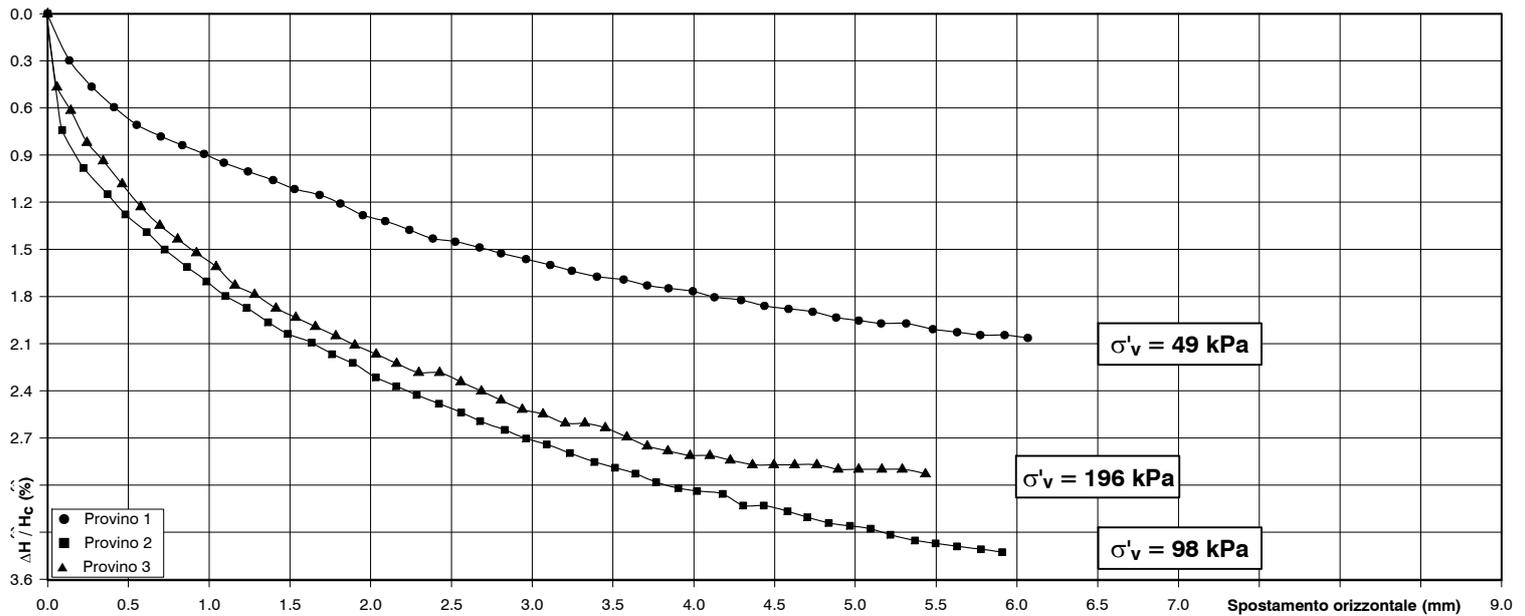
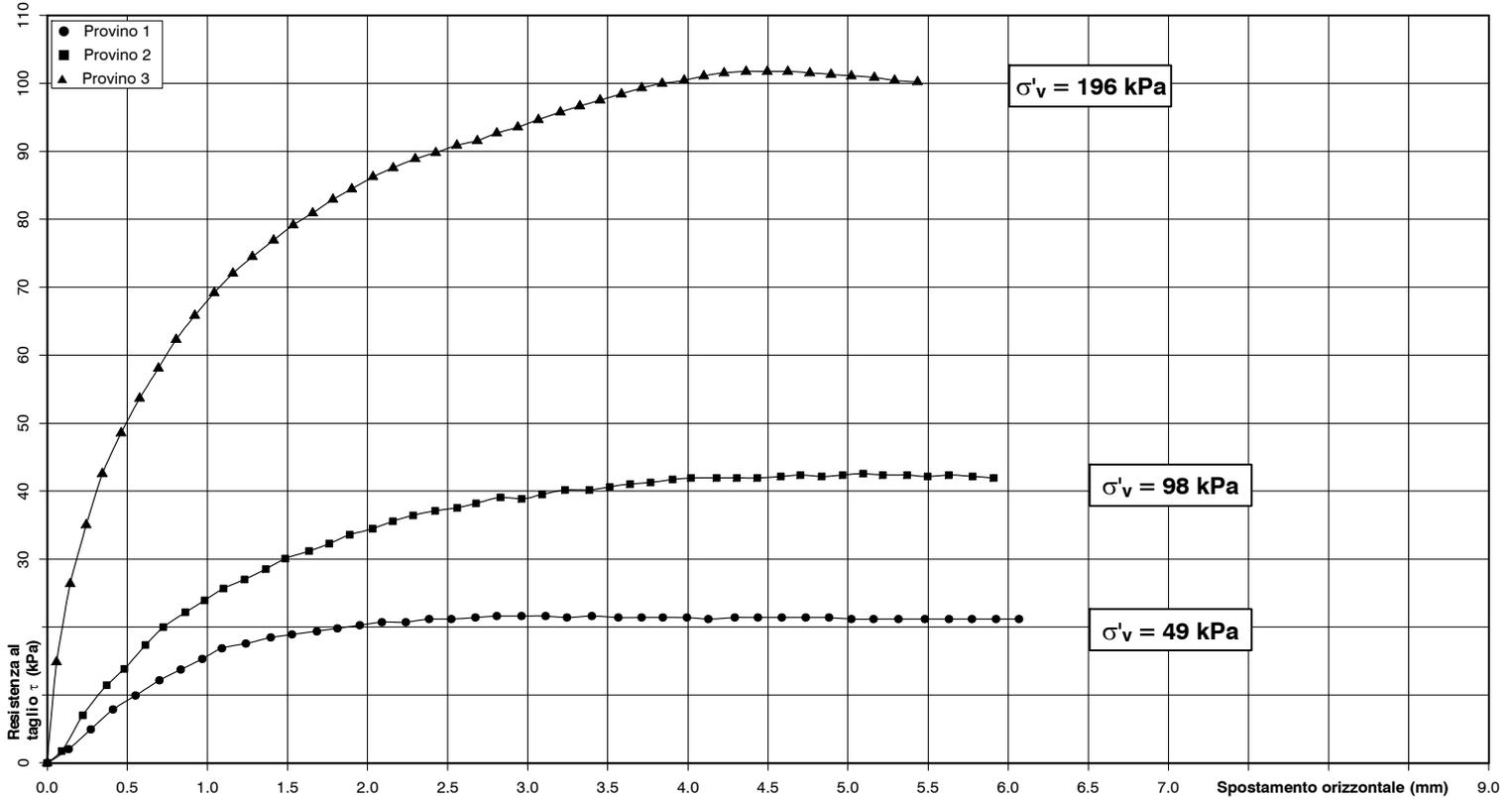
il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scafapazzi)

Roma, 19/07/12



PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO/TS 17892-10)



il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caproni)

Note:



PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

(UNI CEN ISO/TS 17892-10)

MISURAZIONI ACQUISITE

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)
0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
0,13	0,30	2	0,09	0,74	2	0,06	0,47	15
0,27	0,46	5	0,22	0,98	7	0,14	0,62	26
0,41	0,60	8	0,37	1,15	11	0,24	0,82	35
0,55	0,71	10	0,48	1,28	14	0,34	0,94	43
0,70	0,78	12	0,61	1,39	17	0,46	1,08	49
0,83	0,84	14	0,72	1,50	20	0,58	1,23	54
0,97	0,89	15	0,86	1,61	22	0,69	1,35	58
1,09	0,95	17	0,98	1,70	24	0,80	1,44	62
1,24	1,00	18	1,10	1,80	26	0,92	1,52	66
1,40	1,06	18	1,23	1,87	27	1,04	1,61	69
1,53	1,12	19	1,36	1,96	29	1,16	1,73	72
1,68	1,15	19	1,49	2,04	30	1,28	1,79	74
1,81	1,21	20	1,63	2,09	31	1,41	1,87	77
1,95	1,28	20	1,76	2,17	32	1,54	1,93	79
2,09	1,32	21	1,89	2,22	34	1,66	1,99	81
2,24	1,38	21	2,03	2,32	34	1,78	2,05	83
2,38	1,43	21	2,16	2,37	36	1,90	2,11	84
2,52	1,45	21	2,29	2,43	36	2,03	2,17	86
2,67	1,49	21	2,42	2,48	37	2,16	2,23	88
2,81	1,52	22	2,56	2,54	38	2,30	2,28	89
2,96	1,56	22	2,68	2,59	38	2,43	2,28	90
3,11	1,60	22	2,83	2,65	39	2,56	2,34	91
3,25	1,64	21	2,96	2,70	39	2,68	2,40	92
3,40	1,67	22	3,09	2,74	40	2,81	2,46	93
3,57	1,69	21	3,23	2,80	40	2,94	2,52	94
3,71	1,73	21	3,39	2,85	40	3,07	2,55	95
3,84	1,75	21	3,51	2,89	41	3,20	2,61	96
3,99	1,77	21	3,64	2,93	41	3,33	2,61	97
4,13	1,80	21	3,77	2,98	41	3,45	2,64	98

il Tecnico Sperimentatore
(Dott. Geol. Giovanni Caprioni)

il Direttore del Laboratorio
(Dott. Geol. Maurizio Scarapazzi)

NORME DI RIFERIMENTO PER LE PROVE DI LABORATORIO

Descrizione e classificazione dei terreni

Racc. A.G.I. (1963)	:	“Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre”;
C.N.R. U.N.I. 10006	:	“Tecnica di impiego delle terre”;
A.S.T.M. D 2487-93	:	“Classification of the soil for engineering purposes”;
A.S.T.M. D 2488-93	:	“Standard practise for description and identification of soils”.

Determinazione del contenuto d'acqua allo stato naturale

C.N.R. U.N.I. 10008	:	“Prove su materiali stradali. Umidità di una terra”;
D.M. 173/97 - Met.3	:	“Determinazione del contenuto d'acqua”;
A.S.T.M. D 2216-92	:	“Laboratory determination of water (moisture) content of soil”.

Determinazione del peso dell'unità di volume allo stato naturale

Racc. A.G.I. (1994)	:	Determinazione del peso dell'unità di volume relativo alle prove specifiche;
C.N.R. B.U. A. XII N.63	:	“Determinazione della massa volumica apparente dei grani di un aggregato”;

Determinazione del peso specifico assoluto dei granuli

C.N.R. U.N.I. 10010	:	“Prove sulle terre-peso specifico reale di una terra”;
C.N.R. U.N.I. 10013	:	“Prove sulle terre-peso specifico dei granuli”;
A.S.T.M. D 854-92	:	“Standard method for specific gravity of soils”;
A.S.T.M. D 4718-87	:	“Correction of unit weight and water content for soils containing oversize particles”.

Determinazione dei Limiti di consistenza

C.N.R. U.N.I. 10014	:	“Determinazione dei limiti di consistenza di una terra”;
A.S.T.M. D 4318-93	:	“Liquid limit, plastic limit and plastic index of soils”;
BISHOP & GLOSSOP	:	“Determinazione del limite di adesività”;
BISHOP & GLOSSOP	:	“Serie di prove indici su impasto di argilla”.

Determinazione del Limite di ritiro

A.S.T.M. D 4943-89	:	“Shrinkage factors of soils by the wax method”;
A.S.T.M. D 427-93	:	“Shrinkage factors of soils by the mercury method”;
B.S. 1377, Part 2 - 1990	:	“Determinazione del ritiro lineare”.

Determinazione del coefficiente di imbibizione

I.S.R.M. (1979)	:	“Determinazione dell'imbibizione”.
-----------------	---	------------------------------------

Preparazione di campioni di terreno per analisi granulometrica e la determinazione delle costanti del terreno

A.S.T.M. D 421-85	:	“Dry preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants”;
A.S.T.M. D 2217-85	:	“Wet preparation of soil samples for particle-size analysis and determination of soil constants”;

Analisi granulometrica

Racc. A.G.I. (1994)	:	“Analisi granulometrica di una terra”;
C.N.R. B.U. A. V N.23	:	“Analisi granulometrica di una terra mediante setacci e crivelli”;
A.S.T.M. D 422-90	:	“Particle size analysis of soils”;
A.S.T.M. D 1140-97	:	“Amount of material in soils finer than No.200 sieve”;

Determinazione dell'equivalente in sabbia

C.N.R. B.U. A.VI N.27	:	“Metodo di prova per la misura dell'equivalente in sabbia”.
-----------------------	---	---

Prova di consolidazione monodimensionale (edometrica)

Racc. A.G.I. (1994)	:	“Prove edometriche”;
A.S.T.M. D 2435-90	:	“One-dimensional consolidation properties of soil”;
A.S.T.M. D 4186-82	:	“One-dimensional consolidation properties of soils using controlled-strain loading”.

Prova di rigonfiamento

A.S.T.M. D 4546-90	:	“One dimensional swell or settlement potential of cohesive soils”;
GIBBS & HOLTZ (1956)	:	“Prova di rigonfiamento libero”;

Prova di permeabilità

A.S.T.M. D 2434-68 : "Permeability of granular soils (constant head)".

Prove di erodibilità

SHERARD et al. (1976) : "Prova di erodibilità Pinhole Test";

SHERARD et alii (1976) : "Prova di erodibilità Crumb Test";

VOLK (1937) : "Prova di erodibilità Dispersion Test" (Prova del doppio aerometro).

Prova di taglio con scissometro

A.S.T.M. D 4648-87 : "Laboratory miniature Vane test for saturated fine-grained clayey".

Prova di compressione ad espansione laterale libera

A.S.T.M. D 2166-91 : "Unconfined compressive strength of cohesive soil".

Prove triassiali

Racc. A.G.I. (1994) : "Prove di compressione triassiale su terre coesive";

A.S.T.M. D 2850-87 : "Unconsolidated, undrained compressive strength of cohesive soils in triaxial compression";

A.S.T.M. D 4767-88 : "Consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils".

Prova di taglio diretto

Racc. A.G.I. (1994) : "Prove di taglio diretto";

A.S.T.M. D 3080-90 : "Direct shear test of soil under consolidated drained conditions".

Prova Proctor

C.N.R. B.U. A. XII N.69 : "Norme sui materiali stradali. Prove di costipamento di una terra";

A.S.T.M. D 698-91 : "Moisture density relations using 5,5 lb. rammer soil compactors".

Prova C.B.R.

C.N.R. U.N.I. 10009 : "Prove sui materiali stradali. Indice di portanza CBR di una terra";

A.S.T.M. D 1883-92 : "Bearing ratio of laboratory compacted soils".

Determinazione del contenuto in sostanze organiche

A.S.T.M. C 40

Determinazione del tenore in carbonati

U.N.I. 9943/2 : "Determinazione del contenuto in carbonati";

A.S.T.M. D 4373-84 : "Calcium carbonate content of soil".

Determinazione del tenore in cloruri

B.S. 812

Determinazione della densità in sito

A.S.T.M. D 1556-90 : "Density of soil in place by the sand cone method".

Prova di carico su piastra

C.N.R. U.N.I.;

A.S.T.M. D 1195-93 : "Repetitive static plate load test of soils";

A.S.T.M. D 1196-93 : "Nonrepetitive static plate load test of soils";

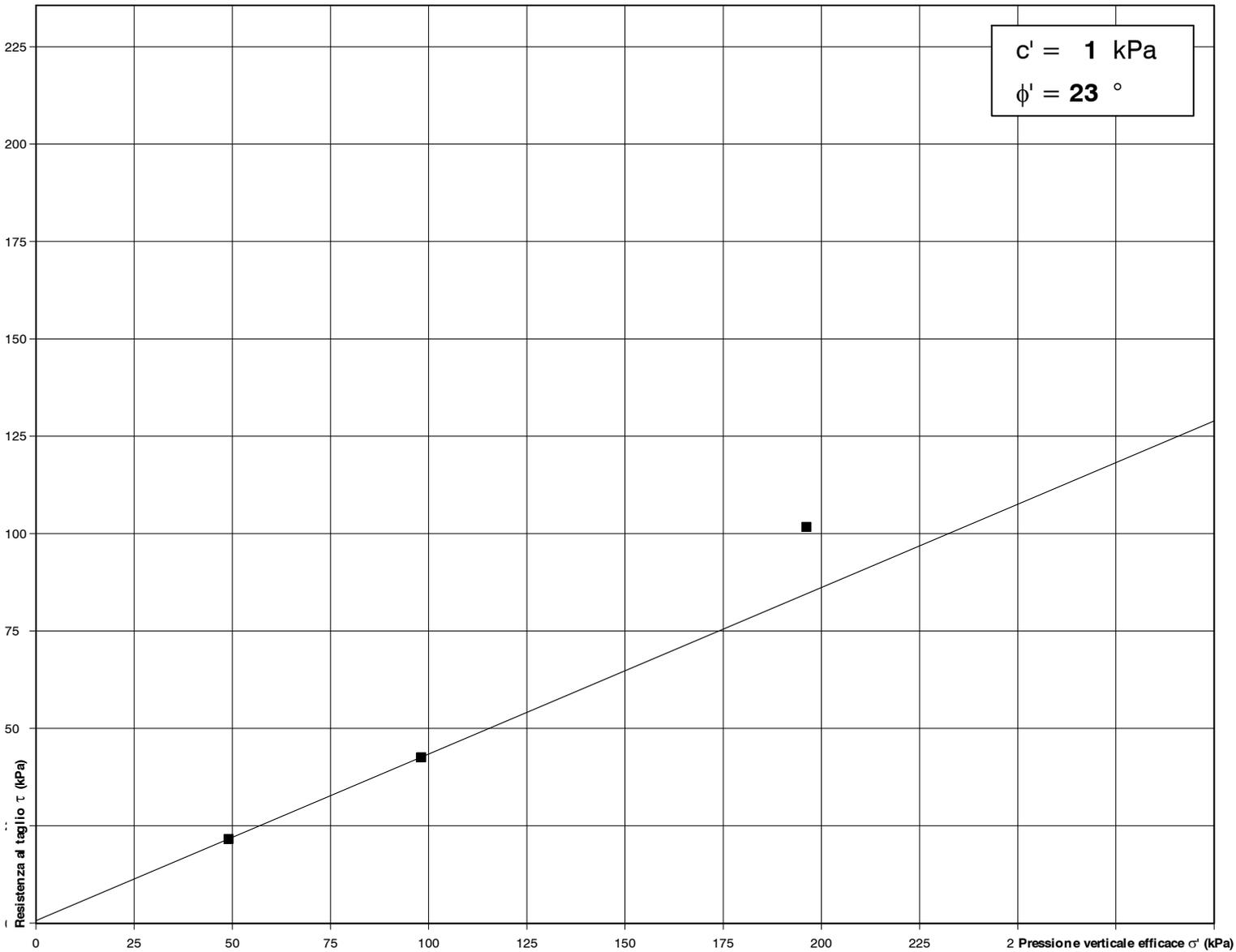
N.S. SNV 70317 : "Prova con piastra".

NOTA: QUALORA VENGA RICHIESTA L'ESECUZIONE DI UNA PROVA DI CUI NON ESISTE UNA NORMATIVA NAZIONALE OD INTERNAZIONALE, FARÀ FEDE LA PROCEDURA INTERNA DI RIFERIMENTO.

INTERPRETAZIONE DELLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)

Sondaggio n° 1	Campione n° 1	Profondità di prelievo: da m 03.50 a m 03.90
----------------	---------------	---

Provino n°		1	2	3
Carico verticale efficace	kPa	49	98	196
Deformazione verticale a rottura	%	1,52	3,28	2,87
Spostamento orizzontale a rottura	mm	2,81	5,09	4,36
Sollecitazione di taglio a rottura	kPa	22	43	102



Allegato 5

Report Indagine Sismica

Relazione Sismica

INDAGINE GEOFISICA
DETERMINAZIONE Vs30 MEDIANTE TECNICA *DOWN-HOLE*
HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)



Via Natisone
PISA

COMMITTENTE:
APES s.c.p.a.

DIREZIONE INDAGINI:
Geol. Massimiliano Perini

[05-06/07/2012]

INDAGINE GEOFISICA

**Determinazione Vs30 mediante tecnica *DOWN-HOLE*
HVS*R* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)**

PROGETTO DEFINITIVO ALLOGGI ERP
VIA PIETRASANTINA, PISA

LUGLIO 2012

COMMITTENTE: **APES S.C.P.A.**

DIREZIONE INDAGINI: **GEOL. MASSIMILIANO PERINI**

1 PREMESSA

Su incarico della APES s.c.p.a. è stata eseguita un'indagine sismica con tecnica *Down-Hole* al fine di ricavare il parametro V_{s30} e ottenere la caratterizzazione elastica dei terreni di fondazione in corrispondenza dei quali è prevista la realizzazione di un fabbricato residenziale da n° 18 alloggi.

L'indagine è stata integrata dalla determinazione del rapporto spettrale H/V di sito al fine di individuare la presenza di eventuali contrasti d'impedenza significativi e/o del *bedrock* sismico. Attraverso le registrazioni dei microtremori naturali nelle tre direzioni dello spazio è infatti possibile stimare, unitamente al confronto con i dati derivanti da altre metodologie d'indagine, la profondità di eventuali contatti sismostratigrafici tra domini caratterizzati da un marcato rapporto di rigidezza sismica.

Le indagini si sono svolte nei giorni 05 e 06 Luglio 2012 attraverso l'esecuzione di misure sismiche in foro e di superficie la cui ubicazione è esattamente riportata in Figura 1.



Fig. 1 – Ubicazione indagine (Gauss-Boaga): 1.611.597; 4.842.524

La prospezione sismica verticale è stata eseguita all'interno di un foro di sondaggio (profondità 32,5 m) preventivamente attrezzato dalla Società GeoTirreno srl con tubi di rivestimento in PVC da 3" cementati.

La presente relazione, dopo una breve illustrazione riguardo le metodologie e i principi su cui si basano le specifiche tipologie d'indagine applicate, commenta i risultati ottenuti riportando in allegato i sismogrammi, le dromocrone, le tabelle ed i grafici associati in conformità alle Istruzioni Tecniche per la programmazione delle indagini del Programma VEL di cui alla LR 56/97.

2 STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati in foro è la seguente:

Energizzatore	massa battente 10 Kg su piattella/trave in legno	generazione segnale
Geofoni da foro SS-BH 5 Canali	1 Verticale + 4 Orizzontali (4.5Hz)	conversione segnale sismico in elettrico
Sismografo SARA Do.Re.Mi.	digitalizzatori - 16 bit	conversione segnale elettrico in digitale e registrazione
Interfaccia Do.Re.Mi. master		alimentazione, collegamento PC, erogazione del segnale start
Batteria al Piombo	12,5 V	alimentazione
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione elaborazioni dati

Tab. 1 – Descrizione strumentazione di acquisizione per analisi DH.

La strumentazione è composta da un sensore SS-BH, specifico per misure di vibrazione in foro (DownHole, CrossHole etc.), realizzato con struttura in acciaio inox e equipaggiato con 5 sensori da 4.5 Hz.

Questi ultimi ricevono il segnale analogico generato dall'arrivo del treno di onde sismiche, prodotte dal sistema di energizzazione.



Fig. 2 – Strumentazione d'acquisizione.

Il dato acquisito viene quindi registrato nell'unità di memoria interna di 5 canali collegati al sensore da foro rendendosi disponibile per il successivo download, mediante interfaccia master, da parte del programma di acquisizione installato su computer portatile.

L'interfaccia master, oltre a permettere l'acquisizione dei dati, registra con precisione il segnale di start proveniente dalla fonte di energizzazione e consente una corretta comunicazione tra il personal computer e i canali di acquisizione.

Il sensore SS-BH utilizza un sistema di bloccaggio (interruttore blocca-sblocca) ad azionamento elettrico, inoltre l'uso di quattro sensori orizzontali garantisce la lettura dei primi arrivi in ogni condizione. I sensori elettrodinamici non fanno uso di energia e non incidono nei consumi del sistema.

Il sensore SS-BH utilizza elementi di alta stabilità e l'assemblaggio nel contenitore metallico, lavorato con macchine a controllo numerico, garantiscono il perfetto posizionamento angolare dei sensori orizzontali e l'assoluta ortogonalità di quello verticale.

L'acquisizione dati per le analisi del rapporto spettrale H/V è stata eseguita mediante la seguente strumentazione:

Strumento	modello PF S SR04 GBX-45-NNG	
3 Sensori (4,5 Hz)	Numero canali: 3 Non ortogonalità: < 0.01% Frequenza naturale: 4.5Hz (+/-5%) Banda utilizzabile: 0.2-1000Hz Damping: 0.707 Massa inerziale: 24 g Sensibilità nominale: 80 V/m/s Movimento massa: 0.2mm Certificazioni:CE(EN55022, N55011)	campionamento simultaneo sui 3 canali
Interfaccia Do.Re.Mi.		download dei dati su PC,
Computer	Acer Aspire One D150-1Bw	visualizzazione, memorizzazione dati

Tab. 2 – Strumentazione di acquisizione per analisi HVSR.

Il dispositivo sismico utilizzato in questa sede per le misure di vibrazione ambientale consiste in un digitalizzatore a 24 bit 3 canali ad altissima risoluzione collegato ad un personal computer per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati.

Tre supporti a vite regolabili e una livella consentono il posizionamento dello strumento secondo il piano orizzontale; l'alimentazione è garantita da una piccola batteria interna ricaricabile.

I dati acquisiti dai sensori sono trasferiti al PC mediante un cavo elettrico collegato ad una porta seriale (RS232) e registrati in digitale da un software dedicato (modulo SEISMOLOG-MT della suite SEISMOWIN) per mezzo di un convertitore con frequenza di campionamento fino a 600 Hz.

Attraverso la specifica funzione di trasferimento è possibile, nel dominio delle frequenze, una correzione strumentale del dato. Di seguito si riporta quella specifica dello strumento utilizzato:

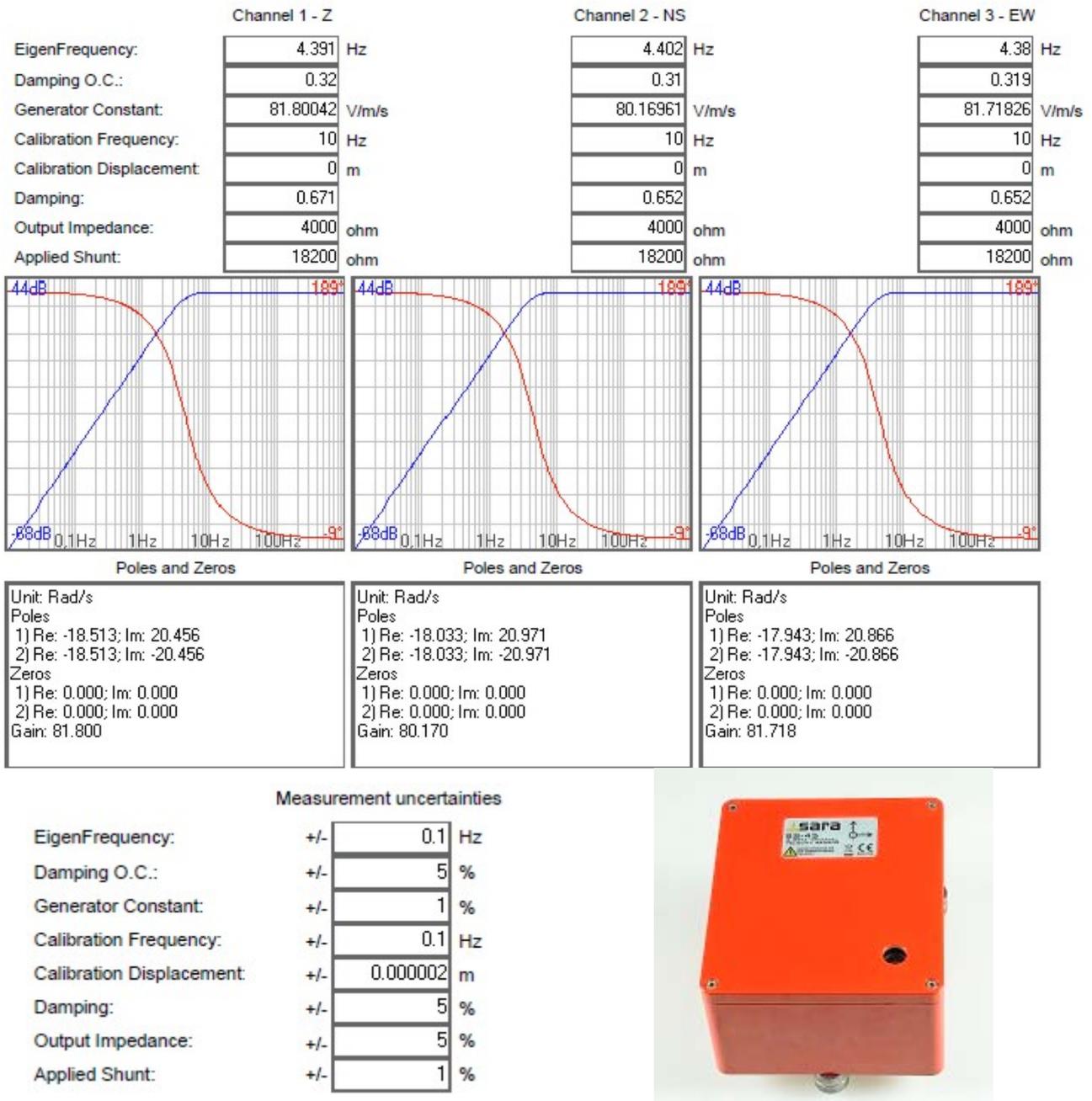


Fig. 3 – Funzione di trasferimento dei sensori del tromografo digitale.

3 TECNICA DOWNHOLE

La prospezione sismica in foro con il metodo “DownHole” (DH) consente la determinazione diretta in sito delle velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali (Vp) e trasversali (Vsh) lungo una direzione sub-verticale. Essa altresì consente, in maniera indiretta, utilizzando i valori delle velocità acquisiti (VP, VS), di ricavare le principali proprietà elastiche delle litologie investigate.

Le prove sismiche in foro sono utili per determinare la sismostratigrafia dettagliata del sottosuolo e si dividono secondo varie metodologie d’indagine in:

- 1) UpHole
- 2) DownHole
- 3) CrossHole

Il metodo DownHole prevede la sistemazione in superficie della sorgente e in foro quella del sensore di registrazione delle onde. Il sensore, al cui interno sono allocati i geofoni di registrazione (1 verticale e 2÷4 orizzontali) è bloccato, meccanicamente o pneumaticamente, alle pareti del tubo in PVC all'interno del foro di sondaggio.

Tale tubo di rivestimento è reso preventivamente solidale al terreno circostante per mezzo della cementazione, con opportune malte introdotte per risalita all'interno del perforo.

La sorgente sismica è costituita da una massa battente mentre un geofono *starter*, o in alternativa un dispositivo *trigger* collegato al sistema di energizzazione, registra il tempo zero del segnale.

Diverse modalità di energizzazione consentono di generare alternatamente onde di compressione e onde di taglio. Tali sollecitazioni generano nel terreno onde elastiche longitudinali e trasversali che si propagano in tutte le direzioni, compresa quella parallela al foro d'indagine.

La pratica di esecuzione consiste nel calare il geofono da foro a profondità crescenti (o decrescenti) fissandolo a intervalli regolari contro la parete del tubo di rivestimento. Una volta prodotta l'energizzazione in superficie (sia in senso ortogonale che parallelo al p.c.) si registrano i tempi di arrivo delle onde "P" ed "S" ai geofoni in foro.

Il mezzo "terreno" viene in questo modo sottoposto a ripetute sollecitazioni sia di taglio che di compressione-dilatazione, alle quali reagisce con differenti velocità in relazione alle sue specifiche caratteristiche.

In fase di elaborazione, mediante l'ausilio di specifici software di analisi, l'operatore è in grado di ricavare tali valori di velocità nonché i principali parametri elastici.

3-1 Correlazione Velocità Onde Sismiche – Parametri Elastici

Le onde di volume (di compressione e di taglio) generate dall'impulso prodotto in superficie si propagano nel terreno in ogni direzione e creano, nel mezzo attraversato, sollecitazioni e deformazioni che generalmente ricadono nel campo elastico del diagramma sforzi/deformazioni.

In uno stesso tipo di materiale le velocità di propagazione dei vari tipi di onde differiscono tra loro. Le velocità più elevate sono proprie delle onde di compressione, a cui seguono le onde di taglio e i diversi tipi di onde di superficie (*Rayleigh, Love* etc).

Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano nel campo sismico sono di modestissima entità, il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elastici. E' quindi applicabile la legge di Hooke (proporzionalità tra lo sforzo applicato δ e la deformazione prodotta ε):

$$\delta = \varepsilon \cdot E$$

La costante elastica E , definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale, rappresenta il modulo elastico (o di Young) del materiale. In campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico (e non statico), ricavando tale modulo da prove dinamiche (o sismiche).

Il rapporto tra la sollecitazione ortogonale (trasversale o di taglio) e la deformazione definisce il modulo di elasticità tangenziale (o di taglio) G .

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica (o di volume) definisce il modulo di compressione cubica (o di Bulk) K .

Infine, il modulo di *Poisson* ν è definito come il rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale. Tale modulo varia tra 0.00 e 0.50 con valore medio di 0.25 per molte rocce: i valori tendono a 0.05 per materiali estremamente duri e a 0.45 per i materiali incoerenti. Per i fluidi il modulo assume il valore limite di 0.5.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè l e m come caratteristiche elastiche indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$l = (\nu \cdot E) / [(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)] \quad (1)$$

$$m = E / [2 \cdot (1 + \nu)] \quad (2)$$

Analogamente i due moduli E e ν possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè l e m :

$$E = m \cdot (3 \cdot l + 2 \cdot m) / (l + m) \quad (3)$$

$$\nu = l / [2 \cdot (l + m)] \quad (4)$$

La seconda costante di Lamè m ha lo stesso significato fisico del modulo di elasticità tangenziale G precedentemente definito.

Dimensionalmente il modulo elastico e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie mentre il modulo di Poisson è adimensionale.

Un'ultima costante fornisce relazioni tra caratteristiche elastiche del materiale e la velocità di propagazione delle onde sismiche al suo interno: la densità ρ espressa come rapporto tra massa e volume.

Le velocità delle onde longitudinali V_p e trasversali V_s si correlano alle costanti elastiche con le seguenti relazioni:

$$V_p = [(l + 2 \cdot m) / \rho]^{1/2} \quad (5)$$

$$V_s = [m / \rho]^{1/2} \quad (6)$$

Pertanto, avendo determinato i valori di V_p e V_s con rilievi sismici ed il valore della densità con prove di laboratorio, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche che caratterizzano i terreni esaminati con le espressioni:

$$\nu = 0.5 \cdot [(V_p/V_s)^2 - 2] / [(V_p/V_s)^2 - 1] \quad (7)$$

$$E = \rho \cdot V_p^2 \cdot [(1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)] / (1 - \nu) = 2 \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu) \quad (8)$$

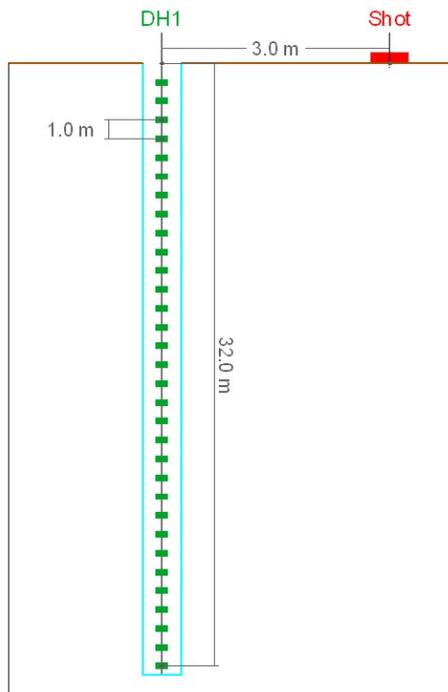
L'analisi delle varie relazioni illustrate permette una serie di considerazioni interessanti che si traducono in altrettanti comportamenti fisici riscontrabili nell'applicazione pratica.

Il confronto fra le espressioni (5) e (6) delle velocità conferma come per uno stesso materiale la velocità longitudinale abbia sempre un valore superiore a quello trasversale. Per i fluidi il modulo di Poisson vale 0.50 e la seconda costante di Lamè $m = 0$. Ne risulta che nei fluidi non possono essere trasmessi sforzi di taglio.

Il rapporto tra le velocità di propagazione V_s/V_p è solo funzione del modulo di Poisson. Al variare del modulo da 0.00 a 0.50, il rapporto varia da 0.7 a 0.0. Per il valore medio delle rocce ($\nu = 0.25$) il rapporto vale $V_s/V_p = 0.58$.

4 RISULTATI DOWNHOLE

Le caratteristiche adottate per l'indagine DownHole eseguita in questa sede sono le seguenti:



Foro d'indagine	DH1
n° geofoni sensore	5
passo campionamento (m)	1
n° punti di scoppio	32
profondità indagine (m)	32
tempo di acquisizione	0,4 s
intervallo campionamento	5000 Hz

Fig. 4 – Schema stendimento d'acquisizione.

In questa sede si è operato con passo di campionamento pari a 1,00 m utilizzando come sistema di energizzazione una mazza sismica da 10 kg.

L'energizzazione trasversale, per la registrazione delle onde "S", è stata ottenuta percuotendo una trave in legno, resa solidale al terreno dal peso dell'avantreno di un automezzo, e posta a 3.0 m di distanza dal b.f. L'energizzazione compressionale, per la registrazione delle onde "P", è stata invece ottenuta colpendo una piattella metallica, posta sul lato della trave.

I dati ottenuti sono stati memorizzati in campagna su supporto magnetico e successivamente elaborati tramite software dedicato.

Come **rapporto di prova** viene prodotto per tutte le energizzazioni effettuate un modulo riportante:

1. le dromocrone relative alle onde "P" ed "S",
2. i valori dei tempi di arrivo, misurati e corretti rispetto alla verticale,
3. i valori delle velocità, calcolati per ogni step di lettura,
4. i moduli elastici per ogni mezzo di propagazione individuato attraverso l'interpretazione delle dromocrone.
5. le tracce dei sismogrammi registrati, relativi alla generazione delle onde longitudinali (P)
6. le tracce dei sismogrammi registrati relativi alla generazione delle onde trasversali nelle due direzioni (Sx e Sy).

L'interpretazione dei risultati è stata effettuata utilizzando il procedimento noto come "**Metodo Diretto**".

Nel *metodo diretto* è necessario, inizialmente, correggere i tempi di tragitto (t), misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore, per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della

sorgente dall'asse del foro (figura 2), r la distanza fra la sorgente e i sensori e z la profondità di misura, è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione $t_{corr} = \frac{z}{v}$

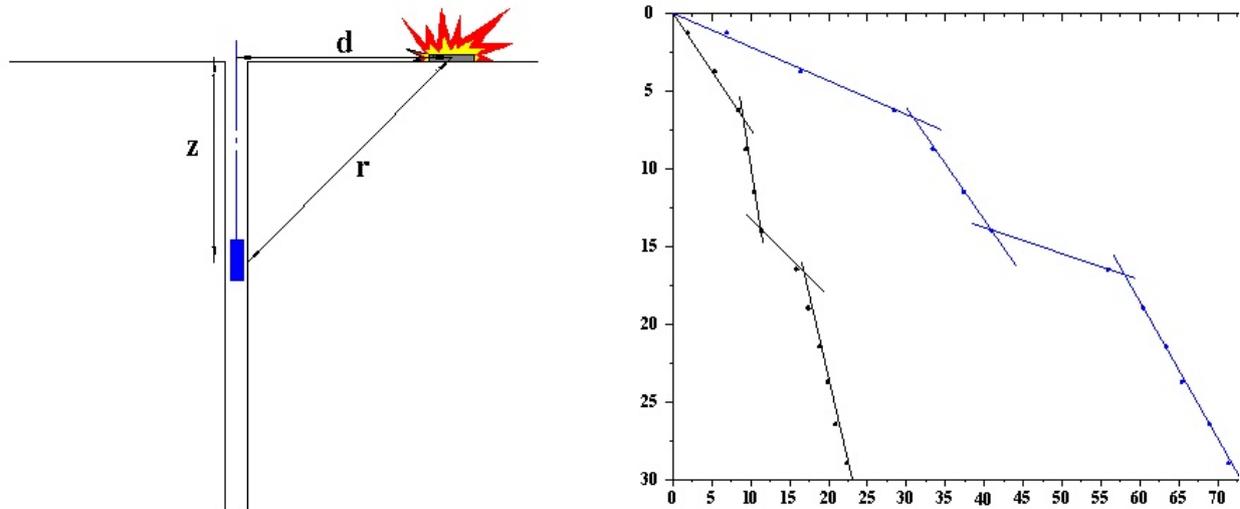


Fig. 5 – Schema di DownHole con metodo diretto.

Una volta calcolati i tempi corretti, sia per le onde P che per le onde S, si realizza il grafico $t_{corr} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno sia rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (figura 5). Definiti graficamente i sismostrati si ricava la loro densità media in funzione della velocità e della profondità.

Mediante il software "DownHole - GeoStru" l'elaborazione dei risultati della prospezione ha infine permesso di determinare gli spessori, le velocità sismiche e i moduli elastici dinamici dei singoli sismostrati riscontrati sulla verticale di prospezione.

Il modello conseguito dall'elaborazione dei sismogrammi individua per la verticale DH1 un valore di V_{s30} [$V_{s30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / N_i)$] pari a **148,01 m/sec**, determinato mediante il **metodo diretto**.

Su richiesta della direzione delle indagini si riporta inoltre il valore del parametro V_{s30} alla profondità di 2,0 m dal piano campagna: che risulta corrispondere a **155,48 m/sec**.

I risultati e le relative correlazioni numeriche sono dettagliatamente illustrati negli allegati, parte integrante della presente relazione. In particolare dall'analisi delle dromocrone si è adottato un modello a cinque strati caratterizzati da velocità delle onde sismiche variabili.

Relativamente al calcolo dei parametri elastici dei terreni indagati, è importante precisare che i valori ricavati per via dinamica sono in genere superiori a quelli ottenuti da prove statiche di laboratorio. Ciò in virtù del diverso campo di sollecitazione applicata e della diversa deformazione raggiunta.

5 TECNICA HVSR (metodo Nakamura)

Lo scopo di questa particolare tecnica è l'individuazione, attraverso il metodo proposto da Nakamura sul rapporto spettrale H/V, delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e la ricerca dell'eventuale *bedrock* geofisico.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, rapida e può essere applicata ovunque non necessitando di alcun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza di un sito;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio;
- la velocità media delle onde di taglio Vs.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremori. La forma di un'onda registrata in un determinato sito dallo strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni);
3. dalle rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda;
4. dalla risposta dello strumento;

ovvero:

segnale registrazione al sito = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento etc...) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Il rumore sismico viene denominato microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, sensibilmente inferiori a quelle prodotte dai terremoti.

I metodi che si basano sull'acquisizione delle vibrazioni ambientali vengono detti di tipo passivo, in quanto il segnale non è appositamente generato (come avviene per esempio con le energizzazioni della sismica attiva).

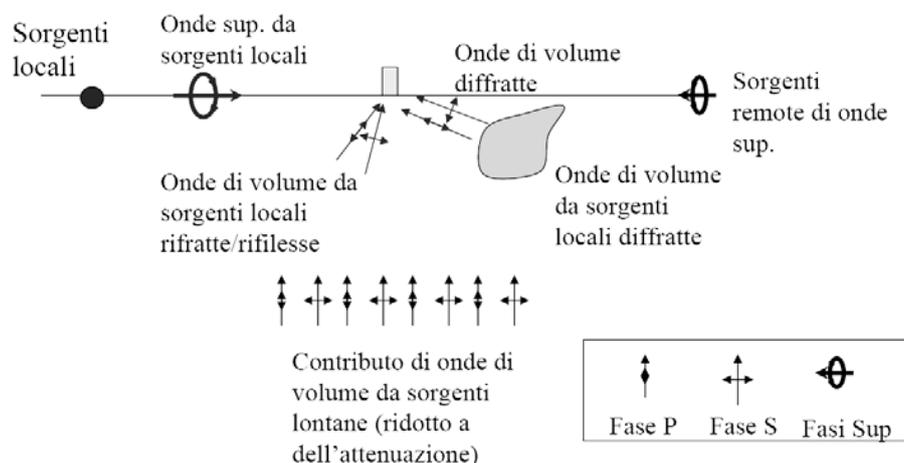


Fig. 6 – Percorsi e tipi di sorgenti dei microtremori.

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Di conseguenza l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica.

Diversamente con la tecnica dei microtrempi è possibile registrare una parte del segnale di partenza che contiene informazioni relative al percorso effettuato ovvero alla struttura sismostratigrafica in prossimità del sensore. In questo modo il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale da scartare nella sismologia tradizionale, viene sfruttato per ottenere utili informazioni per le analisi sismiche del sottosuolo. Queste risultano mascherate dal rumore casuale e possono essere estratte solo attraverso opportune tecniche di filtraggio.

Una di queste è la teoria dei rapporti spettrali o semplicemente HVSR che consente di fornire stime affidabili delle frequenze fondamentali dei sottosuoli.

6 RISULTATI HVSR

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale a 3 canali con capacità di registrazione a 24 bit. Attraverso lo strumento, che racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ad alta definizione ortogonali tra loro, si sono registrate le vibrazioni ambientali i cui valori sono stati salvati in tempo reale nella memoria interna di un computer portatile.

I dati registrati sono stati convertiti in file ASCII nel formato .SAF mediante il software Seismolog-MT e successivamente elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

Durante il campionamento lo stesso software ha permesso di visualizzare in tempo reale la curva H/V e gli spettri assoluti sulle componenti sia verticale che orizzontale, e di salvare un secondo file di registrazione già depurato dei transienti individuati durante il campionamento.

Il rumore sismico è stato registrato per un periodo di 60 minuti suddiviso in 2 registrazioni di 30 min ciascuna. In fase di elaborazione la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di 40 sec all'interno dei quali si è operato un'analisi spettrale nelle tre componenti (Verticale, N-S e E-W).

Per ciascun segmento si è quindi calcolato il rapporto spettrale fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale. Dei valori così ottenuti è stata calcolata la media.

Infine, perché le misure ottenute dall'elaborazione dei dati di campagna possano essere considerate una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh si è proceduto alle seguenti verifica di coerenza:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente risultano stabili, ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato,
- gli effetti di sorgente sono effettivamente mediati, ovvero al netto di eventuali sorgenti dominanti,
- la misura non contiene errori sistematici (come per esempio quelli generati da un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio e della sismostratigrafia di sito, è stato costruito un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante quelle evidenziate dalla registrazione. Successivamente, tramite specifico algoritmo, sono state unite le informazioni di carattere sismostratigrafico derivanti dall'indagine *DownHole* con quelle derivanti dall'analisi H/V e si è proceduto ad adattare la curva

teorica a quella sperimentale, ottenendo i valori di riferimento degli spessori dei sismostrati e la relativa velocità delle onde Vs.

L'interpretazione ha consentito di correlare il valore dei picchi dello spettro di risposta HVSR con i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i principali cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo. Definendo i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore di frequenza caratteristica di sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità in metri dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica rappresentativa del sottosuolo.

La **frequenza caratteristica di risonanza del sito** risulta essere nel caso in esame generata dalla discontinuità localizzata alle basse frequenze ($f_0=0,34$ Hz – $A_0=2,29$) associabile ad un possibile contatto tra materiali a diverso contrasto d'impedenze. A frequenze maggiori (dunque a profondità minori) si osservano altri picchi del rapporto spettrale H/V con ampiezza comunque inferiore a quella di risonanza. Tra questi i più evidenti sono quelli a frequenza $f_1=1,40$ Hz ($A_1=1,96$) e $f_2=20,10$ Hz ($A_2=2,19$)

I picchi riscontrati alle tre frequenze individuate, tuttavia, presentano valori di ampiezza tale da non avere particolare significatività per quanto riguarda una possibile amplificazione sismica di sito.

Utilizzando come modello superficiale (0,0 - 32,0 m) quello derivante dall'indagine DownHole, mediante l'utilizzo del "Software Microtremor" (<http://nato.gfz.hr/SW.zip>) di Alberello D. & Lunedei E. (Lunedei E., Albarello D., 2009, *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014) attivato attraverso l'interfaccia grafica messa a disposizione dal Software WinMASW 5.0 Pro, è stato individuato un modello sismostratigrafico la cui curva H/V sintetica fosse compatibile con quella misurata. Confrontando il modello reale con quello ricostruito si è evidenziato una modesta discontinuità sismica a circa 17-18 m dal p.c. (1,40 Hz) e una discontinuità leggermente superiore, ma sempre di bassa entità, a circa 140-142 m dal p.c. (0,34 Hz).

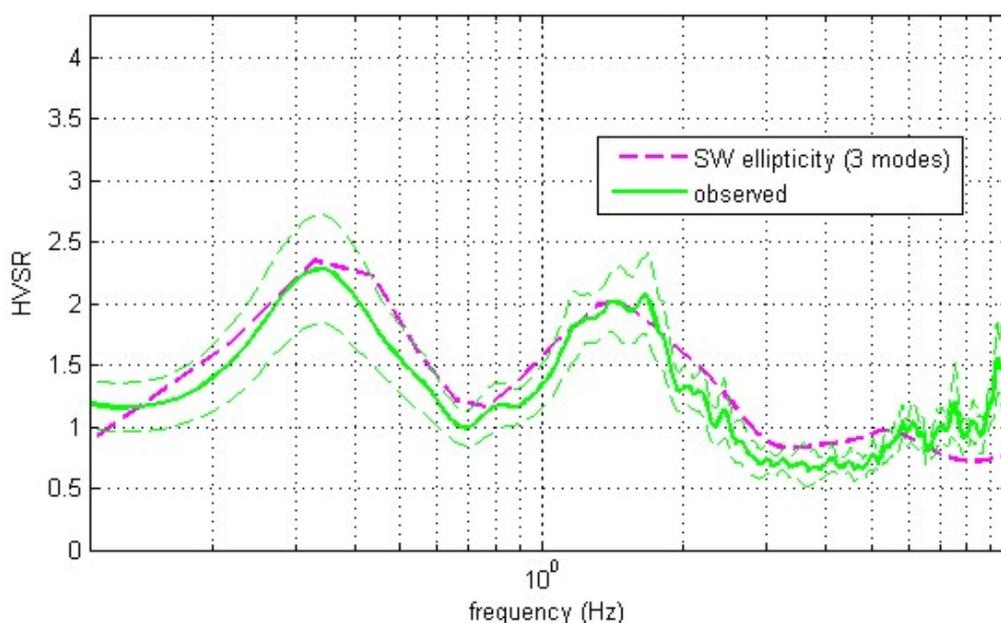


Fig. 7 – Confronto modello H/V osservato e sintetico ricostruito sulla base dell'ellitticità delle Onde Superficiali

L'aumento di velocità di propagazione delle onde sismiche è direttamente correlabile all'aumento di rigidità del sottosuolo. Il *bedrock* geofisico, nella ricostruzione del modello sismico ipotizzato, non è stato riscontrato quindi risulterebbe localizzarsi ad una profondità ben superiori a quelle riscontrate dalle metodologie d'indagine sismica qui eseguite.

HVSR - Frequenza fondamentale di risonanza di sito

Nel figure che seguono sono rappresentati rispettivamente il rapporto spettrale H/V e i valori assoluti delle componenti spettrali sulle tre componenti del moto sismico.

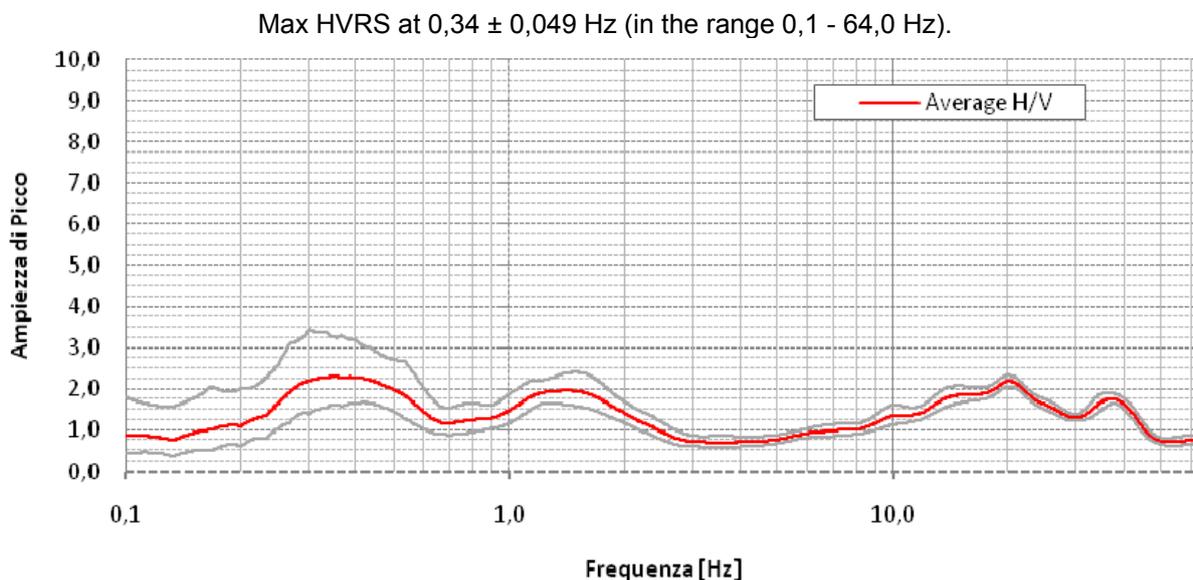


Fig. 6 – Rapporto spettrale H/V misurato.

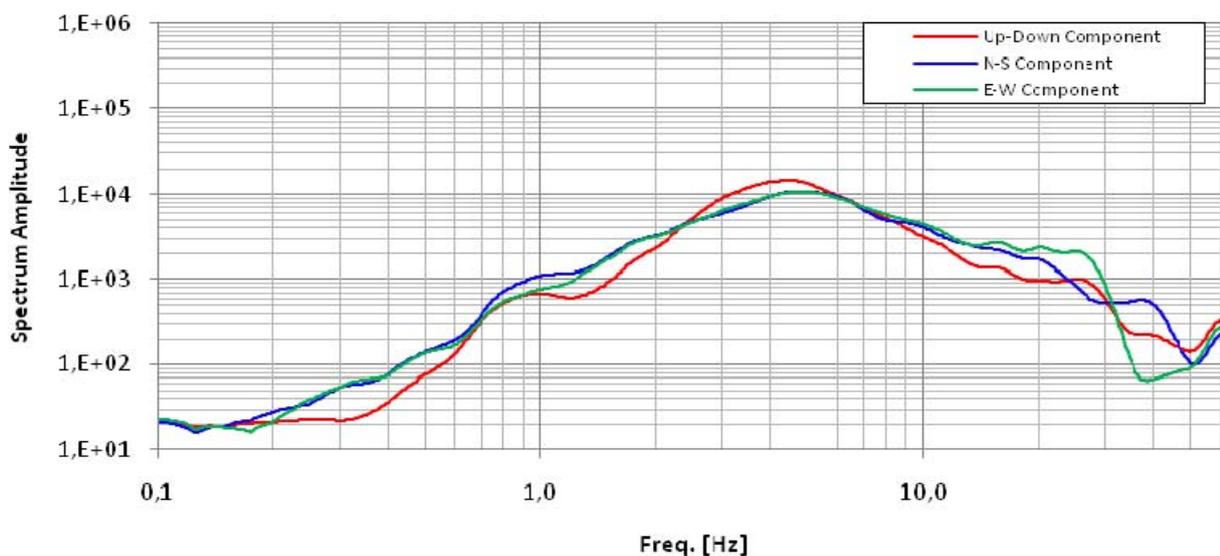


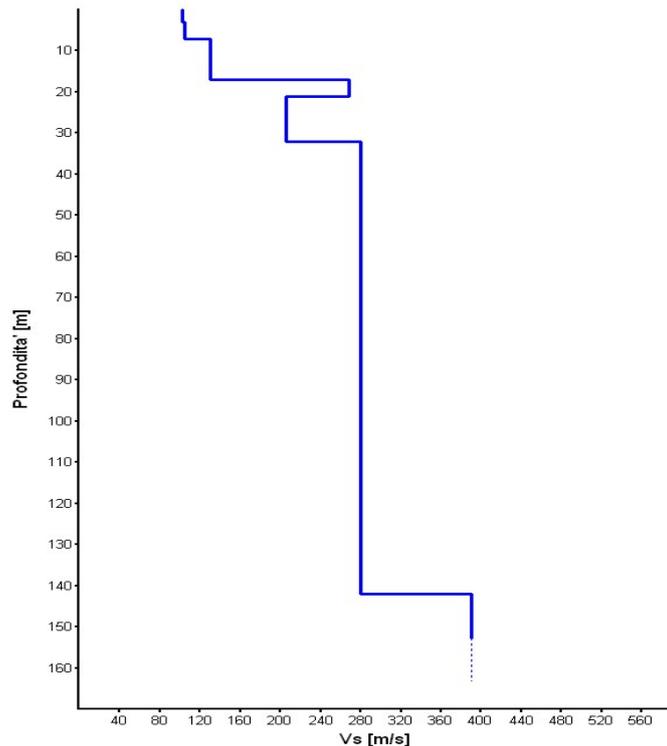
Fig. 7 – Valori spettrali assoluti per le tre componenti del moto vibrazionale (Z, N-S, E-W).

Il modello d'inversione proposto per il caso in esame è riportato nella tabella seguente.

Sismostratigrafia (DownHole + HVSR)

H (m)	D (m)	Vs (m/s)
3.0	3.0	100
4.0	7.0	105
10.0	17.0	130
4.00	21.0	268
11.00	32.0	204
110.00	142.0	280
Half Space	-	390

H = spessore
 D = profondità
 Vs = velocità onde di taglio



Tab. 3 – Sismostratigrafia ricostruita mediante il codice di calcolo *Microtremor* (Lunedei E., Albarello D., 2009).

Nella Tabella 4 viene riportato dal punto di vista numerico la qualità del segnale acquisito sulla base dei principi e delle indicazioni di cui al progetto SESAME 2005 (*Site EffectS assessment using Ambient Excitations*). Per l'affidabilità della curva HVSR i primi tre criteri devono essere verificati mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

Criteri per l'attendibilità della curva H/V					
(Tutti e 3 dovrebbero essere soddisfatti)					
$f_0 > 10 / Lw$	0.3428	>	0.33	OK	
$nc(f_0) > 200$	324	>	200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0,5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0,5$ Hz	$\sigma_A(f)$	<	2	OK	
$\sigma_A(f) < 3$ per $0,5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0,5$ Hz	$\sigma_A(f)$	<	3		
Criteri per un chiaro picco della curva H/V					
(Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti)					
$\exists f^* \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	$A_{H/V}(f^*)$	<	$A_0/2$	OK	
$\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	$A_{H/V}(f^*)$	<	$A_0/2$	OK	
$A_0 > 2$	A_0	>	2	OK	
$F_{peak} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	-0.05	< f_0 <	+0.05	NO	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.0049360	<	0.069689	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.418787	<	2.50	OK	
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di Frequenza [Hz]	< 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 \cdot f_0$	$0.20 \cdot f_0$	$0.15 \cdot f_0$	$0.10 \cdot f_0$	$0.05 \cdot f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.00	2.50	2.00	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tab. 4 – Verifica di attendibilità della curva H/V secondo i criteri del Progetto SESAME 2005.

dove:

L_w	lunghezza finestra
n_w	n° di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	n° di cicli significativi
f	frequenza corrente
f_0	frequenza di picco della curca H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza di picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per le condizioni di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza del picco H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 per la quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ per la quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della curca $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per le condizioni di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Si osserva quindi che il picco a **0,34 Hz** (di cui alla Figura 6) soddisfa tutti i criteri del primo gruppo e 5 su 6 del secondo e può pertanto essere assunto come **frequenza fondamentale di risonanza di sito**.

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di *doppia risonanza*, cioè la concomitanza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico del sito così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}]$$

La condizione di coincidenza tra la risonanza di sito e la risonanza della struttura aumenta la vulnerabilità nei confronti del rischio sismico poiché capace di produrre amplificazione degli effetti.

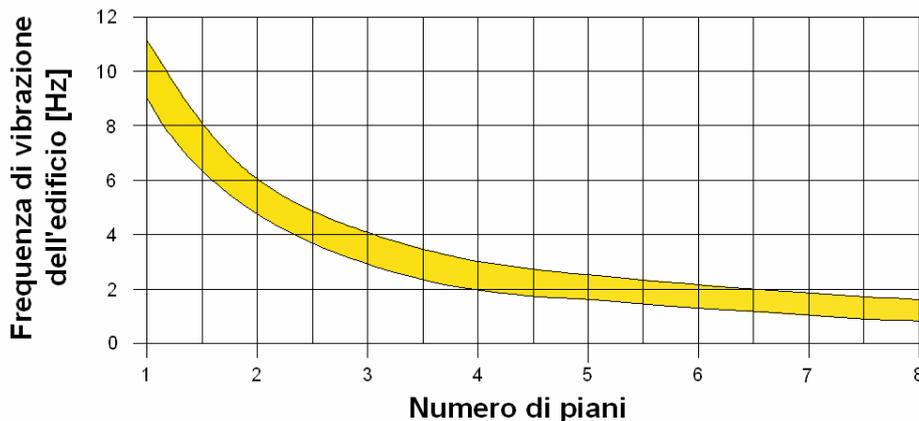


Fig. 8 – Tabella di correlazione n° di piani - frequenza di risonanza di un edificio.

Il tecnico per le indagini geofisiche

Dott. Francesco Fiera

REPORT ELABORAZIONE DOWNHOLE – VERTICALE DH1 (Software DownHole - GeoStru)**Dati iniziali**

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
3,0	32	1	1

Dati misure DownHole

Registrazione N°	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)	SR (m)	Tp corr (msec)	Ts corr (msec)
1	1,0	8,0	23,0	3,1623	2,5298	7,2732
2	2,0	7,2	31,6	3,6056	3,9938	17,5285
3	3,0	9,5	41,4	4,2426	6,7175	29,2742
4	4,0	8,0	46,3	5,0000	6,4000	37,0400
5	5,0	9,5	52,3	5,8310	8,1462	44,8469
6	6,0	8,7	64,0	6,7082	7,7815	57,2433
7	7,0	12,4	73,4	7,6158	11,3974	67,4653
8	8,0	12,4	81,4	8,5440	11,6105	76,2172
9	9,0	13,9	88,8	9,4868	13,1867	84,2431
10	10,0	14,7	95,0	10,4403	14,0801	90,9935
11	11,0	17,6	103,8	11,4018	16,9798	100,1425
12	12,0	19,8	111,3	12,3693	19,2088	107,9769
13	13,0	18,4	118,1	13,3417	17,9288	115,0756
14	14,0	20,6	124,9	14,3178	20,1427	122,1275
15	15,0	21,3	133,1	15,2971	20,8864	130,5153
16	16,0	21,3	139,9	16,2788	20,9352	137,5038
17	17,0	22,1	146,0	17,2627	21,7637	143,7784
18	18,0	22,8	150,1	18,2483	22,4898	148,0577
19	19,0	22,1	153,5	19,2354	21,8296	151,6216
20	20,0	22,8	155,9	20,2238	22,5478	154,1752
21	21,0	25,0	160,3	21,2132	24,7487	158,6889
22	22,0	24,3	164,2	22,2036	24,0772	162,6943
23	23,0	24,3	170,4	23,1948	24,0959	168,9687
24	24,0	25,8	175,1	24,1868	25,6008	173,7479
25	25,0	26,5	178,0	25,1794	26,3112	176,7321
26	26,0	27,3	186,2	26,1725	27,1201	184,9727
27	27,0	28,0	189,6	27,1662	27,8287	188,4404
28	28,0	28,0	191,6	28,1603	27,8407	190,5096
29	29,0	28,7	199,5	29,1548	28,5477	198,4410
30	30,0	29,5	204,4	30,1496	29,3536	203,3856
31	31,0	31,0	207,7	31,1448	30,8559	206,7342
32	32,0	32,4	213,4	32,1403	32,2586	212,4684

- Z** - profondità
Tp - tempo di arrivo onde P
Ts - tempo di arrivo onde S
SR - distanza sorgente-geofono corretta
Tp corr - tempo di arrivo onde P corretta
Ts corr - tempo di arrivo onde S corretta

Metodo diretto - Risultati**Parametri elastici - valori medi**

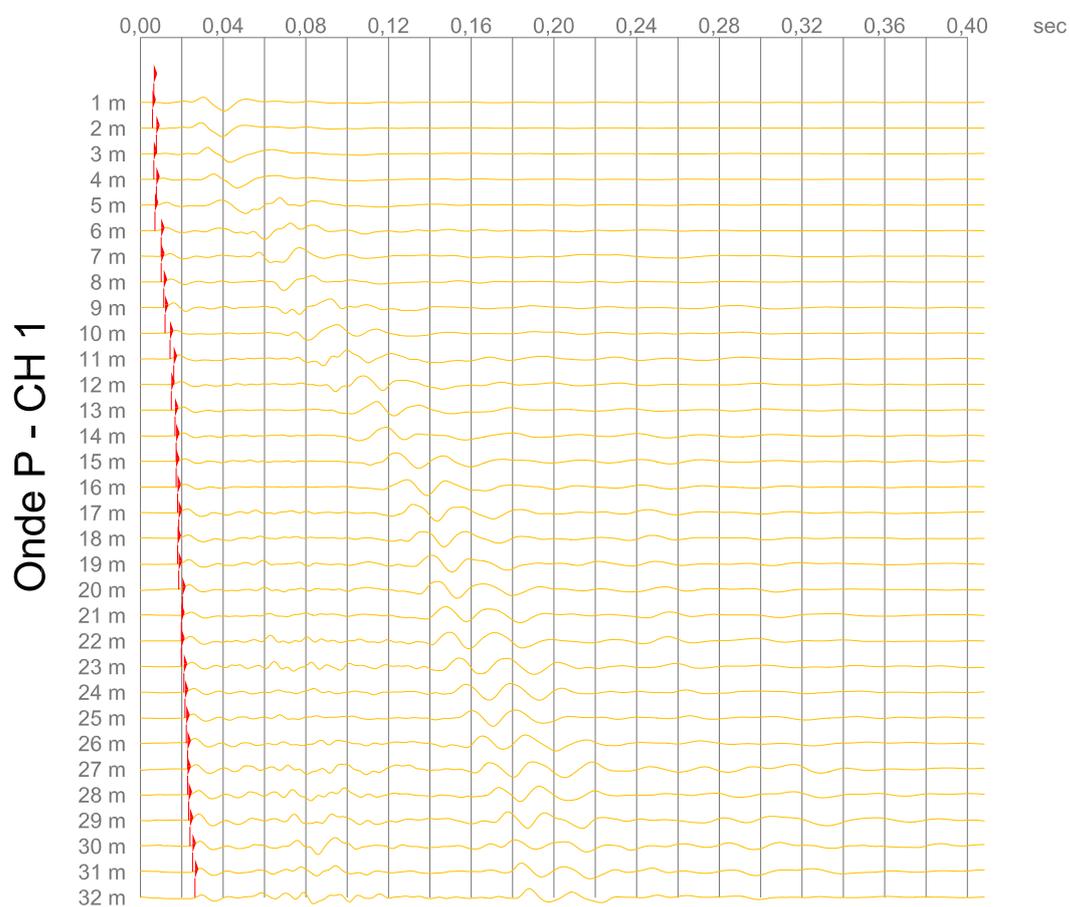
Strato	Profondità (m)	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	Vp/Vs	γ medio (KN/m ³)	ν medio	G medio (MPa)	E medio (MPa)	B medio (MPa)	L medio (MPa)
1	3	446,43	102,49	4,36	16,28	0,47	17	51	308	296
2	7	854,70	104,71	8,16	16,07	0,49	18	54	1174	1162
3	17	965,25	131,04	7,37	16,12	0,49	28	84	1490	1472
4	21	1337,79	268,28	4,99	19,76	0,48	145	429	3404	3308
5	32	1464,71	204,54	7,16	17,80	0,49	76	226	3793	3742

Profondità di riferimento:	piano campagna	-2,0 m da piano campagna
VS30:	148,01 m/s	155,48 m/s

- Vp medio** - Velocità media onde P
Vs medio - Velocità media onde S
 γ medio - Peso per unità di volume medio
 ν medio - Modulo di Poisson medio
G medio - Modulo di deformazione a Taglio medio
E medio - Modulo di Young medio
B medio - Modulo di Bulk medio
L medio - Modulo di Lamè medio

INDAGINE SISMICA - TECNICA "DOWNHOLE"
(passo 1,0 m - prof. 32 m)

COMMITTENTE: APES s.c.p.a.
LUOGO: Pisa
DATA: 06-07-2012

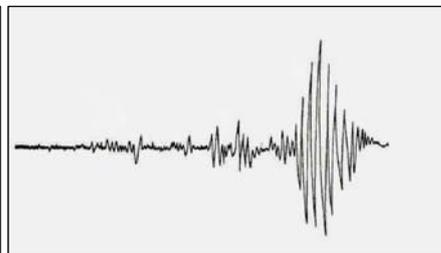


INDAGINE SISMICA - TECNICA "DOWNHOLE"
(passo 1,0 m - prof. 32 m)

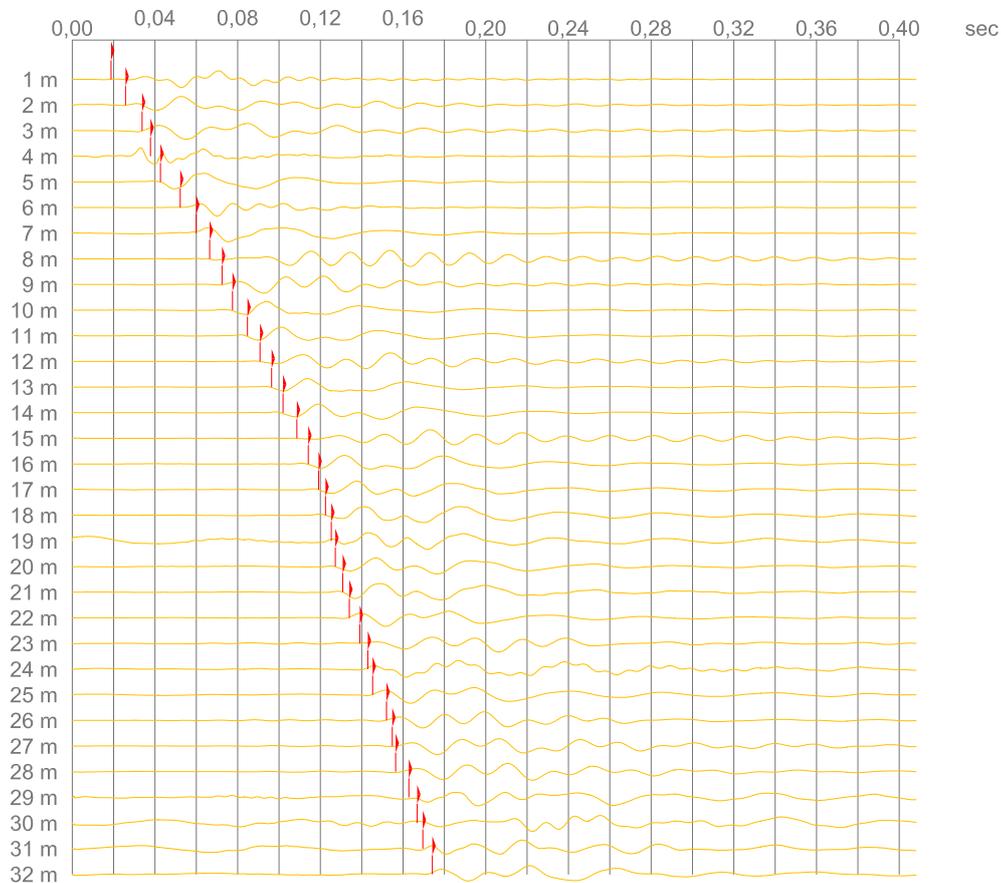
COMMITTENTE: APES s.c.p.a.

LUOGO: Pisa

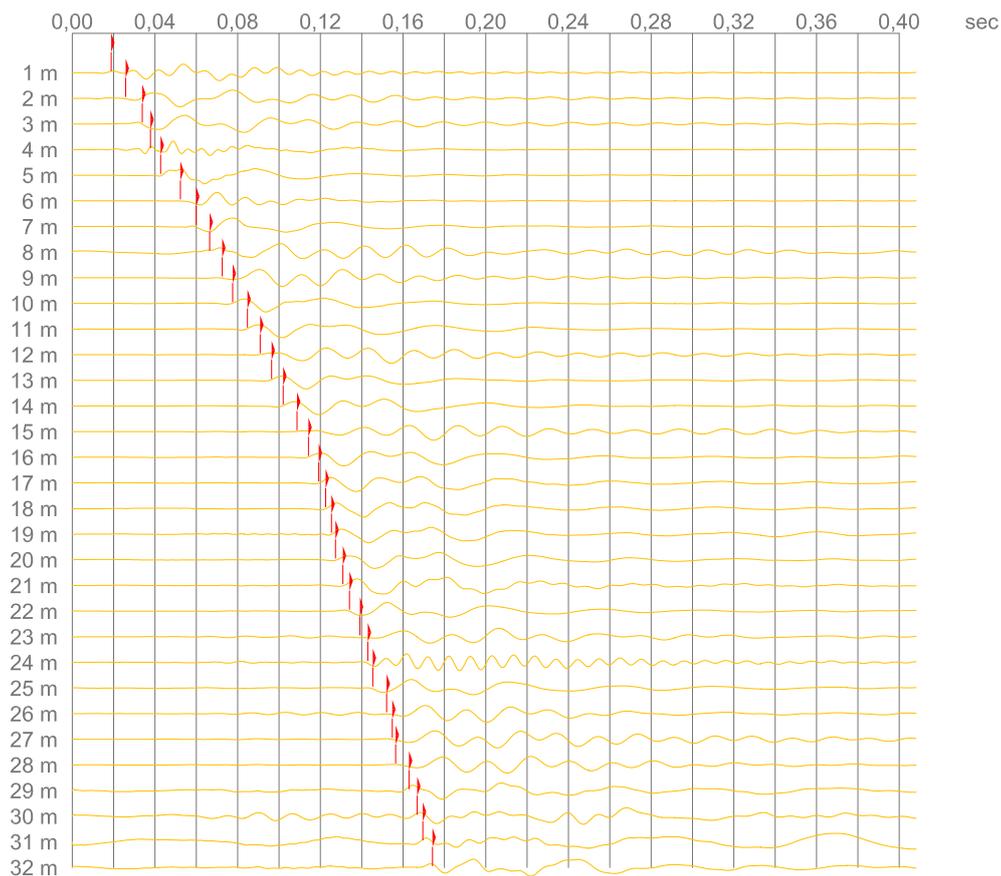
DATA: 06-07-2012



Onde Sx - CH 2

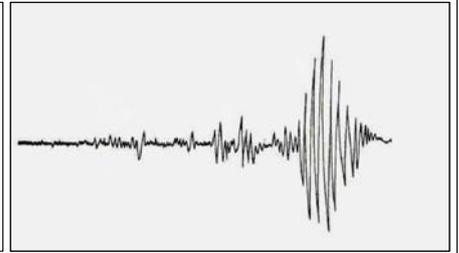


Onde Sy - CH 2

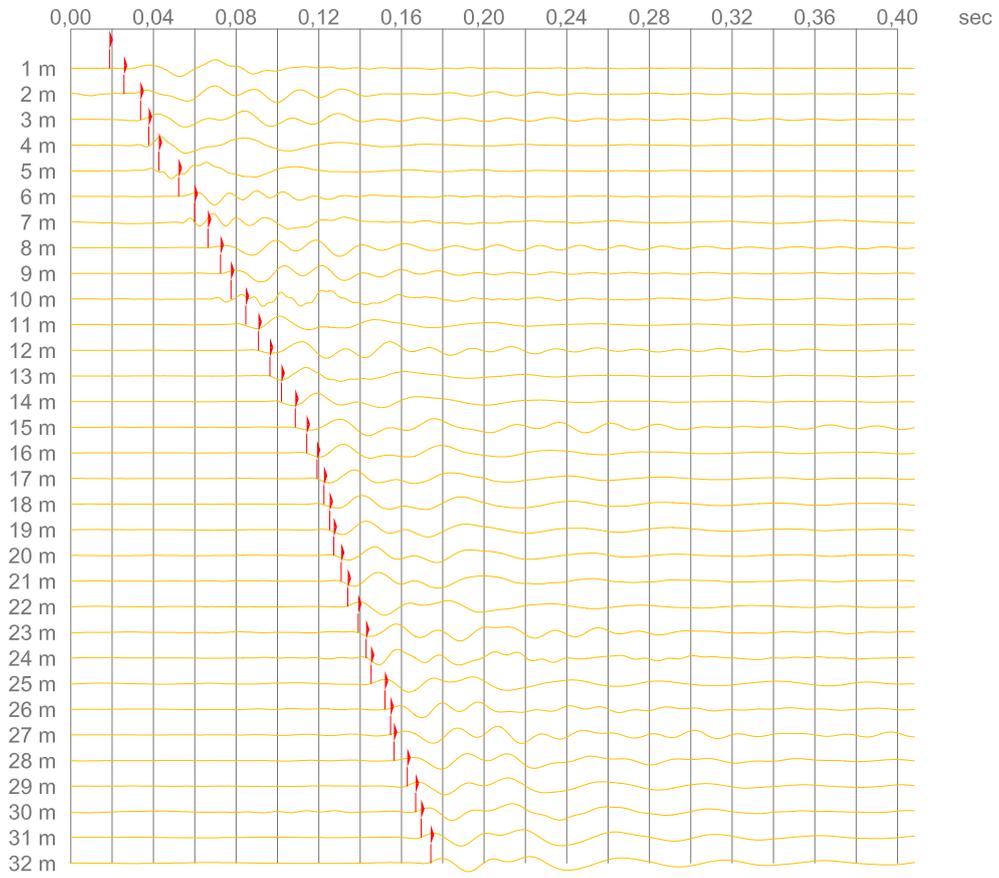


INDAGINE SISMICA - TECNICA "DOWNHOLE"
(passo 1,0 m - prof. 32 m)

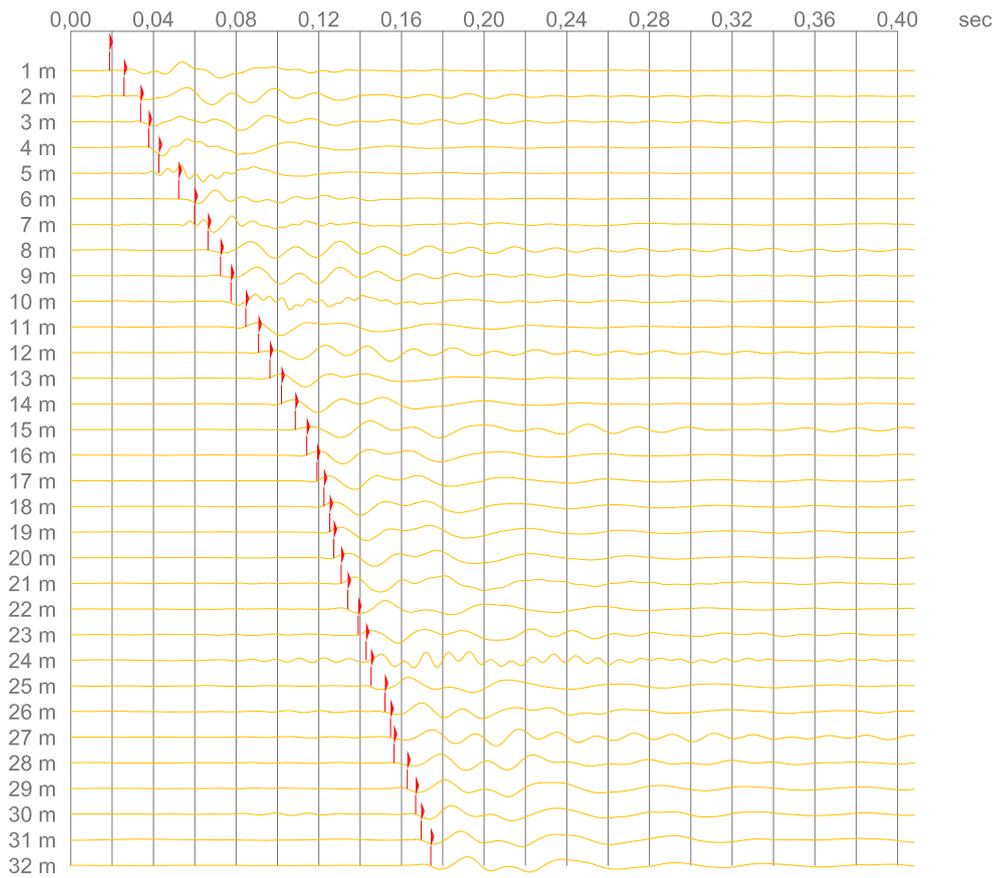
COMMITTENTE: APES s.c.p.a.
LUOGO: Pisa
DATA: 06-07-2012



Onde Sx - CH 3



Onde Sy - CH 3

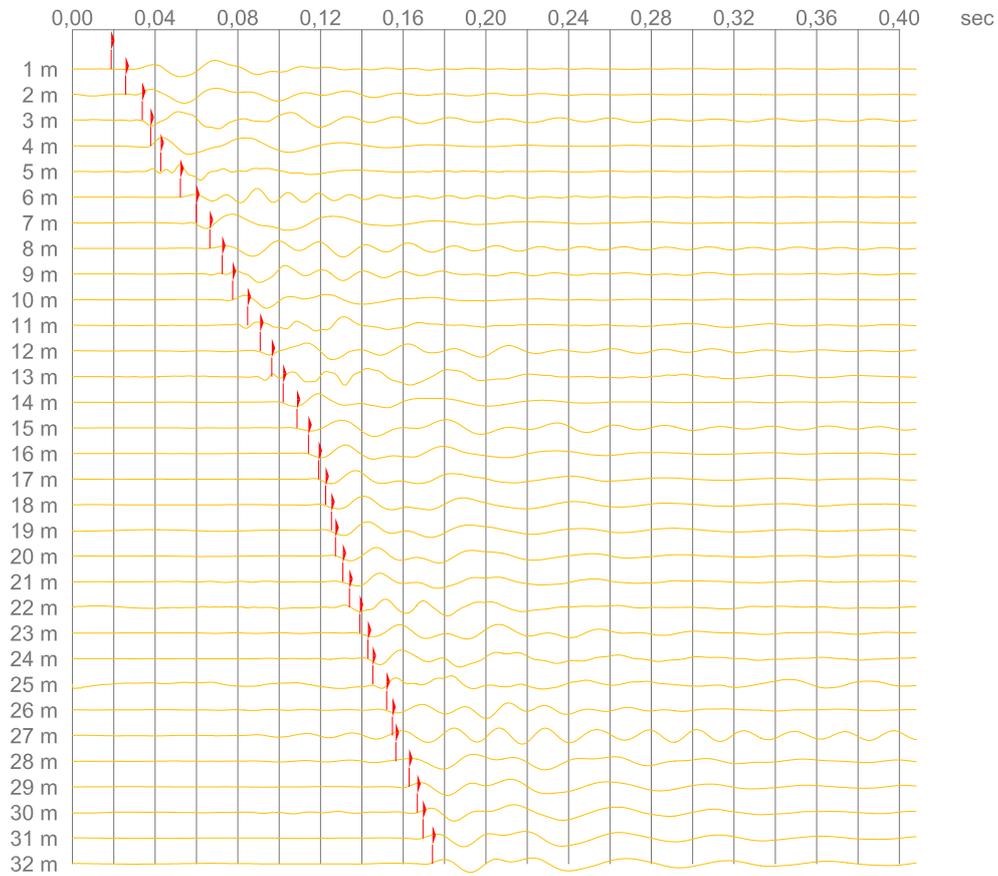


INDAGINE SISMICA - TECNICA "DOWNHOLE"
(passo 1,0 m - prof. 32 m)

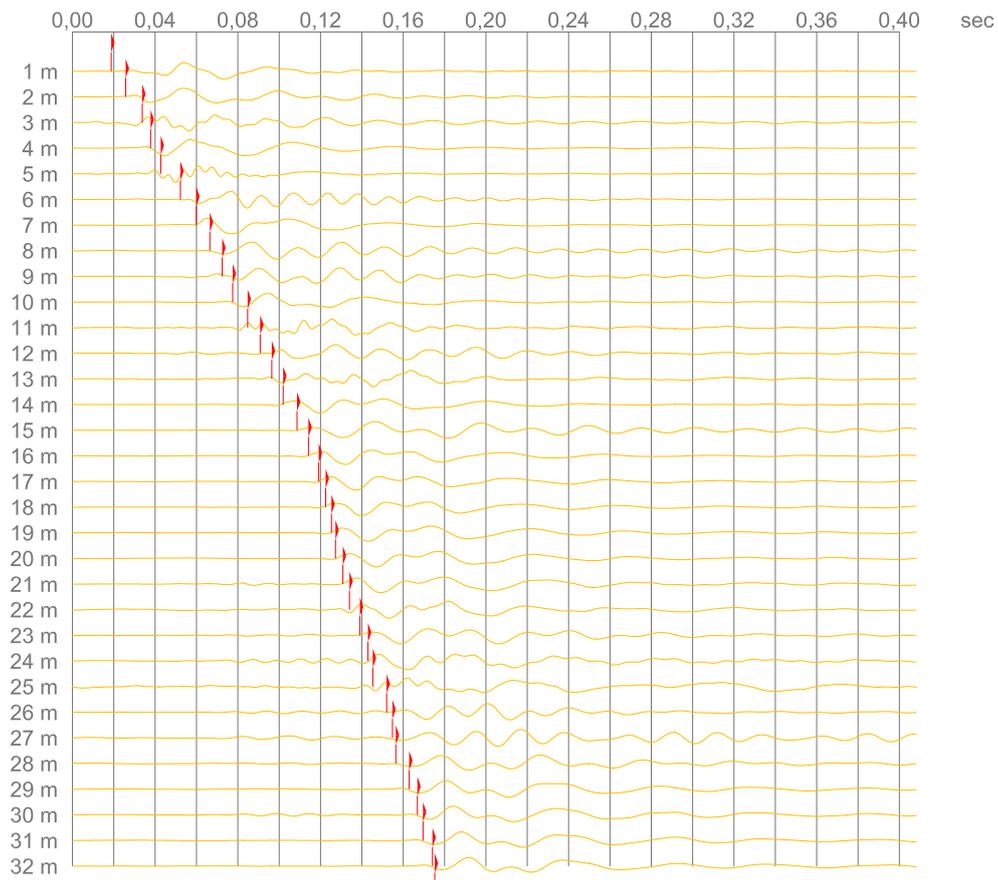
COMMITTENTE: APES s.c.p.a.
LUOGO: Pisa
DATA: 06-07-2012



Onde Sx - CH 4

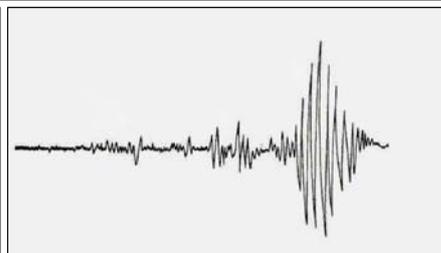


Onde Sy - CH 4

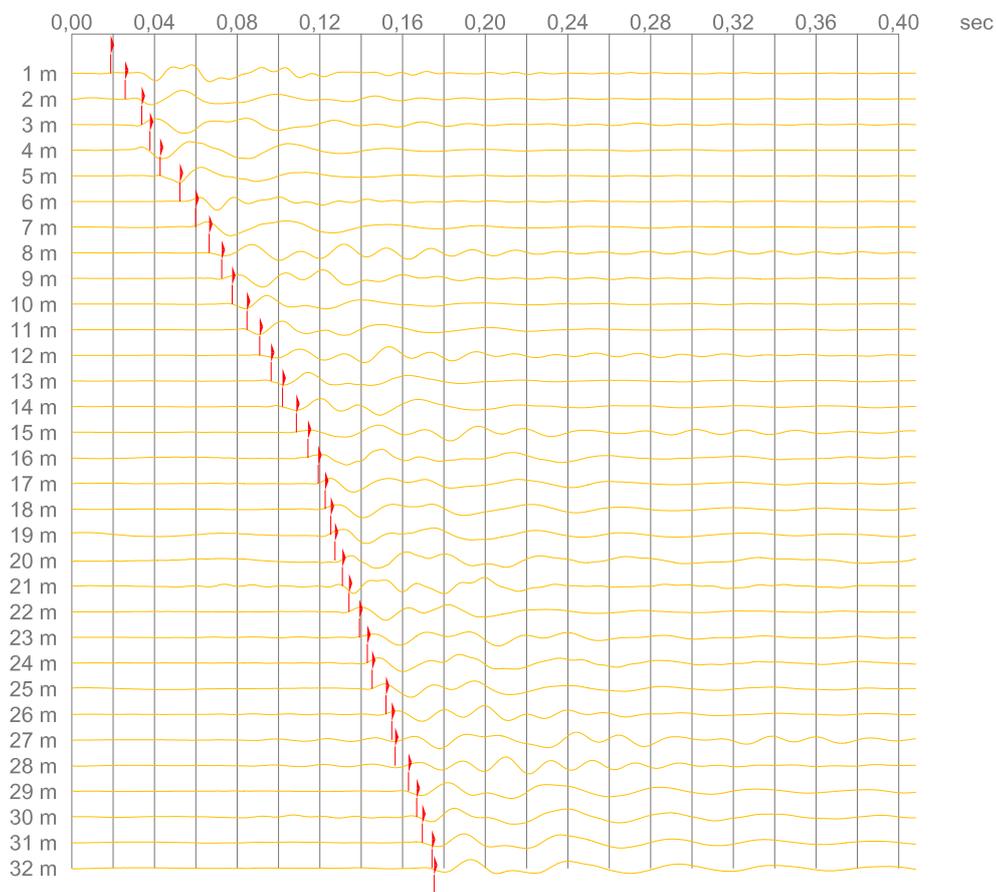


INDAGINE SISMICA - TECNICA "DOWNHOLE"
(passo 1,0 m - prof. 32 m)

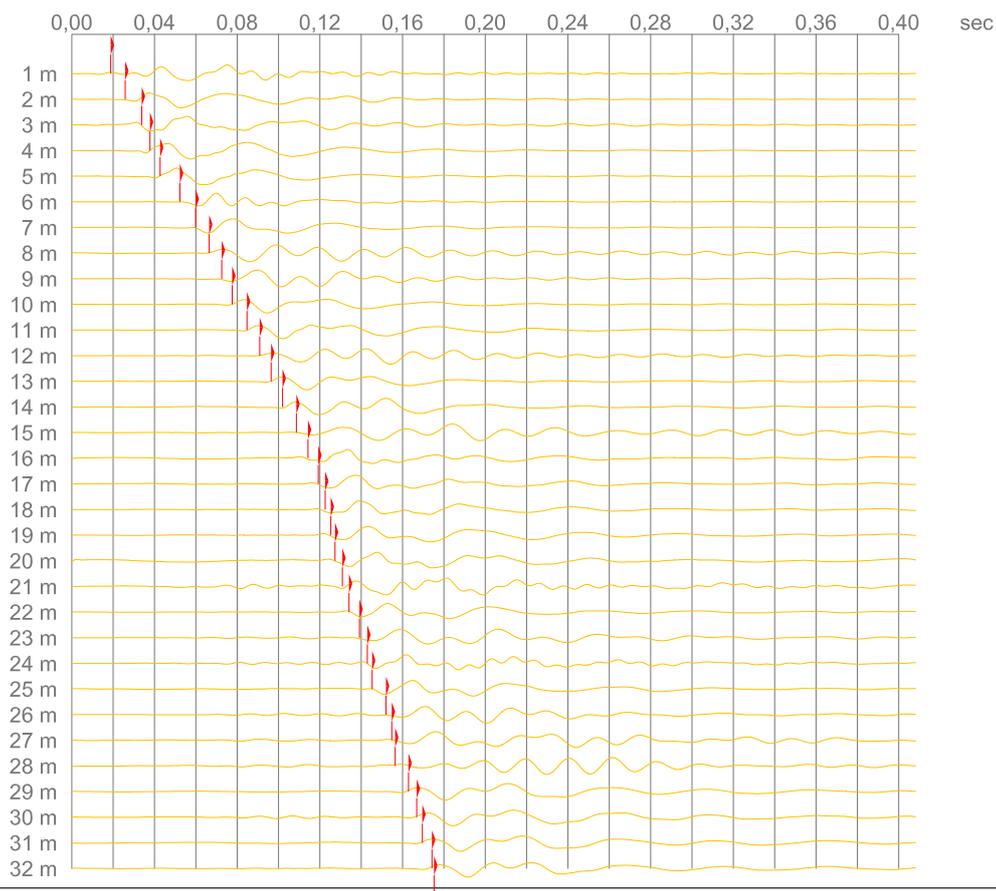
COMMITTENTE: APES s.c.p.a.
LUOGO: Pisa
DATA: 06-07-2012



Onde Sx - CH 5

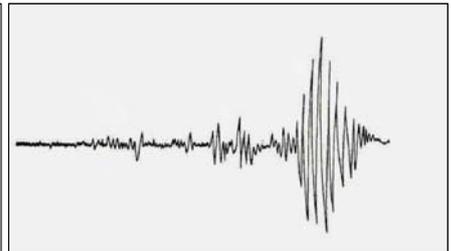


Onde Sy - CH 5



INDAGINE SISMICA - TECNICA "DOWNHOLE"
(passo 1,0 m - prof. 32 m)

COMMITTENTE: APES s.c.p.a.
LUOGO: Pisa
DATA: 06-07-2012



INTERPRETAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - DROMOCRONE DH1

