

**Dott. Geologo Michele Arcaleni**

Studio Tecnico-Geologico: Via Del Forno n. 21 06012 Città di Castello (PG).

Tel. Cell. 3333/6779368 - tel. 075/8553478 e-mail: m.arcaleni@binapg.it

Cod. Fisc. RCLMHL70E07C745D Part. IVA 03053730549

## COMUNE DI CITTÀ DI CASTELLO

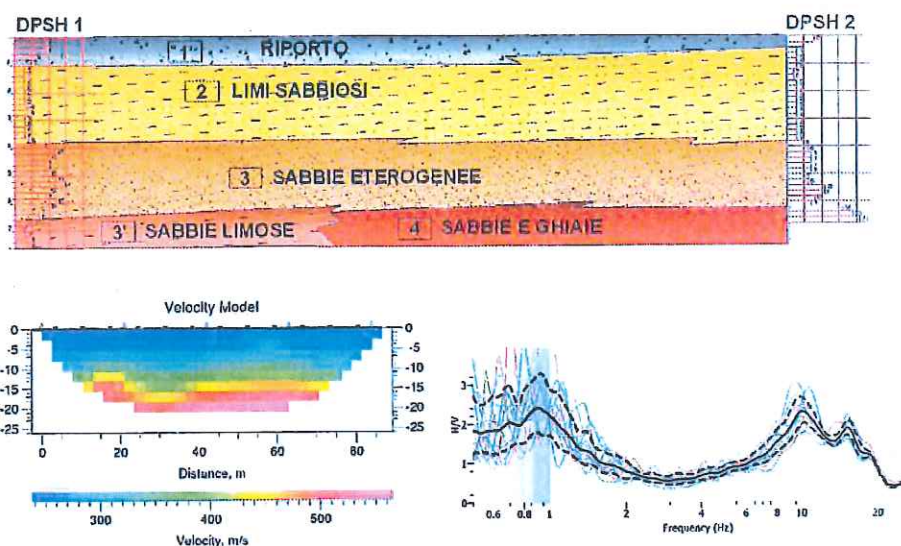
LOCALIZZAZIONE: SCATOLIFICIO GASPERINI S.P.A,

ZONA IND. NORD, VIA G.DI VITTORIO 5. 06012 CITTA' DI CASTELLO (PG)

LOCALIZZAZIONE CATASTALE: FOGLIO 130 PARTICELLA 550

PROGETTO: RIFACIMENTO DI UN CAPANNONE INDUSTRIALE

## RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA



COMMITTENTE : SCATOLIFICIO GASPERINI S.P.A.

Città di Castello, Maggio 2010

Dott. Geol. Michele Arcaleni



## PREMESSA

Su incarico dello Scatolificio Gasperini S.P.A., è stata eseguita un'indagine geologica e geotecnica, in un ambito areale geologicamente significativo alla superficie interessata dal progetto in oggetto.

Il progetto tecnico prevede un intervento di costruzione di un nuovo capannone in un'area di ingombro prossima a quella attualmente occupata da un preesistente capannone (che verrà quindi demolito).

L'indagine è stata condotta attenendosi alle **Norme Tecniche sulle Costruzioni del 14/01/2008, entrate in vigore il 1 Luglio 2009** in virtù delle quali è stata definita la situazione geolitologica, geotecnica e idrogeologica del sito, verificato il rischio di liquefazione e, in particolare, il sito è stato caratterizzato anche in termini di **Vs30** (azione sismica di progetto e parametri di risposta sismica locale) attraverso l'esecuzione di una campagna geofisica integrata di **Sismica a rifrazione in onde S, indagini HVSR, indagine MASW** e di una campagna di penetrometrie.

Nella fase preliminare è stato eseguito un rilievo di superficie finalizzato ad accertare la situazione geologica, i lineamenti morfologici della zona, gli eventuali processi di degradazione e i dissesti in atto o potenziali, oltre che le condizioni idrogeologiche.

Ai fini della caratterizzazione stratigrafica dei terreni interessati dalle tensioni indotte dalle fondazioni dell'edificio, oltre alle indagini geofisiche, sono state realizzate n. **2 prove penetrometriche dinamiche DPSH** (con penetrometro cingolato Pagani TG 63-100).

## **INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

La superficie di progetto è ubicata in località Città di Castello (PG), all'interno della Zona Industriale Nord. Le coordinate geografiche indicative dell'area risultano essere le seguenti: Lat. 43.472470° Long. 12.227477°.

L'area è amministrativamente compresa nel Comune di Città di Castello, su terreni distinti a Catasto al Foglio N° 130, Part.la N° 550.

La relativa documentazione cartografica è riportata nella presente relazione.

## **INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

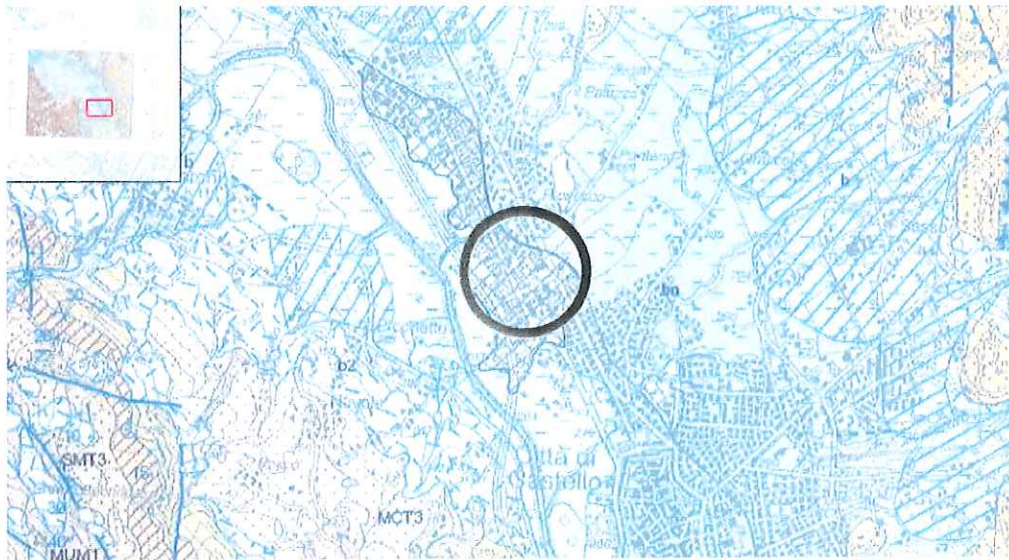
L'area oggetto dell'indagine, situata alla quota di circa 265 m s.l.m., è localizzata nei terreni della piana alluvionale del F. Tevere, alla sinistra idrografica del Fiume Tevere dal quale dista circa 400 m.

La superficie d'imposta del nuovo fabbricato va ad interessare le alluvioni terrazzate del Fiume Tevere (unità indicata con la sigla bn nel foglio 289 1:50.000 Città di Castello), sopraelevati rispetto agli alvei attuali e costituiti principalmente da silt, sabbie siltose, intercalazioni di ghiaie sabbiose, livelli argillosi (Pleistocene Medio – Superiore).

Complessivamente l'andamento stratigrafico locale relativo ai livelli più superficiali è rappresentato da sedimenti a granulometria fine e medio-fine, in gran parte caratterizzati da una stratificazione orizzontale e sub-orizzontale con frequenti intercalazioni di depositi grossolani, alternanza di ghiaie sabbiose e ghiaie, ad assetto geometrico di tipo lentiforme.

Tali sedimenti, essendo il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di deposizione fluviale, possono far riscontrare una certa variabilità sia laterale sia verticale.

Lo spessore complessivo della successione alluvionale, può essere valutato nell'ordine di molte decine di metri.



Schema geologico estratto dal foglio 289 – Città di Castello (scala originale 1:50.000). La zona ricade all'interno del cerchio.

## CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La superficie oggetto dell'indagine è situata nei terreni della piana alluvionale caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante che, con pendenze molto lievi, tende a degradare nella direzione dell'alveo del Fiume Tevere (presente a circa 400 m in direzione sud-ovest).



In tutta la zona non sussistono le condizioni di possibili fenomeni di instabilità gravitativa, in atto o potenziali. Non sono state rilevate, inoltre, azioni di rilievo legate alla dinamica esogena o all'azione delle acque dilavanti.

Dal punto di vista della stabilità morfologica, è da escludere che la realizzazione dell'opera in progetto possa essere causa di una qualche destabilizzazione dell'area circostante.



Immagine estratta dalla cartografia del Progetto IFFI. Come si nota dall'immagine, la zona risulta del tutto priva di fenomeni gravitativi

## **CARATTERI IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI**

Per quanto concerne le caratteristiche idrografiche, il sistema fognario sviluppato a seguito degli interventi di urbanizzazione negli ultimi decenni, è tale da garantire la ricezione e lo smaltimento delle acque di precipitazione e non sono stati riscontrati fenomeni di ristagno.

Nella zona, il Fiume Tevere rappresenta il segmento fluviale più rilevante. Considerando la distanza (400 m) e la differenza di quota della superficie di progetto, rispetto all'alveo del fiume, si possono escludere gli effetti di eventuali fenomeni di esondazione.

Sotto l'aspetto idrogeologico i terreni in oggetto possono presentare valori di permeabilità piuttosto variabili, soprattutto in funzione del contenuto argilloso. L'andamento stratigrafico, infatti, è rappresentato dalla presenza di sedimenti con caratteri granulometrici e deposizionali abbastanza eterogenei. Pertanto, è possibile presupporre l'esistenza di un acquifero caratterizzato dalla sovrapposizione di termini litologici aggregati e disposti in modo abbastanza variabile, che si traduce in una circolazione idrica tale da presentare più falde sovrapposte e con deflusso preferenziale dell'acqua nei termini a più alto grado di permeabilità relativa.

Le possibili diverse falde possono essere ricondotte ad un'unica circolazione idrica sotterranea ed assimilabili ad un unico monostrato freatico, proprio perché l'assetto stratigrafico, per lo più a geometria lenticolare, lascia moltissime soluzioni di continuità tra depositi permeabili e depositi relativamente meno permeabili.

Le prove penetrometriche effettuate all'inizio di maggio 2010 hanno intercettato la presenza di acqua (le aste sono risultate umide-bagnate) alla profondità di 5 m circa. Tale fatto è riconducibile non alla falda freatica ma alle intense precipitazioni del periodo precedente. La falda è riconducibile ad una falda libera, caratterizzabile

da una certa escursione stagionale (anche di qualche metro) in base alla natura dei depositi. La sua profondità risulta di poco superiore ai 15 m.

## INDAGINI IN SITO

### INDAGINI GEOGNOSTICHE CON METODOLOGIE SISMICHE

Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche vengono sempre più utilizzate, soprattutto dopo l'entrata in vigore delle nuove N.T.C. del 14/01/2008. Tali indagini sfruttano la proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità. La velocità di propagazione delle onde sismiche dipende da svariati fattori, come la natura litologica, il grado di cementazione e di fratturazione, la porosità il contenuto in acqua ecc. Le indagini sismiche sono principalmente utilizzate per ottenere l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo. Se una sorgente di energia sviluppa in superficie delle onde sismiche, esse si propagheranno nel terreno seguendo le leggi dell'ottica (legge di Snell); saranno quindi riflesse e rifratte ogni qual volta incontreranno una superficie di discontinuità sul loro percorso. In questo caso specifico è stato utilizzato il metodo congiunto della "sismica a rifrazione" in onde SH con mediti HVSR e MASW, per meglio caratterizzare la velocità delle onde S fino a 30 m, per allinearsi a quanto previsto dalle N.T.C. 14/01/2008. Le elaborazioni prodotte dall'indagine sismica sono riportati in allegato.



## PROVE PENETROMETRICHE

Allo scopo di acquisire dati utili inerenti alla parametrizzazione geotecnica dei terreni sollecitati dalle opere di fondazione del fabbricato previsto, sono state fatte eseguire due prove penetrometriche, in due punti ritenuti geologicamente rappresentative del sito in esame, anche in funzione dell'area di ingombro del nuovo edificio.

Le due prove geognostiche sono state realizzate con penetrometro dinamico tipo DPSH (Pagani cingolato TG 63-100). Attraverso l'infissione dinamica è stato raggiunto il rifiuto all'avanzamento alle quote di circa 8 m per la prima prova e di circa 7 m per la seconda prova dall'attuale p.c. Si veda l'allegato relativo alle prove penetrometriche per maggiori dettagli.

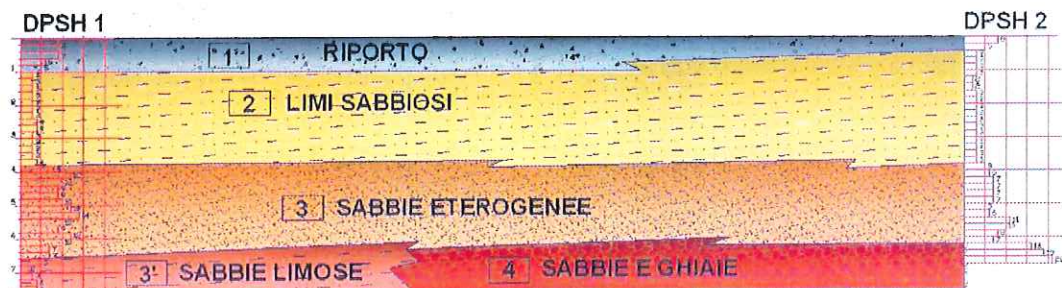




## INTERPRETAZIONI DEI DATI Prove penetrometriche

Sulla base dei dati emersi dalle prove penetrometriche dinamiche si evince la presenza di un primo livello caratterizzato da terreno di riporto o comunque a basse proprietà geotecniche (strato 1), avente spessore variabile e contenuto (fino a circa -1.0 m). Segue un orizzonte caratterizzato principalmente da limi sabbiosi fino ad una profondità di circa -3.8 m. Oltre a questo livello, fino ad una profondità compresa tra circa 6.2 e 6.6 m è presente un orizzonte associabile a sabbie eterogenee. Oltre tale orizzonte segue un livello che sembra presentare eteropie laterali costituito da sabbie limose e sabbie con ghiaia.

Tale ipotesi di stratigrafia trova conferma anche dai profili sismici effettuati.





## PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

VALORI NOMINALI									
strato	letto strato	Nspt	tipo	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (°)	Cu (Kpa)	modulo edometrico (Mpa)	modulo elastico (Mpa)
1	0.4-1 m	9--11	Incoerente	NON STIMABILI					
2	3.8 m	4	Incoerente	14.5	17	22-24	10	5	6
3	6.2-6.6 m	10--14	Incoerente	17	18	26-28	5	8	12
3'	6.6-7.2	5	Incoerente	15	17.5	22-24	5	5.5	6.5
4	6.2-6.8	28	Incoerente	20	20.5	32-35	0	16	32

Si richiede all'impresa committente di avvertire il sottoscritto durante la realizzazione dello scavo per le fondazioni. Si ritiene la presenza del geologo in corso d'opera indispensabile per accertare o meno la presenza dei terreni ipotizzati nella stratigrafia sopra descritta. Le indagini effettuate posseggono infatti, per la loro stessa natura, un certo grado di indeterminazione e possibilità di errore.

Per i parametri geotecnici specifici si rimanda agli allegati relativi alle prove penetrometriche DPSH, con l'osservanza di utilizzare per eventuali calcoli, in modo del tutto cautelativo, i valori più bassi di ogni parametro.

## CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE (N.T.C. 14/01/2008)

In riferimento alle N.T.C 14/01/2008 è stata definita, in seguito alla realizzazione di una campagna di SISMICA A RIFRAZIE in onde Sh, integrata con acquisizioni HVSR e un profilo MASW, la categoria di suolo di fondazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Per caratterizzare la categoria del suolo sono state calcolate le velocità delle onde sismiche S secondo la formula indicata nella normativa stessa.

Il valore calcolato si riferisce alla media ponderata delle velocità delle onde S dalla profondità del piano di posa delle fondazioni per una profondità di 30 m.

**In base alla media ponderata delle velocità delle onde S, si ricava una categoria di suolo di fondazione tipo C.**

## **VERIFICA A LIQUEFAZIONE**

In considerazione del fatto che la falda freatica risulta ad una profondità superiore ai 15 m dal p.c., in base alla normativa attualmente vigente (NTC08), la verifica a liquefazione viene omessa.

## **IPOTESI DI CALCOLO DELLA Q LIMITE**

Non essendo a conoscenza di precise informazioni inerenti la tipologia di struttura fondale che il progettista intende adottare ne tantomeno dei carichi in essa agenti in questo paragrafo viene fornita una stima del carico ammissibile ipotizzando l'adozione di un plinto a base quadrata di lato 1.5 m con piano fondale a quota -1.6 m dall'attuale p.c. sul quale agisce il solo carico verticale tra l'altro perfettamente centrato (condizione di assenza di eccentricità). La definizione del piano di poso dell'ipotetica struttura fondale è stata fatta sulla base di considerazioni litostratigrafiche emerse dall'interpretazione dei dati emersi dall'esecuzione delle 2 prove penetrometriche eseguite a corredo del presente studio ed in particolare dalla presenza di un livello più scadente dal punto di vista meccanico, compreso tra quota -1.2 m e -1.60 m dall'attuale p.c., riscontrato lungo la verticale corrispondente alla DPSH2.

La valutazione dei parametri caratteristici inerenti la rottura generale del terreno viene fatta prendendo in esame i parametri meccanici più scadenti e quindi cautelativi emersi dal raffronto delle 2 prove penetrometriche dinamiche eseguite a corredo del presente studio. In particolare la valutazione litostratigrafica ottenuta dall'interpretazione dei dati penetrometrici ha evidenziato la presenza, tra quota - 1.6 m e -3.8 m dall'attuale p.c. di terreni a comportamento prevalentemente granulare (limi sabbiosi sciolti  $N_{spt} = 4$ ) posti al di sopra di sedimenti a spiccato comportamento granulare (sabbie eterogenee poco addensate  $N_{spt} = 10$ ) di spessore variabile comunque non inferiore a 3 m. Nel caso specifico viene pertanto preso in considerazione, per la definizione della  $Q_{lim}$ , il parametro meccanico relativo al solo angolo di attrito non drenato considerando cautelativamente nullo il valore della coesione non drenata. In particolare la valutazione del parametro caratteristico è stata fatta elaborando statisticamente i dati di  $\Phi'$  contenuti entro la superficie di rottura adottata nel modello di rottura generale comunemente proposto in letteratura. Nello specifico trattandosi di un modesto volume interessato da rottura si è ritenuto opportuno prendere come parametro caratteristico il 5° percentile della distribuzione dei dati così come suggerito dalla circolare del C.S.LL.PP n°617 del 2 febbraio del 2009.

Nella tabella seguente vengono forniti i parametri meccanici che lo scrivente ritiene sufficienti per la stima della  $Q_{lim}$  relativa all'ipotesi fondale di cui sopra:

Str interesse	Comportamento	$\Phi_k'$ (°)	$\gamma_k$ (KN/m <sup>3</sup> )
Da -1.6 m a 3.2 m	Incoerente	22	14.5

Tabella dei parametri caratteristici

Per la definizione della  $Q_{lim}$  viene utilizzata la formula di Brinch-Hansen così come suggerito dalla normativa vigente. In tabella seguente viene definito il valore della  $Q_{lim}$  senza il contributo della tensione verticale totale a lato della fondazione comunemente indicato in letteratura con il termine  $q$ .

$Q_{lim}$ (senza contributo laterale del carico)	350 KN/m <sup>2</sup>
--	-----------------------

Tabella della  $Q_{lim}$  in condizioni statiche

Allo scrivente preme sottolineare che il parametro di  $\Phi'$  utilizzato nella formula proposta da Brinch-Hansen coincide numericamente con il  $\Phi_k'$  calcolato e pertanto la stima della  $Q_{lim}$  sopra tabellata assume significato solo nell'adozione dell'approccio 2 definito in normativa per la verifica SLU. Per quanto concerne la definizione della  $Q_{lim}$  in condizioni sismiche (verifica SLV) viene adottato il parametro di correzione proposto da Paolucci & Pecker. In particolare per il sito e per la tipologia di struttura in esame viene adottato un valore di  $K_h = 0.088$  per cui si ha:

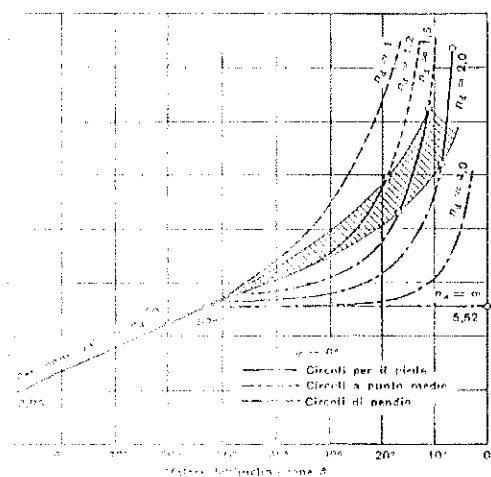
$Q_{lim}$ (senza contributo laterale del carico)	320 KN/m <sup>2</sup>
--	-----------------------

Tabella della  $Q_{lim}$  in condizioni sismiche (pseudo statiche)

A titolo indicativo, dividendo per 2.3 si ottiene una stima del parametro  $R_d$ . Va in ogni modo considerato che i valori ottenuti si riferiscono ad una ipotesi di calcolo fondale probabilmente non corrispondente alla realtà sia per quanto riguarda la geometria sia per quanto riguarda l'assenza di eccentricità dei carichi.

## STABILITÀ DELLO SCAVO DI FONDAZIONE

Per quanto riguarda la stabilità dei fronti di scavo inerenti allo sbancamento dell'impronta di fondazione, (nell'esempio di calcolo riportato precedentemente la profondità corrisponde a -1.6 m dal p.c.), è possibile ricorrere al metodo di "Taylor" attraverso il grafico che segue, il quale pone in relazione l'angolo di scarpa  $\beta$  con un coefficiente adimensionale  $N_s$  (Fattore di stabilità).



Il Fattore di stabilità permette di risalire all'Altezza critica dello scavo ( $H_c$ ), cioè alla massima altezza consentita per un determinato angolo di scarpa ( $\beta$ ), secondo la relazione:

$$H_c = N_s \frac{c}{\gamma}$$

Dove: -  $H_c$  = altezza critica dello scavo; -  $c$  = coesione; -  $\gamma$  = densità naturale del terreno; -  $N_s$  = fattore di stabilità

Considerando che a seguito dello sbancamento il terreno immediatamente prossimo all'impronta della fondazione viene inevitabilmente disturbato meccanicamente, con conseguente riduzione delle caratteristiche di resistenza al taglio, in ragione di



sicurezza, per la Coesione non drenata  $C_u$  si assume un valore del tutto cautelativo ed un Fattore di sicurezza ( $F_s$ ):

$$F_s = \frac{Hc}{H} = 3$$

Pertanto, per verifiche a breve termine per esempio di profondità dello scavo a 1.6 m dal p.c., si consiglia di assumere un angolo di scarpa ( $\beta$ ) non superiore a  $60^\circ$ . Si fa presente che alla base dello scavo potrebbe affiorare acqua dovuta a possibili infiltrazioni superficiali legate a fattori meteorologici. E' necessario tenere in debito conto tale fenomeno, intervenendo nel modo più adeguato per tenere asciutta tutta la superficie dello scavo. Anche in fase costruttiva, l'edificio dovrà essere costruito in modo tale da evitare in ogni modo infiltrazioni di acqua o umidità. Dovrà essere quindi dedicata particolare attenzione all'impermeabilizzazione della struttura ed ai drenaggi necessari a garantire l'allontanamento delle acque.

Nella determinazione dell'angolo  $\beta$  non sono stati considerati gli effetti di eventuali sovraccarichi, quali ad esempio il transito di mezzi pesanti, in prossimità del ciglio dello scavo.

Inoltre al fine di preservare i fronti di scavo dall'azione di ruscellamento delle acque meteoriche, oltre che evitare l'afflusso delle stese all'interno dello scavo, si consiglia di provvedere alla realizzazione di canalette di regimazione opportunamente concepite a garantire la ricezione e l'allontanamento delle acque.

## CONCLUSIONI

Sulla base degli elementi emersi a seguito della presente indagine, per quanto di competenza geologica, si ritiene che la realizzazione dell'edificio in oggetto sia compatibile con le caratteristiche morfologiche e geotecniche della zona interessata.

Sulla base delle risultanze derivate dalle indagini in sito geofisiche e geognostiche a disposizione e all'elaborazione dei dati relativi, si riassume quanto segue.

- La superficie di progetto è ubicata nei terreni della piana alluvionale, caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante, dove non sono stati rilevati fenomeni a carattere gravitativo in atto o potenziali e non sono stati registrati processi di rilievo legati alla dinamica esogena o all'azione delle acque dilavanti.

Si può escludere che la corretta realizzazione dell'opera in progetto possa essere causa di una qualche destabilizzazione dell'area circostante.

- La superficie di progetto è posta in situazione morfologica favorevole, rispetto all'alveo del Fiume Tevere, essendo ad una quota ed ad una distanza tali da poter escludere gli effetti di eventuali fenomeni di esondazione, perciò non sono necessarie considerazioni sulla riduzione del rischio idraulico.

- Per ottenere sufficienti margini di sicurezza nei confronti della stabilità del fronte di scavo, relativo allo sbancamento dell'impronta di fondazione (viene riportato un esempio di calcolo di plinti di 1.5 m x 1.5 m con una profondità fondale di 1.6 m) si consiglia di assumere un angolo di scarpa non superiore a 60°. Allo scopo di evitare eventuali azioni erosive dei fronti di scavo da parte di acque di ruscellamento, oltre che l'afflusso delle stesse all'interno dello scavo, si consiglia di provvedere alla realizzazione di canalette di regimazione opportunamente concepite a garantire la ricezione e lo smaltimento delle acque. E' necessario tenere

in debito conto anche di eventuali livelli di acqua superfiale dovuti a fenomeni di infiltrazione in seguito a fattori meteorologici. La Falda freatica risulta, al momento della stesura della presente relazione, alla profondità di poco superiore ai 15 m..

Viene riportato, a titolo puramente esemplificativo, un esempio di calcolo in termini di  $Q_{limite}$ , considerando come tipologia una fondazione superficiale a plinti di 1.5 m x 1.5 m, con piano di posa a -1.60 m dal p.c.

In assenza di valutazioni analitiche riguardanti i carichi complessivi della struttura, il valore del *Carico limite ( $Q_{lim}$ )* precedentemente espresso assume in questa fase un carattere puramente indicativo. Il progettista, sulla base delle caratteristiche del terreno riportato nelle prove penetrometriche e sulla base di esigenze progettuali, potrà valutare la tipologia fondale e la profondità di imposta avvalendosi dei parametri geotecnica e geofisici riportati. In via del tutto cautelativa si richiede di utilizzare i parametri con valore inferiore tra tutti quelli presenti nell'allegato relativo alla caratterizzazione geotecnica dei terreni attraversati dalle indagini geognostiche.

- In relazione alla categoria di sottosuolo, in base a quanto previsto dalle N.T.C. del 14/01/2008, in seguito all'esecuzione di una campagna geofisica di sismica a rifrazione è stato possibile associare i depositi ad un **suolo di categoria C ( $V_{s30}$  comprese tra 180 e 360 m/s)**. Il valore di  $V_{s30}$ , in base ai dati di sismica a rifrazione (in completo accordo anche con i dati emersi dalle metodologie HVSR e MASW), risulta di circa 350 m/s.

- Si raccomanda la realizzazione di un'accurata ed efficace regimazione delle acque superficiali e di provvedere affinché le condotte affluenti e defluenti al fabbricato, siano tali da garantire un'efficace impermeabilità.

Viene riportato a carattere indicativo, la definizione degli spettri di risposta sismica di sito per SLM. Tale definizione è stata realizzata in tre fasi:

- 1) Individuazione dei pericolosi siti sismici del sito;
- 2) Scelta delle strategie di progettazione;
- 3) Determinazione dell'azione di progetto.

Il progettista può apportare le modifiche che ritiene necessarie variando i parametri che caratterizzano il progetto, della tipologia costruttiva ecc, utilizzando nella parametrizzazione una categoria di sottosuolo tipo C ed una categoria topografica B.

Dott. Geo. Michele Arcaleni  
DOTT.  
GEOLOGO  
ARCALENI MICHELE  
ALBO  
273  
ORDINE DEI GEOLOGI  
DELLA REGIONE UMBRA

A detailed topographic map of the area around Montebello, Italy. The map shows the Tiro a segno target area circled in grey, located near the center. The map includes various geographical features such as the Tiro a segno river, the Tiro a segno river, and the Tiro a segno river. The map also shows the locations of Montebello, Tiro a segno, and Tiro a segno. The map is a detailed topographic map of the area around Montebello, Italy.

An aerial photograph of a residential neighborhood. A red circle is drawn around a house located in the upper-middle portion of the image. The house has a light-colored roof and is surrounded by trees and other vegetation. To the left of the circled house is a large, dark-colored building, possibly a school or a large commercial building. To the right of the circled house is a large, paved area, possibly a parking lot or a road. The overall scene is a typical suburban residential area.

Localizzazione del sito da foto aerea







## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

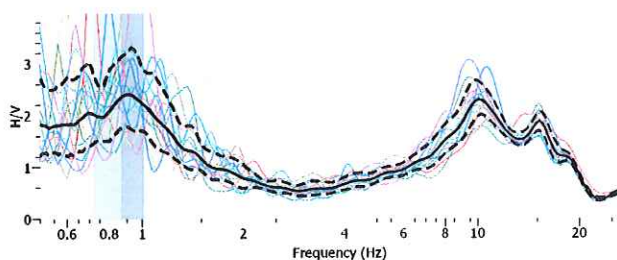
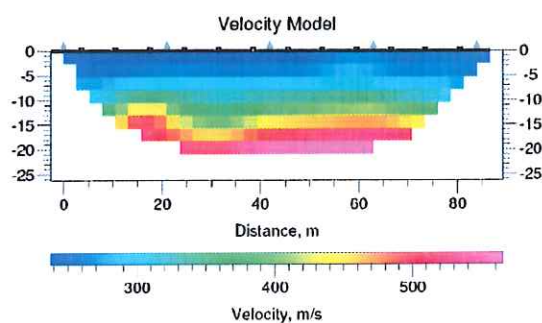
B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

### CAMPAGNA GEOFISICA PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO

(In base a quanto prescritto dalle N.T.C. 14/01/2008)

#### INDAGINI COMBinate DI:

- 1) SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH
- 2) INDAGINE HVSR (H/V – METODO NAKAMURA)
- 3) INDAGINE M.A.S.W.



Il direttore  
Padre Martino Siciliani





## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

### DESCRIZIONE TECNICA INDAGINI EFFETTUATE ED APPARECCHIATURE UTILIZZATE

Ambito indagine:	<b>INDAGINI GEOFISICHE COMBinate PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI SITO (VS30-CLASSE SOTTOSUOLO-SPETTRI DI RISPOSTA)</b>
Tipo di indagini:	- PROSPEZIONI DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH; - N. 3 INDAGINE HVSR; - INDAGINE SISMICA M.A.S.W.
Località:	Lat. 43.472470° Long. 12.227477° - Scatolificio Gasperini Città di Castello (PG)
Strumentazione:	Acquisitore PASI mod. 16S/24 (dinamica 24 bit, acquisitore a 24 canali); Acquisitore Sara – doremi 16 bit; Acquisitore SR04 a 24 bit; .n. 24 geofoni orizzontali da 14 Hz; n. 24 geofoni verticali da 4.5 Hz; n. 1 geofono Lennarts Le-3D-5S (frequenza 0.2 Hz).
Descrizione dettagliata delle prove:	n. 1 stendimento sismico 24 canali in onde SH (A-B onde SH lunghezza 84 m); n. 3 siti di indagine HVSR; n. 1 analisi M.A.S.W. a traccia coincidente con la rifrazione. Acquisizione: Aprile 2010

## 1 – SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH

E' stata realizzata, in una zona presso Città di Castello (Scatolificio Gasperini), una campagna di sismica a rifrazione, con lo scopo di ricostruire l'assetto sismostratigrafico dei livelli più superficiali e di fornire la velocità delle onde S entro i primi trenta metri, così come indicato dalle N.T.C. del 14/01/2008. Per la valutazione del parametro Vs30 e per la correlazione e la taratura con gli altri due metodi di indagine (HVSR e MASW), la campagna geofisica di sismica a rifrazione è stata eseguita attraverso l'esecuzione di n. 1 stendimento sismico di 84 m con distanza intergeofonica di 3.5 m (24 canali). La lunghezza del profilo si è rilevata sufficiente per la valutazione della categoria si sottosuolo e per mettere dei vincoli soddisfacenti ai modelli di analisi successivi.

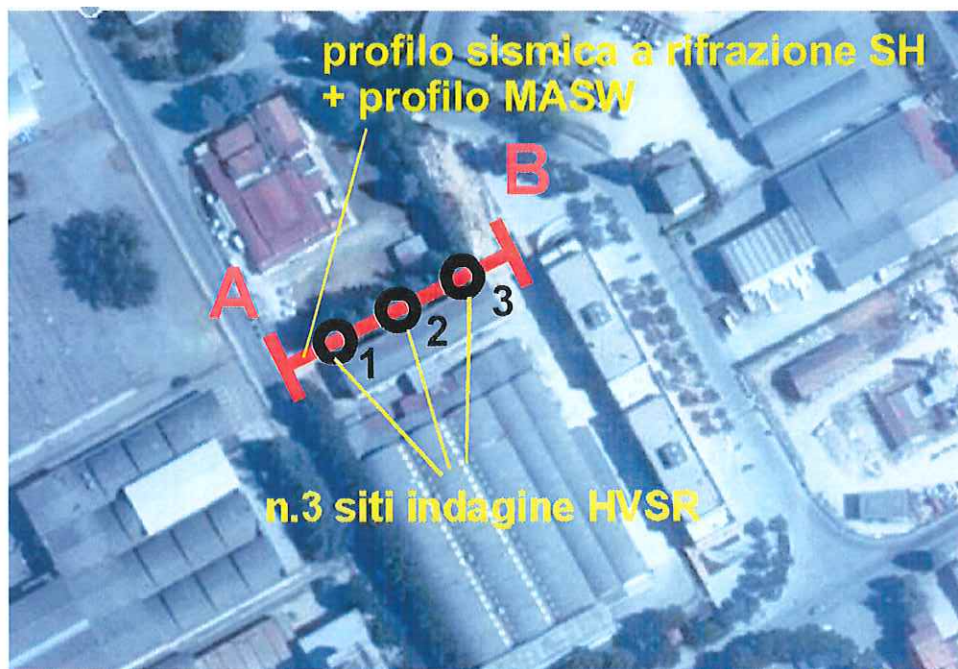
Il profilo in onde S (SH) è stato effettuato con geofoni 14 Hz orizzontali e con energizzazione per onde SH. Sono stati realizzati cinque punti di energizzazione equidistanti. E' stato energizzato con martello pesante con battuta su un piano verticale (su una trave di legno posta con asse maggiore perpendicolare allo stendimento, con contrappeso). La trave non è stata ancorata a terra ma solamente appoggiata. I sismogrammi sono stati acquisiti con sismografo ad alta dinamica e l'elaborazione è avvenuta in tecnica tomografica. Il software utilizzato elabora un modello teorico compiendo alcune migliaia di iterazioni sulla base dei primi arrivi delle onde sismiche trasversali. Tale modello viene affinato automaticamente fino a che i dati teorici coincidono il più possibile con quelli acquisiti direttamente nella campagna di indagini sismiche. Attraverso questo tipo di elaborazioni, si riducono sensibilmente gli eventuali errori dovuti a fattori soggettivi di interpretazione. L'elaborato finale fornisce la velocità relativa a singole celle aventi lati inferiori ai due metri. In questo modo possono essere riconosciute con chiarezza anche anomalie laterali di velocità.



## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

### LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE



Il profilo di sismica a rifrazione A-B, realizzato in onde SH, assume una lunghezza di 84 m.

### INDAGINI GEOFISICHE CON TECNICHE A RIFRAZIONE

#### Applicazioni:

- Stratigrafia geologica a piccola e media profondità
- Determinazione della profondità del substrato roccioso
- Studio di fondazioni
- Indagini preliminari per la realizzazione di grandi opere (ferrovie, strade, oleodotti)
- Valutazione del costo di operazioni di scavo e sbancamento
- Valutazione depositi di ghiaia, sabbia, argilla
- Ricerche minerarie

#### Metodologia:

La sismica a rifrazione consente di determinare con buona approssimazione la stratigrafia del sottosuolo, limitando così - con notevole risparmio di tempo e denaro - il numero di sondaggi geognostici da effettuare nell'area da investigare. Un'apparecchiatura per sismica a rifrazione è costituita generalmente da un sismografo e da un gruppo di geofoni (freq. 10-14 Hz): si tratta di energizzare il terreno mediante l'onda d'urto prodotta dall'esplosione di una piccola carica o dall'impatto di una mazza di battuta. Il compito del sismografo è quello di misurare il tempo impiegato dalla perturbazione sismica indotta nel terreno a percorrere la distanza tra la sorgente e ciascun geofono, opportunamente spaziato lungo un profilo. La velocità di propagazione dell'onda sismica dipende dalle caratteristiche elastiche del sottosuolo e dalla sua conformazione; la relazione tra velocità dell'onda e distanza sorgente-geofono (dromocrona) consente - applicando una serie di formule matematiche - di risalire agli spessori degli strati esistenti nel sottosuolo.

### APPARECCHIATURA NECESSARIA PER LA SISMICA A RIFRAZIONE

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove si deve comporre delle seguenti parti:

- Sistema sorgente;
- Sistema di ricezione;
- Sistema di acquisizione dati;
- Trigger.





## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

---

B.go XX Giugno, 74    06100 PERUGIA, Tel. 075/34060    P. I.V.A. 01796550547

---

### SCHEMA DELLA PROVA

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche orizzontali per le onde SH e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente orizzontale.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P ed SH può scomporsi in queste fasi fondamentali:

- Individuazione del primo arrivo in SH;
- Ricostruzione delle dromocrona e relativa interpretazione in SH.

### SISMOGRAFO PER RIFRAZIONE PASI 16 S

#### Funzioni principali:

- Attivazione filtri: in acquisizione o post-acquisizione
- Filtri antialiasing: attivi, LPF, 6°ordine Butterworth; pend.asint.-36dB/oct (-120dB/dec); accuratezza.  $\pm 1\%$  freq.di taglio
- Start acquisizione: con trigger esterno o comando software (ASAP)
- Trigger: hammer o geofono starter (7 livelli di sensibilità selezionabili via software); inibizione impulsi dovuti a rimbalzi; segnalazione di accettazione impulso
- Guadagni: tutti selezionabili via software
- Enhancement con/senza preview totale/parziale
- Marker per determinare la posizione dei punti video sulla scala dei tempi
- A.G.C. Automatic Gain Control
- Delay: Pre-trigger 0-10ms (step di 1ms); Post-trigger 0-16000ms (step di 1ms)
- Visualizzazione in wiggle-trace o area variabile
- Noise-monitor con visualizzazione "real time" a cascata
- Determinazione risorse disponibili sullo strumento in funzione dello spazio libero su disco
- Trace-size automatica o manuale per ogni canale
- Registrazione automatica delle acquisizioni
- Scaricamento dati a PC via porta seriale tramite software dedicato PCLINK32
- Scaricamento dati a periferiche con collegamento su porta parallela (es. I/Omega ZIP o JAZZ)
- Calibrazioni automatiche : doppia taratura offset, taratura ingressi su tensione di riferimento, taratura guadagno
- Codifica dati in formato SEG-2

### CARATTERISTICHE TECNICHE

Processore: Pentium 266 Intel

Trattamento dati: Floating Point 32-bit

Ambiente operativo: Windows©

Interfaccia multilingue: Italiano, Inglese, Francese, Spagnolo, etc.

Numero canali: 24

Puntamento: VersaPoint Mouse

Display: VGA a colori in LCD-TFT 10.4"

Supporto di memorizzazione: Hard-Disk 3.2 Gb

Risoluzione di acquisizione: 24bit con sovracampionamento e post-processing

Stampante (opzionale): Seiko DPU-414 thermal printer

Porte dati esterne: RS232, parallela, stampante

Sensore ambiente interno: temperatura

Protezioni termiche: prevenzione e controllo surriscaldamenti interni (warning sul display e blocco)

Compatibilità dati acquisiti: SEG-2

Connettori cavo geofoni: standard NK-27-21C

Alimentazione: 12VDC (batteria esterna su richiesta); allarme di batteria scarica

Temperatura di funzionamento:  $0^{\circ}\text{C} \div 55^{\circ}\text{C}$ :

Umidità:  $5\% \div 90\%$ , non condensante

Dimensioni fisiche: 50x40x22cm (valigia antiurto)

Peso: 16 kg



## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

### GEOFONI

Sono stati utilizzati 24 geofoni orizzontali (per le onde SH) per sismica a rifrazione. Si tratta di sensori elettromagnetici con frequenza propria di 14 Hz. Sono di tipo elettromagnetico a bobina mobile. Tali dispositivi convertono il movimento del suolo causato dall'energizzazione in tensione. Ogni geofono è collegato, tramite il cavo principale, all'acquisitore.

### SORGENTE DI ENERGIA

Per realizzare i profili sismici richiesti è stato più che sufficiente energizzare con martello pesante. Ciò dipende anche dal fatto che l'acquisitore possiede un'elevata dinamica e un potente sistema di amplificazione del segnale sismico.

### TRIGGER

Come sistema di trigger per fornire il tempo zero all'acquisitore, è stato utilizzato un accelerometro piezoelettrico posto in corrispondenza della testa del martello pesante (con sensibilità settabile attraverso il sismografo)

### CONFIGURAZIONE DELLE LINEE SISMICHE

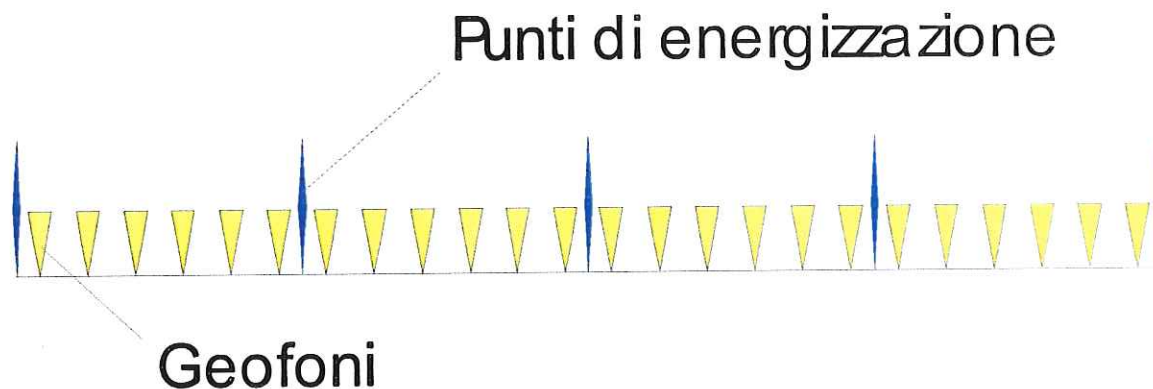
#### *Punti di energizzazione:*

Per ogni base sismica (profilo) sono state effettuate cinque registrazioni (scoppi o tiri) equidistanti, secondo il seguente schema:

Estremo a sx	Intermedio a sx	Centrale	Intermedio a dx	Estremo a dx
--------------	-----------------	----------	-----------------	--------------

#### *Sistema di ricezione:*

Esempio di stendimento a 24 geofoni con 5 punti di energizzazione



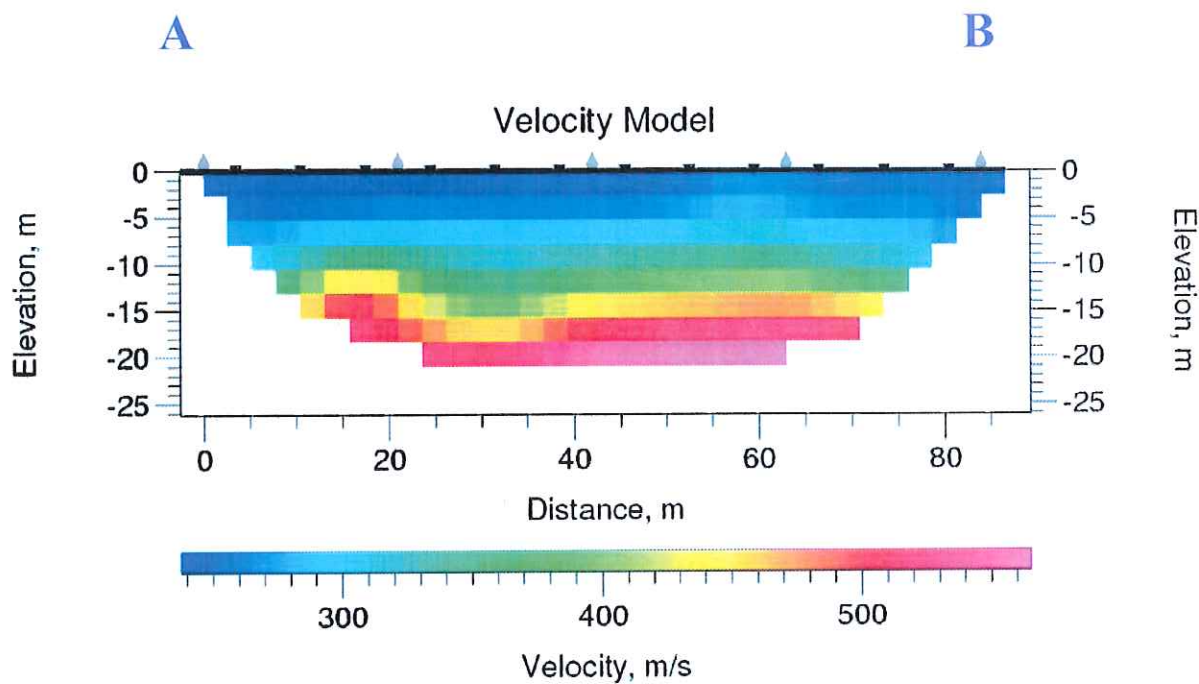




## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

### PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE onde SH: TOMOGRAFIA Sezione A – B onde SH: Modello di velocità (modello multistrato)





**CALCOLO DEL PARAMETRO  $V_{S30}$  in base ai soli dati di sismica a rifrazione, lungo lo  
stendimento A-B (secondo quanto previsto dalle N.T.C. 14/01/2008)**

$h_i=(m)$	$V_{si}=(m/s)$	$h_i/v_s$	$V_{S\ 30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} =$
1.3125	240.988	0.005446	358.8315 m/s
1.3125	240.988	0.005446	
1.3125	261.792	0.005014	
1.3125	261.792	0.005014	
1.3125	292.476	0.004488	
1.3125	292.476	0.004488	
1.3125	322.028	0.004076	
1.3125	322.028	0.004076	
1.3125	356.747	0.003679	
1.3125	356.747	0.003679	
1.3125	398.585	0.003293	
1.3125	398.585	0.003293	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
1.3125	456.674	0.002874	
30.1875		0.083605	

### Considerazioni sui dati di sismica a rifrazione in onde sh

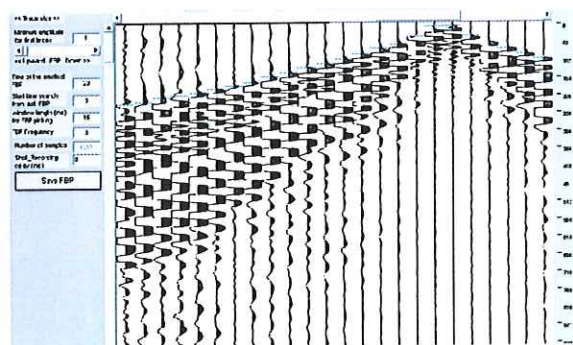
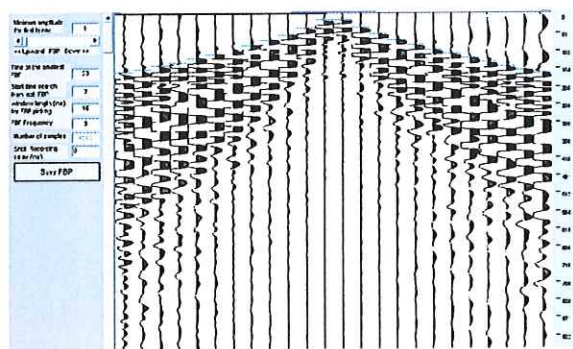
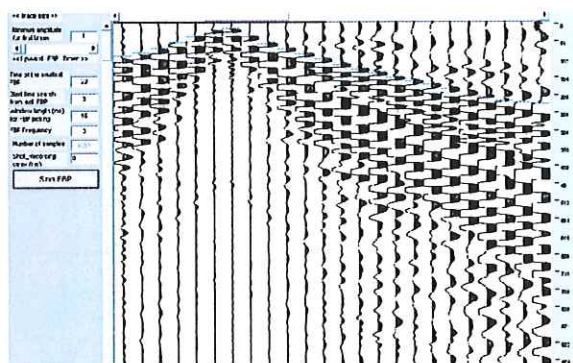
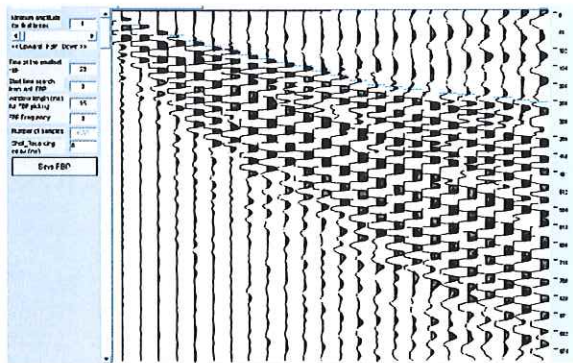
La realizzazione del profilo sismico permette di evidenziare l'andamento sismostratigrafico dei livelli presenti nei primi metri di profondità nella zona investigata e di "tarare" i modelli di analisi con le metodologie HVSR e MASW. Oltre a questo permette di ricavare la media ponderata delle velocità delle onde SH. Il calcolo del parametro  $V_{S30}$  è stato effettuato con le modalità previste dalle N.T.C. 14/01/2008. Il valore risulta dell'ordine dei 359 m/s circa, associabile ad un suolo di categoria C.



## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

### SISMOGRAMMI onde S profilo A-B

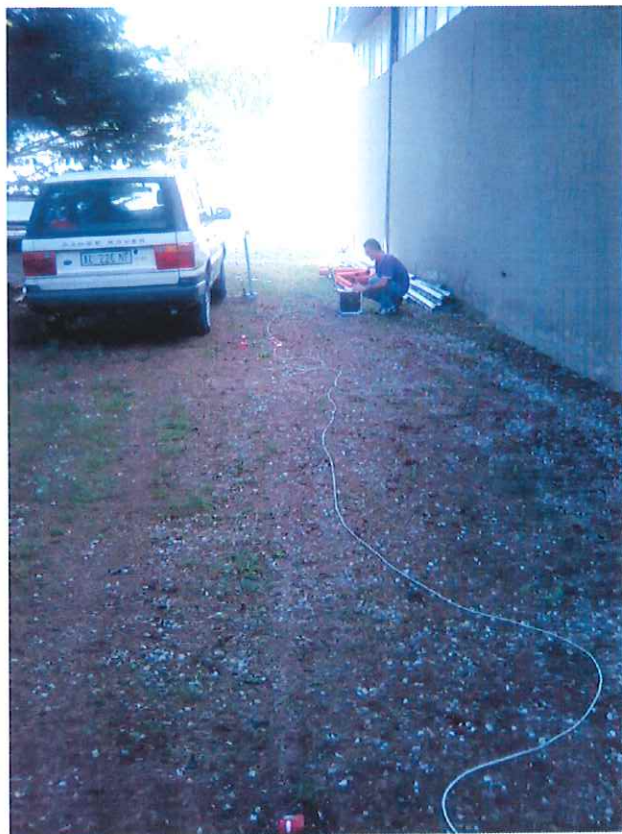
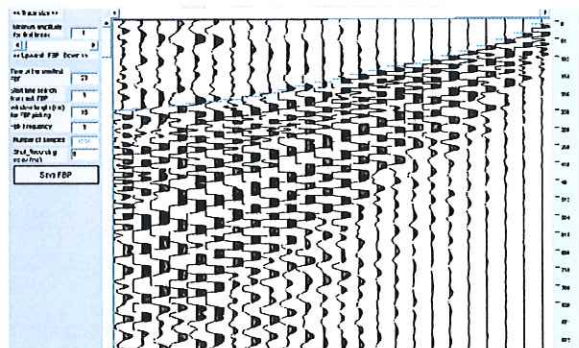






## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547



Fase di acquisizione dei sismogrammi in corrispondenza di uno dei cinque punti di energinnazione.



## 2 – INDAGINI CON TECNICA HVSR

Vengono eseguite tre registrazioni sismiche in tre siti equidistanti tra loro e posti sopra la traccia del profilo di sismica a rifrazione. La durata temporale di ogni finestra è di 10 minuti. Viene utilizzato un sismografo 24 bit SR04 collegato con un geofono Lennartz 3D-5S (frequenza di risonanza 0.2 Hz).

### CENNI TEORICI SUL METODO HVSR

Le vibrazioni sismiche ambientali (chiamate anche rumore sismico) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4}$  -  $10^{-2}$  mm (Okada, 2003). In riferimento al contenuto in frequenza, il rumore sismico è anche chiamato microtremore se contiene alte frequenze (in genere maggiori di 0.5 Hz) e microsisma per basse frequenze. Per quanto riguarda l'origine del rumore sismico, è certo che le sorgenti dei microsismi sono le perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti, mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche come il traffico veicolare, le attività industriali etc. e si propagano come onde superficiali di Rayleigh.

In relazione agli effetti di sito, l'analisi delle misure di rumore sismico può essere condotta con tre metodi:

- Spettri di Fourier; Rapporti spettrali; Rapporti spettrali H/V.

Tra questi quello che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. Il metodo è stato introdotto da scienziati giapponesi agli inizi degli anni '70, tra i quali Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979), che indagarono sul significato fisico del rapporto H/V e mostrarono la sua relazione diretta con la curva di ellitticità delle onde di Rayleigh. Essi conclusero che il picco massimo di ampiezza si verifica alla frequenza di risonanza fondamentale della copertura di terreni. Nel 1989, Nakamura propose in inglese il rapporto H/V come stima affidabile della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito. Le argomentazioni usate da Nakamura sono estremamente qualitative e si basano sull'ipotesi che i microtremori siano originati da sorgenti molto locali, come il traffico vicino al sismometro, e siano onde di Rayleigh che si propagano in un solo strato su un semispazio. Tale tecnica, ampiamente utilizzata da anni nel settore sismologico, di recente viene sempre più impiegata in campo geotecnico / ingegneristico per derivare i seguenti parametri:

- la frequenza fondamentale di risonanza  $F_0$  dei terreni presenti nel sottosuolo;
  - la stima del profilo del terreno in termini delle velocità  $V_s$  e  $V_p$ , della densità e quindi delle velocità  $V_{s30}$  nei primi 30 m dal piano campagna, attraverso opportuni metodi di inversione e con l'utilizzo di un vincolo dato dall'integrazione di altri dati (provenienti ad esempio da indagini di sismica a rifrazione, prove penetrometriche ecc.);
  - la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio e i relativi modi di vibrare;
- Tale tecnica di sismica passiva presenta pregi e difetti, nonché particolari modalità di esecuzione, di analisi e l'utilizzo di adeguata apparecchiatura (come ad esempio un sensore velocimetro a bassa frequenza di risonanza).

I pregi fondamentali sono:

- maggiore economicità per singolo sondaggio;
- integrazione con dati superficiali per la valutazione della velocità delle onde S a sufficienti profondità per la valutazione del parametro  $V_{s30}$ ;
- possibilità di operare in spazi molto ristretti in quanto i rilievi vengono eseguiti a "stazione singola" e quindi non necessitano di cavi e/o stese di notevole lunghezza e quindi di spazio come avviene invece per le tecniche in array lineare multi sensore (sismica a rifrazione, MASW, RE.MI.). Numerosi studi hanno evidenziato che il criterio di orizzontalità degli strati presenti nel sottosuolo, posto alla base dell'interpretazione dei risultati ottenuti da tecniche di sismica passiva (HVSR, MASW, RE.MI.), mentre può ritenersi soddisfatto nel caso di una misura puntuale (stazione singola - HVSR), non sempre è rispettato nel caso di misure in array (lineare o con diversa geometria - MASW e/o RE.MI.) a causa delle variazioni laterali dei terreni ed a causa di particolari morfologie sepolte: la validità dei risultati, in caso di forti variazioni, può essere inficiata notevolmente.
- la presenza di rumore ambientale non disturba il rilievo sismico a meno che questo non sia presente in modo costante e continuo per tutta la durata del singolo rilievo (di durata da 10' a 30');
- non necessita di energizzazioni al di fuori del rumore sismico ambientale sempre presente;
- permette di raggiungere grandi profondità e permette di rilevare la presenza di inversioni di velocità nel sottosuolo;
- la tecnica può essere utilmente impiegata nei seguenti settori:





## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

---

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

---

Microzonazione sismica; Applicazioni geotecniche; Stima della potenza dei corpi franosi; Determinazione degli spessori delle coltri detritiche e piroclastiche poggianti su bedrock; Mappatura della profondità dei bedrock; Stima delle  $V_{s30}$ ; Frequenze di oscillazione degli edifici; Applicazioni archeologiche.

I difetti fondamentali sono:

- interpretazione più complessa: vi è infatti la necessità di modelli molto più complicati (campo d'onde completo in sistemi multistrato non necessariamente 1D). Tale difficoltà può essere notevolmente ridotta qualora si disponga di informazioni (sondaggi geognostici, penetrometrie indagini di sismica a rifrazione ecc.) quanto più accurate possibili circa la stratigrafia del sottosuolo, anche limitata a profondità minori di 30 m dal p.c.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata quindi all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo. Per tale procedura necessitano dei vincoli. In questo caso i vincoli al modello vengono forniti dalle velocità delle onde SH emerse dalla sismica a rifrazione entro i primi 15 m circa dal p.c. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici.



Fase di acquisizione del segnale sismico durante la prova HVSR. Al centro è visibile il geofono Lennartz 3D-5S con frequenza di risonanza 0.2 Hz.

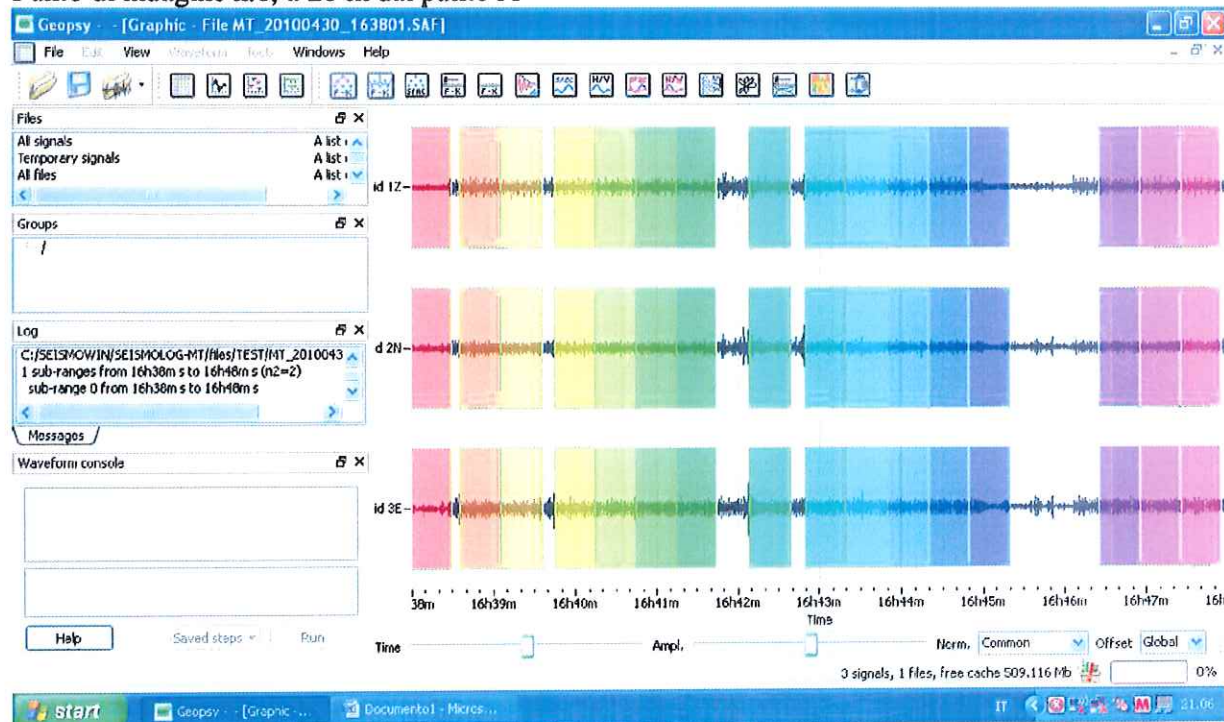




## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

Punto di indagine n.1, a 21 m dal punto A



Finestra temporale relativa al punto di indagine n. 1.

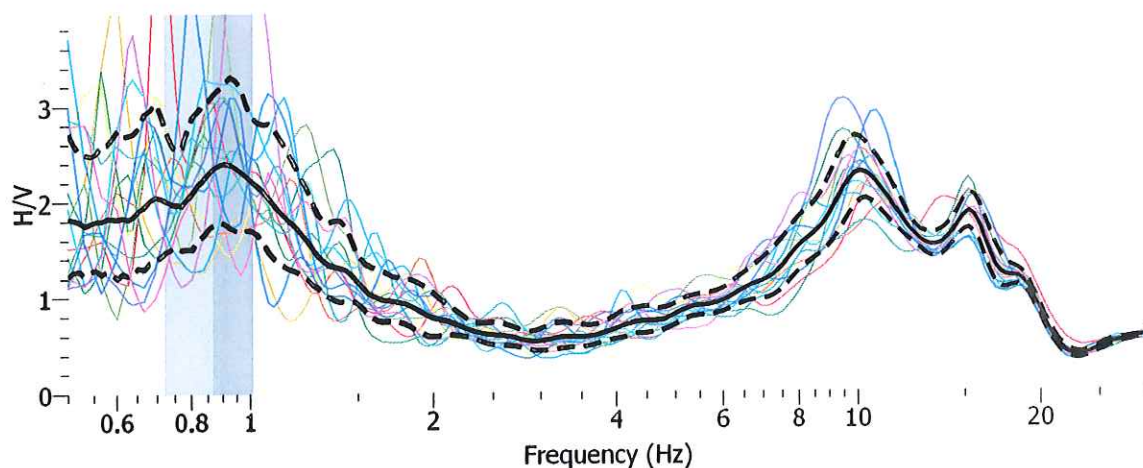
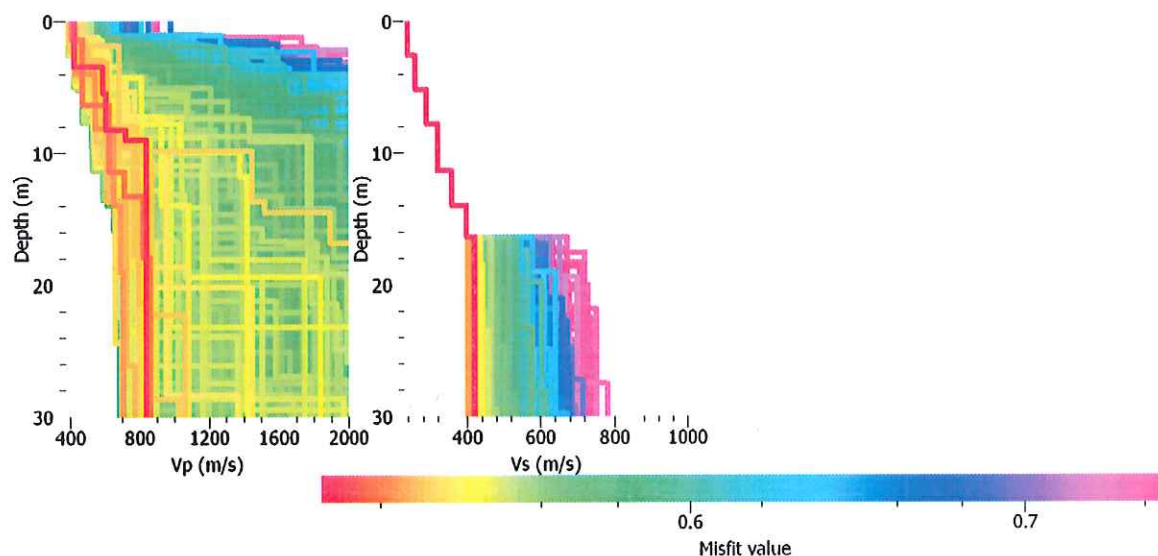


Diagramma H/V – F relativo al punto di indagine n. 1



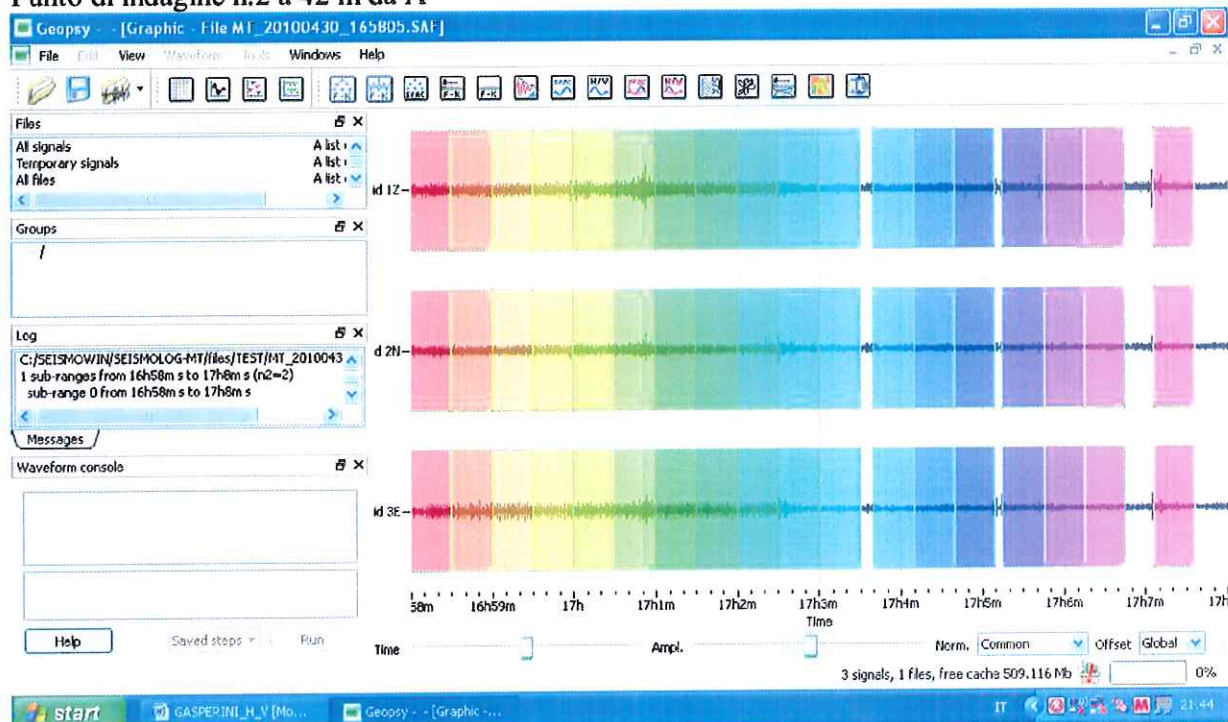
## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547



Modello in Vp e Vs relativo al punto di indagine n. 1. Il modello Vs è stato vincolato, negli orizzonti più superficiali, dalle Vs ricavate dal profilo di sismica a rifrazione (Vs 240 fino a 2.6 m; 260 fino a 5.2m, 290 fino a 7.8 m; 320 fino a 11.4; 360 fino a 14; 400 fino a 16.4 m)

### Punto di indagine n.2 a 42 m da A



Finestra temporale relativa al punto di indagine n. 2.



## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

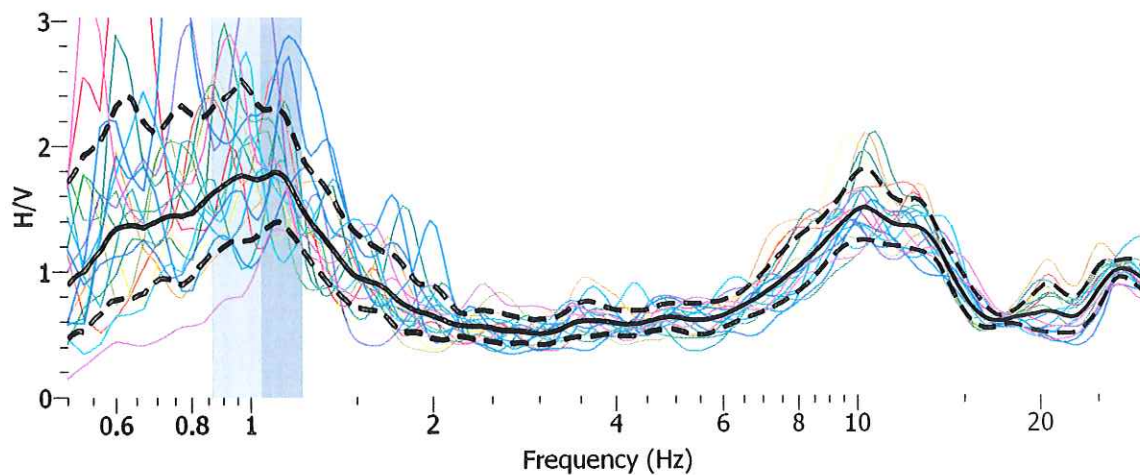
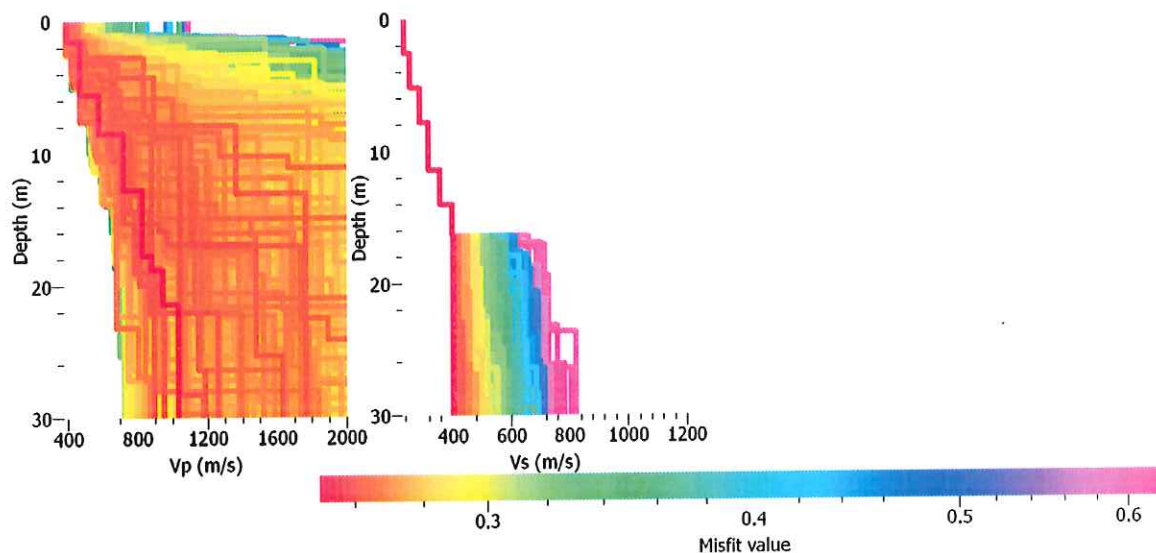


Diagramma H/V – F relativo al punto di indagine n. 2



Modello in Vp e Vs relativo al punto di indagine n. 2. Il modello Vs è stato vincolato, negli orizzonti più superficiali, dalle Vs ricavate dal profilo di sismica a rifrazione (Vs 240 fino a 2.6 m; 260 fino a 5.2m, 290 fino a 7.8 m; 320 fino a 11.4; 360 fino a 14; 400 fino a 16.4 m)

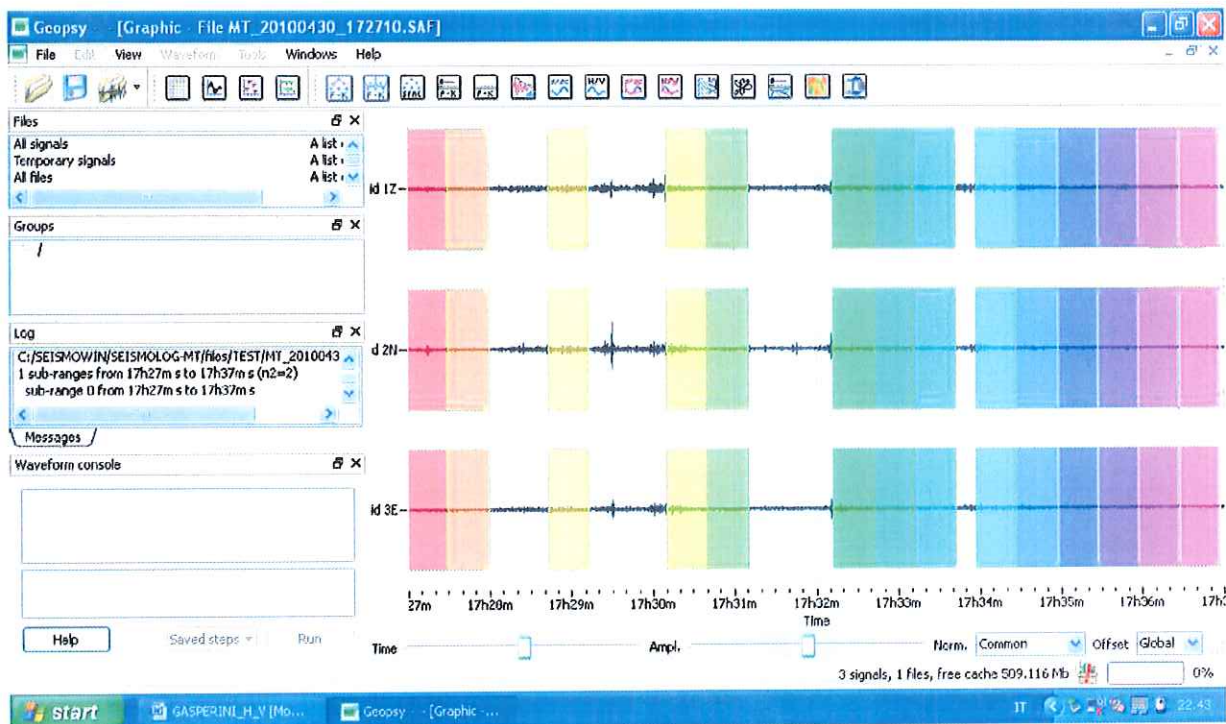




## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547

Punto di indagine n. 3 a 63 m da A



Finestra temporale relativa al punto di indagine n. 3.

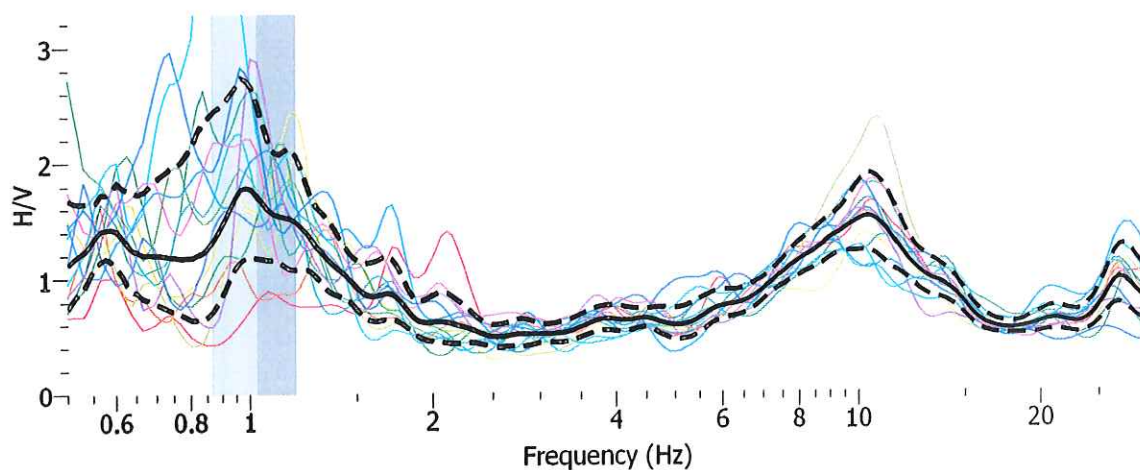
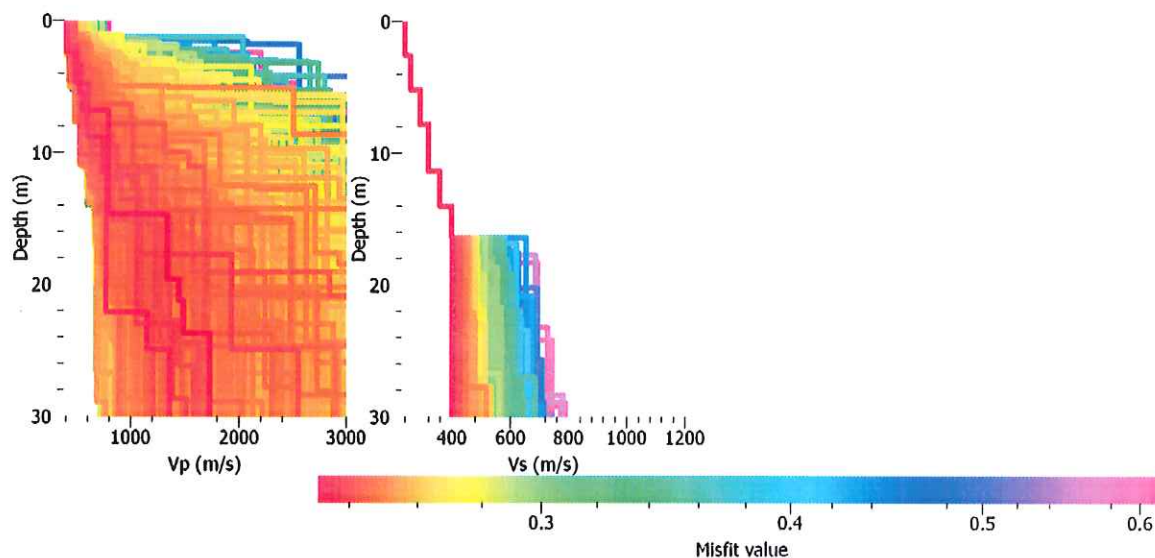


Diagramma H/V – F relativo al punto di indagine n. 3



## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547



Modello in Vp e Vs relativo al punto di indagine n. 3. Il modello Vs è stato vincolato, negli orizzonti più superficiali, dalle Vs ricavate dal profilo di sismica a rifrazione (Vs 240 fino a 2.6 m; 260 fino a 5.2m, 290 fino a 7.8 m; 320 fino a 11.4; 360 fino a 14; 400 fino a 16.4 m)

### Considerazioni sui dati di sismica a rifrazione in onde SH

In base ai vincoli che è stato possibile attribuire al modello di calcolo, attribuiti per tutta la profondità raggiunta dal profilo di sismica a rifrazione, è stato possibile ricavare dati del paratro Vs fino a 30 m di profondità dal p.c. Tutti e tre i punti di indagine concordano con quanto emerso dalla rifrazione. Da circa 15 m di profondità dal p.c. fino a 30 m di profondità, le velocità delle onde S si uniformano ed assumono un valore dell'ordine dei 450 m/s circa.







### 3 – INDAGINI CON TECNICA M.A.S.W.

Viene eseguita una indagine geofisica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves-Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) con profilo corrispondente a quello del profilo di sismica a rifrazione. Lo scopo principale dell'indagine è quello di ottenere dati corrispondenti a livelli più profondi rispetto a quelli raggiunti dal profilo di sismica a rifrazione. Vengono utilizzati 24 geofoni verticali 4.5 Hz, stessa spaziatura intergeofonica della rifrazione, offset di 3.5 m, tempo di acquisizione 2 secondi e frequenza di campionamento di 1000 Hz.

#### CENNI TEORICI SULLE PROSPEZIONI SISMICHE BASATE SULL'ANALISI DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RYLEIGH.

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale 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  $0.92 V_s$ . 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).

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 (n.t.c. 14/01/2010). 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.

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. La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è pari a circa il 90% delle onde di taglio ( $V_s$ ).

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

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni
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  $V_s$
4. Ricostruzione di una sezione delle  $V_s$

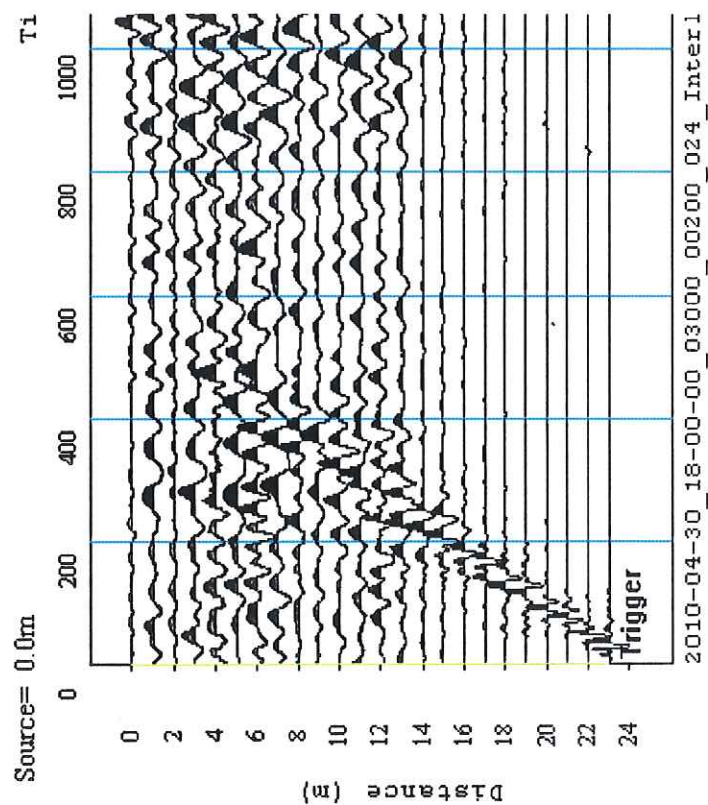
Quando vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  ed  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano 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.



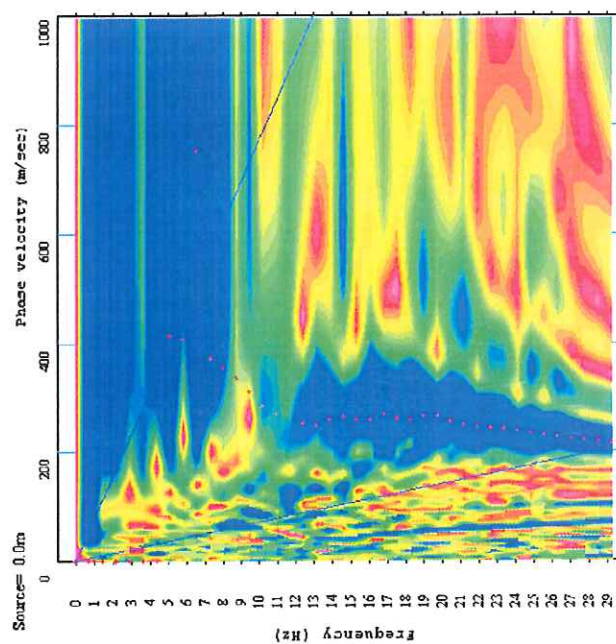


## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547



Segnali sismici acquisiti

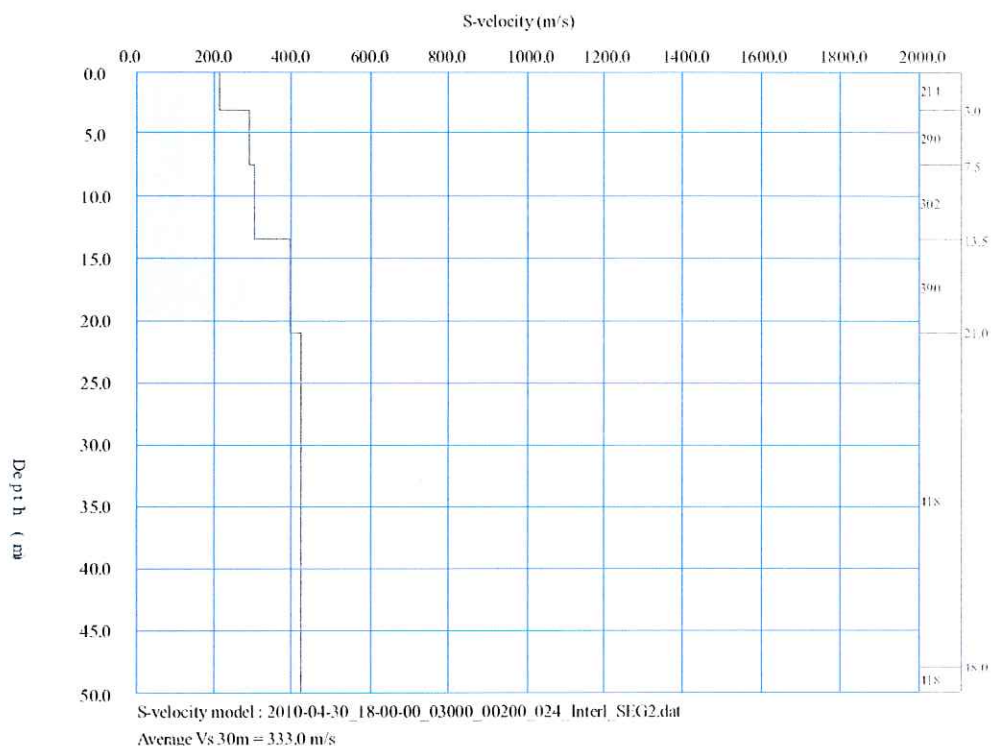


Curva di dispersione



## OSSERVATORIO SISMICO "ANDREA BINA"

B.go XX Giugno, 74 06100 PERUGIA, Tel. 075/34060 P. I.V.A. 01796550547



Modello sismostratigrafico. Il calcolo del parametro Vs30, in base ai soli dati dell'indagine MASW, corrisponde a circa 330 m/s (suolo di categoria C).

### INTERPRETAZIONE, ANALISI E CORRELAZIONE TRA I DATI ACQUISITI

L'integrazione dei dati a disposizione permette di tarare a vicenda le tre tecniche geofisiche utilizzate (sismica a rifrazione in onde SH, HVSR e MASW) e di ottenere informazioni attendibili fino alla profondità di almeno 30 m.

In particolare, tutti i dati acquisiti concordano tra loro e permettono di associare i depositi presenti nel sito indagato ad una categoria di suolo di fondazione tipo C (in base a quanto prescritto dalle N.T.C. 14/01/2008). Il parametro Vs30 corrisponde a 259 m/s, in base all'indagine di sismica a rifrazione con l'integrazione delle altre due tecniche per gli orizzonti più profondi.

**Categoria di suolo di fondazione C:** Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

**Categoria Topografica T1:** Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$

**Elaborazione prove penetrometriche effettuate in data 05.05.2010, presso la zona industriale di Città di Castello**

**Dettaglio indagini:**

N. 2 DPSH di totali 14.4 m.l., eseguite con penetrometro cingolato Pagani TG 63-100

**Profondità raggiunte:**

- DPSH 1: 7.6 m.l.; interrotta per rifiuto strumentale all'avanzamento.
- DPSH 1: 6.8 m.l.; interrotta per raggiunta profondità significativa.

Si certifica che la campagna d'indagini si è svolta regolarmente, senza problemi da segnalare e garantendo la massima verticalità della batteria di aste, secondo le normative vigenti e di seguito riportate.

Le aste, in fase di estrazione, sono risultate umide-bagnate da circa 5 di profondità nella prima verticale e nella seconda; fatto imputabile alle recenti precipitazioni.

Si ipotizza la presenza di terreno di riporto grossolano di circa 0.40-1.0 m, seguito da terreni alluvionali recenti, di natura limo-sabbiosa di consistenza medio-bassa. Seguono, da circa 4 m di profondità, livelli sabbiosi eterogenei con intercalazioni da grossolane e fini e quindi le sabbie-ghiaie cementate, a circa 8 m dal p.c.

**Note sull'elaborazione:**

La seguente elaborazione si basa sulle note correlazioni empiriche tra Ndpsh-Nspt/profondità e fornisce una ricostruzione litostratigrafica non univoca ma derivante dalle informazioni acquisite dall'operatore in cantiere, ritenuta quindi la più verosimile. Le indicazioni stratigrafiche tengono conto anche delle conoscenze personali dell'area.

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

**Committente:** GEOL. MICHELE ARCALENI

**Cantiere:** RISTRUTTURAZIONE CAPANNONE

**Località:** CITTA' DI CASTELLO

**Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda:** DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

<b>Rif. Norme</b>	<b>DIN 4094</b>
<b>Peso Massa battente</b>	<b>63.5 Kg</b>
<b>Altezza di caduta libera</b>	<b>0.75 m</b>
<b>Peso sistema di battuta</b>	<b>8 Kg</b>
<b>Diametro punta conica</b>	<b>50.46 mm</b>
<b>Area di base punta</b>	<b>20 cm<sup>2</sup></b>
<b>Lunghezza delle aste</b>	<b>1 m</b>
<b>Peso aste a metro</b>	<b>6.3 Kg/m</b>
<b>Profondità giunzione prima asta</b>	<b>0.80 m</b>
<b>Avanzamento punta</b>	<b>0.20 m</b>
<b>Numero colpi per punta</b>	<b>N(20)</b>
<b>Coeff. Correlazione</b>	<b>1.504</b>
<b>Rivestimento/fanghi</b>	<b>No</b>
<b>Angolo di apertura punta</b>	<b>90 °</b>

**OPERATORE**  
**GEOL VITO CRESCI**

**RESPONSABILE**  
**GEO.AP s.n.c.**

## **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thomburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argilloso-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°.
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977 - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia.
- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

### **Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### **Peso di volume saturo**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 ( $N_{spt} = 0$ ) a 1,99 ( $N_{spt} = 95$ )

## Correlazioni geotecniche terreni coesivi

### *Coesione non drenata*

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$ , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  min-max.
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .
- Schmertmann 1975  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

### *Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )*

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cm<sup>2</sup>)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt}=6-12$ ).

### *Modulo Di Young ( $E_y$ )*

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con  $I.P. > 15$
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

### *Stato di consistenza*

- Classificazione A.G.I. 1977

### *Peso di Volume Gamma*

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

### *Peso di volume saturo*

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa  $G=2,70$  (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )



### PROVA ...DPSH 1

Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)  
 Prova eseguita in data 05/05/2010  
 Profondità prova 7.60 mt  
 Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	9	0.855	7.33	8.58	366.51	428.85
0.40	9	0.851	7.30	8.58	364.85	428.85
0.60	9	0.847	7.26	8.58	363.24	428.85
0.80	6	0.843	4.82	5.72	241.11	285.90
1.00	5	0.840	3.70	4.41	185.08	220.40
1.20	3	0.836	2.21	2.64	110.59	132.24
1.40	3	0.833	2.20	2.64	110.14	132.24
1.60	3	0.830	2.19	2.64	109.70	132.24
1.80	3	0.826	2.19	2.64	109.27	132.24
2.00	3	0.823	2.03	2.46	101.27	123.02
2.20	3	0.820	2.02	2.46	100.90	123.02
2.40	3	0.817	2.01	2.46	100.53	123.02
2.60	4	0.814	2.67	3.28	133.56	164.03
2.80	4	0.811	2.66	3.28	133.10	164.03
3.00	3	0.809	1.86	2.30	93.01	115.01
3.20	3	0.806	1.85	2.30	92.70	115.01
3.40	3	0.803	1.85	2.30	92.40	115.01
3.60	3	0.801	1.84	2.30	92.11	115.01
3.80	4	0.798	2.45	3.07	122.43	153.35
4.00	8	0.796	4.58	5.76	229.20	287.93
4.20	12	0.794	6.86	8.64	342.80	431.90
4.40	10	0.791	5.70	7.20	284.85	359.92
4.60	9	0.789	5.11	6.48	255.65	323.93
4.80	9	0.787	5.10	6.48	254.96	323.93
5.00	10	0.785	5.33	6.78	266.26	339.17
5.20	12	0.783	6.37	8.14	318.69	407.01
5.40	14	0.731	6.94	9.50	347.13	474.84
5.60	10	0.779	5.29	6.78	264.26	339.17
5.80	9	0.777	4.75	6.11	237.27	305.25
6.00	12	0.775	5.97	7.70	298.42	384.82
6.20	10	0.774	4.96	6.41	248.12	320.69
6.40	7	0.772	3.47	4.49	173.30	224.48
6.60	7	0.770	3.46	4.49	172.93	224.48
6.80	5	0.769	2.47	3.21	123.26	160.34
7.00	2	0.767	0.93	1.22	46.66	60.82
7.20	3	0.766	1.40	1.82	69.85	91.23
7.40	4	0.764	1.86	2.43	92.96	121.65
7.60	4	0.763	1.86	2.43	92.78	121.65

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 1	11	1.00	41.42	78.46	60.42	35.16
Strato 2	4	3.80	16.08	40.33	50.92	18.12
Strato 3	14	6.60	33.24	63.07	55.96	41.17
Strato 4	5	7.60	11.09	34.17	49.78	20.83

**Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 1	11	1.00	11	30.14	23.14	31.08	0	34.05	38.98	<30	27.85	30.3	39.9	29.83
Strato 2	4	3.80	4	28.14	21.14	29.12	29.99	31.25	0	<30	22.75	28.2	30.99	23.94
Strato 3	14	6.60	14	31	24	31.92	30.35	35.13	36.83	30.32	29.49	31.2	41.81	31.73
Strato 4	5	7.60	5	28.43	21.43	29.4	28.77	31.67	0	<30	23.66	28.5	32.83	25

**Modulo di Young (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	11	1.00	11	23.22	8.63	12.80	25.74	12.75
Strato 2	4	3.80	4	---	3.14	---	---	---
Strato 3	14	6.60	14	26.19	10.98	16.27	27.95	14.22
Strato 4	5	7.60	5	---	3.92	---	---	---

**Modulo Edometrico (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	11	1.00	11	6.47	4.91	7.66	8.54
Strato 2	4	3.80	4	---	3.50	2.79	5.48
Strato 3	14	6.60	14	8.24	5.51	9.75	9.85
Strato 4	5	7.60	5	---	3.70	3.48	5.91

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	11	1.00	11	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	4	3.80	4	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
Strato 3	14	6.60	14	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 4	5	7.60	5	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (KN/m³)
Strato 1	11	1.00	11	Meyerhof ed altri	17.26
Strato 2	4	3.80	4	Meyerhof ed altri	14.61
Strato 3	14	6.60	14	Meyerhof ed altri	18.14
Strato 4	5	7.60	5	Meyerhof ed altri	15.10

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m³)
Strato 1	11	1.00	11	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.83
Strato 2	4	3.80	4	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.44
Strato 3	14	6.60	14	Terzaghi-Peck 1948-1967	19.02
Strato 4	5	7.60	5	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.53

# **PROVA ...DPSH 2**

Strumento utilizzato...

DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

05/05/2010

Profondità prova

6.80 mt

Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	8	0.855	6.52	7.62	325.78	381.20
0.40	5	0.851	4.05	4.76	202.69	238.25
0.60	3	0.847	2.42	2.86	121.08	142.95
0.80	3	0.843	2.41	2.86	120.55	142.95
1.00	3	0.840	2.22	2.64	111.05	132.24
1.20	3	0.836	2.21	2.64	110.59	132.24
1.40	2	0.833	1.47	1.76	73.43	88.16
1.60	2	0.830	1.46	1.76	73.13	88.16
1.80	3	0.826	2.19	2.64	109.27	132.24
2.00	3	0.823	2.03	2.46	101.27	123.02
2.20	3	0.820	2.02	2.46	100.90	123.02
2.40	3	0.817	2.01	2.46	100.53	123.02
2.60	3	0.814	2.00	2.46	100.17	123.02
2.80	3	0.811	2.00	2.46	99.82	123.02
3.00	3	0.809	1.86	2.30	93.01	115.01
3.20	3	0.806	1.85	2.30	92.70	115.01
3.40	3	0.803	1.85	2.30	92.40	115.01
3.60	3	0.801	1.84	2.30	92.11	115.01
3.80	3	0.798	1.84	2.30	91.83	115.01
4.00	5	0.796	2.87	3.60	143.25	179.96
4.20	6	0.794	3.43	4.32	171.40	215.95
4.40	7	0.791	3.99	5.04	199.40	251.94
4.60	7	0.789	3.98	5.04	198.84	251.94
4.80	7	0.787	3.97	5.04	198.30	251.94
5.00	7	0.785	3.73	4.75	186.38	237.42
5.20	5	0.783	2.66	3.39	132.79	169.59
5.40	6	0.781	3.18	4.07	158.94	203.50
5.60	11	0.779	5.81	7.46	290.69	373.09
5.80	10	0.777	5.27	6.78	263.63	339.17
6.00	8	0.775	3.98	5.13	198.95	256.55
6.20	7	0.774	3.47	4.49	173.69	224.48
6.40	16	0.722	7.41	10.26	370.47	513.10
6.60	19	0.720	8.78	12.19	438.92	609.31
6.80	21	0.669	9.01	13.47	450.36	673.44

## **TERRENI INCOERENTI**

### **Densità relativa**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 1	9	0.40	38.32	73.53	62.04	30.74
Strato 2	4	3.80	17.01	41.56	50.92	18.12
Strato 3	10	6.20	27.38	54.55	54.41	32.99
Strato 4	28	6.80	45.92	83.92	59.29	61.41

### **Angolo di resistenza al taglio**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasuki & Iwasuki
Strato 1	9	0.40	9	29.57	22.57	30.52	0	33.29	0	<30	26.62	29.7	38.17	28.42
Strato 2	4	3.80	4	28.14	21.14	29.12	29.99	31.25	0	<30	22.75	28.2	30.99	23.94
Strato 3	10	6.20	10	29.86	22.86	30.8	30.08	33.67	0	<30	27.25	30	38.9	29.14
Strato 4	28	6.80	28	35	28	35.84	31.12	39.21	39.75	32-35	35.49	35.4	47.82	38.66

**Modulo di Young (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	9	0.40	9	---	7.06	10.48	---	---
Strato 2	4	3.80	4	---	3.14	---	---	---
Strato 3	10	6.20	10	22.14	7.85	11.64	---	---
Strato 4	28	6.80	28	37.04	21.97	32.47	38.25	21.08

**Modulo Edometrico (Mpa)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	9	0.40	9	---	4.51	6.27	7.66
Strato 2	4	3.80	4	---	3.50	2.79	5.48
Strato 3	10	6.20	10	---	4.71	6.96	8.10
Strato 4	28	6.80	28	16.48	8.33	19.50	15.97

**Classificazione AGI**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	9	0.40	9	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	4	3.80	4	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
Strato 3	10	6.20	10	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 4	28	6.80	28	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE E ADDENSATO

**Peso unità di volume**

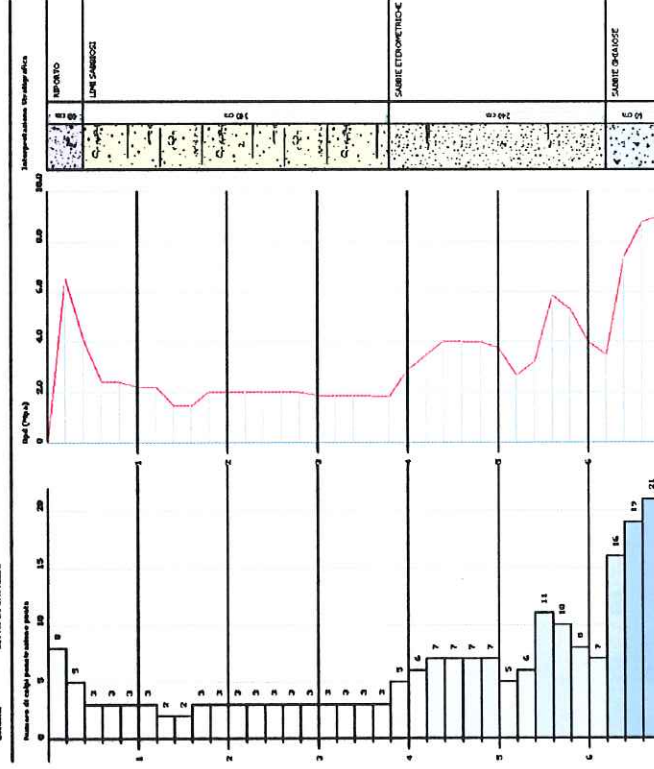
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (KN/m³)
Strato 1	9	0.40	9	Meyerhof ed altri	16.67
Strato 2	4	3.80	4	Meyerhof ed altri	14.61
Strato 3	10	6.20	10	Meyerhof ed altri	16.97
Strato 4	28	6.80	28	Meyerhof ed altri	20.69

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (KN/m³)
Strato 1	9	0.40	9	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.73
Strato 2	4	3.80	4	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.44
Strato 3	10	6.20	10	Terzaghi-Peck 1948-1967	18.83
Strato 4	28	6.80	28	Terzaghi-Peck 1948-1967	---

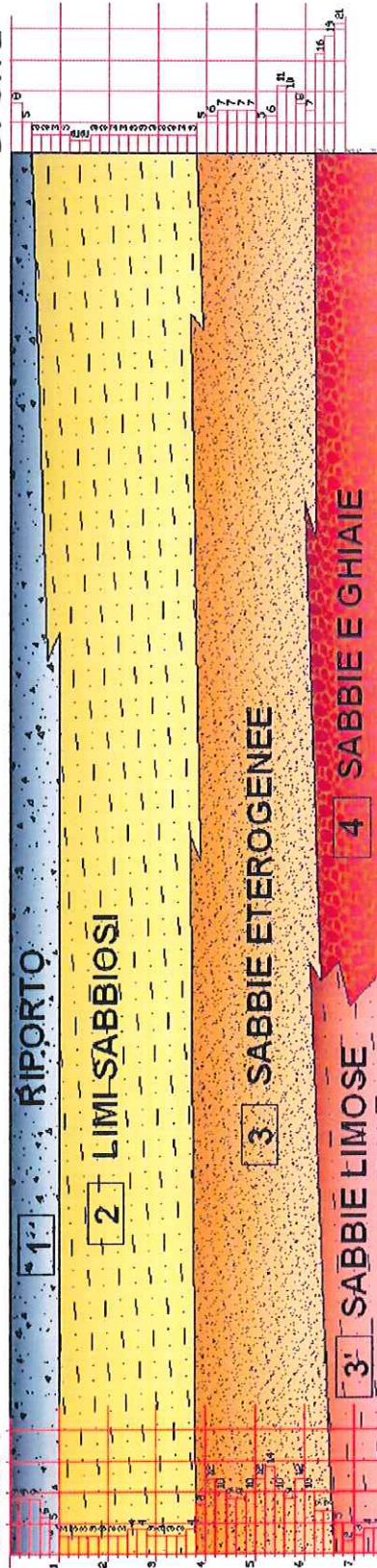
**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA****DPSH 1****DPSH 2**

**Comitato:**  
Cattaneo  
Lecchi  
**GRUPPO MICHELE ARCALEVI**  
SISTEMI TUBAZIONE CAMPIONE  
CITTA' DI CASTELLO





DP SH 2

**VALORI NOMINALI**

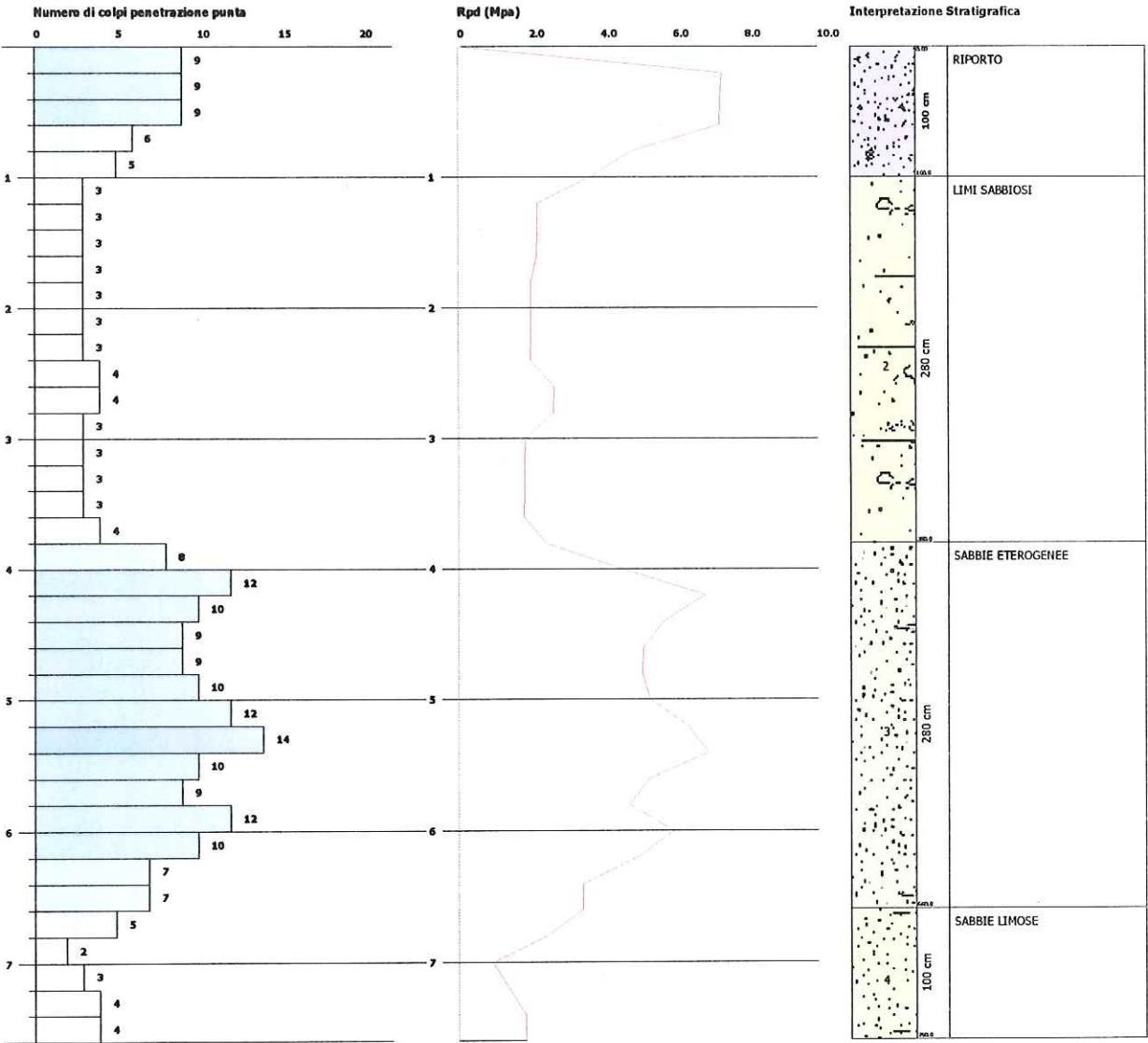
strato	letto strato	Nspt	tipo	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma^{\text{sat}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (°)	Cu (Kpa)	modulo edometrico (Mpa)	modulo elastico (Mpa)
1	0.4-1 m	9-11	Incoerente	NON STIMABILI					
2	3.8 m	4	Incoerente	14.5	17	22-24	10	5	6
3	6.2-6.6 m	10-14	Incoerente	17	18	26-28	5	8	12
3'	6.6-7.2	5	incoerente	15	17.5	22-24	5	5.5	6.5
4	6.2-6.8	28	Incoerente	20	20.5	32-35	0	16	32

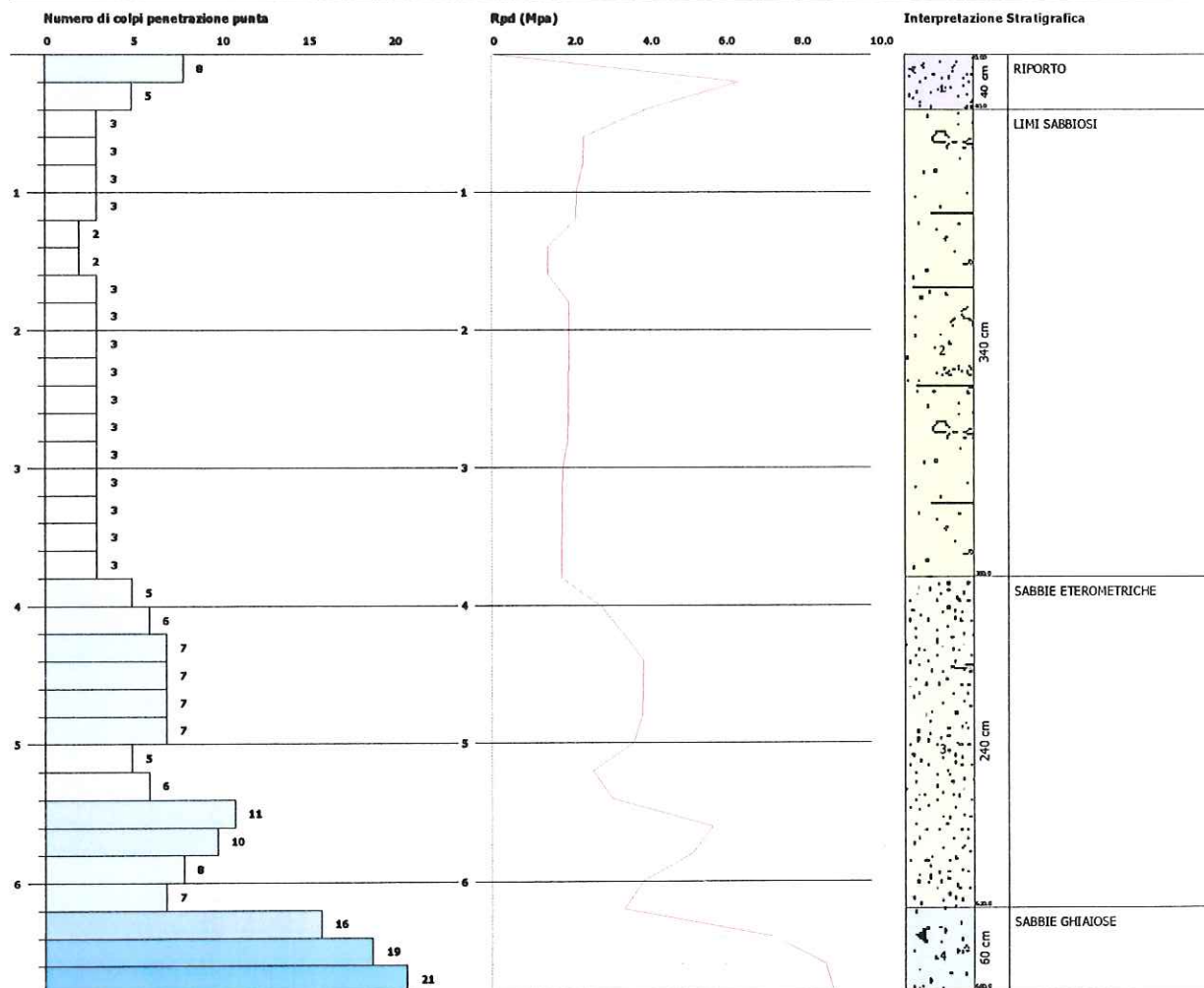
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH\_1  
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: **GEOL. MICHELE ARCALENTI**  
Cantiere: **RISTRUTTURAZIONE CAPANNONE**  
Località: **CITTA' DI CASTELLO**

Data: 05/05/2010

Scala 1:50





## STIMA DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO E DEI PARAMETRI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La determinazione dell'azione sismica del sito e la stima dei parametri di risposta sismica locale riferiti all'area di progetto (Scatolificio Gasperini – Città di Castello), vengono effettuati in accordo alle prescrizioni riportate sulle N.T.C. del 14/01/2008.

The screenshot displays the 'FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO' interface. It features two search methods: 'Ricerca per coordinate' (with longitude 12,22750 and latitude 43,47250) and 'Ricerca per comune' (with region Umbria, province Perugia, and municipality Città di Castello). On the left, there are sections for 'Elaborazioni grafiche' (Graphical outputs: 'Grafici spettri di risposta', 'Variabilità dei parametri') and 'Elaborazioni numeriche' (Numerical outputs: 'Tabella parametri'). Below these is a 'Nodi del reticolo intorno al sito' (Nodes of the grid around the site) plot showing a grid of points with coordinates like 21404, 21405, 21626, and 21627. The main area shows a map of Italy with a red dot indicating the site location. To the right of the map is a 'Controllo sul reticolo' (Grid control) section with options for 'Sito esterno al reticolo', 'Interpolazione su 9 nodi', and 'Interpolazione corretta'. Below this is an 'Interpolazione' (Interpolation) dropdown menu set to 'superficie rigata'. At the bottom, there are navigation buttons for 'INTRO', 'FASE 1' (highlighted in red), 'FASE 2', and 'FASE 3'.

La pericolosità sismica viene calcolata nell'effettiva posizione geografica del sito sulla base delle coordinate geografiche rappresentative dell'area d'intervento, ipotizzando inizialmente che il sito sia caratterizzato da un substrato affiorante (sottosuolo di tipo A) da una morfologia pianeggiante (T1) e non siano presenti altri edifici e poi modificando gli spettri in base alle reali caratteristiche sismiche del sito.

Attraverso l'applicazione della media pesata sui parametri spettrali corrispondenti a ciascun nodo (Tab. 1 allegato B delle NTC 2008) della maglia che contiene il punto d'interesse è stato possibile ottenere lo spettro di risposta relativo al sito d'interesse per i vari tempi di ritorno di riferimento.



## Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_c^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,069	2,402	0,265
50	0,091	2,339	0,270
72	0,108	2,326	0,273
101	0,125	2,331	0,277
140	0,143	2,340	0,280
201	0,165	2,351	0,285
475	0,227	2,383	0,299
975	0,290	2,411	0,312
2475	0,388	2,404	0,328

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_u$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$   info

Stati limite di esercizio - SLE {  
 SLO -  $P_{VR} = 81\%$    
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$    
 Stati limite ultimi - SLU {  
 SLV -  $P_{VR} = 10\%$    
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$

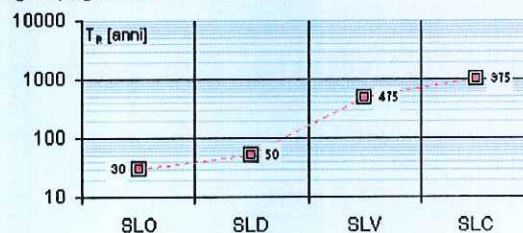
Elaborazioni

Grafici parametri azione ☐

Grafici spettri di risposta ☐

Tabella parametri azione ☐

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---□--- Strategia scelta



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

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,069	2,402	0,266
SLD	50	0,091	2,339	0,270
SLV	475	0,227	2,383	0,299
SLC	975	0,290	2,411	0,312

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

Stato Limite  
Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale  
 Categoria di sottosuolo: **C** info  
 Categoria topografica: **T1** info  
 $S_o = 1,376$   $C_c = 1,564$  info  
 $h/H = 0,000$   $S_T = 1,000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale  
☒ Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%) **5**  $\gamma = 1,000$  info  
☐ Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_o$  **3** Regol. in altezza **no** info

Compon. verticale  
 Spettro di progetto Fattore  $q_i$  **1,5**  $\gamma = 0,667$  info

Elaborazioni  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLV**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,227 g
$F_o$	2,383

Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_e$ [g]
0,000	0,312
0,156	0,743

B

$T_c^*$	0,299 s
$S_g$	1,376
$C_c$	1,564
$S_T$	1,000
$q$	1,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,376
$\eta$	1,000
$T_B$	0,156 s
$T_C$	0,468 s
$T_D$	2,507 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_g \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

c		0,468	0,743
		0,565	0,616
		0,662	0,525
		0,759	0,458
		0,856	0,406
		0,953	0,365
		1,050	0,331
		1,147	0,303
		1,245	0,279
		1,342	0,259
d		1,439	0,242
		1,536	0,226
		1,633	0,213
		1,730	0,201
		1,827	0,190
		1,924	0,181
		2,021	0,172
		2,119	0,164
		2,216	0,157
		2,313	0,150
		2,410	0,144
		2,507	0,139
		2,578	0,131
		2,649	0,124
		2,720	0,118
		2,791	0,112
		2,863	0,106
		2,934	0,101
		3,005	0,097
		3,076	0,092
		3,147	0,088
		3,218	0,084
		3,289	0,081
		3,360	0,077
		3,431	0,074
		3,502	0,071
		3,573	0,068
		3,645	0,066
		3,716	0,063
		3,787	0,061
		3,858	0,059
		3,929	0,056
		4,000	0,054