

# **RELAZIONE GEOLOGICA e IDROGEOLOGICA**

## **MODELLO GEOLOGICO**

**OGGETTO :** realizzazione silos metallici e locali accessori a servizio  
dell'insediamento produttivo Colussi S.p.A.

**COMMITTENTE :** COLUSSI S.p.A.

**LOCALITÀ':** Fraz. Petignano - ASSISI (PG)

Assisi,

## **PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente indagine è stata eseguita allo scopo di definire i lineamenti litostratigrafici, idrogeologici e geomorfologici dell'area dove saranno realizzate le opere previste in oggetto (realizzazione ed installazione di silos metallici e locali tecnici).

Catastalmente la zona è ubicata nel Foglio di mappa n. 47 del Comune di Assisi.

Vista la tipologia e l'entità estremamente modesta dell'opera da realizzare e considerata la situazione litostratigrafica presente nel sito in studio si è proceduto ad un rilevamento geologico di superficie. In occasione del presente studio, all'interno della proprietà della Committenza, in corrispondenza dell'area di sedime dei silos in progetto, sono state eseguite due prove penetrometriche statiche con penetrometro di tipo Pagani (TG 63/200 e punta tipo Begemann, meccanica).

Sempre nella proprietà, precedentemente sono state eseguite precedentemente altre prove penetrometriche statiche e prelevati campioni indisturbati di terreno successivamente inviati al laboratorio terre per l'esecuzione su di essi di prove di taglio diretto.

Viste le prescrizioni della vigente normativa si sono sfruttate le risultanze di una indagine sismica di tipo MASW ed H/V eseguita dalla Committenza in occasione di un precedente intervento edilizio nel medesimo sito (elaborato redatto dal Dott. Geol. Renzo Falaschi che si allega in copia).

Per l'ubicazione delle indagini si rimanda alla Planimetria di Tav.2.

Studi ed indagini sono stati condotti nel rispetto delle prescrizioni della vigente normativa, in particolare del D.M. 11.03.1988 e NCT 2008.

## SUSSISTENZA DI VINCOLI

La zona in studio, come risulta dalla Carta dello *Zoning geologico tecnico* del Piano Regolatore Generale – Parte strutturale – del Comune di Assisi non individua elementi di pericolosità specifici, per quanto previsto in progetto, limitatamente al sito in studio. L'area studiata, a più ampia scala è ricompresa solamente, ma con scopi diversi dalle finalità del presente elaborato, nelle “Aree a rischio idrogeologico a vulnerabilità da elevata a molto elevata – Zona di rispetto per i punti di captazione .....”..

Stante le competenze dello scrivente e considerato quanto previsto in progetto risulta la fattibilità dell'opera proposta e non risultano elementi di pericolosità.

## CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE E FORME DEL TERRITORIO

L'area in oggetto è ubicata nella porzione Sud-orientale della tavoletta I.G.M.I. "Petrignano d'Assisi" (123 III NO) ad una quota di circa 215 m s.l.m. ai margini dell'abitato di Petignano, in un contesto pianeggiante, privo di evidenze di dissesti in atto e/o latenti, nelle vicinanze del corso del Fiume Chiascio..

In un contesto geomorfologico più ampio, la zona in esame è inserita nella parte centro-meridionale della Valle Umbra, depressione intermontana di origine tettonica, situata ai piedi del Monte Subasio e colmata da sedimenti fluvio-lacustri quaternari, attualmente sottostanti a depositi alluvionali recenti.

La copertura alluvionale è stata oggetto dei processi erosivi che i corsi d'acqua esistenti nella pianura hanno prodotto, con vari gradi d'intensità, scavando gli alvei che attualmente occupano operando, in tal modo, il terrazzamento dei depositi quaternari che

riempiono la conca sinclinalica costituente la piana compresa tra Perugia e Foligno.

Data la morfologia pianeggiante dell'area, non si notano fenomeni di dissesto in atto e/o latente e si ritiene che la realizzazione di quanto previsto dal progetto non provocherà mutamenti nell'assetto geomorfologico dell'area.

Ai sensi della vigente normativa, D.M. 14 gennaio 2008, l'area, completamente pianeggiante, è classificabile come categoria topografica T1 (versante con inclinazione compresa tra 0° e 15°). Il sito è individuabile dai valori (WGS84) **di latitudine 43.100276 e longitudine 12.526298**.

## **SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOSTRUTTURALE**

L'area in studio risulta composta in affioramento da depositi continentali di origine fluvio-lacustre, costituiti da un susseguirsi, a volte anche caotico, di ciottoli di dimensioni variabili da pochi mm a qualche cm di natura per lo più calcarea e arenacea, sabbie più o meno limose, limi argillosi e argille. Tali depositi, generalmente, in considerazione dei processi deposizionali che ne hanno provocato l'accumulo, sono caratterizzati da una notevole variabilità dei materiali che li costituiscono sia in senso verticale che laterale. Nell'area qui considerata, in particolare, sembra prevalere, in superficie, la componente fine di natura limosa e limo-argillosa, rispetto a quella più grossolana di natura ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa.

Allo scopo di approfondire la conoscenza delle caratteristiche litostratigrafiche della zona studiata sono state sfruttate le risultanze di una perforazione eseguita dalla Committenza per una ricerca idrica nelle immediate vicinanze dell'area di sedime delle opere da realizzare. Integrando i dati della perforazione con quelli di un precedente son-

daggio geognostico, è possibile la seguente schematizzazione:

da	<b>0,00</b> m a	<b>0,80</b> m dal p.c.	terreno vegetale e di riporto
da	<b>0,80</b> m a	<b>5,50</b> m dal p.c.	Limi sabbiosi con alternanze di livelli a maggiore componente ghiaioso-sabbiosa
da	<b>5,50</b> m a	<b>14,5</b> m dal p.c.	Sabbie addensate e ghiaie sabbiose
da	<b>14,5</b> m a	<b>30</b> m dal p.c.	argilla limosa, grigia-azzurrognola

Tale successione stratigrafica trova un buon riscontro con le prove penetrometriche statiche (v. tabelle e grafici allegati) eseguite in occasione del presente studio.

I risultati numerici del profilo sismico, eseguito precedentemente all'interno della proprietà della Committenza in occasione della realizzazione di una limitrofa scala di emergenza, con le relative velocità delle onde, consente di determinare un  $V_{s,30}$  pari a 410 m/sec ca. (V. Allegato a firma del Dott. Geol. Renzo Falaschi) ed un conseguente

#### **SUOLO DI TIPO B.**

Per quanto riguarda l'assetto strutturale, in superficie non si riscontrano gli estremi per poter intuire la presenza di eventuali piani di scorrimento di origine tettonica sia recente che antica.

#### **CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA E CENNI SULL'ASSETTO IDROLOGICO E SULL'ESONDABILITÀ DELL'AREA**

Nei pressi dell'area esaminata l'idrografia superficiale è rappresentata esclusivamente da fossi campestri che scorrono con andamento circa NE-SW, nell'area in studio. Considerata l'entità e le caratteristiche delle loro attuali portate, si possono escludere eventuali fenomeni di esondazione ed erosione accelerata.

Il corso d'acqua maggiormente significativo è il Fiume Chiascio che scorre ad Est dell'area in studio. Per esso sono state eseguite verifiche idrauliche specifiche che hanno portato alla definizione delle fasce di rischio idraulico. L'area in studio è esterna alle citate fasce di rischio.

La circolazione idrica sotterranea, data la natura dei litotipi affioranti in superficie o intercettati durante l'esecuzione del sondaggio geognostico, è del tipo per porosità. Per definire il coefficiente di permeabilità (**k**), si possono assumere valori del che oscillano da  $1 \div 10^{-3}$  cm/s per i terreni assimilabili a ghiaioso-sabbiosi a  $10^{-4} \div 10^{-6}$  cm/s per i livelli di tipo limo-argillosi.

Il censimento dei pozzi presenti all'interno e nell'area circostante la proprietà della Committenza, hanno permesso di localizzare la falda idrica, alla data del presente studio, alla profondità media di circa 35,00-38,00m dal p.c. . Si esclude pertanto ogni interferenza tra la falda freatica e le strutture fondali di quanto in progetto, sia in occasione di eventi sismici, sia durante le normali escursioni stagionali della falda medesima.

## **RISCHI GEOLOGICI, NATURALI ED INDOTTI - SISMICITA'**

Il rischio geologico dell'area, alla luce di quanto precedentemente espresso, è riconducibile a quello sismico ed a quello idrogeologico.

Tutto il territorio del Comune di Assisi è classificato come Zona di II Categoria Sismica. Si riporta in allegato uno stralcio significativo del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani” dal quale si evince la storia sismica più recente dell'area in esame.

Sempre in allegato sono riportati i Parametri sismici ed i conseguenti Spettri di risposta sismica calcolati in funzione della localizzazione geografica, della categoria di

sottosuolo, della categoria topografica e dalle caratteristiche progettuali dell'opera da realizzare.

## VALORI MEDI DI CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI

In base alle osservazioni litostratigrafiche eseguite durante l'esecuzione del sondaggio geognostico e noti i grafici di progetto si prende in considerazione come substrato fondale dell'opera da realizzare (realizzazione ed installazione di silos metallici e locali tecnici) l'orizzonte rappresentato da limi sabbiosi e limi argillo-sabbiosi con sottili intercalazioni ghiaioso-sabbiose, presente da 0,80 m a 5,50 m ca. dal p.c.

In questa fase della progettazione si considerano validi i risultati di precedenti prove di taglio diretto eseguite sui tre campioni indisturbati prelevati in corrispondenza dell'area di sedime della limitrofa palazzina destinata ad uffici, sempre di proprietà della Committenza.

Dall'esame dei Certificati di laboratorio di ciascun campione si possono evincere i valori dell'angolo di attrito interno e della coesione in termini di sforzi efficaci.

Pertanto la caratterizzazione geotecnica può essere schematizzata dai seguenti valori:

$$\begin{aligned} \text{peso di volume } (\gamma_n) &= 1,90 \quad \text{t/m}^3 \\ \text{coesione } (c') &= 4,31 \quad \text{kPa} \\ \text{angolo d'attrito interno } (\varphi') &= 24,04^\circ \end{aligned}$$

Per quanto riguarda il **Modulo edometrico** si ritiene opportuno fare le seguenti conside-

razioni. Dall'analisi dei report delle prove penetrometriche statiche, alla profondità d'imposta delle fondazioni, risultano dei valori oscillanti di circa 40 kg/cmq.i.

Nel sito in esame, considerando i dati sia delle prove penetrometriche dinamiche eseguite in sito che della perforazione per la ricerca idrica, risultano depositi sabbioso-ghiaiosi a partire dalla profondità di 5,50 m ca. dal p.c., Tali livelli incoerenti dal comportamento marcatamente attritivo hanno notoriamente valori del modulo edometrico superiori a 100/120 kg/cmq.

A parere dello scrivente, alla luce delle considerazioni appena fatte ed al fine di fornire al Tecnico Progettista un dato di riferimento per il **Modulo edometrico** da utilizzare nelle verifiche strutturali si ritiene congruo si ritiene congruo assumere un valore di **60 kg/cmq.**

Nelle fasi più avanzate della progettazione, in accordo con il Tecnico Progettista sarà valutata la possibilità di eseguire ulteriori indagine per meglio quantificare e definire i parametri geotecnici del terreno substrato di fondazione delle opere di cui in oggetto (es. ulteriori prove di taglio).

## LIQUEFAZIONE

Le indagini eseguite, unitamente al valido rilevamento geologico di superficie, hanno evidenziato chiaramente la presenza di depositi sciolti, con un buon sorting granulometrico e significative percentuali di argilla, che saranno direttamente interessati dalla costruzione in oggetto.

La falda idrica è localizzabile a profondità superiori ai 30 m dal p.c.

Non si ravvisano pertanto i presupposti per fenomeni di liquefazione sismica.



## **MATERIALI DI SCAVO**

I materiali derivanti dagli scavi saranno rappresentati in minima parte da materiali di riporto ed in gran parte da materiali naturali ascrivibili a limi ed argille.

Nel lotto destinato all'edificazione non si ravvisa la presenza di fonti d'inquinamento o centri di pericolo e la possibilità di contaminazioni inquinanti di suolo e sottosuolo.

La totalità dei materiali, naturali, di scavo sarà riutilizzata all'interno della proprietà, destinata a rinfilanchi e rinterri entro l'area.

Le operazioni di sbancamento saranno condotte con escavatore meccanico. Le conseguenti e successive fasi di ridistribuzione del materiale scavato saranno anche esse eseguite con escavatore meccanico.

## **MODELLO GEOLOGICO - CONCLUSIONI**

Sulla base dei dati geomorfologici, litostratigrafici ed idrogeologici sopra esposti, si ritiene che l'area in esame possa essere idonea alla costruzione delle opere in progetto.

Essa, infatti, in considerazione delle proprie caratteristiche geomorfologiche, si presenta stabile e si ritiene che l'equilibrio in atto non sarà turbato dalla realizzazione delle opere previste.

La mappatura del Rischio idraulico eseguita e riportata nella Carta dello Zoning geologico del P.R.G. Vigente, consente di eseguire l'intervento proposto.

Vista la tipologia e l'entità delle opere da realizzare e considerata la situazione litostratigrafica presente nel sito in studio si è proceduto ad un rilevamento geologico di superficie. All'interno della proprietà della Committenza, in corrispondenza dell'area di

sedime delle strutture in progetto, sono state eseguite due prove penetrometriche statiche con penetrometro di tipo Pagani (TG 63/200 e punta tipo Begemann, meccanica).

Viste le prescrizioni della vigente normativa si sono sfruttate le risultanze di una indagine sismica di tipo MASW ed H/V eseguita dalla Committenza in occasione di un precedente intervento edilizio nel medesimo sito (elaborato redatto dal Dott. Geol. Renzo Falaschi che si allega in copia). Alla luce della completezza dell'analisi svolta e della vicinanza tra i due siti in esame si ritiene valido, ai fini del presente elaborato, lo studio sismico appena menzionato.

Sempre nel terreno limitrofo si è provveduto a prelevare 3 campioni indisturbati di terreno, successivamente inviati al laboratorio terre per l'esecuzione su di essi di prove di taglio diretto.

Ai sensi della vigente normativa, D.M. 14 gennaio 2008, l'area è classificabile come categoria topografica T1 e la stratigrafia del sottosuolo, unitamente alle  $V_{s,30}$  riscontrate, permette di definire un suolo di categoria B.

L'area studiata possiede caratteristiche litologiche, idrogeologiche e geomorfologiche che fanno escludere il fenomeno della liquefazione in condizioni sismiche.

Il coefficiente di sottofondo (**Ks**), calcolato secondo Winkler, si potrà assumere tra i valori compresi nell'intervallo 5/7 kg/cm<sup>3</sup>.

**il geologo**

Dott. Geol. Marco MARCHETTI

# **ALLEGATI**

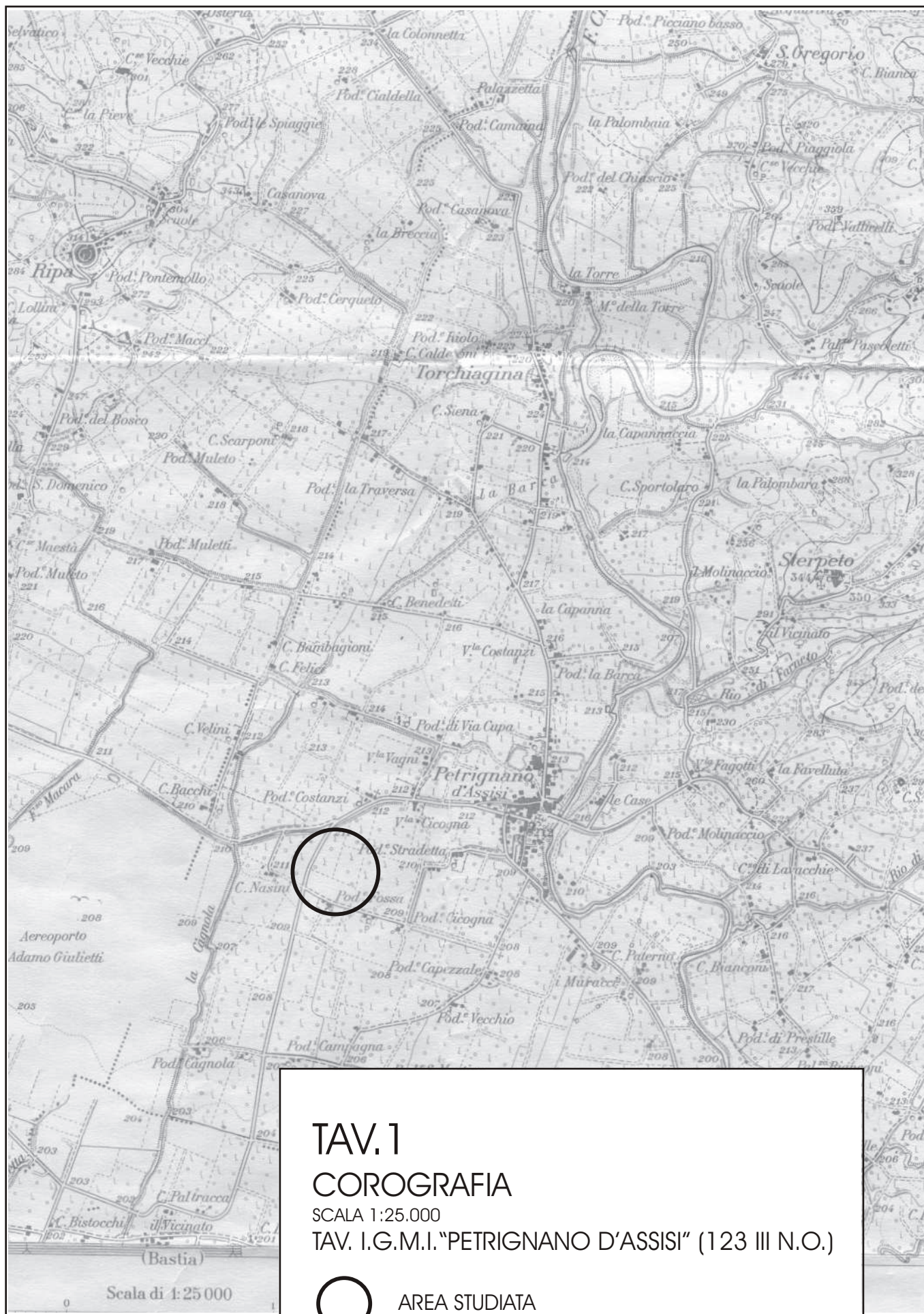
**PROVE PENETROMETRICHE STATICHE**

**SISMICA MASW e H/V**

**PARAMETRI SISMICI**



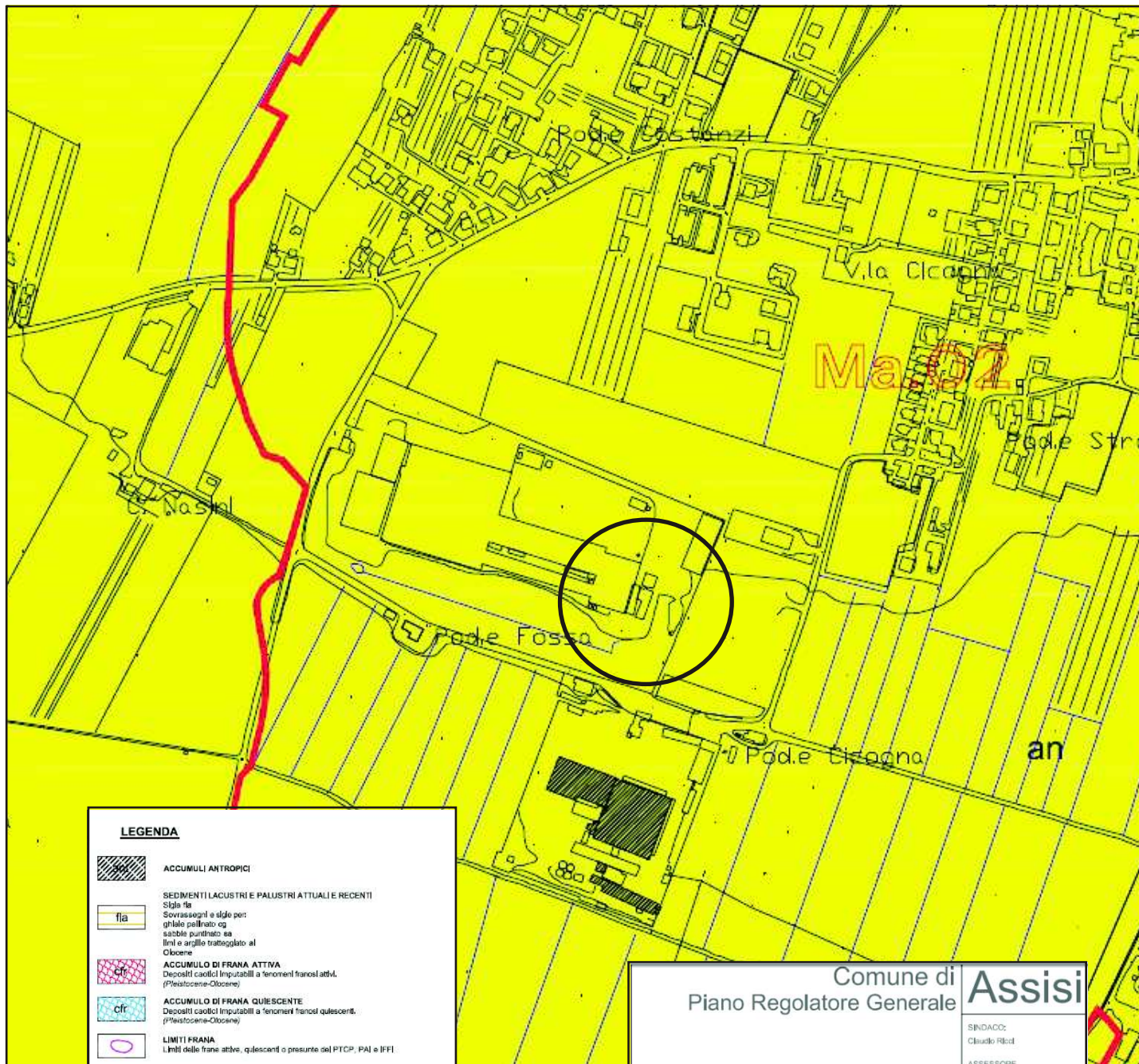










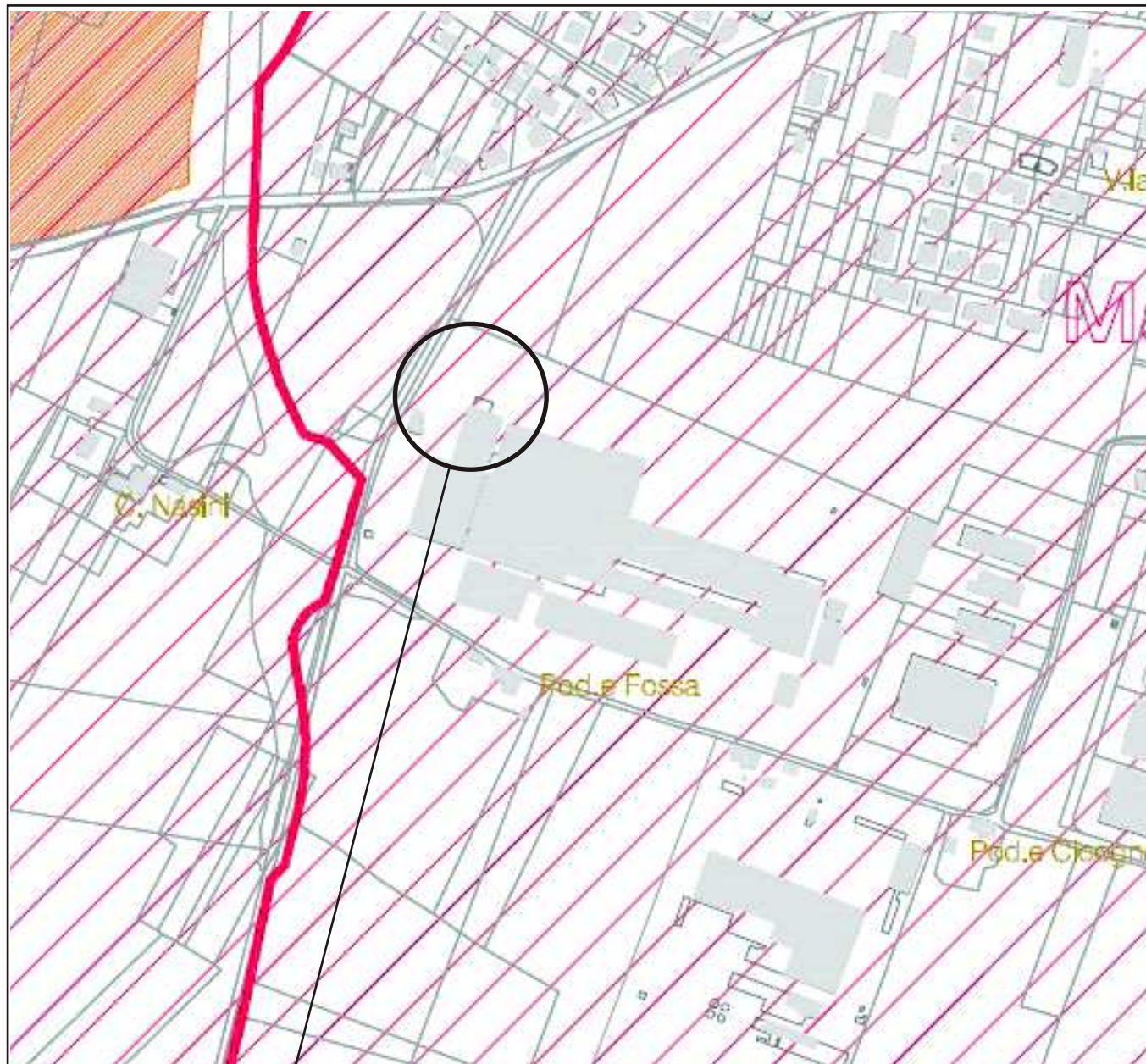


LEGENDA	
	<b>ACCUMULI ANTROPICI</b>
	<b>SEDIMENTI LACUSTRI E PALUSTRI ATTUALI E RECENTI</b> Stile fa Sovrasaggi e sile per ghiale pallinato og sabbie punthato sa limi e argille stratigiate al Olocene
	<b>ACCUMULO DI FRANA ATTIVA</b> Depositi caotici imputabili a fenomeni franosi attivi. (Pleistocene-Olocene)
	<b>ACCUMULO DI FRANA QUIESCENTE</b> Depositi caotici imputabili a fenomeni franosi quiescenti. (Pleistocene-Olocene)
	<b>LIMITI FRANA</b> Limiti delle frane attive, quiescenti o presunte del P.T.C.P., P.A.I. e I.F.F.I.
	<b>DEPOSITI EOLICI E COLLUVIALI</b> Fluvium, suol, terre rosse ed in genere depositi essenzialmente fini provenienti dal distacco dei litotipi del substrato e con spessori minimi di 1,5 - 2 metri. Depositi detritici prodotti dal dilavamento (colluvium), a granulometria prevalentemente fina o costituita da elementi di roccia e siltoli vivi, inglobati in una matrice prevalentemente limosa-argillosa. (Pleistocene-Olocene)
	<b>DETRITI DI FALDA</b> dra=Detriti attuali-Olocene - Punthato blu dra=Detriti recenti e antichi-Pleistocene-Olocene - Punthato rosso dra=Detriti antichi-Pleistocene - Punthato verde di=detriti fini - Diagenesi arenosa Depositi essenzialmente gravitativi, a granulometria variabile, da ben classificati fortemente eterometrici. I clasti sono prevalentemente a spigoli vivi o subangolosi, per lo più in accumuli massivi o grossolanamente stratificati. L'eventuale sovrassaggio rigato diagonale verso rosso indica un grado di cementazione particolarmente evidente su un'area di almeno un ettaro. Pleistocene-Olocene
	<b>ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI</b> Le alluvioni si trovano ancora in rapporto con la dinamica dell'aveo attuale. Lini sabbiosi e lini argillosi con inglobati depositi leniformi e rastiformi di ghiale e ghiale sabbioso. Ghiale sciolto o debolmente cementato, talora a stratificazione incrociata, con intercalazioni di leni di sabbie brunogiallastre e di argille grigie. L'addizione distinguibile sovrassaggi e sile per: Ghiale e ghiale con sabbia - pallinato gs Sabbie e sabbie limose - punthato si Lini, lini argillosi e argille - stratigiate la
	<b>ALLUVIONI ANTICHE</b> Le alluvioni non hanno più alcun rapporto con la dinamica dell'aveo attuale. Lini sabbiosi e lini argillosi con inglobati depositi leniformi e rastiformi di ghiale e ghiale sabbioso. Ghiale sciolto o debolmente cementato, talora a stratificazione incrociata, con intercalazioni di leni di sabbie brunogiallastre e di argille grigie. L'addizione distinguibile sovrassaggi e sile per: Ghiale e ghiale con sabbia - pallinato gs Sabbie e sabbie limose - punthato si Lini, lini argillosi e argille - stratigiate la
	<b>TRAVERTINI</b> tr - Depositi travertinosi eterogenei contenenti sabbie e lini calcarei tr1 - Travertini litoidi in giacitura massiva o grossolanamente stratificati Pleistocene - Olocene
	<b>SEDIMENTI LACUSTRI, FLUVIO-LACUSTRI E PALUSTRI</b> Stile fa Sovrasaggi e sile per: ghiale pallinato og sabbie punthato sa limi e argille stratigiate al Olocene - Pleistocene

<b>Comune di Assisi</b> <b>Piano Regolatore Generale</b>		<b>SINDACO:</b> Claudio Riboldi <b>ASSESSORE ALL'URBANISTICA:</b> Moreno Fontini <b>DIRIGENTE DEL SETTORE:</b> Ing. Stefano Nodessi Proietti
Consulenti dell'Amministrazione Comunale Consulente urbanistico generale Prof. Arch. Alberto Cocchetto Centro storico e paesaggio Prof. Arch. Paolo Fallini Quadro legislativo e normativo Avv. Mario Rampini		REDAZIONE DEL PIANO a b c d
Associazione Temporanea di Imprese _SAB s.r.l. - Via P.levalda n. 15 - 06128 Perugia capogruppo Ing. Marco Asfari _Cooprogem s.r.l. - Via della Piaggia 152 - 06024 Gubbio (PG) mandante arch. Paolo Ghiselli		Oggetto <b>Parte Strutturale</b> studio geologico a supporto del prg <b>CARTA GEOLOGICA</b> quadrante nord-ovest <b>eg.02.a</b>
3 2 1 0 15/05/2010 Emissione REV. DATA DESCRIZIONE MODIFICA COD. DOCUMENTO		Foglio 1 di 4 Scala 1:10.000



# ESTRATTO DI P.R.G. - Carta zoning geologico



Area in studio

## LEGENDA

### Estratto della legenda

AREE AD ALTO RISCHIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO



Aree individuate dal P.A.I. a rischio di frana R2



Frana attiva, frana quiescente, movimenti franosi individuati dal P.A.I. e P.T.C.P., aree individuate dal P.A.I. (Autorità di Bacino del F. Tevere) come frana attiva, quiescente e presunte ad aree in frana nel Progetto I.F.F.I. - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia



Aree a rischio idrogeologico alto con vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi elevata ed estremamente elevata



Aree a rischio idrogeologico alto con vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi elevata ed estremamente elevata per Zona di rispetto fissata a 200 m. per i punti di captazione in attesa di specifico studio (D.Lgs. 152/99)



Aree esondabili ricadenti in fascia A (T+ 50 anni)

## INDAGINI GEOGNOSTICHE

---

Committente: COLUSSI S.p.a.

Commessa: Indagini penetrometriche statiche CPT

---

### NOTA TECNICA

Gualdo Tadino, Novembre 2015

*La Ditta*

INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE  
**DIEGO ALBINI**  
Piazza Martiri della Libertà, 14  
06023 Gualdo Tadino (Pg)  
P. Iva 02543770545  
C.F. LBNDG175B16E230Y  
Tel. 075-916435 - Fax 075-7823294

## 1. PREMESSA

Su incarico del Dott. Geologo Marco Marchetti e per conto della COLUSSI S.p.a. sono state eseguite due **prove penetrometriche Statiche CPT**.

Le prove, eseguite con penetrometro modello Pagani TG 63-200, sono state svolte nel rispetto delle specifiche tecniche inserite al Cap. 6.2.2 della Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti n. 617/2009: “Istruzioni per le applicazioni delle Nuove Norme Tecniche per Costruzioni”.

Le indagini sono state eseguite sui terreni di dove è prevista l’installazione di n. 6 silos in acciaio.

Il sito di indagine è in via dell’aeroporto, nella frazione di Petrignano nel territorio comunale di Assisi (PG).

Qui di seguito è riportata l’elaborazione delle prove eseguite.

*Si rimane a disposizione per ogni eventuale chiarimento e/o delucidazione.*

Novembre 2015

*La Ditta*

INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE  
**DIEGO ALBINI**  
Piazza Martiri della Libertà, 14  
06023 Gualdo Tadino (Pg)  
P. Iva 02543770545  
C.F. LBN0G175B16E230Y  
Tel. 075-916435 - Fax 075-7823294

# PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

## (CONE PENETRATION TEST)

### CPT

#### PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$ ).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica	$\varnothing$	= 35,7 mm
- area di punta	$A_p$	= 10 cm <sup>2</sup>
- angolo di apertura del cono	$\alpha$	= 60 °
- superficie laterale del manicotto	$A_m$	= 150 cm <sup>2</sup>

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

#### REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Per mezzo di un software (in alcuni strumenti) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

## METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo “**STATIC PROBING**” della GeoStru. La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell’area di base della punta e dell’area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$$A_p = \text{l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann")} = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \text{area del manicotto di frizione} = 150 \text{ cm}^2$$

$$C_t = \text{costante di trasformazione} = 10$$

Il programma Static Probing permette inoltre l’archiviazione, la gestione e l’elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un’immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L’utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %-).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times C_t) / 10 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza alla punta**

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times C_t] / 150 \text{ cm}^2.$$

**Resistenza laterale**

$$Q_c (RP) = \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } C_t / \text{Superficie Punta } A_p$$

$$Q_l (RL) (fs) = \text{Lettura laterale } LT - \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } C_t / A_m \text{ area del manicotto di frizione}$$

N.B.

$$- A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

## VALUTAZIONI STATISTICHE

Permette l’elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

<b>Medio</b>	Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
<b>Media minima</b>	Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
<b>Massimo</b>	Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.
<b>Minimo</b>	Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.
<b>Media + s</b>	Media + scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
<b>Media - s</b>	Media - scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.



## CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

## INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE ( Autori di riferimento)

- Searle 1979
- Douglas Olsen 1981 ( consigliato per CPTE)
- A.G.I. 1977 ( consigliato per CPT)
- Schmertmann 1978 (consigliato per CPT)
- Robertson 1983-1986 ( consigliato per CPTE)
- Begemann 1965 ( consigliato per CPT)

## Suddivisione delle metodologie di indagine con i Penetrometri statici

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Per quanto riguarda la PUNTA ELETTRICA generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm.) rispetto al PUNTA MECCANICA (20 cm.).

Per il PIEZOCONO i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma usato per le elaborazioni permette di immettere  $U1 - U2 - U3$  cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione. Per il calcolo oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi :

**Area punta del cono** (area esterna punta)

**Area interna punta del cono** (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).

**Il Passo del penetrometro** (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale  $f_s$  con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del  $I_c$  (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

## CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la  $Q_c$  media, la  $f_s$  media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

## TERRENI INCOERENTI

### *Angolo di Attrito*

Angolo di Attrito (Durgunoglu-Mitchell 1973-1975) – per sabbie N.C. e S.C. non cementate

Angolo di Attrito (Meyerhof 1951) – per sabbie N.C. e S.C.

Angolo di Attrito Herminier

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Koppejan) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (De Beer 1965-1967) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Robertson & Campanella 1983) - per sabbie non cementare quarzose

Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

### *Densità relativa (%)*

Densità Relativa (Baldi ed altri 1978-1983 - Schmertmann 1976) - per sabbie NC non cementate

Densità Relativa (Schmertmann)

Densità Relativa (Harman 1976)

Densità Relativa (Lancellotta 1983)

Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Densità Relativa (Larsson 1995) - per sabbie omogenee non gradate

### *Modulo di Young*

Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978)  $E_y(25) - E_y(50)$  - modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione

Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983)  $E_y(25) - E_y(50)$ - per sabbie NC quarzose

Modulo di Young (ISOPT-1 1988)  $E_y(50)$  - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

### *Modulo Edometrico*

Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Modulo Edometrico (Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997) - valido per sabbie NC

Modulo Edometrico (Kulhawy-Mayne 1990)

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat) – valido per sabbie argillose

### *Peso di Volume Gamma*

Peso di Volume Gamma (Meyerhof) -

Peso di Volume Gamma saturo (Meyerhof) -

### *Modulo di deformazione di taglio*

Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

### *Potenziale di Liquefazione*

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti (Metodo di Robertson e Wride 1997 – C.N.R. – GNDT) – coefficiente di sicurezza relativo alle varie zone sismiche I-I-III-IV cat. – N.B. la liquefazione è assente per  $F_s \geq 1,25$ , possibile per  $F_s=1,0-1,25$  e molto probabile per  $F_s < 1$

### *Fattori di compressibilità*

Ramo di carico C ( autori vari)

Ramo di carico medio  $C_{rm}$  (autori vari)

### *OCR - Grado di Sovraconsolidazione*

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977)

**MODULO DI REAZIONE  $K_0$**  (Kulhawy Maine, 1990).

CORRELAZIONE NSPT

Meardi – Meigh 1972

Meyerhof

## **TERRENI COESIVI**

### ***Coesione Non Drenata***

Coesione non drenata (Lunne & Eide)

Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995) - suoli fini granulari

Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di  $N_k$  (generalmente variabile da 11 a 25)

Coesione non drenata (Marsland 1974-Marsland e Powell 1979)

Coesione non drenata Sunda (relazione sperimentale)

Coesione non drenata (Lunne T.-Kleven A. 1981)

Coesione non drenata (Kjekstad. 1978 )

Coesione non drenata (Lunne, Robertson and Powell 1977)

Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

Coesione non drenata (Begemann)

Coesione non drenata (De Beer) - valida per debole coesione.

### ***Indice Di Compressione $C$***

Indice di Compressione Vergine  $C_c$  (Schmertmann)

Indice di Compressione Vergine  $C_c$  (Schmertmann 1978)

Fattore di compressibilità ramo di carico  $C$  (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Fattore di compressibilità medio ramo di carico  $C_{rm}$  (Piacentini-Righi Inacos 1978).

### ***Modulo Edometrico-Confinato***

Mitchell - Gardnerr (1975)  $M_o$  (Eed) (Kg/cmq) per limi e argille.

Metodo generale del modulo edometrico.

Buisman correlazione valida per limi e argille di media plasticità – Alluvioni attuali argille plastiche – suoli organici ( $W$  90-130)

Buisman e Sanglerat valida per litotipi argille compatte

Valore medio degli autori su suoli coesivi

### ***Modulo di deformazione non drenato***

Modulo di deformazione non drenato  $E_u$  (Cancelli ed altri 1980)

Modulo di deformazione non drenato  $E_u$  (Ladd ed altri 1977) – (Inserire valore  $n$   $30 < n < 1500$  sulla base di esperienze acquisite e del tipo litologico)

### ***Peso di Volume Gamma***

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

### ***Modulo di deformazione di taglio***

Imai & Tonouchi (1982)

### ***OCR***

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (P.W. Mayne 1991) - per argille ed argille sovraconsolidate

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione Jamiolkowski et altri 1979 – valida per argilla di Taranto

Grado di Sovraconsolidazione Schmertmann 1978



*Coefficiente Di Consolidazione Verticale*

Coefficiente di Consolidazione  $C_v$  (Piacentini-Righi, 1988)

*Permeabilità*

Coefficiente di Permeabilità  $K$  (Piacentini-Righi, 1988) .

## **PROVA ...CPT 1**

Committente: Colussi s.p.a.

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 17/11/2015

Profondità prova: 5.20 mt

Località:

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	46.00	78.0	46.1	0.9	51.2	2.0
0.40	59.00	73.0	59.1	1.7	34.8	2.9
0.60	58.00	84.0	58.1	2.9	20.0	5.0
0.80	28.00	71.0	28.1	8.3	3.4	29.5
1.00	24.00	149.0	24.1	6.2	3.9	25.7
1.20	30.00	123.0	30.3	5.7	5.3	18.8
1.40	38.00	123.0	38.3	4.0	9.6	10.4
1.60	52.00	112.0	52.3	4.7	11.1	9.0
1.80	49.00	120.0	49.3	2.7	18.3	5.5
2.00	44.00	85.0	44.3	2.8	15.8	6.3
2.20	38.00	80.0	38.4	2.1	18.3	5.5
2.40	35.00	67.0	35.4	3.2	11.1	9.0
2.60	36.00	84.0	36.4	2.0	18.2	5.5
2.80	39.00	69.0	39.4	2.7	14.6	6.9
3.00	35.00	75.0	35.4	2.3	15.4	6.5
3.20	42.00	77.0	42.6	1.1	38.7	2.6
3.40	45.00	62.0	45.6	0.8	57.0	1.8
3.60	38.00	50.0	38.6	1.2	32.2	3.1
3.80	29.00	47.0	29.6	0.9	32.9	3.0
4.00	29.00	42.0	29.6	0.9	32.9	3.0
4.20	29.00	42.0	29.7	0.6	49.5	2.0
4.40	23.00	32.0	23.7	9.9	2.4	41.8
4.60	22.00	170.0	22.7	11.0	2.1	48.5
4.80	85.00	250.0	85.7	15.0	5.7	17.5
5.00	65.00	290.0	65.7	18.7	3.5	28.5
5.20	280.00	560.0	280.8	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.20	46.1	0.9	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose
0.40	59.1	1.7	2.2	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
0.60	58.1	2.9	2.2	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
0.80	28.1	8.3	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
1.00	24.1	6.2	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
1.20	30.3	5.7	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
1.40	38.3	4.0	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
1.60	52.3	4.7	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
1.80	49.3	2.7	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.00	44.3	2.8	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.20	38.4	2.1	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.40	35.4	3.2	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.60	36.4	2.0	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.80	39.4	2.7	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
3.00	35.4	2.3	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
3.20	42.6	1.1	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
3.40	45.6	0.8	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie limose
3.60	38.6	1.2	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
3.80	29.6	0.9	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.00	29.6	0.9	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.20	29.7	0.6	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
4.40	23.7	9.9	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
4.60	22.7	11.0	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
4.80	85.7	15.0	2.2	Incoerente-Coesivo	Argille
5.00	65.7	18.7	2.2	Incoerente-Coesivo	Sabbie
5.20	280.8	0.0	2.4	Incoerente-Coesivo	Sabbie

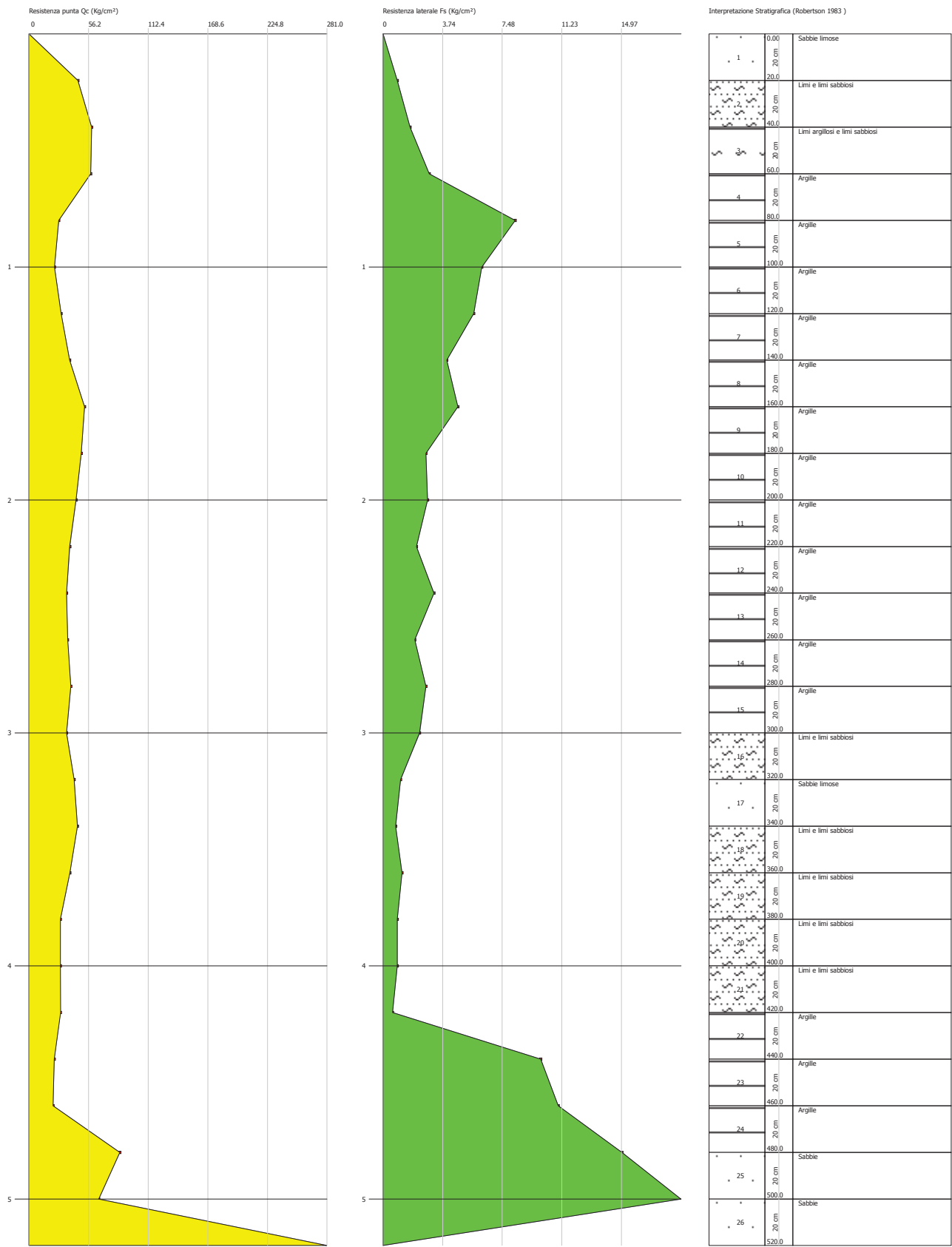
## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

### TERRENI COESIVI

Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) Terzaghi	Ed (Kg/cm <sup>2</sup> ) Buisman	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> ) Cancelli 1980	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> ) Imai & Tomauchi	Ocr Piacentini Righi 1978	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof
0.20	2.3	138.3	1728.0	290.9	>9	2.1	2.2
0.40	3.0	177.3	2213.8	338.5	>9	2.2	2.2
0.60	2.9	174.3	2174.7	335.0	>9	2.2	2.2
0.80	1.4	84.3	1048.1	214.9	>9	2.0	2.1
1.00	1.2	72.3	896.6	195.7	>9	2.0	2.1
1.20	1.5	90.9	1127.6	225.1	>9	2.0	2.1
1.40	1.9	114.9	1426.1	259.7	>9	2.1	2.2
1.60	2.6	156.9	1949.5	314.2	>9	2.1	2.2
1.80	2.5	147.9	1835.4	303.0	>9	2.1	2.2
2.00	2.2	132.9	1646.4	283.9	>9	2.1	2.2
2.20	1.9	115.2	1423.5	260.1	>9	2.1	2.2
2.40	1.8	106.2	1309.5	247.5	>9	2.1	2.1
2.60	1.8	109.2	1345.4	251.8	>9	2.1	2.2
2.80	2.0	118.2	1456.3	264.2	>9	2.1	2.2
3.00	1.8	106.2	1304.7	247.5	>9	2.1	2.1
3.20	2.1	127.8	1573.2	277.2	>9	2.1	2.2
3.40	2.3	136.8	1684.1	288.9	8.25	2.1	2.2
3.60	1.9	115.8	1420.0	261.0	>9	2.1	2.2
3.80	1.5	88.8	1081.0	221.9	8.26	2.0	2.1
4.00	1.5	88.8	1079.5	221.9	7.85	2.0	2.1
4.20	1.5	89.1	1081.7	222.3	4.99	2.0	2.1
4.40	1.2	71.1	855.2	193.7	>9	2.0	2.1
4.60	1.1	68.1	816.2	188.7	>9	2.0	2.1
4.80	4.3	257.1	3177.1	424.8	>9	2.2	2.3
5.00	3.3	197.1	2425.5	361.2	>9	2.2	2.3
5.20	14.0	842.4	10490.0	877.3	<0.5	2.4	2.5

## TERRENI INCOERENTI

Prof. Strato (m)	Densità relativa (%) Harman	Angolo d'attrito (°) Meyerhof 1951	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> ) ISOPT-1 1988 Ey(50)	G (Kg/cm <sup>2</sup> ) Imai & Tomauchi	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof
0.20	100.0	37.7	184.4	290.9	1.8	2.1
0.40	100.0	43.5	236.4	338.5	1.8	2.1
0.60	100.0	43.1	232.4	335.0	1.8	2.1
0.80	74.0	29.6	195.6	214.9	1.8	2.1
1.00	63.1	27.8	202.4	195.7	1.8	2.1
1.20	66.3	30.6	242.7	225.1	1.8	2.1
1.40	70.4	34.2	287.6	259.7	1.8	2.1
1.60	77.7	40.5	345.6	314.2	1.8	2.1
1.80	72.6	39.1	358.6	303.0	1.8	2.1
2.00	66.3	36.9	359.0	283.9	1.8	2.1
2.20	58.9	34.2	347.8	260.1	1.8	2.1
2.40	53.9	32.9	343.7	247.5	1.8	2.1
2.60	52.9	33.3	358.8	251.8	1.8	2.1
2.80	53.7	34.7	384.5	264.2	1.8	2.1
3.00	48.3	32.9	370.3	247.5	1.8	2.1
3.20	53.1	36.1	420.1	277.2	1.8	2.1
3.40	53.9	37.5	445.3	288.9	1.8	2.1
3.60	46.8	34.3	412.6	261.0	1.8	2.1
3.80	36.3	30.3	356.1	221.9	1.8	2.1
4.00	35.1	30.3	360.9	221.9	1.8	2.1
4.20	34.1	30.3	366.3	222.3	1.8	2.1
4.40	25.2	27.6	319.3	193.7	1.8	2.1
4.60	22.7	27.2	313.3	188.7	1.8	2.1
4.80	67.3	45.0	695.0	424.8	1.8	2.1
5.00	57.1	45.0	618.8	361.2	1.8	2.1
5.20	100.0	45.0	1123.2	877.3	0.0	0.0



## **PROVA ...CPT2**

Committente: Colussi s.p.a.  
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)  
 Prova eseguita in data: 17/11/2015  
 Profondità prova: 4.80 mt  
 Località:

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	25.00	37.0	25.1	1.1	22.8	4.4
0.40	42.00	58.0	42.1	2.5	16.8	5.9
0.60	48.00	85.0	48.1	1.5	32.1	3.1
0.80	58.00	81.0	58.1	2.7	21.5	4.6
1.00	52.00	93.0	52.1	4.1	12.7	7.9
1.20	49.00	111.0	49.3	3.6	13.7	7.3
1.40	54.00	108.0	54.3	4.5	12.1	8.3
1.60	47.00	115.0	47.3	3.8	12.4	8.0
1.80	42.00	99.0	42.3	3.1	13.6	7.3
2.00	31.00	78.0	31.3	2.1	14.9	6.7
2.20	31.00	62.0	31.4	1.5	20.9	4.8
2.40	33.00	55.0	33.4	1.7	19.6	5.1
2.60	33.00	59.0	33.4	2.3	14.5	6.9
2.80	37.00	71.0	37.4	2.3	16.3	6.1
3.00	44.00	78.0	44.4	2.7	16.4	6.1
3.20	42.00	82.0	42.6	1.9	22.4	4.5
3.40	45.00	73.0	45.6	1.9	24.0	4.2
3.60	38.00	67.0	38.6	2.3	16.8	6.0
3.80	28.00	62.0	28.6	1.7	16.8	5.9
4.00	26.00	51.0	26.6	1.4	19.0	5.3
4.20	28.00	49.0	28.7	1.4	20.5	4.9
4.40	23.00	44.0	23.7	7.8	3.0	32.9
4.60	35.00	152.0	35.7	27.7	1.3	77.6
4.80	112.00	528.0	112.7	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.20	25.1	1.1	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
0.40	42.1	2.5	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
0.60	48.1	1.5	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
0.80	58.1	2.7	2.2	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
1.00	52.1	4.1	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
1.20	49.3	3.6	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
1.40	54.3	4.5	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
1.60	47.3	3.8	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
1.80	42.3	3.1	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.00	31.3	2.1	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
2.20	31.4	1.5	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.40	33.4	1.7	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2.60	33.4	2.3	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
2.80	37.4	2.3	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
3.00	44.4	2.7	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
3.20	42.6	1.9	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3.40	45.6	1.9	2.1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3.60	38.6	2.3	2.1	Incoerente-Coesivo	Argille
3.80	28.6	1.7	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
4.00	26.6	1.4	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
4.20	28.7	1.4	2.0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
4.40	23.7	7.8	2.0	Incoerente-Coesivo	Argille
4.60	35.7	27.7	2.1	Incoerente-Coesivo	Sabbie
4.80	112.7	0.0	2.3	Incoerente-Coesivo	Sabbie

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

### TERRENI COESIVI

Prof. Strato (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) Terzaghi	Ed (Kg/cm <sup>2</sup> ) Buisman	Eu (Kg/cm <sup>2</sup> ) Cancelli 1980	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm <sup>2</sup> ) Imai & Tomauchi	Ocr Piacentini Righi 1978	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof
0.20	1.3	75.3	940.5	200.6	>9	2.0	2.1
0.40	2.1	126.3	1576.5	275.2	>9	2.1	2.2
0.60	2.4	144.3	1799.9	298.5	>9	2.1	2.2
0.80	2.9	174.3	2173.3	335.0	>9	2.2	2.2
1.00	2.6	156.3	1946.7	313.4	>9	2.1	2.2
1.20	2.5	147.9	1840.1	303.0	>9	2.1	2.2
1.40	2.7	162.9	2026.0	321.5	>9	2.1	2.2
1.60	2.4	141.9	1761.9	295.5	>9	2.1	2.2
1.80	2.1	126.9	1572.9	276.0	>9	2.1	2.2
2.00	1.6	93.9	1158.8	229.6	>9	2.0	2.1
2.20	1.6	94.2	1161.1	230.0	>9	2.0	2.1
2.40	1.7	100.2	1234.5	238.9	>9	2.1	2.1
2.60	1.7	100.2	1233.0	238.9	>9	2.1	2.1
2.80	1.9	112.2	1381.4	256.0	>9	2.1	2.2
3.00	2.2	133.2	1642.3	284.3	>9	2.1	2.2
3.20	2.1	127.8	1573.2	277.2	>9	2.1	2.2
3.40	2.3	136.8	1684.2	288.9	>9	2.1	2.2
3.60	1.9	115.8	1420.1	261.0	>9	2.1	2.2
3.80	1.4	85.8	1043.6	217.3	>9	2.0	2.1
4.00	1.3	79.8	967.0	207.9	>9	2.0	2.1
4.20	1.4	86.1	1044.3	217.7	>9	2.0	2.1
4.40	1.2	71.1	855.3	193.7	>9	2.0	2.1
4.60	1.8	107.1	1303.8	248.8	>9	2.1	2.1
4.80	5.6	338.1	4189.6	502.2	<0.5	2.3	2.3

## TERRENI INCOERENTI

Prof. Strato (m)	Densità relativa (%) Harman	Angolo d'attrito (°) Meyerhof 1951	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> ) ISOPT-1 1988 Ey(50)	G (Kg/cm <sup>2</sup> ) Imai & Tomauchi	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) Meyerhof
0.20	100.0	28.3	100.4	200.6	1.8	2.1
0.40	100.0	35.9	168.4	275.2	1.8	2.1
0.60	100.0	38.6	192.4	298.5	1.8	2.1
0.80	99.6	43.1	232.4	335.0	1.8	2.1
1.00	89.7	40.4	260.3	313.4	1.8	2.1
1.20	83.0	39.1	290.2	303.0	1.8	2.1
1.40	82.3	41.4	325.9	321.5	1.8	2.1
1.60	74.1	38.2	334.4	295.5	1.8	2.1
1.80	67.2	36.0	336.9	276.0	1.8	2.1
2.00	54.3	31.1	301.7	229.6	1.8	2.1
2.20	52.1	31.1	311.9	230.0	1.8	2.1
2.40	52.0	32.0	332.4	238.9	1.8	2.1
2.60	50.0	32.0	341.4	238.9	1.8	2.1
2.80	52.0	33.8	373.1	256.0	1.8	2.1
3.00	56.2	36.9	419.8	284.3	1.8	2.1
3.20	53.2	36.1	419.7	277.2	1.8	2.1
3.40	54.0	37.5	444.9	288.9	1.8	2.1
3.60	46.8	34.3	412.2	261.0	1.8	2.1
3.80	35.2	29.8	348.1	217.3	1.8	2.1
4.00	31.5	28.9	336.6	207.9	1.8	2.1
4.20	33.0	29.9	358.1	217.7	1.8	2.1
4.40	25.3	27.6	319.1	193.7	1.8	2.1
4.60	38.3	33.0	421.6	248.8	1.8	2.1
4.80	76.7	45.0	778.8	502.2	0.0	0.0



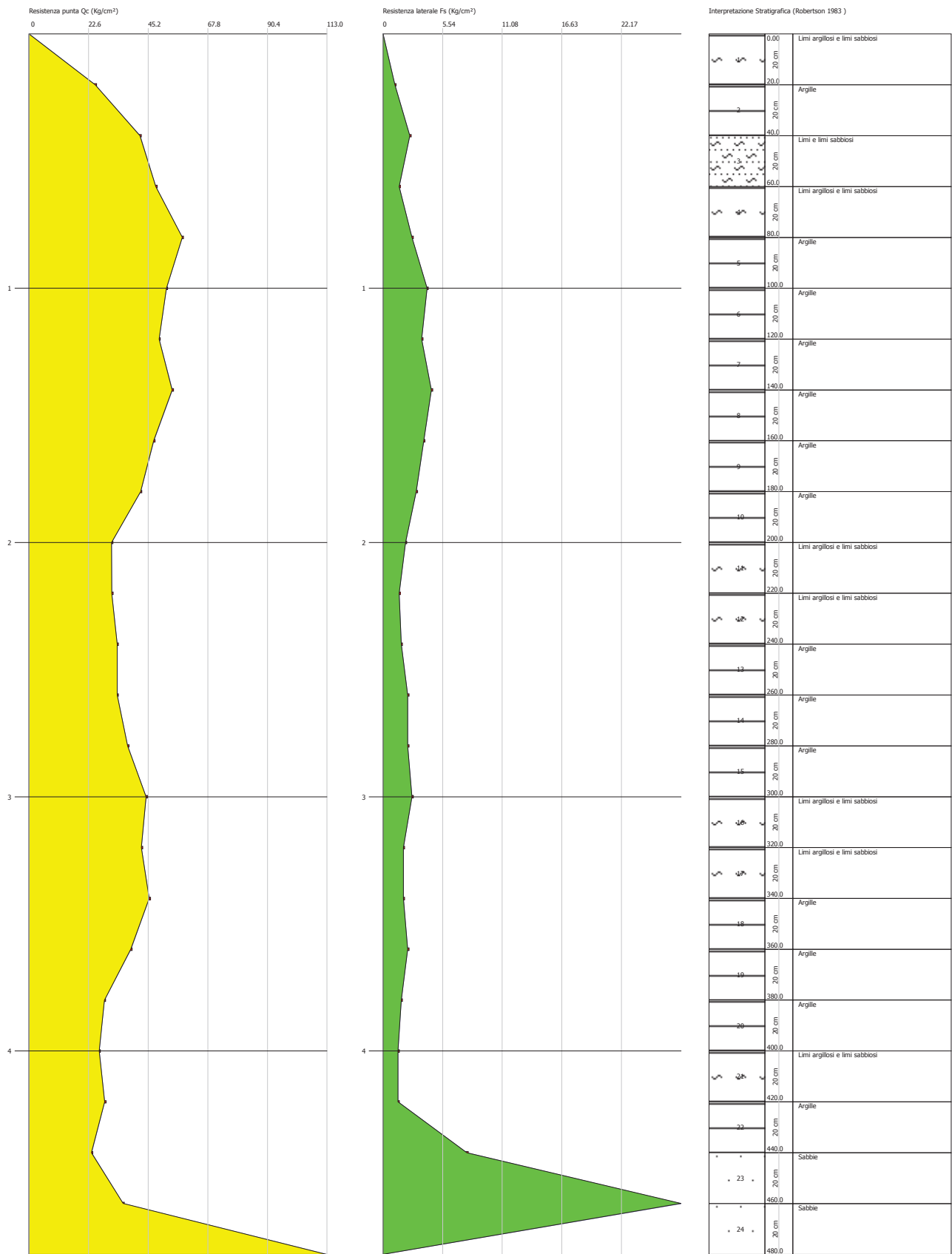




foto CPT n. 1



foto CPT n. 2

**COMUNE DI ASSISI**  
**Loc. Petrignano**

**PROSPEZIONE SISMICA MASW**

**INERENTE IL PROGETTO PER L'INSTALLAZIONE DI N.6 SILOS IN ACCIAIO**



**Committente: Colussi S.p.a.**

**Novembre 2015**

**Dott. Geol. Diego Albini**

**INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE**  
**DIEGO ALBINI**  
Piazza Martiri della Libertà, 14  
06023 Gualdo Tadino (Pg)  
P. Iva 02543770545  
C.F. LBNDGI75B16E230Y  
Tel. 075-916435 - Fax 075-7823294

## INDICE

PREMESSA.....	pag. 3
PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI	
DI RAYLEIGH.....	pag. 3
PROSPEZIONI SISMICHE MASW.....	pag. 6
INDAGINE ESEGUITA.....	pag. 8
ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI.....	pag. 8
INTERPRETAZIONE ED ANALISI DATI.....	pag. 9



## PREMESSA

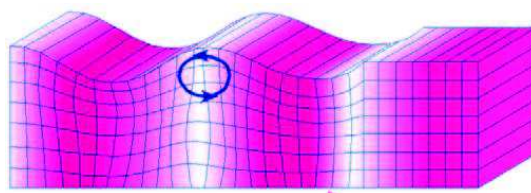
Su incarico della Dott. Geol. Marco Marchetti e per conto di Colussi S.p.a. è stata effettuata una prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh), presso l'area di sedime sulla quale verrà realizzato il progetto per l'installazione di n.6 silos in acciaio, al fine di individuare le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il suolo, secondo la normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008).

L'indagine è stata effettuata sul sito ubicato in loc. Petrignano, nel territorio comunale di Assisi (PG).

## PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 2) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



Direzione di propagazione →

Fig. 2 – Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità

in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_P$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_S$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 14 gennaio 2008). Infatti, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_S$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 3).

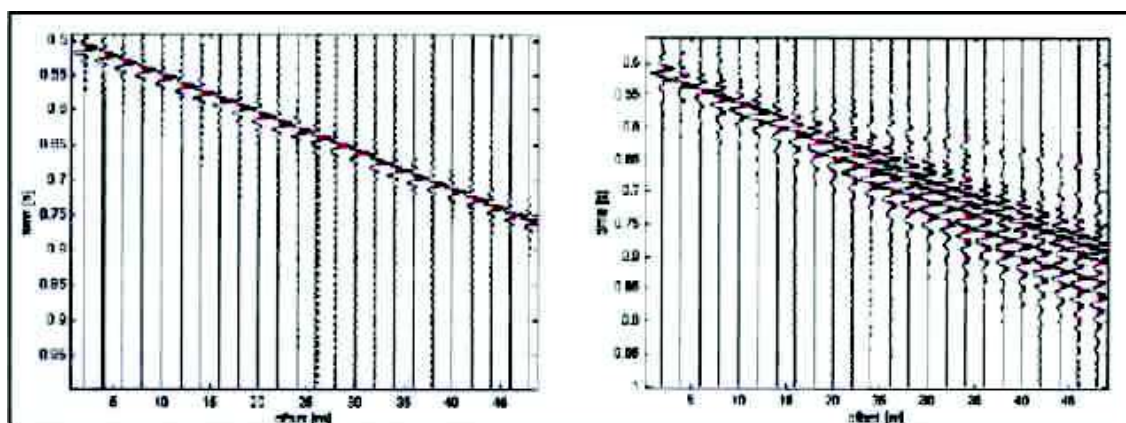


Fig. 3 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione (Fig. 4).

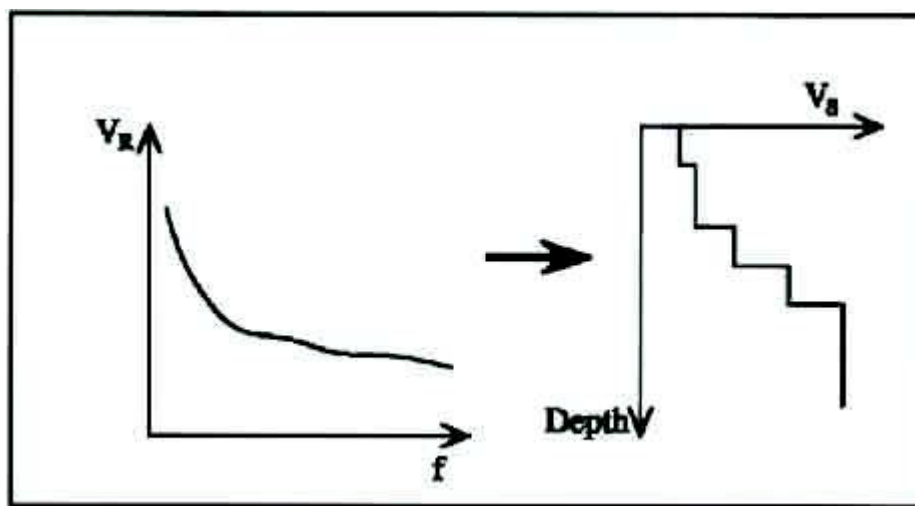


Fig. 4 – Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_s$ ). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione delle  $V_s < 15\%$ .

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5Hz e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time Analysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La tecnica ReMi consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle  $V_s$  relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera. Questa tecnica viene estensivamente utilizzata negli Stati Uniti nell'ambito del NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) tanto che il software fornisce anche direttamente il valore di  $V_{s30}$  e la categoria della classificazione del suolo secondo la normativa americana.

Il metodo FTAN per la determinazione delle  $V_{s30}$  ha bisogno di un solo ricevitore e permette la definizione di un profilo medio su distanze di decine-centinaia di metri. Inoltre il metodo fornisce valori di velocità delle onde di taglio in buon accordo con le misure in foro.

Il metodo SASW viene generalmente impiegato per la determinazione delle  $V_s$  di strati superficiali ( $< 30m$ ) e per la determinazione delle proprietà elastiche di strade e pavimentazioni (Stokoe & Nazarian, 1985) e, pertanto, sembra essere tra i metodi non invasivi quello più popolare tra gli ingegneri.

La tecnica MASW, fondata sulla tecnica SASW, consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo.

## PROSPEZIONI SISMICHE MASW

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 4 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 5), generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Ricostruzione di una sezione (modello 1D) delle  $V_s$  dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali.

Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti (Fig. 5) in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni (Fig. 6).



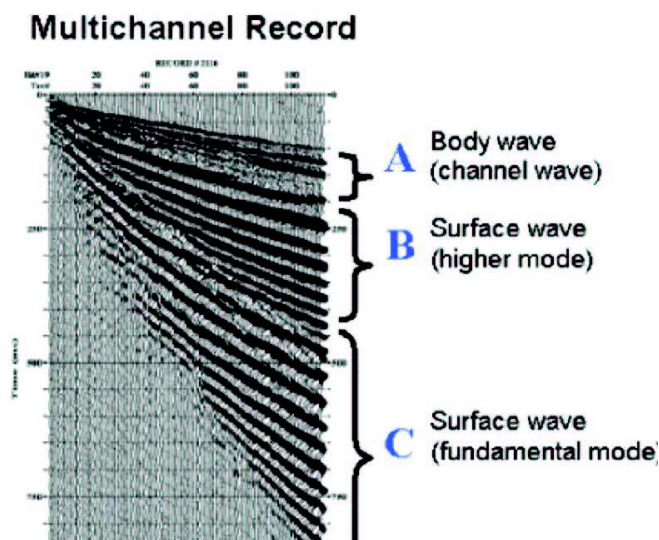


Fig. 5 – Segnali sismici con acquisizione multicanale e riconoscimento delle varie fasi sismiche (onde di volume, modo fondamentale e modi superiori delle onde superficiali).

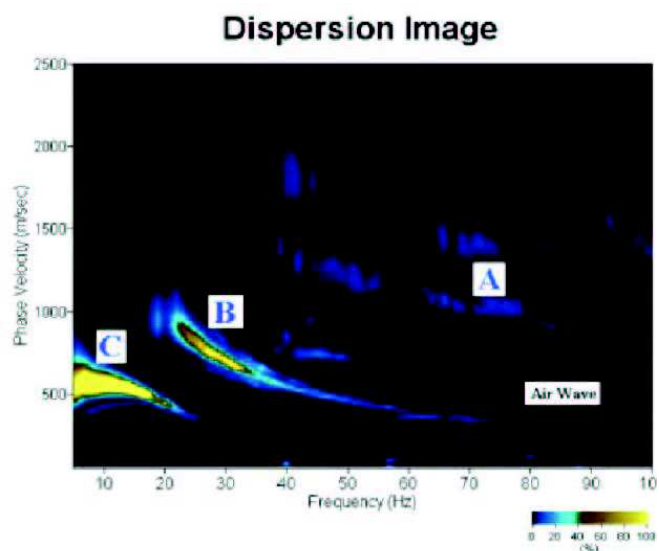


Fig. 6 – Curva di dispersione della velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh relativa ai segnali sismici in Fig. 5. Il picco energetico in corrispondenza di C rappresenta, nel modello della dispersione, il modo fondamentale da estrarre. Il picco energetico in B rappresenta il primo modo mentre quello in A, poco evidente, rappresenterebbe il secondo modo.

Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico. Tutte le altre onde (riflesse, disperse, modi superiori delle onde superficiali, noise ambientale) vengono quindi rimosse durante il processo di elaborazione.

## INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare il suolo in area progettuale, è stata eseguita una prospezione sismica MASW con il seguente stendimento geofonico:

- MASW: 54.0 m

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo del sismografo DoReMi 16 bit 24 canali. L'elevata dinamica unita alla notevole memoria per l'acquisizione, consente l'utilizzo di tale sismografo per tecniche di indagine di tipo convenzionale (riflessione e rifrazione) e non convenzionale (ReMi, S.A.S.W, M.A.S.W). L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP.

La sorgente sismica è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 8kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un sensore ad innesto nella piastra posizionata alla distanza di:

- 4.0 m dal primo geofono

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova è stata ripetuta.

Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali da 4.5Hz posizionati lungo il profilo di indagine con distanza intergeofonica di:

- 2.0 m

La lunghezza complessiva dello stendimento è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia dei terreni di sedime fino alla profondità di circa 35 m dal p.c..

## ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale  $T=2.0s$ , sono state effettuate con passo di campionamento  $dt=1.0ms$ . La frequenza di campionamento è data da:  
 $f_{campionamento}=1/dt=1000Hz$ .

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati.

## INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI – APPROCCIO SEMPLIFICATO

L'indagine sismica MASW eseguita, considerando la sola Vs tra 0,0m e 30,00m di profondità dal p.c. e applicando la seguente formula:

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

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30m di profondità, permette di ottenere le seguenti  $V_{s30}$  per lo Shot n° 1 e per lo Shot n. 2:

$$V_{s30} \text{ 1} = 563.11 \text{ m/s}$$

$$V_{s30} \text{ 2} = 538.36 \text{ m/s}$$

Considerando un'incertezza di misura dell'ordine del 20% (Mulargia & Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 958, 989), il sito in esame ricade in **categoria B**, infatti:

$$V_{s30} \text{ 1} = 563.11 \text{ m/s} \pm 112.62 \text{ m/s} \text{ da cui si ottiene per difetto } V_{s30} \text{ 1} = 450.49 \text{ m/s};$$

$$V_{s30} \text{ 2} = 538.36 \text{ m/s} \pm 107.67 \text{ m/s} \text{ da cui si ottiene per difetto } V_{s30} \text{ 2} = 430.69 \text{ m/s};$$

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3.00m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 m</i> , posti su substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S30}$ inferiore a 100 m/s (ovvero $1 < C_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3m di torba o di argille altamente organiche.
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

**Tab. 1 – Categorie Suolo di fondazione (D.M. 14 gennaio 2008)**

<b>Prospezione sismica</b>	<b><math>V_{S30}</math> (m/s)</b>	<b>Categoria Suolo di Fondazione (D.M. 14 gennaio 2008)</b>
<b>MASW</b>	<b>360-800</b>	<b>B</b>

**Tab. 2 – Categorie Suolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW effettuata.**

**Novembre 2015**

**Dott. Geol. Diego Albini**

INDAGINI GEOFISICHE E GEOTECNICHE  
**DIEGO ALBINI**  
 Piazza Martiri della Libertà, 14  
 06023 Gualdo Tadino (Pg)  
 P. Iva 02543770545  
 C.F. LBNDG175B16E230Y  
 Tel. 075-916435 - Fax 075-7823294

**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

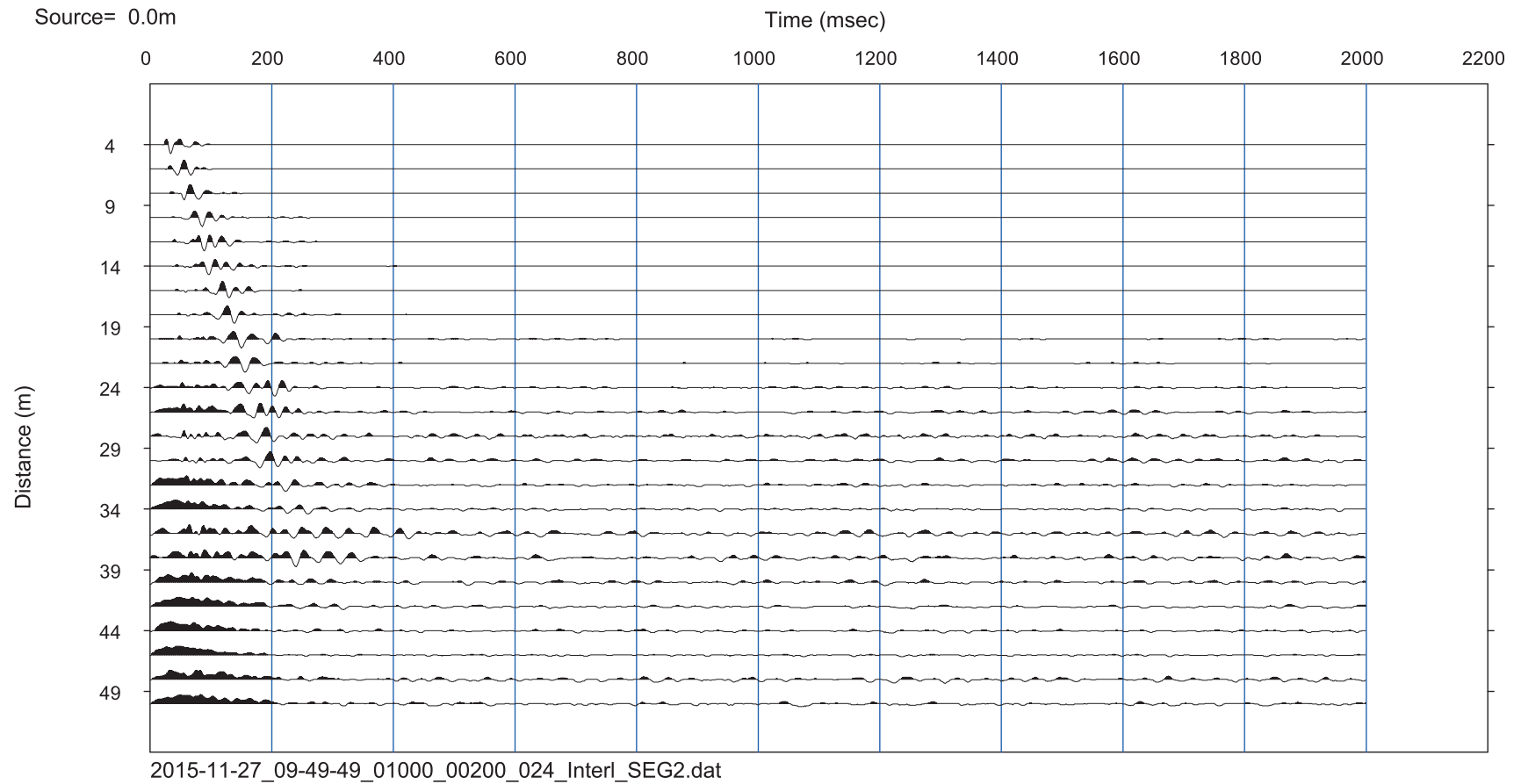
**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**SISMOGRAMMA**

**Battuta:** Andata

**Distanza :** 0 m



Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**

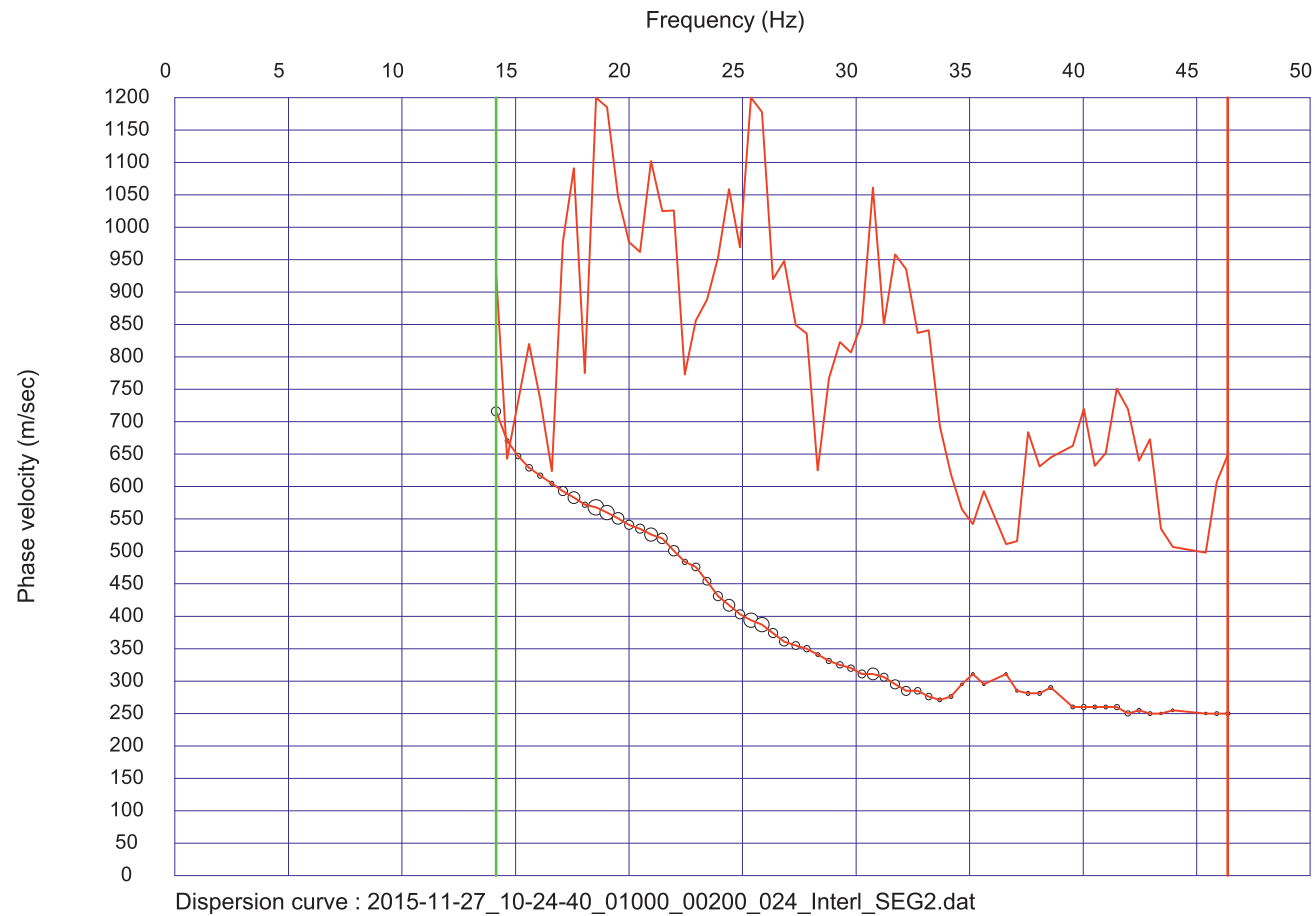
**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE NUMERICA CON MODI TEORICI DI RAYLEIGHT**



Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**

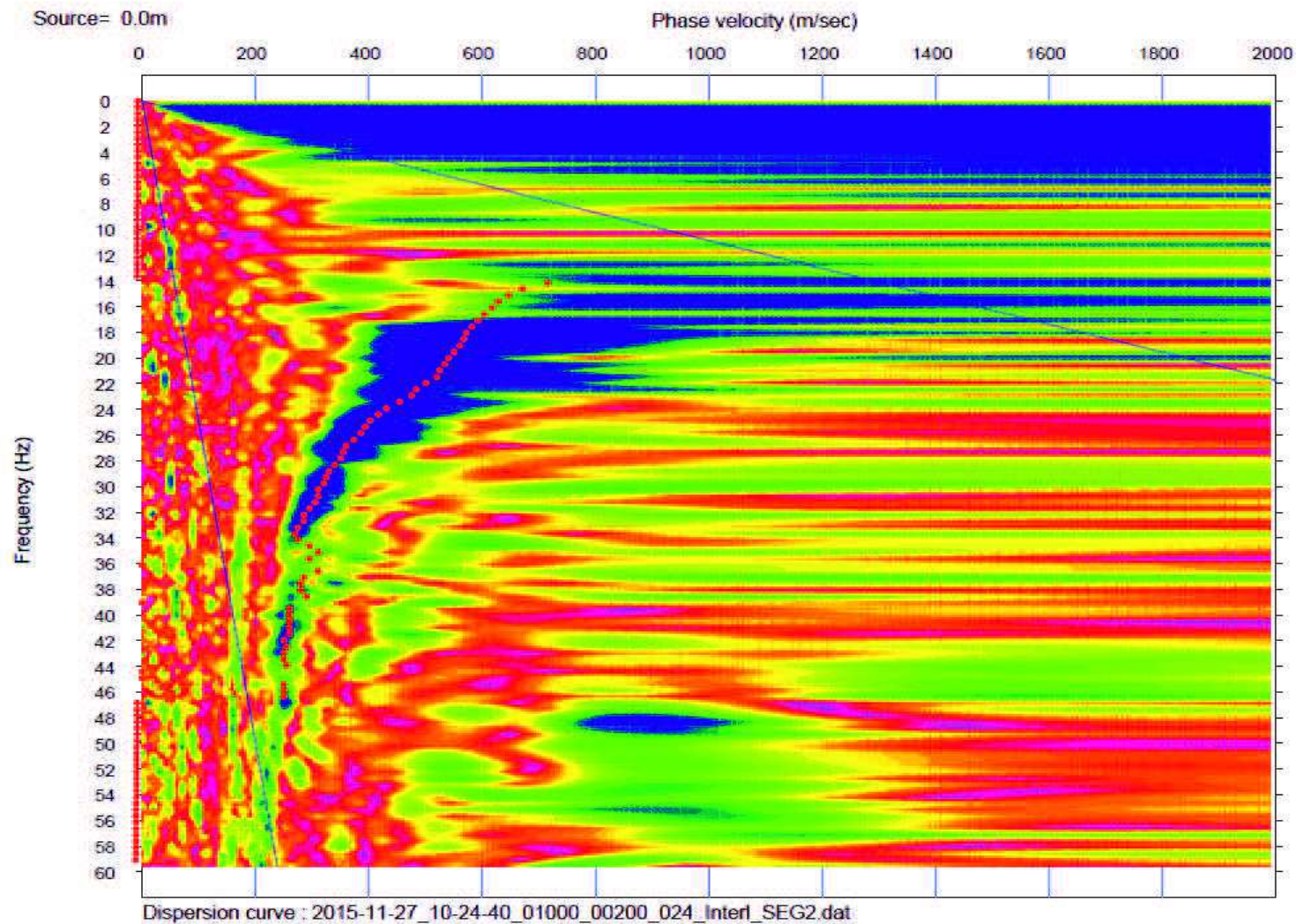
**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**CURVA DI DISPERSIONE DELLA VELOCITA' DI FASE**



Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**



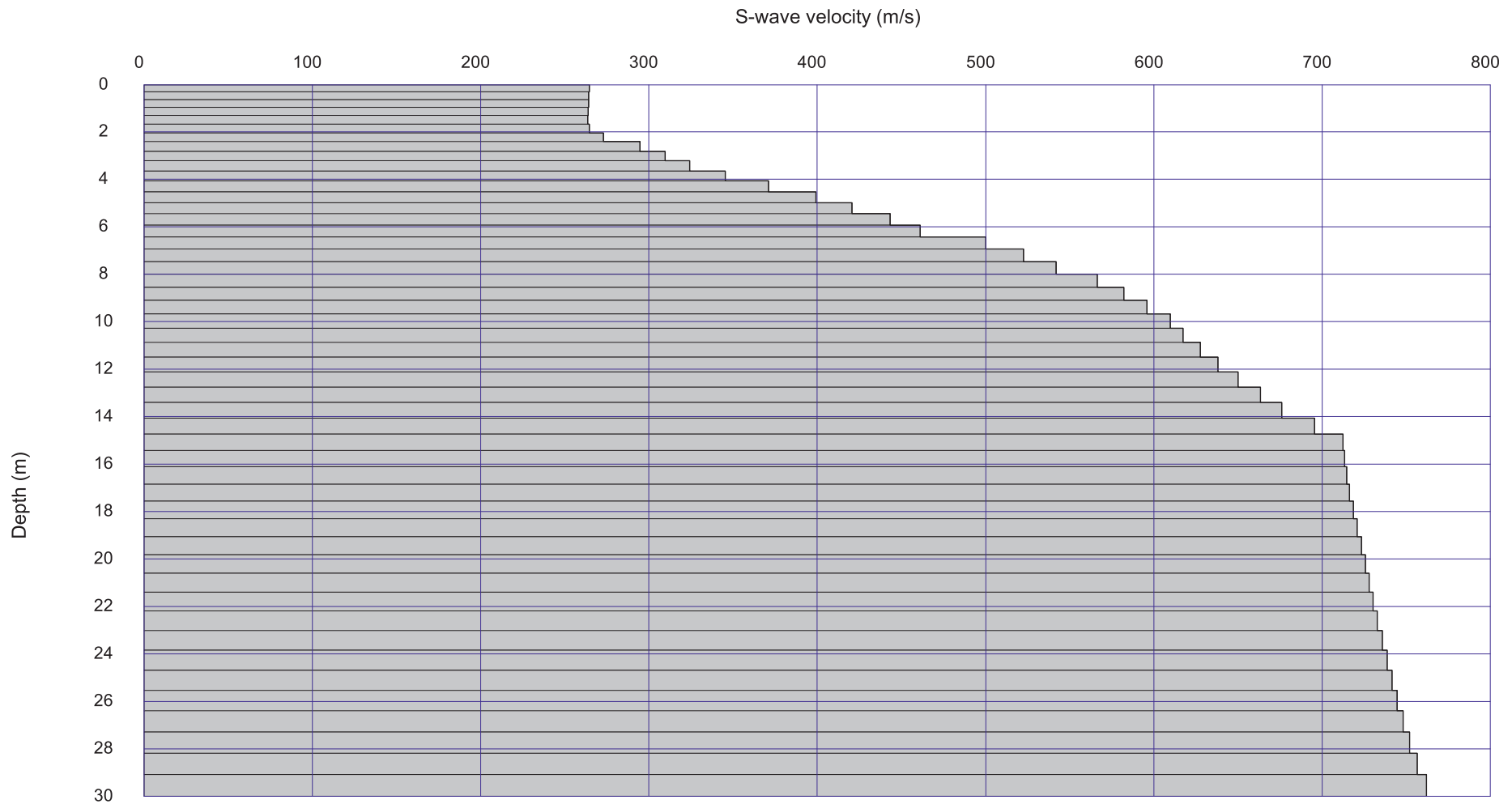
**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**PROFILO DI VELOCITA' - SHOT n.° 1**



S-wave velocity model (inverted): 2015-11-27\_10-24-40\_01000\_00200\_024\_Interl\_SEG2.dat

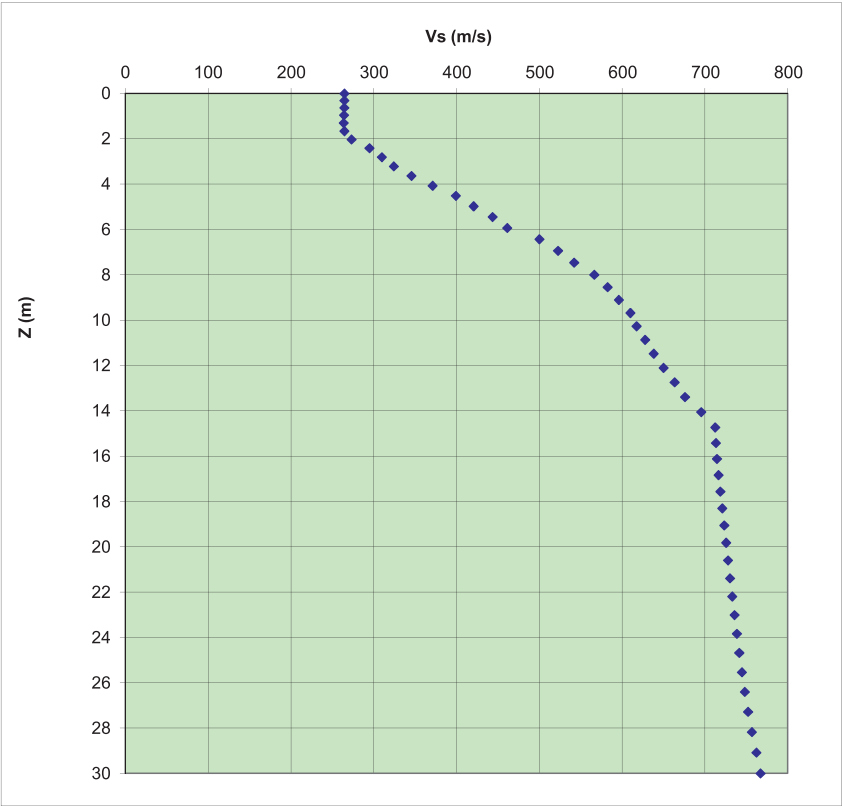
Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**



CALCOLO VS30

Depth(m)	S-velocity(m/s)	hi (m)	hi/Vi <sub>s</sub>
0.000	264.452		
0.306	264.405	0.306122	0.001158
0.625	264.253	0.318878	0.001207
0.957	263.995	0.331633	0.001256
1.301	263.546	0.344387	0.001307
1.658	264.456	0.357143	0.00135
2.028	273.099	0.369898	0.001354
2.411	294.762	0.382653	0.001298
2.806	309.747	0.395408	0.001277
3.214	324.168	0.408164	0.001259
3.635	345.477	0.420918	0.001218
4.069	371.032	0.433674	0.001169
4.515	399.143	0.446428	0.001118
4.974	420.535	0.459184	0.001092
5.446	443.477	0.471938	0.001064
5.931	461.157	0.484694	0.001051
6.429	500.006	0.497449	0.000995
6.939	522.499	0.510205	0.000976
7.462	541.984	0.522959	0.000965
7.997	566.299	0.535714	0.000946
8.546	582.373	0.548469	0.000942
9.107	595.981	0.561225	0.000942
9.681	609.915	0.573979	0.000941
10.268	617.379	0.586735	0.00095
10.867	627.772	0.59949	0.000955
11.480	638.126	0.612245	0.000959
12.105	649.996	0.625	0.000962
12.742	663.324	0.637755	0.000961
13.393	675.912	0.65051	0.000962
14.056	695.465	0.663266	0.000954
14.732	712.424	0.67602	0.000949
15.421	713.198	0.688775	0.000966
16.122	714.501	0.701531	0.000982
16.837	716.413	0.714285	0.000997
17.564	718.605	0.727041	0.001012
18.304	720.926	0.739796	0.001026
19.056	723.273	0.752552	0.00104
19.821	725.567	0.765307	0.001055
20.599	727.816	0.77806	0.001069
21.390	730.304	0.790816	0.001083
22.194	732.954	0.803571	0.001096
23.010	735.724	0.816327	0.00111
23.839	738.551	0.829082	0.001123
24.681	741.419	0.841837	0.001135
25.536	744.605	0.854591	0.001148
26.403	748.159	0.867346	0.001159
27.283	752.082	0.880102	0.00117
28.176	756.628	0.892857	0.00118
29.082	762.143	0.905612	0.001188
30.000	767.116	0.918369	0.001197
Somma		30	0.053275

Vs30 (SHOT 1)= 563.1173



**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

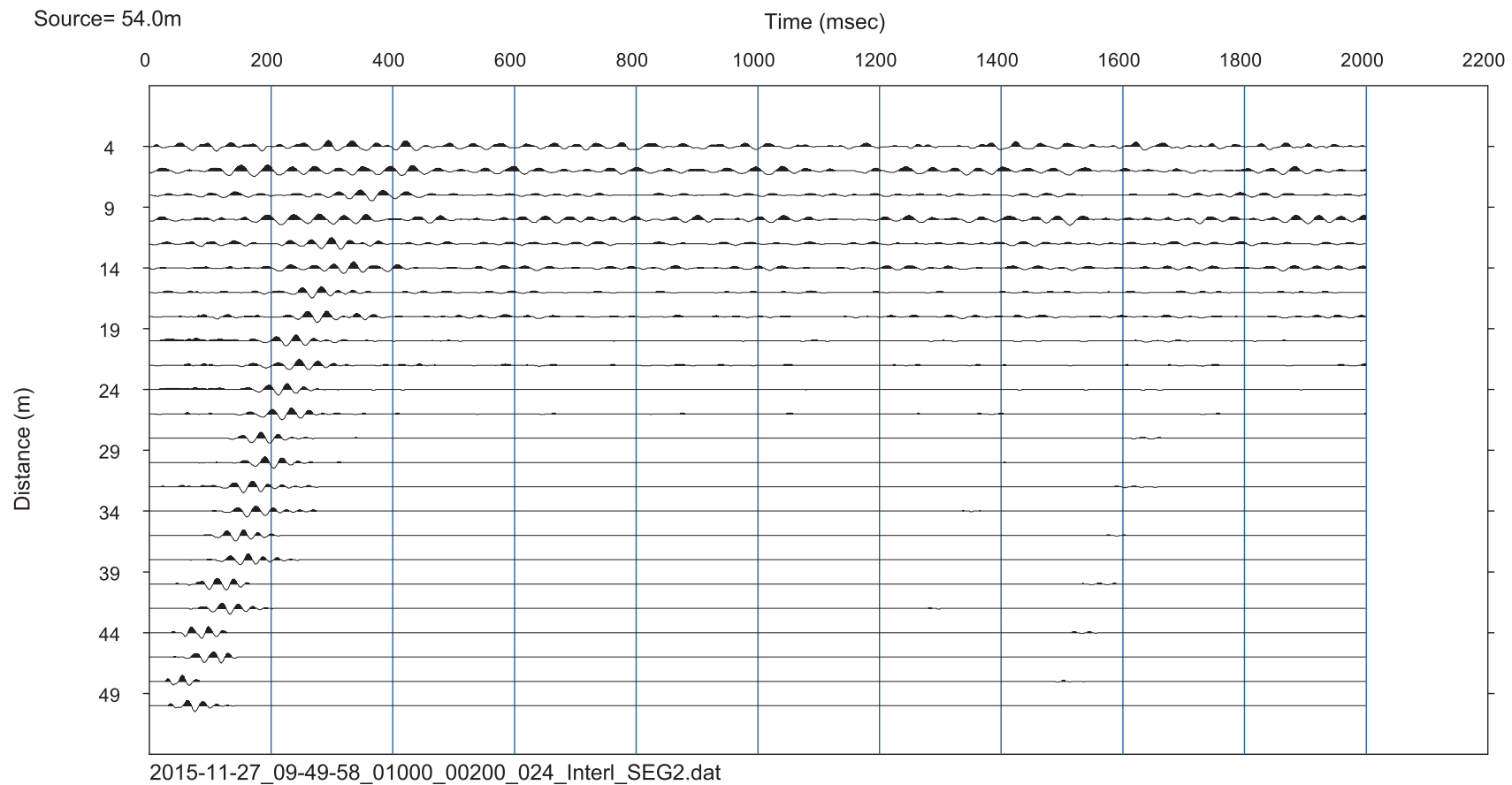
**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**SISMOGRAMMA**

**Battuta:** Ritorno

**Distanza :** 54.0 m



Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**

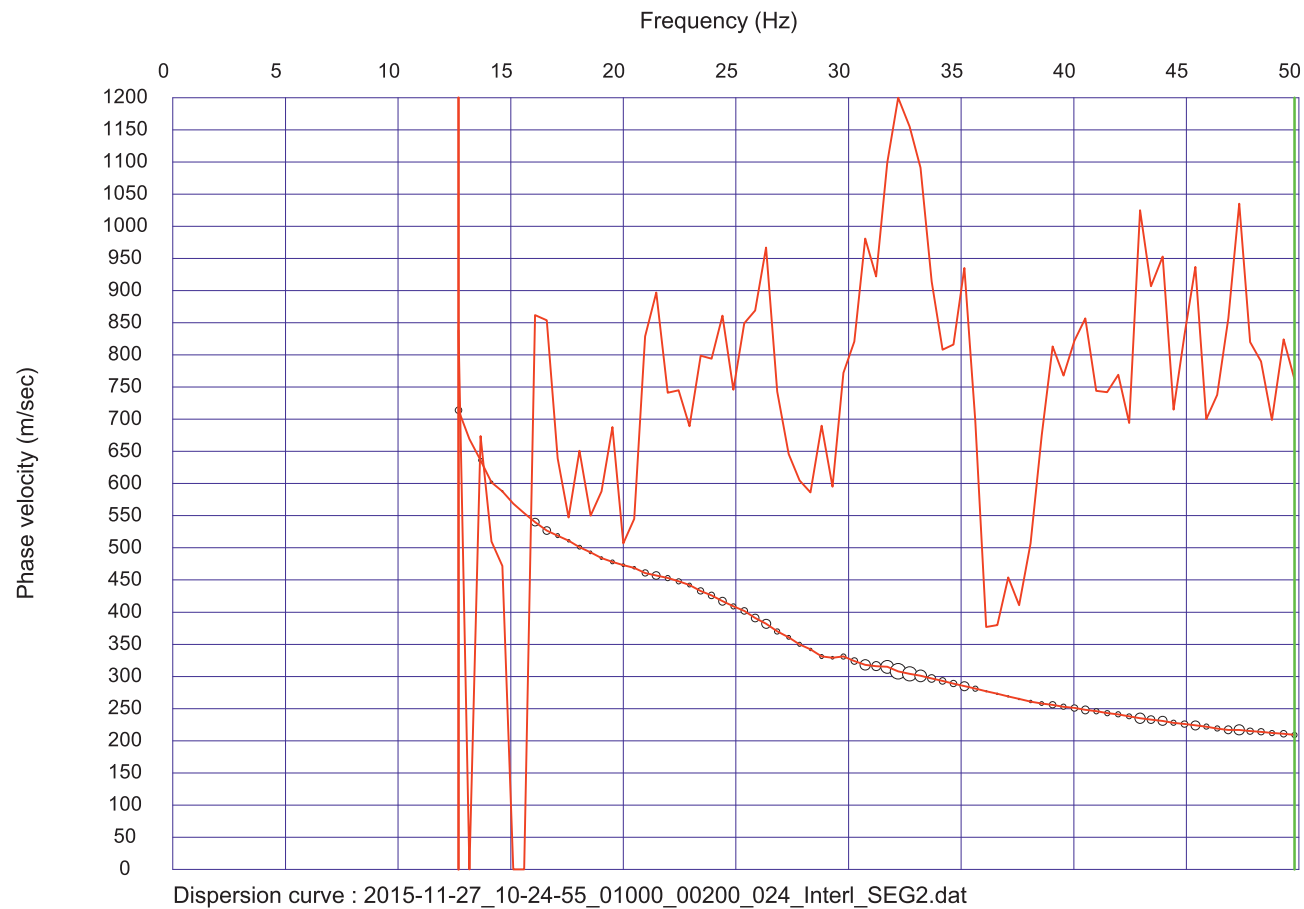
**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**CURVA DI DISPERSIONE APPARENTE NUMERICA CON MODI TEORICI DI RAYLEIGHT**



Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**

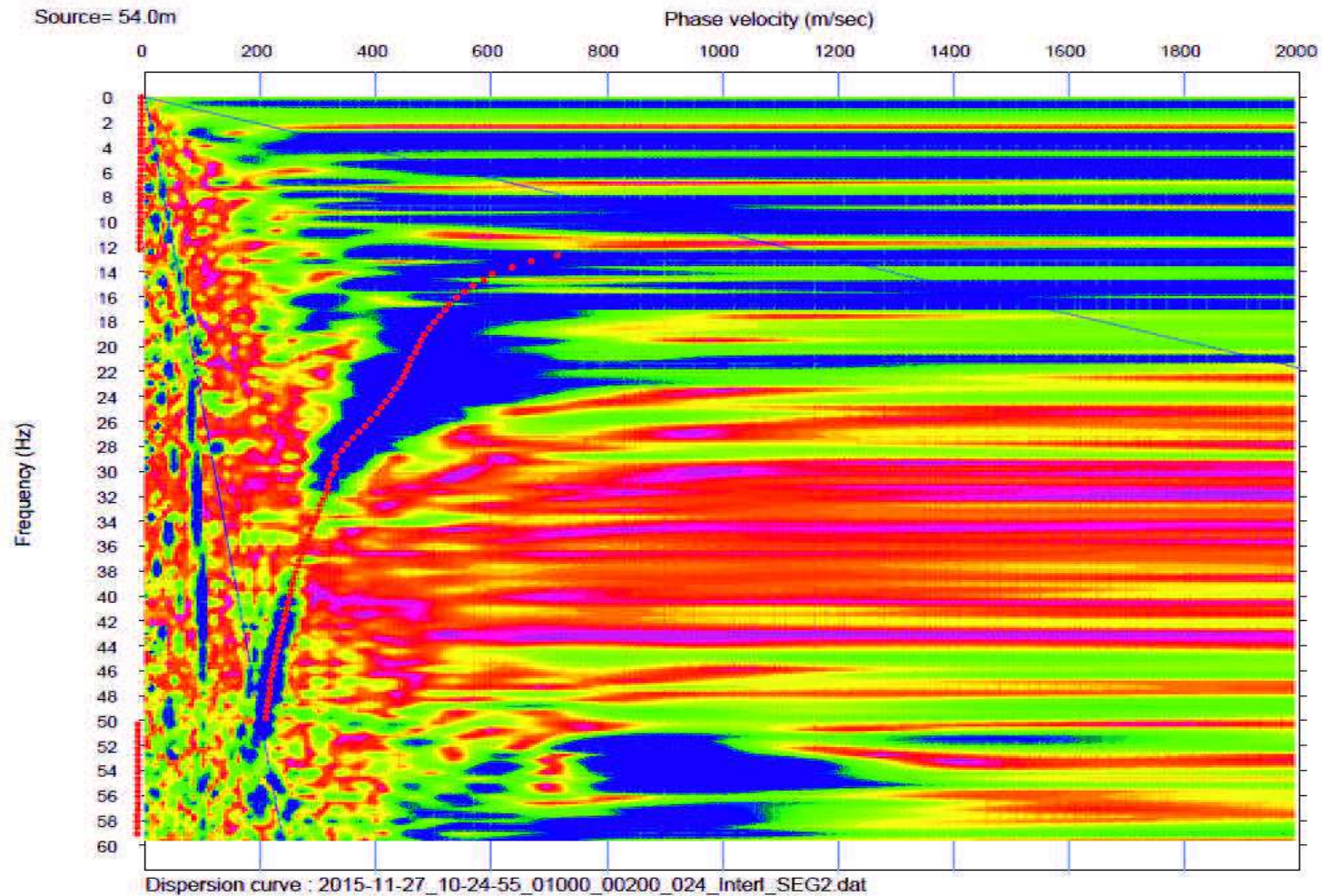
**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**CURVA DI DISPERSIONE DELLA VELOCITA' DI FASE**



Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**

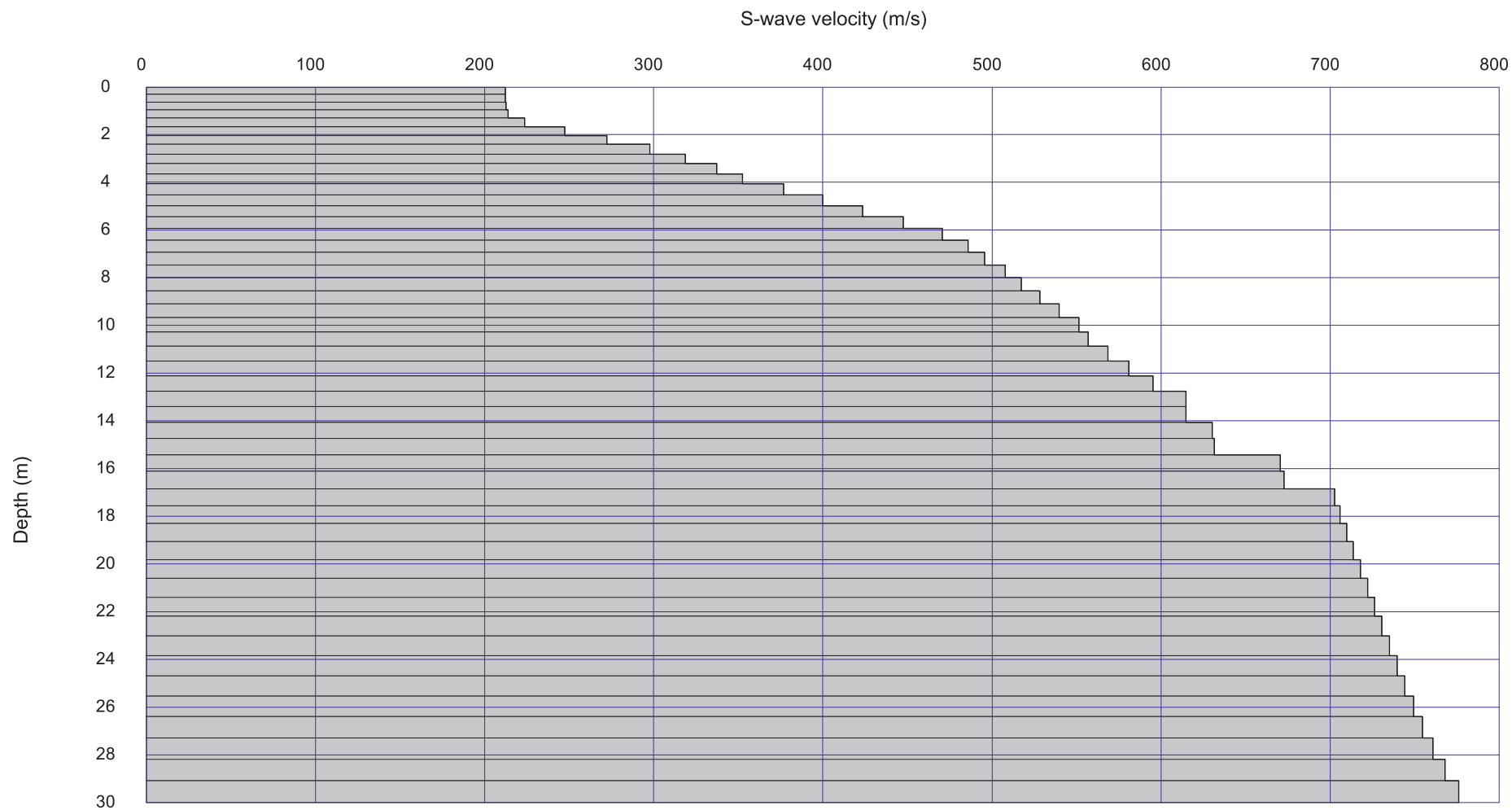
**COMUNE:** Assisi

**INDAGINE:** Stendimento sismico MASW 24 ch

**COMMITTENTE:** Colussi S.p.a.

**DATA ESECUZIONE INDAGINE:** 26-11-2015

**PROFILO DI VELOCITA' - SHOT n.° 2**



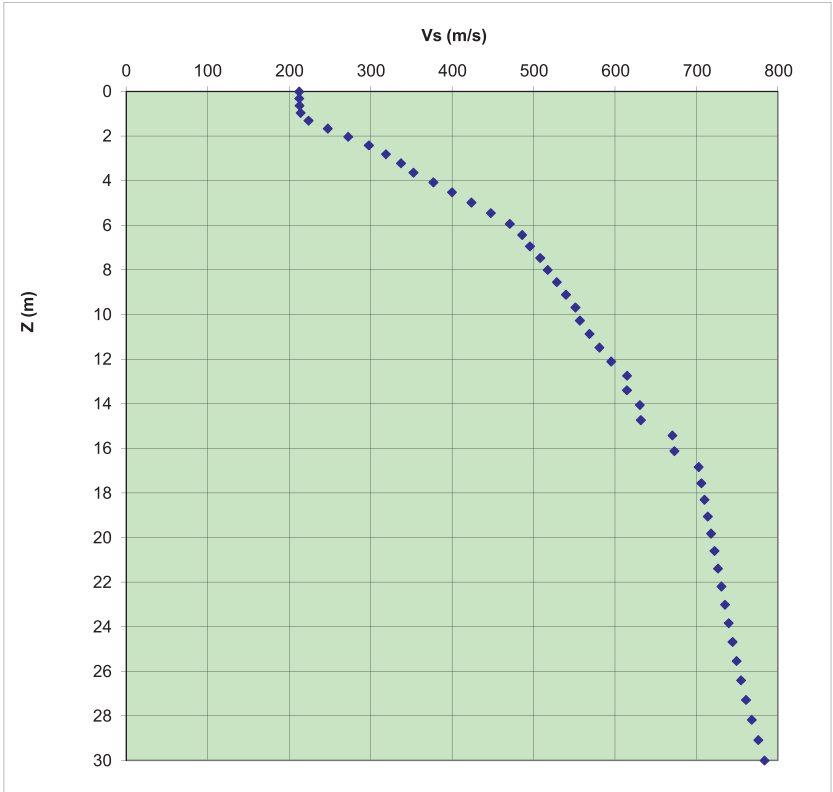
S-wave velocity model (inverted): 2015-11-27\_10-24-55\_01000\_00200\_024\_Interl\_SEG2.dat

Strumentazione utilizzata: **Sismografo multicanale DoReMi 24 ch**

CALCOLO VS30

Depth(m)	S-velocity(m/s)	hi (m)	hi/Vi <sub>s</sub>
0.000	212.208		
0.306	212.273	0.306122	0.001442
0.625	212.685	0.318878	0.001499
0.957	213.954	0.331633	0.00155
1.301	223.676	0.344387	0.00154
1.658	247.250	0.357143	0.001444
2.028	272.305	0.369898	0.001358
2.411	297.738	0.382653	0.001285
2.806	318.713	0.395408	0.001241
3.214	337.187	0.408164	0.00121
3.635	352.483	0.420918	0.001194
4.069	376.950	0.433674	0.00115
4.515	399.822	0.446428	0.001117
4.974	423.655	0.459184	0.001084
5.446	447.519	0.471938	0.001055
5.931	470.754	0.484694	0.00103
6.429	485.943	0.497449	0.001024
6.939	495.512	0.510205	0.00103
7.462	508.023	0.522959	0.001029
7.997	517.259	0.535714	0.001036
8.546	528.503	0.548469	0.001038
9.107	539.718	0.561225	0.00104
9.681	551.400	0.573979	0.001041
10.268	556.805	0.586735	0.001054
10.867	568.618	0.59949	0.001054
11.480	580.852	0.612245	0.001054
12.105	595.296	0.625	0.00105
12.742	614.761	0.637755	0.001037
13.393	614.628	0.65051	0.001058
14.056	630.369	0.663266	0.001052
14.732	631.640	0.67602	0.00107
15.421	670.395	0.688775	0.001027
16.122	672.855	0.701531	0.001043
16.837	702.622	0.714285	0.001017
17.564	706.013	0.727041	0.00103
18.304	709.848	0.739796	0.001042
19.056	713.781	0.752552	0.001054
19.821	717.858	0.765307	0.001066
20.599	722.080	0.77806	0.001078
21.390	726.363	0.790816	0.001089
22.194	730.617	0.803571	0.0011
23.010	734.939	0.816327	0.001111
23.839	739.498	0.829082	0.001121
24.681	744.257	0.841837	0.001131
25.536	749.242	0.854591	0.001141
26.403	754.694	0.867346	0.001149
27.283	760.785	0.880102	0.001157
28.176	767.777	0.892857	0.001163
29.082	775.838	0.905612	0.001167
30.000	783.495	0.918369	0.001172
Somma		30	Somma 0.055724

Vs30 (SHOT 2)= 538.3687



## Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: opere di sostegno

### Sito in esame.

latitudine: 43,101239 [°]

longitudine: 12,527241 [°]

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

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

### Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	23184	43,080350	12,463270	5690,3
Sito 2	23185	43,080940	12,531700	2286,0
Sito 3	22963	43,130920	12,530980	3314,3
Sito 4	22962	43,130340	12,462450	6174,8

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 35 anni

Coefficiente cu: 0,7

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,069	2,426	0,269
Danno (SLD)	63	35	0,074	2,405	0,271
Salvaguardi a della vita	10	332	0,192	2,392	0,300



(SLV)					
Prevenzion e dal collasso (SLC)	5	682	0,247	2,418	0,312

### Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,430	1,000	0,015	0,007	0,807	0,180
SLD	1,200	1,430	1,000	0,016	0,008	0,875	0,180
SLV	1,200	1,400	1,000	0,055	0,028	2,257	0,240
SLC	1,160	1,390	1,000	0,089	0,044	2,806	0,310