



ArcGeo Studio

Via Don G. Minzoni 103 - 62028 Sarnano MC
Tel. + Fax: 0733 - 657159 Port.le 330-882116

E_mail: lucarelli.geologo@virgilio.it
E_mail: lucarelli.geologo@pec.it

Geologo:

Geol. COSTANTINO LUCARELLI

Ordine dei Geologi della Regione Marche
Geologo Specialista n°357 - Albo Sezione A

C.F.: LCRCTN65E221436K
P.I.: 01186690432

Collaboratore:

Geol. STEFANO CICORA

Ordine dei Geologi della Regione Molise
Geologo Specialista n°166 - Albo Sezione A

Comune di
Smerillo

Provincia di
Fermo



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale Smerillo

PROGETTO: Messa in sicurezza con consolidamento e ripristino dissesti idrogeologici sulla rupe denominata "la Fessa" di Smerillo

Elaborato n°:

G.1

OGGETTO:

*Rilievo geostrutturale e indagini
Geol. Pompei Matteo
PRESA VISIONE*

Scala:

1:

N° commessa:

ID elaborato:

Data	Motivazione	Redatto	Controllato	Approvato
Giugno 2020	Prima emissione			
Dicembre 2020	Aggiornamento	Geol. Pompei Matteo	Geol. Lucarelli	

Dott. Geol. Matteo Pompei
Via Don E. Ricci,3
62020, Monte San Martino (MC)
P.IVA 01880240435

Messa in sicurezza con consolidamento e ripristino dissesti idrogeologici sulla rupe denominata "La Fessa di Smerillo"

RILIEVO GEOSTRUTTURALE E INDAGINI



Committente: Comune di Smerillo (FM)

Località: Capoluogo - Rupe

Data: 14.06.2020

Il Geologo

Ordine dei Geologi delle Marche n.916

Indice

1 Premessa	1
2 Inquadramento territoriale, geologico e geomorfologico	1
3 Metodologia d'indagine	2
5 Conclusioni	3

Allegati

Corografia	Tav.1
Carta Geologica Regionale	Tav.2
Carta Geologica dello studio di Microzonazione Sismica	Tav.3
Carta del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.)	Tav.4
Ubicazione della campagna geognostica	Tav.5
Rilievo dell'area d'intervento	Tav.6
Elaborati indagini geognostiche	Allegato 1
Elaborati prospezioni geofisiche	Allegato 2

1. PREMESSA

Su richiesta del Comune di Smerillo (FM) è stato svolto un rilievo geostrutturale ed una campagna di indagini geognostiche sulla rupe posta ad Ovest del centro storico, denominata “La Fessa di Smerillo”. Tale indagine è stata resa necessaria dal manifestarsi di dissesti idrogeologici di tipo “crollo in roccia”, attivati e aggravati a seguito degli eventi sismici iniziati nell’Agosto del 2016, che mettono a rischio l’abitato del Capoluogo, il percorso naturalistico sul versante e le aree di Attesa e di Ricovero di Protezione Civile, denominate “Parco della Fessa”, poste a valle. Lo studio ha permesso di definire la morfologia del versante, le caratteristiche geologiche/sismo-stratigrafiche dei sedimenti, ove realizzare le opere di contenimento e di stabilizzazione dell’ammasso roccioso, e di mettere in condizione i progettisti nell’individuazione delle criticità dell’area, determinando le dinamiche di crollo dei blocchi lapidei.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il sito oggetto d’indagine è ubicato in Loc. Capoluogo nel Comune di Smerillo (FM) su un’area di versante acclive posta ad Ovest dell’abitato del centro storico, ubicato in destra idrografica del Fiume Tenna. L’area si sviluppa tra quota 690 m s.l.m. e 800 m s.l.m. e può essere localizzata attraverso le coordinate geografiche 43°00’16.8”N 13°26’38.8”E. Il sito viene catastalmente contraddistinto al Foglio 10 e la cartografia tecnica di riferimento è la Carta Tecnica Regionale – Sezione n°314140 *Santa Vittoria in Matenano* alla scala 1:10.000 e la Carta I.G.M. in scala 1:25.000 (Tav.1).

Il versante oggetto d’indagine presenta pareti sub-verticali con affioramenti rocciosi nella porzione di monte mentre scendendo verso valle la morfologia subisce un cambiamento, la vegetazione ad alto fusto si presenta più rigogliosa e le pendenze risultano minori con valori mediamente nell’ordine dei 25°; la porzione di valle rappresenta la zona di accumulo dei depositi di detrito roccioso da crollo. Le litologie rocciose rilevate appartengono alla Fm delle Argille Azzurre – Membro dello Spungone – Associazione arenacea (Tavv.2-3).

Il sito rientra nell’area del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Marche, identificata al codice F-21-0489 con coefficiente di Rischio 4 e di Pericolosità 4 (Tav.4).

L’analisi geomorfologica dell’area di studio e del suo intorno significativo ha permesso di verificare i processi geologici in atto e le evidenze di crolli lapidei dovuti al naturale degrado dell’ammasso roccioso e alla recente fratturazione indotta dagli eventi sismici iniziati nell’Agosto del 2016.

3. METODOLOGIA D'INDAGINE

L'indagine commissionata al sottoscritto ha avuto come obiettivo il rilievo geostrutturale e morfologico dell'area oggetto di studio e la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismostratigrafica delle litologie del sottosuolo. A tal fine è stato realizzato un programma d'indagine secondo il seguente schema:

- **Rilievo aerofotogrammetrico da drone** (Tav.6): tale metodologia ha permesso la definizione della morfologia del versante attraverso la realizzazione di un modello tridimensionale del terreno, di sezioni topografiche e la ricostruzione della superficie attraverso DTM (Digital Terrain Model) in curve di livello. È stato inoltre individuato l'assetto geostrutturale dell'ammasso roccioso, definita la stratificazione delle facies litoidi, individuate le porzioni affioranti particolarmente fratturate, i massi aggettanti e quelli distaccati depositati sul versante;
- **Campagna di indagini geognostiche** (All.1): sono state svolte indagini finalizzate alla ricostruzione della stratigrafia dei terreni, ove vengono previsti gli interventi, e alla definizione dei parametri geotecnici dei sedimenti (tasti meccanici, prove penetrometriche dinamiche, prove di laboratorio quali resistenza a compressione *ELL*, *Point Load Test* e *Tilt Test*);
- **Campagna di prospezioni geofisiche** (All.2): sono state svolte indagini di sismica passiva (*HVSR*) e di sismica attiva (*MASW*, Rifrazione) per la definizione della sismostratigrafia dell'area, delle categorie di sottosuolo necessarie per la progettazione delle opere e per l'individuazione delle variazioni litostratigrafiche in profondità.

L'interpolazione dei dati risultanti dalle indagini sopra descritte ha permesso di avere una panoramica geologica, geomorfologica e del rischio idrogeologico del versante oggetto d'indagine, mettendo in condizione i progettisti di avere a disposizione un set di dati fondamentale per una buona progettazione e la risoluzione delle problematiche di dissesto dell'area, finalizzate alla tutela delle infrastrutture e degli utilizzatori dei luoghi. L'ubicazione della campagna geognostica e di prospezioni geofisiche viene riportata in Tav.5.

4. RISULTATI

I dati risultanti dalle indagini svolte hanno permesso la definizione della situazione geologica e geomorfologica del sito e la caratterizzazione tutti i parametri geotecnici e sismo-stratigrafici necessari alla progettazione.

Il rilievo topografico e geostrutturale (Tav.6) ha permesso di definire un versante formato da pareti rocciose con porzioni particolarmente fratturate che necessitano di interventi di stabilizzazione, evidenziando le principali criticità geologiche dell'area; sono state inoltre realizzate sezioni topografiche dei lineamenti di maggiore interesse ingegneristico. Le aree di affioramento roccioso vengono stimate complessivamente in circa 10.000 m² mentre i massi aggettanti e quelli crollati nei recenti dissesti risultano nell'ordine massimo di 1 m³. Lungo il versante vengono rilevati massi alterati e ricoperti da vegetazione, nell'ordine di 4/5 m³, appartenenti ad eventi di crollo antichi.

I tassi meccanici e le prove penetrometriche dinamiche realizzati (All.1) hanno evidenziato un primo substrato formato da esigui spessori di copertura eluvio-colluviale sovrastanti depositi detritici di versante, costituiti da blocchi arenacei di versante di dimensioni decimetriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa, posti alla profondità minima di 0.50 m dal piano campagna; durante le indagini non è stato intercettato alcun livello di falda freatica. I parametri geotecnici di questi orizzonti vengono di seguito riportati:

Depositi di copertura (Limi e sabbie)		Parametri di campagna		Parametri medi (M)					
		P.1	P.2	media (M)	U. M.		U. M.		
Peso Volume	γ	1.89	1.89	γ_M	1.89	g/cm ³	#	18.53	kN/m ³
Angolo d'attrito	φ'	27	26.8	φ'_M	26.9	gradi	#	26.9	gradi
Modulo edometrico	E_{ed}	60	58	E_{edM}	59	kg/cm ²	#	5.78	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	0.34	0.34	ν	0.34		#	0.34	

Depositi di detrito (Arenarie)		Parametri di campagna		Parametri medi (M)					
		P.1		media (M)	U. M.		U. M.		
Peso Volume	γ		2.00	γ_M	2.00	g/cm ³	#	19.61	kN/m ³
Angolo d'attrito	φ'		32.8	φ'_M	32.8	gradi	#	32.8	gradi
Modulo edometrico	E_{ed}		110	E_{edM}	110	kg/cm ²	#	10.78	MPa
Coefficiente di Poisson	ν		0.31	ν	0.31		#	0.31	

Le prove di laboratorio hanno permesso di individuare i parametri delle arenarie dell'ammasso roccioso quali resistenza a compressione *ELL*, indice *Point Load* e *Tilt Test*, con i seguenti risultati:

ANALISI DI LABORATORIO (Campioni di Arenaria)							
CAMPIONI	U.M.	1	2	3	4	5	6
RESISTENZA ELL	MPa	127.2	119.4	----	----	----	----
POINT LOAD	MPa	----	----	4.73	5.11	----	----
TILT TEST (Angolo di scorrimento)	°	----	----	----	----	36	38
TILT TEST (Angolo attrito di base)	°	----	----	----	----	25	25

Le indagini geofisiche condotte (All.2) hanno definito la sismostratigrafia dei luoghi e le frequenze di vibrazione naturale dei terreni:

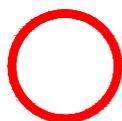
- *HVSR*: le indagini di sismica passiva a stazione singola hanno permesso di valutare le frequenze naturali dei terreni da cui risulta:
 - Prova G.1 – Frequenza $F_0 = 5.00 \pm 1.66$ Hz e Ampiezza $A_0 = 2.89$;
 - Prova G.2 – Frequenza $F_0 = 18.44 \pm 0.20$ Hz e Ampiezza $A_0 = 2.29$.
- *MASW*: le indagini di tipo sismica attiva multi-canale hanno permesso di valutare le velocità delle onde di taglio verticali V_s nel terreno, determinando la Categoria di sottosuolo dei siti indagati, nel particolare:
 - Prova MASW1 – $V_{s_{eq}}=503$ m/s da cui risulta una Cat. di sottosuolo – B;
 - Prova MASW2 – $V_{s_{eq}}=451$ m/s da cui risulta una Cat. di sottosuolo – B.
- *RIFRAZIONE*: le indagini di tipo sismica attiva multi-canale a rifrazione ha permesso di analizzare le onde longitudinali V_p nel terreno al fine di individuare gli orizzonti litologici rifrangenti. Da queste risulta un orizzonte posto alla profondità di circa 5 m in cui le onde sismiche subiscono una brusca accelerazione e dove, con criterio, viene impostato il substrato geologico locale.

Tav. 1



Corografia

Carta IGM - in scala 1:25.000

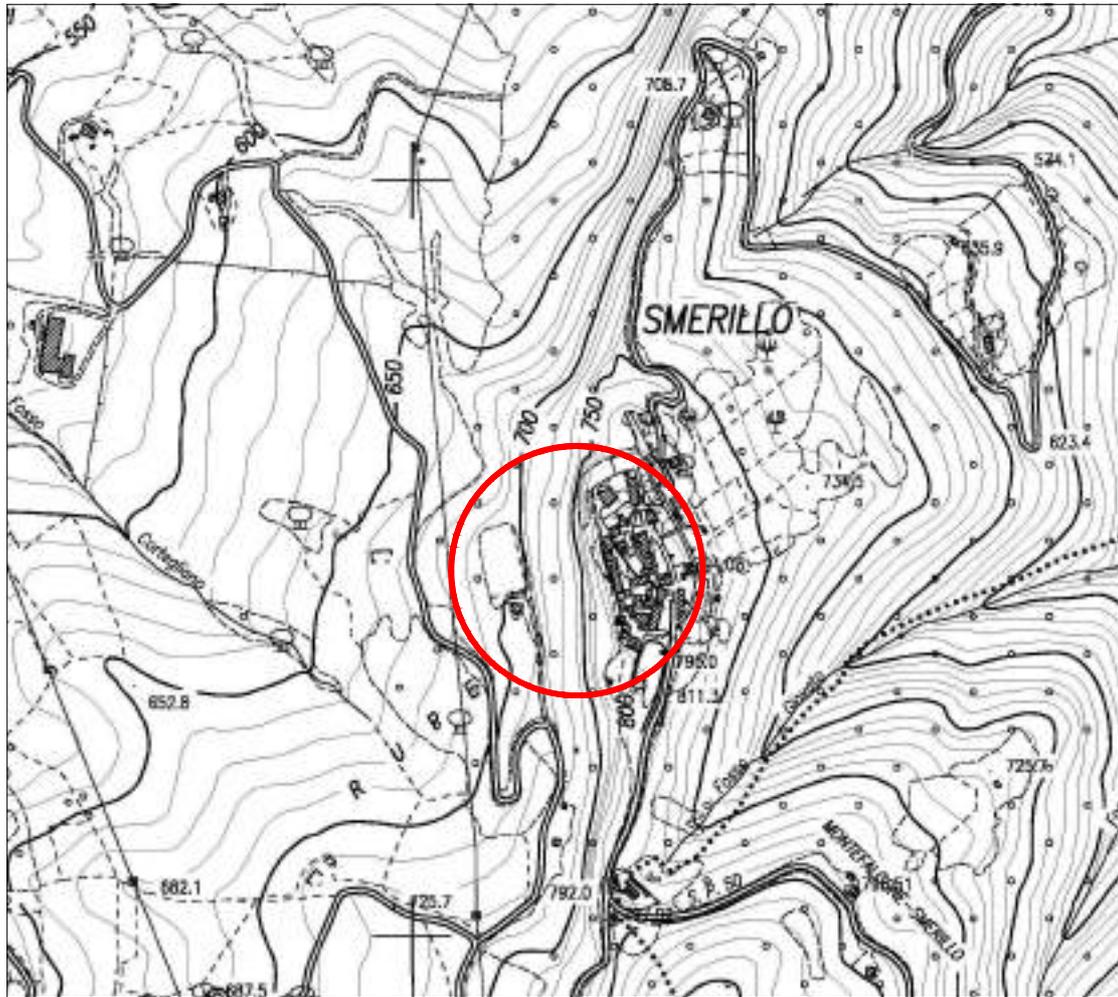


Area in esame



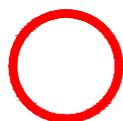
Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

Committente: Comune di Smerillo
Località: Capoluogo - "La Fessa di Smerillo"



Corografia

*Carta Tecnica Regionale
Sezione n°314140 - Santa Vittoria in Matenano - in scala 1:10.000*



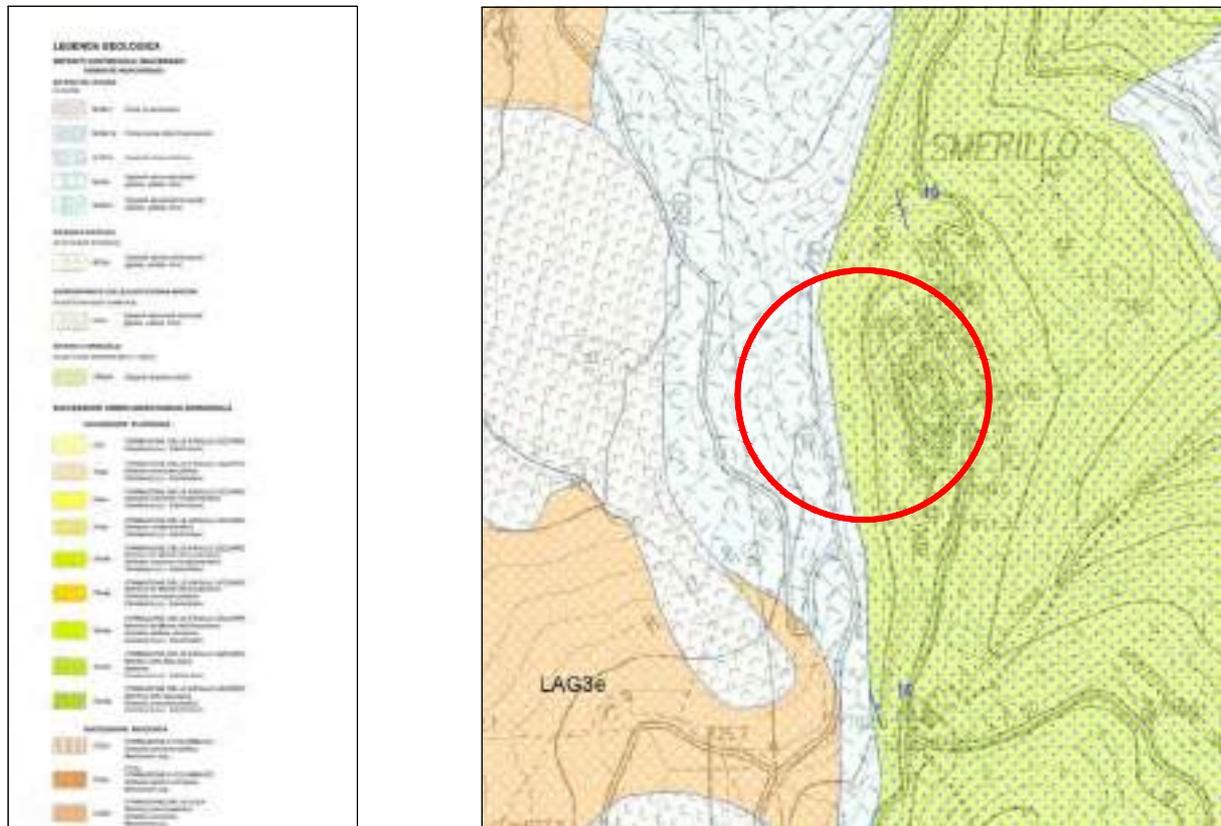
Area in esame



Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

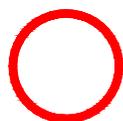
Committente: Comune di Smerillo
Località: Capoluogo - "La Fessa di Smerillo"

Tav. 2



Carta Geologica Regionale

Sezione n°314140 - Santa Vittoria in Matenano - in scala 1:10.000



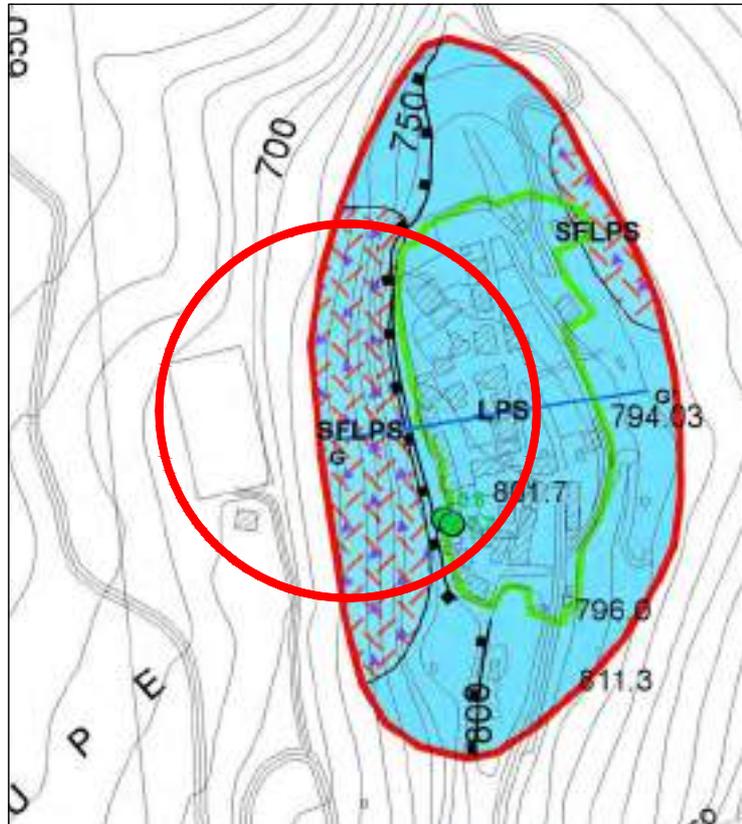
Area in esame



Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

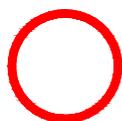
Committente: Comune di Smerillo
Località: Capoluogo - "La Fessa di Smerillo"

Tav. 3



Carta Geologico-Tecnica

Studio di Microzonazione Sismica III Livello del Comune di Smerillo (FM)



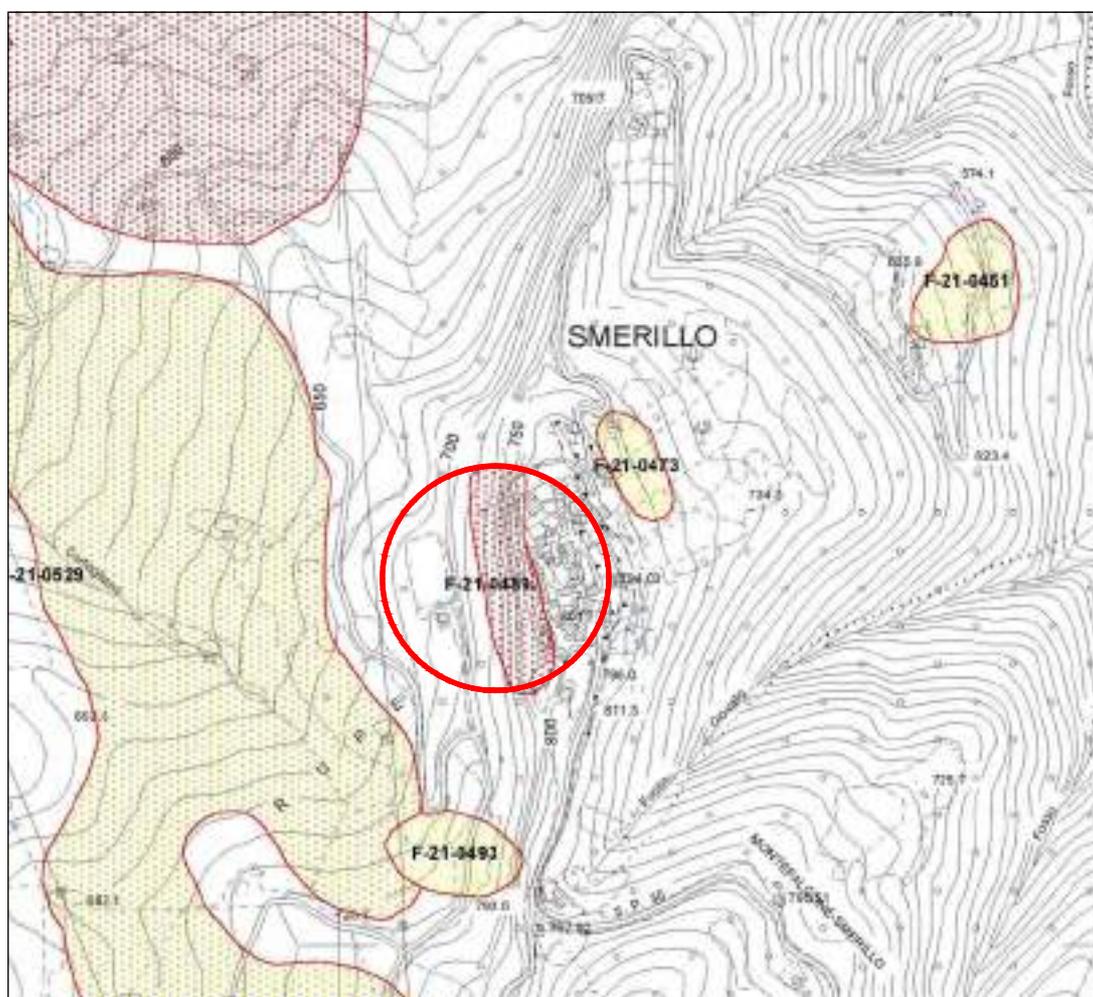
Area in esame



Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

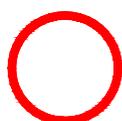
Committente: Comune di Smerillo
Località: Capoluogo - "La Fessa di Smerillo"

Tav. 4



Carta del Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

Regione Marche - Sez.RI65b - in scala 1:10.000



Area in esame



Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

Committente: Comune di Smerillo
Località: Capoluogo - "La Fessa di Smerillo"

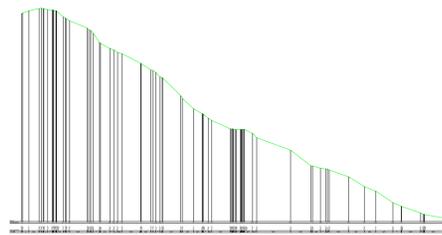
Tav. 5



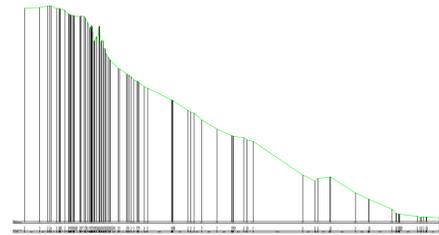
LEGENDA	
	<i>Sondaggio di tipo tasto meccanico</i>
	<i>Penetrometria dinamica media (DPM)</i>
	<i>Indagine sismica passiva HVSR</i>
	<i>Indagine sismica attiva MASW/Rifrazione</i>

Ubicazione della campagna geognostica

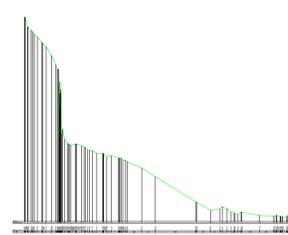




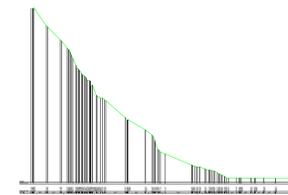
SEZIONE 1



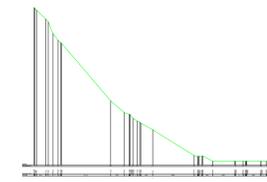
SEZIONE 2



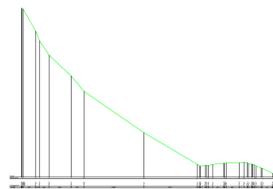
SEZIONE 3



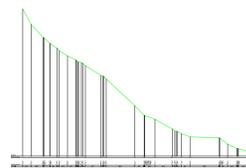
SEZIONE 4



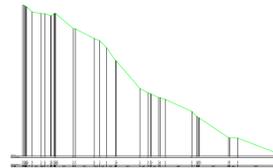
SEZIONE 5



SEZIONE 6



SEZIONE 7



SEZIONE 8

Sezioni topografiche (scala 1:200)



Panoramica dell'area d'intervento



Particolare Area 1



Particolare Area 1



Particolare Area 1



Particolare Area 1



Particolare Area 2

Dott. Geol. Matteo Pompei
Via Don E. Ricci, 3
62020, Monte San Martino (MC)
P.IVA 01880240435

Messa in sicurezza con consolidamento e ripristino dissesti idrogeologici sulla rupe denominata "La Fessa di Smerillo"

Tav. 6 - Rilievo dell'area d'intervento



Committente: Comune di Smerillo (FM)
Località: Capoluogo - Rupe
Data: 14.06.2020

Il Geologo
Ordine dei Geologi delle Marche n.916



Rilievo in curve di livello su ortofoto (scala 1:200)



Documentazione fotografica

Dott. Geol. Matteo Pompei
Via Don E. Ricci,3
62020, Monte San Martino (MC)
P.IVA 01880240435

Messa in sicurezza con consolidamento e ripristino dissesti idrogeologici sulla rupe denominata "La Fessa di Smerillo"

Allegato 1 - Elaborati indagini geognostiche



Committente: Comune di Smerillo (FM)

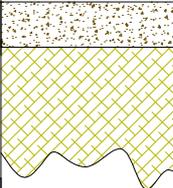
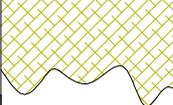
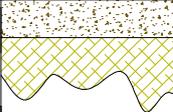
Località: Capoluogo - Rupe

Data: 14.06.2020

Il Geologo

Ordine dei Geologi delle Marche n.916

SONDAGGI DI TIPO TASTO MECCANICO

<p style="text-align: center;">Studio di Geologia Geologo MATTEO POMPEI Via Don E. Ricci n.3 - 62020 Monte San Martino MC Tel. + Fax: 0733/660206 Mob. 333/3579472 E-mail: geol.pompei@gmail.com</p>				<p>Committente: Comune di Smerillo (FM)</p>			
				<p>Cantiere: Rupe - Area camper</p>			
				<p>Data esecuzione: 19 Maggio 2019</p>			
				<p>Scavo: S.1</p>			
				<p>Profondità: 2.00 m</p>			
Scala 1:100	Profondità	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Campioni	Pocket kg/cmq
1	0.6	0.6		<p>Orizzonte terrigeno con inclusi litoidi ed antropici, alla prof. di 0.40 m fondazioni in cemento - Depositi di copertura -</p>	A S S E N T E		
2	2.0	1.3		<p>Depositi detritici di versante costituiti da pietrame arenaceo di dimensioni decimetriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. - Detrito -</p>			
3							
4							
5							
				<p>Scavo: S.2</p>			
				<p>Profondità: 1.00 m</p>			
Scala 1:100	Profondità	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Campioni	Pocket kg/cmq
1	0.5	0.5		<p>Orizzonte terrigeno con inclusi litoidi ed antropici, alla prof. di 0.40 m fondazioni in cemento - Depositi di copertura -</p>	A S S E N T E		
2	1.0	0.5		<p>Depositi detritici di versante costituiti da pietrame arenaceo di dimensioni decimetriche in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. - Detrito -</p>			
3							
4							

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Committente: Comune di Smerillo (FM)

Cantiere: Rupe Ovest

Località: Parco della Fessa

Caratteristiche Tecniche-Strumentali: DMP 30

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	30	Kg
Altezza di caduta libera	0.20	m
Peso sistema di battuta	13	Kg
Diametro punta conica	35.68	mm
Area di base punta	10	cm ²
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	2.93	Kg/m
Profondità giunzione prima asta	1.00	m
Avanzamento punta	0.10	m
Numero colpi per punta	N(10)	
Coeff. Correlazione	0.76	
Rivestimento/fanghi	No	
Angolo di apertura punta	60	°

P.1



P.2



P.3



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING)

DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

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, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M <i>(kg)</i>	prof. max indagine battente <i>(m)</i>
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- H altezza di caduta.
- A area base punta conica.
- δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- R_{pd} resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo (δ/N).
- M peso massa battente (altezza caduta H).
- P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa'/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_s parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic 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 :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosifessurati, 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 m. sopra falda e < 7 m 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 $< 38^\circ$.
 - 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 $< 38^\circ$).
 - Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
 - 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
 - Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
 - Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
 - Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa(%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % 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 D_r % 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

- Buisman-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

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

-
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

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). $C_u(\text{min-max})$.
- 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/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), 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.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

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).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buisman- 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

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

	P.1	P.2	P.3
Prof.	N. Colpi	N. Colpi	N. Colpi
0.1	25	6	6
0.2	23	6	6
0.3	15	12	11
0.4	14	12	12
0.5	7	10	14
0.6	4	9	77
0.7	5	7	6
0.8	14	9	4
0.9	6	8	7
1	8	8	6
1.1	11	10	11
1.2	9	9	4
1.3	8	12	10
1.4	7	RIFIUTO	12
1.5	9		9
1.6	11		RIFIUTO
1.7	19		
1.8	27		
1.9	23		
2	38		
2.1	RIFIUTO		



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P.1

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	Meyerhof 1957	59.01
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	Meyerhof 1957	98.22

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	Terzaghi-Peck 1948	1.89
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	Terzaghi-Peck 1948	2.00

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	Meyerhof (1965)	27.04
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	Meyerhof (1965)	32.82

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	Menzenbach e Malcev	60.23
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	Menzenbach e Malcev	110.07

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	Schmertmann (1978) Sabbie	50.24
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	Schmertmann (1978) Sabbie	162.88

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) limo sabbioso	6.28	0.40-1.60	6.28	(A.G.I.)	0.34
Strato (3) sabbia	20.36	1.60-2.00	20.36	(A.G.I.)	0.31

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P.2

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	Meyerhof 1957	62.88

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	Terzaghi-Peck 1948	1.90

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	Meyerhof (1965)	27.36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	Menzenbach e Malcev	62.53

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	Bowles (1982) Sabbia Media	---

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) limo sabbioso con trovanti	6.93	0.40-1.30	6.93	(A.G.I.)	0.34

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P.3

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	Meyerhof 1957	57.22

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	Terzaghi-Peck 1948	1.89

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	Meyerhof (1965)	26.79

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	Menzenbach e Malcev	58.46

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	Schmertmann (1978) Sabbie	46.24

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Modulo di Poisson

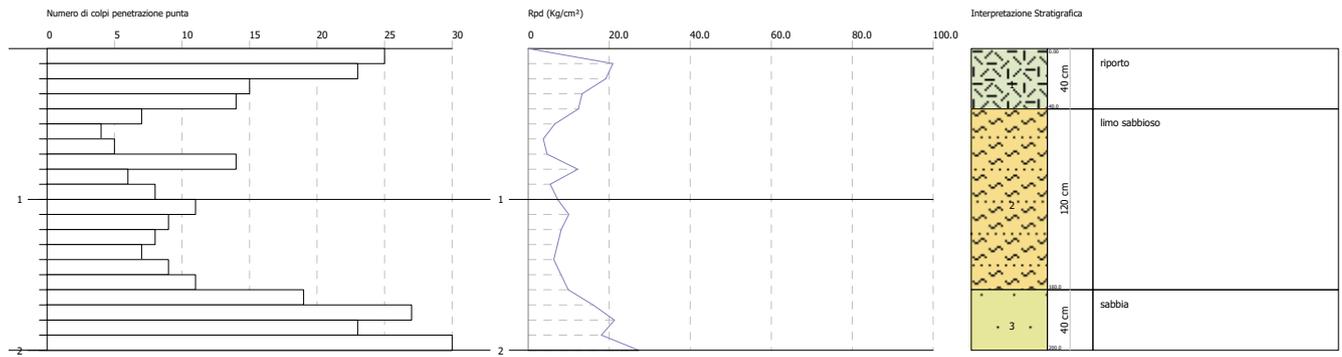
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) limo sabbioso CON TROVANTI	5.78	0.50-1.50	5.78	(A.G.I.)	0.34

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P.1
Strumento utilizzato... DMP 30

Committente: Amm.ne comunale di Smerillo
 Descrizione:
 Località: Versante ovest centro storico

Data: 16/04/2020

Scala 1:50

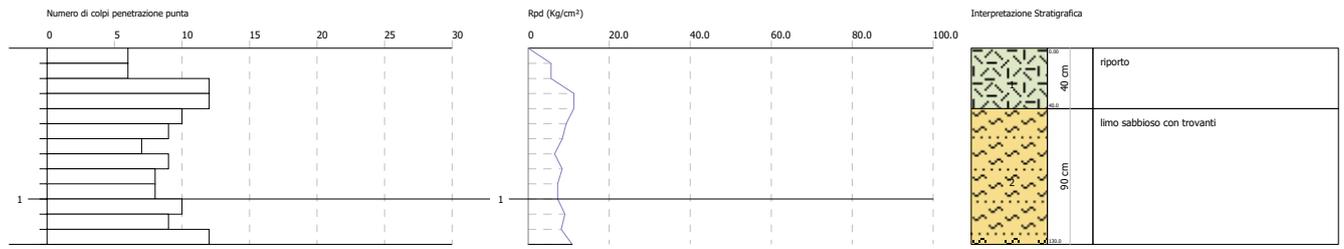


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P.2
Strumento utilizzato... DMP 30

Committente: Amm.ne comunale di Smerillo
 Descrizione:
 Località: Versante ovest centro storico

Data: 16/04/2020

Scala 1:50

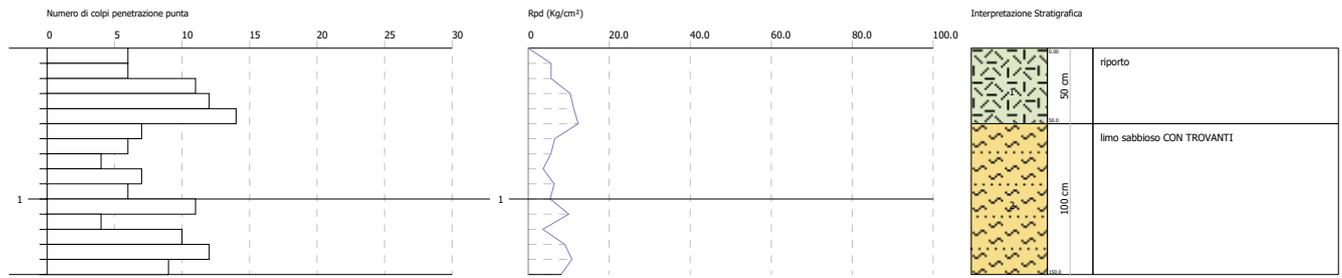


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P.3
Strumento utilizzato... DMP 30

Committente: Amm.ne comunale di Smerillo
 Descrizione:
 Località: Versante ovest centro storico

Data: 16/04/2020

Scala 1:50



RISULTATI PROVE DI LABORATORIO

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

RAPPORTO DI PROVA 20033001 del 08/06/2020

COMMITTENTE
CANTIERE
CAMPIONE

DOTT. GEOL. MATTEO POMPEI
RUPE - COMUNE DI SMERILLO (FM)
6 provini di ARENARIA consegnati in data 04/06/20

TEST	DETERMINAZIONE	METODO	U.M.	VALORE
1	resistenza a compressione	UNI EN 1926	MPa	127,2
2	resistenza a compressione	UNI EN 1926	MPa	119,4
3	indice point load	ISRM	MPa	4,73
4	indice point load	ISRM	MPa	5,11
5a	angolo di scorrimento	TILT TEST	°	36
5b	angolo d'attrito di base	TILT TEST	°	25
6a	angolo di scorrimento	TILT TEST	°	38
6b	angolo d'attrito di base	TILT TEST	°	25

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

Dott. Geol. Matteo Pompei
Via Don E. Ricci,3
62020, Monte San Martino (MC)
P.IVA 01880240435

Messa in sicurezza con consolidamento e ripristino dissesti idrogeologici sulla rupe denominata "La Fessa di Smerillo"

Allegato 2 - Elaborati prospezioni geofisiche



Committente: Comune di Smerillo (FM)

Località: Capoluogo - Rupe

Data: 14.06.2020

Il Geologo

Ordine dei Geologi delle Marche n.916

Indagine di sismica passiva HVSR – G.1

Località: Smerillo – Centro storico

Strumento: TRZ-0133/01-11

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 08/02/10 12:45:26 Fine registrazione: 08/02/10 13:05:27

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

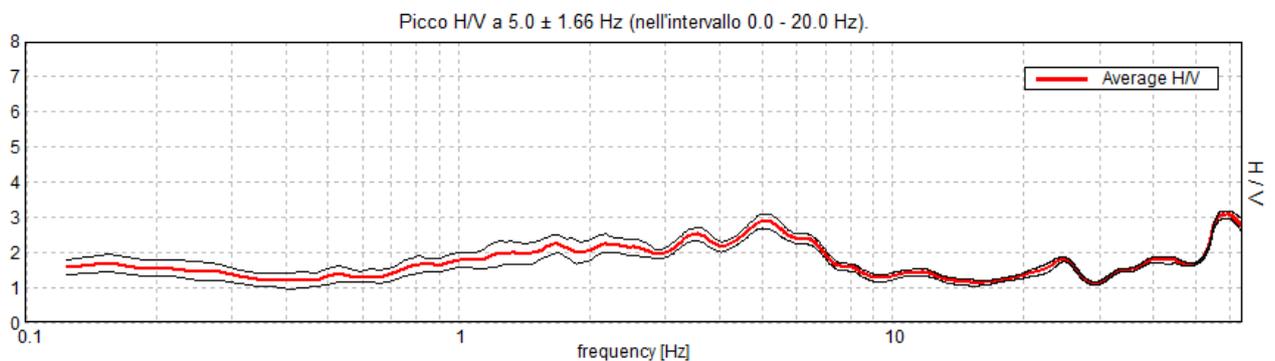
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

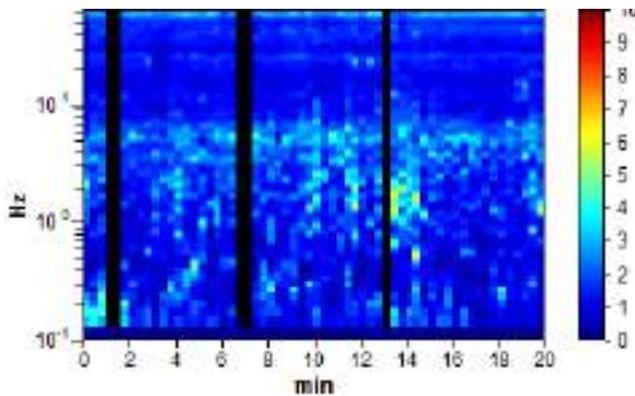
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

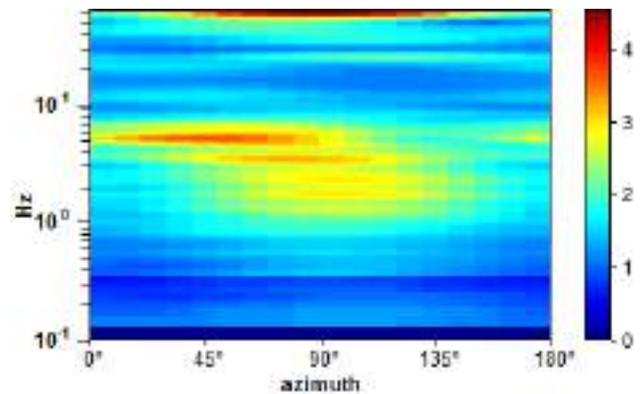
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



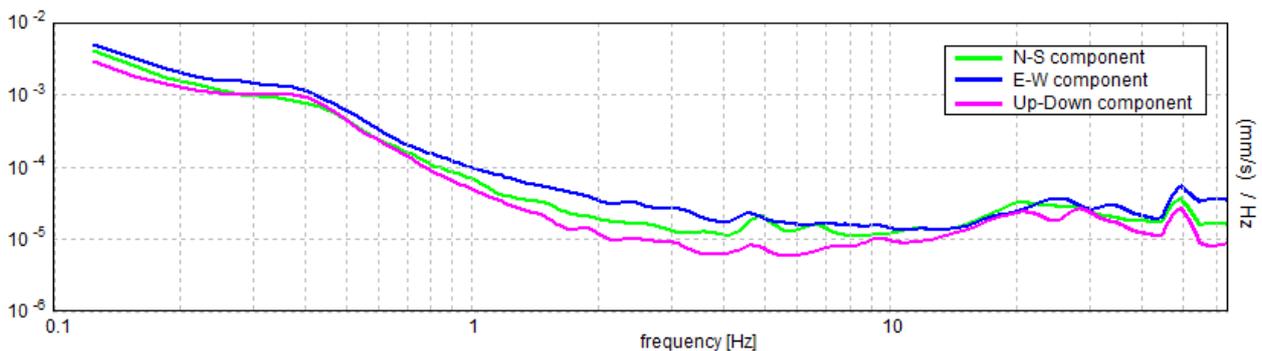
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 5.0 ± 1.66 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5500.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 241	OK	

Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.89 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.33182 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.65908 < 0.25$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2013 < 1.58$	OK	

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

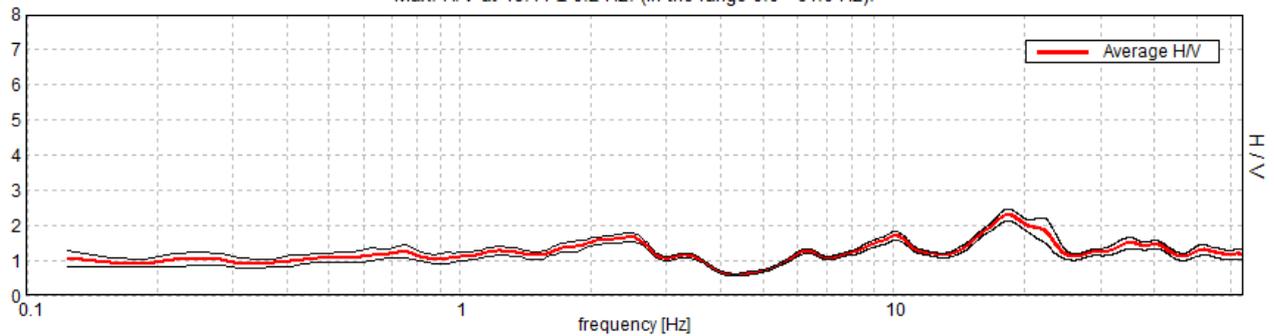
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48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

Indagine di sismica passiva HVSR – G.2

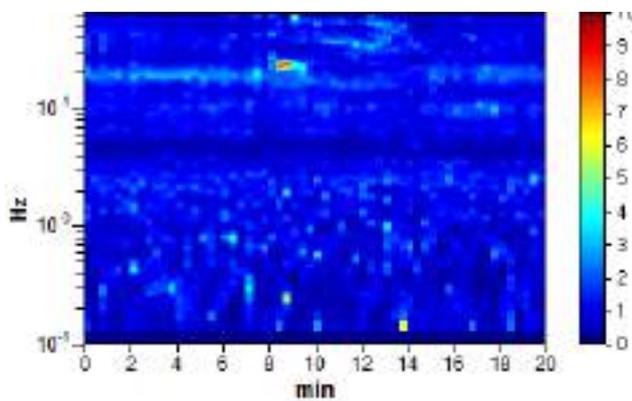
Località: Smerillo – Area Prot. Civile “Parco della Fessa”
Instrument: TRZ-0133/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 08/02/20 13:27:52 End recording: 08/02/20 13:47:52
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

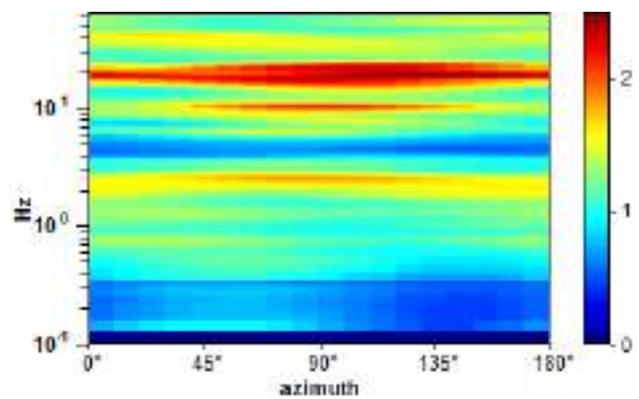
Max. H/V at 18.44 ± 0.2 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



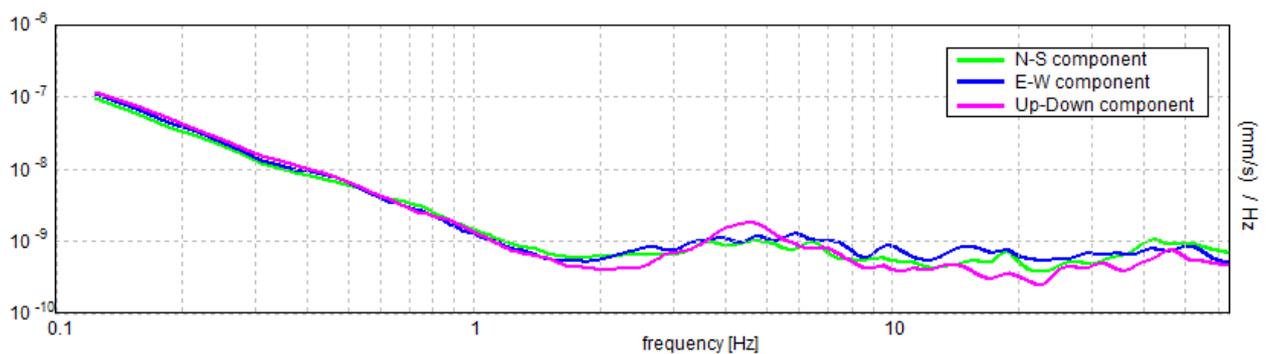
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 18.44 ± 0.2 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	18.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	22125.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 886 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	13.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	25.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.29 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01065 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1964 < 0.92188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1684 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

MASW1 – CENTRO STORICO

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a

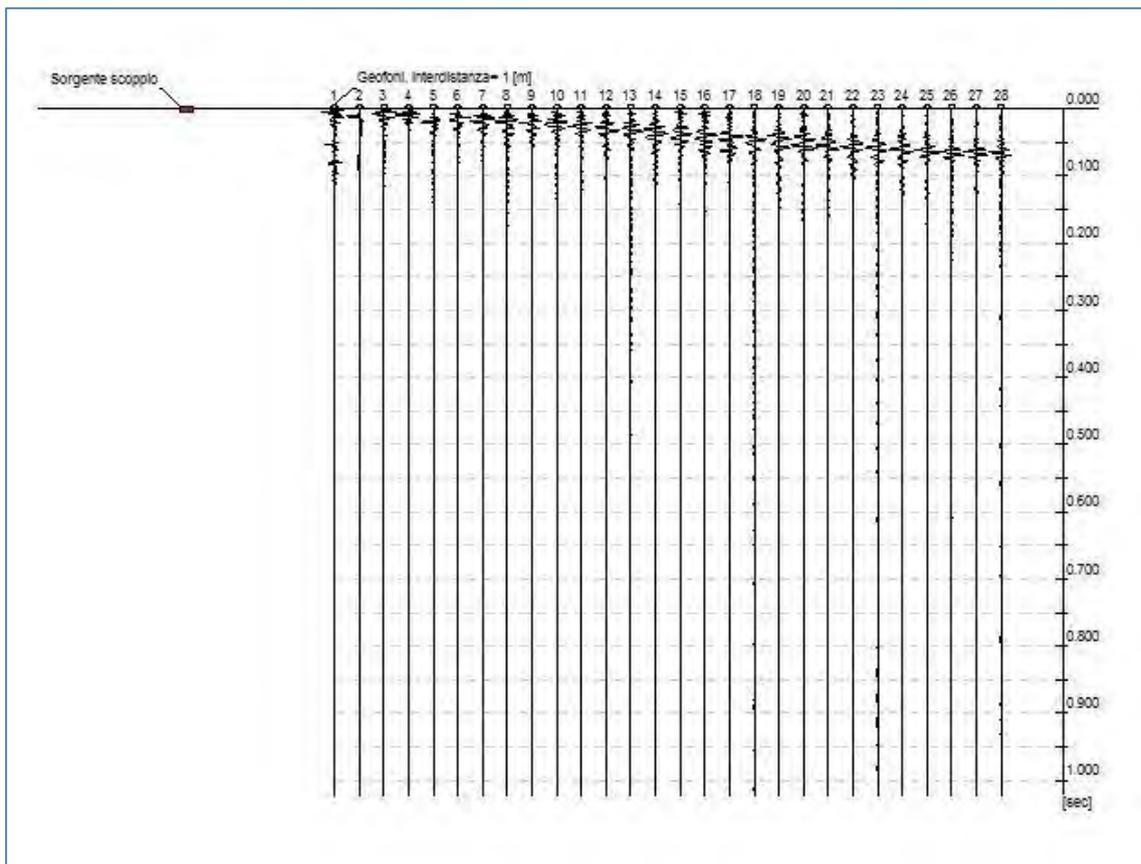
contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

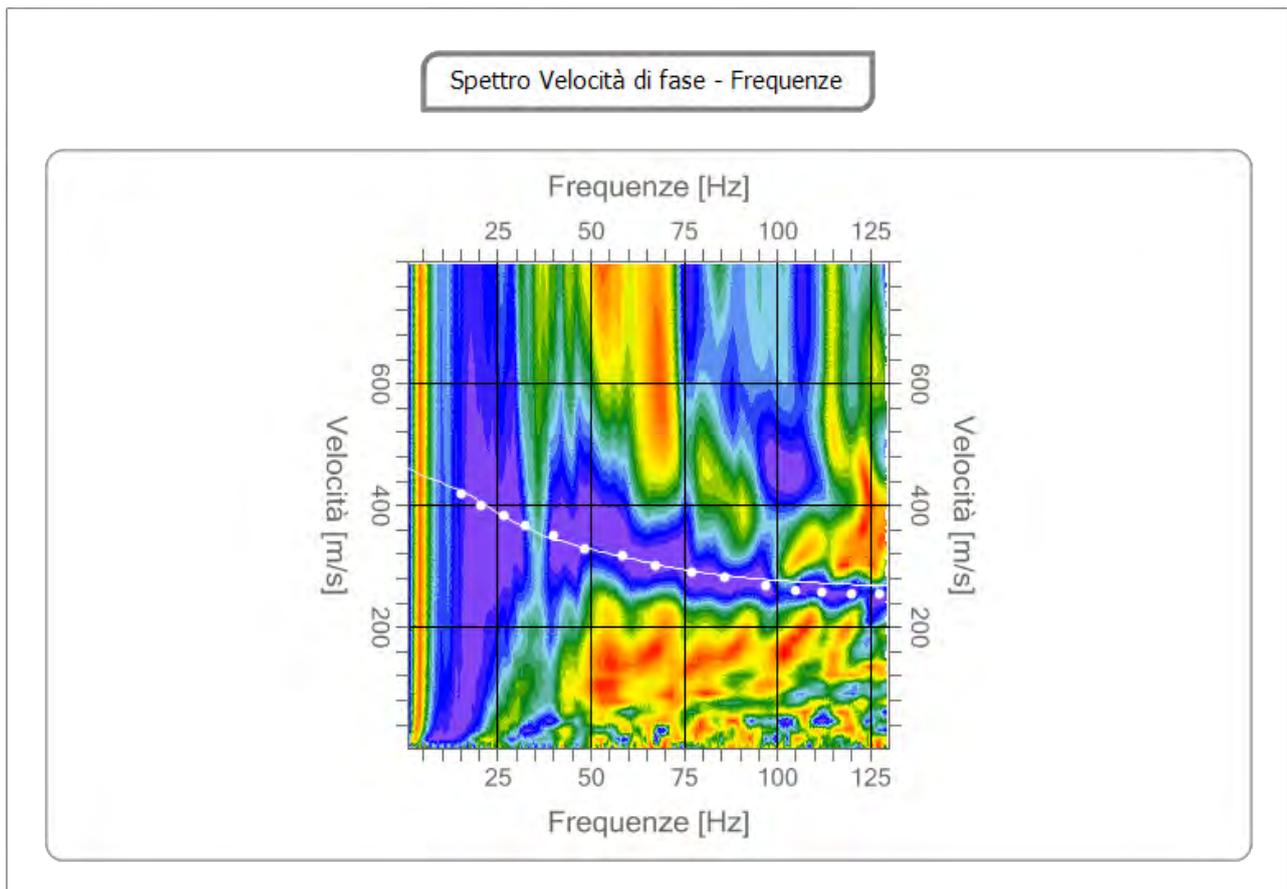
Tracce

N. tracce	28
Durata acquisizione [msec]	1024
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.953



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.3	419.7	0
2	20.5	399.0	0
3	26.7	381.3	0
4	32.4	366.6	0
5	40.0	348.9	0
6	48.6	328.3	0
7	58.6	316.5	0
8	67.6	301.7	0
9	77.1	289.9	0
10	86.1	281.1	0
11	97.1	266.4	0
12	105.2	260.5	0
13	112.3	257.5	0
14	119.9	254.6	0
15	127.5	254.6	0



Inversione

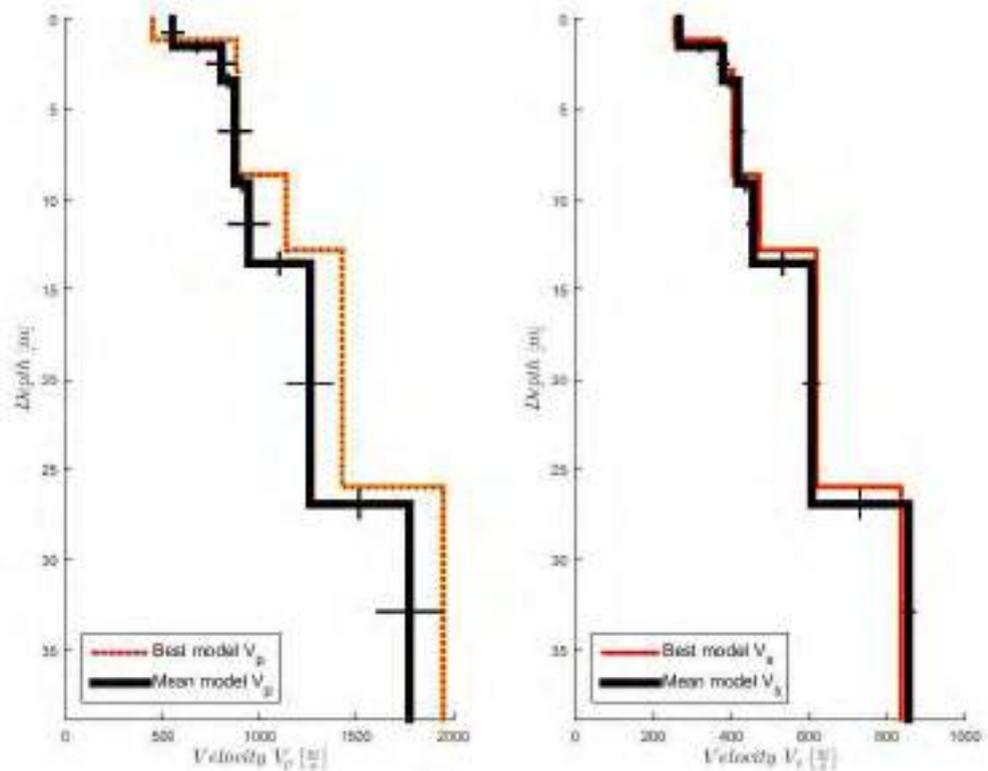
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.09	1.09	1800.0	0.3	No	528.9	245.1
2	1.93	3.02	1900.0	0.3	No	837.6	354
3	5.99	9.01	2000.0	0.3	No	866.1	425.3
4	5.04	14.05	2000.0	0.3	No	1166	569.9
5	13.8	27.85	2000.0	0.3	No	1088	611.7
6	oo	oo	1800.0	0.3	No	2340	969.9

Percentuale di errore

0.005 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.009



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vseq [m/sec]	503.00
Categoria del suolo	B

MASW2 – AREA DI PROT. CIVILE “PARCO DELLA FESSA”

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a

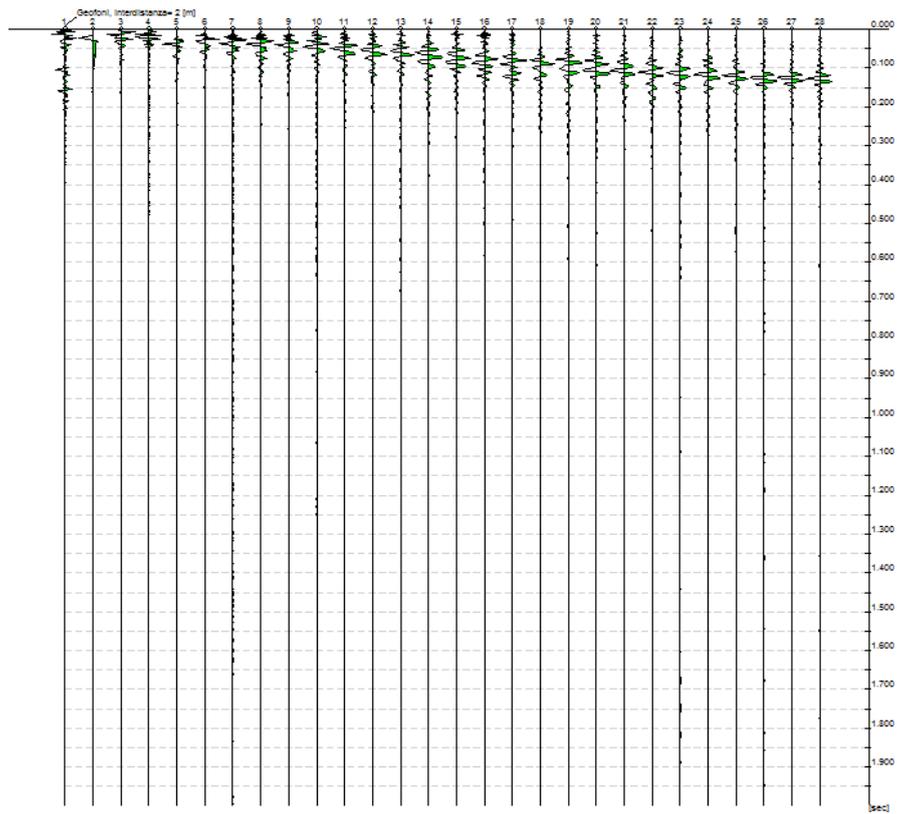
contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Tracce

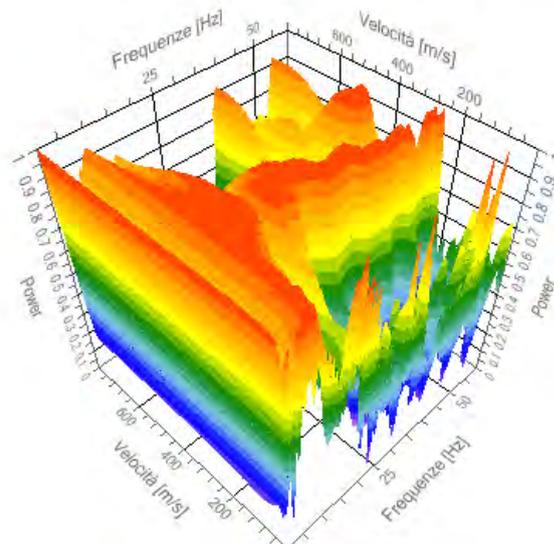
N. tracce	28
Durata acquisizione [msec]	1999.9
Interdistanza geofoni [m]	1.0
Periodo di campionamento [msec]	1.953



Analisi spettrale

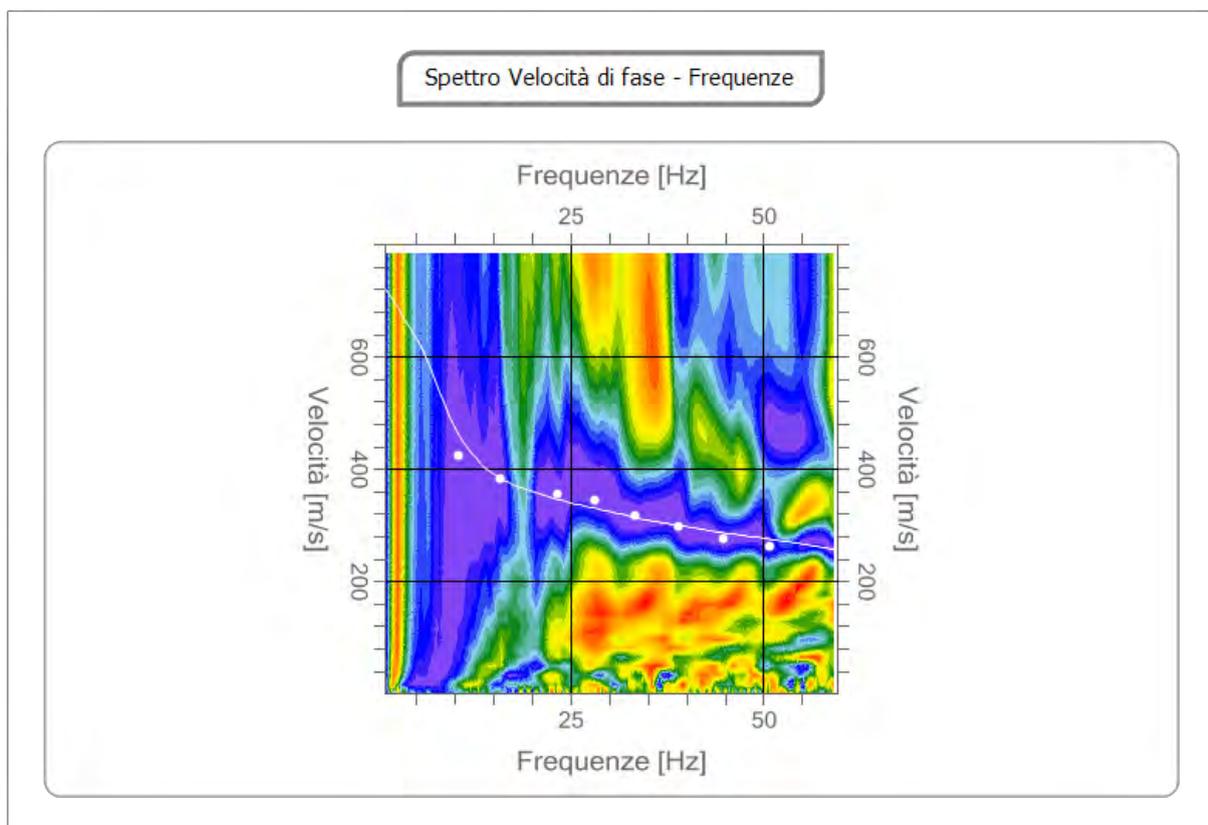
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	10.5	422.6	0
2	15.9	381.3	0
3	23.2	354.8	0
4	28.2	343.0	0
5	33.4	316.5	0
6	39.0	298.8	0
7	44.8	275.2	0
8	50.9	263.4	0



Inversione

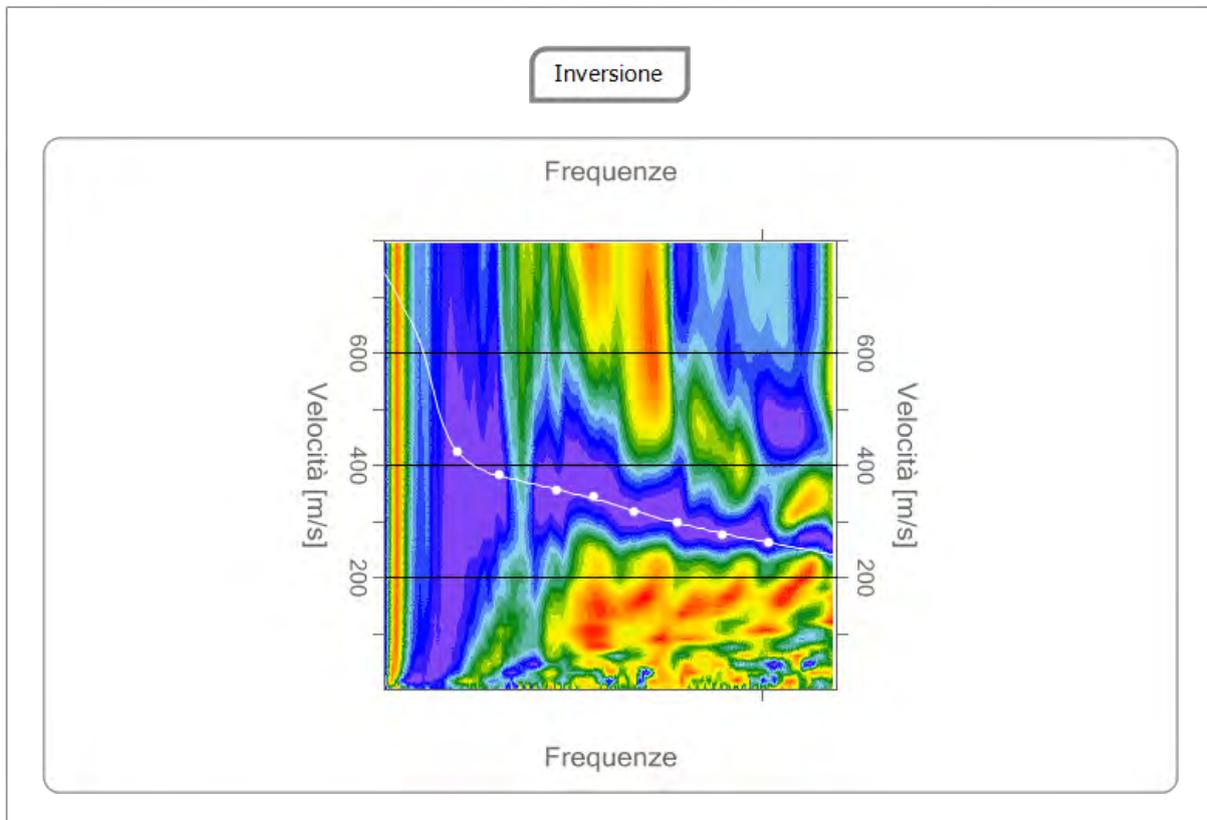
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1800.0	0.3	No	315.3	168.5
2		3.46	2.45	1800.0	0.3	No	620.9	331.9
3		20.18	16.73	1800.0	0.3	No	840.3	449.2
4		27.24	7.05	1800.0	0.3	No	1052.7	562.7
5		oo	oo	1800.0	0.3	No	1546.5	826.6

Percentuale di errore

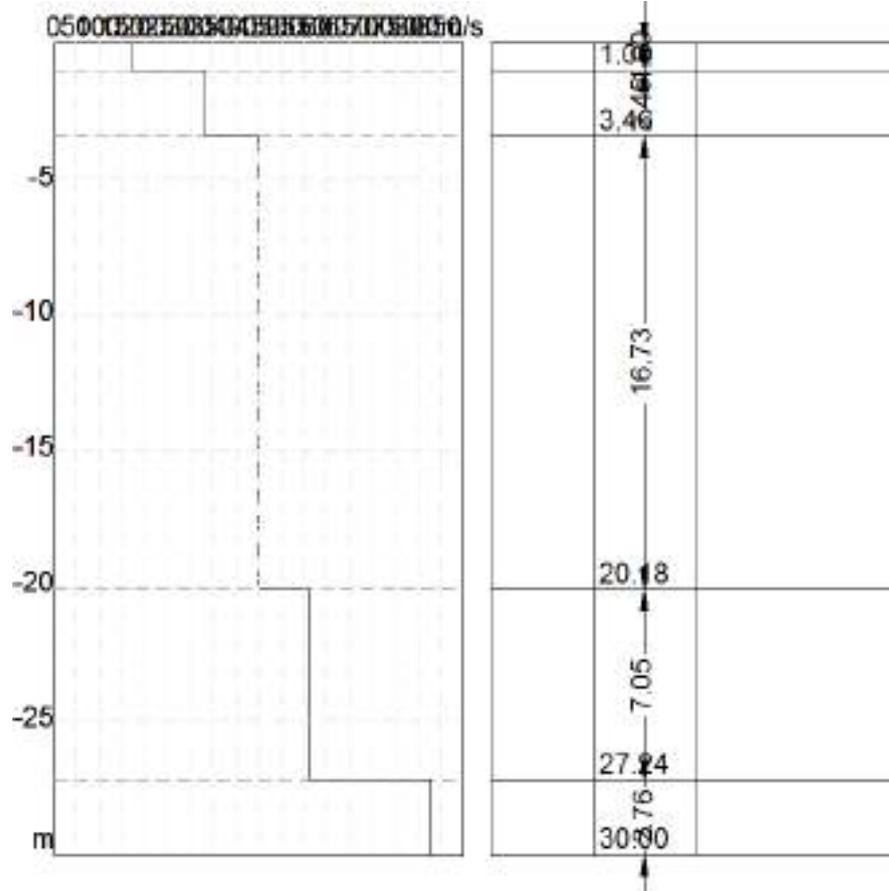
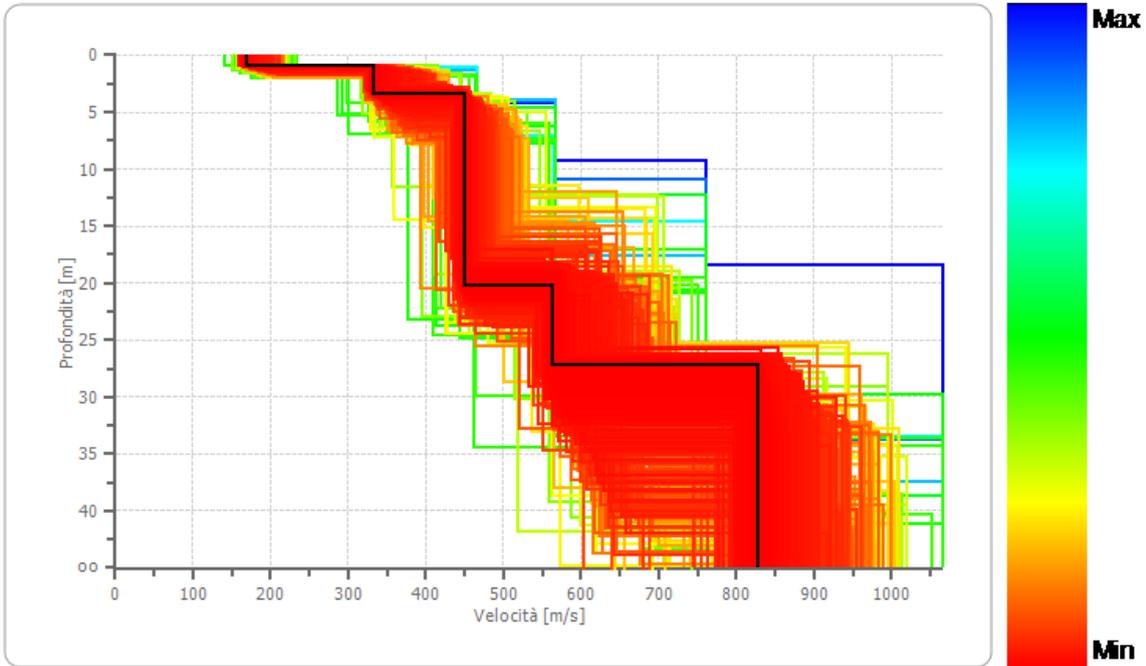
0.004 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.007



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vseq [m/sec]	451.40
Categoria del suolo	B

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1.00	168.53	315.28	1800.00	0.30	51.12	178.93	110.76	132.92
2	3.46	2.45	331.91	620.94	1800.00	0.30	198.29	694.03	429.64	515.56
3	20.18	16.73	449.16	840.30	1800.00	0.30	363.14	1271.00	786.81	944.17
4	27.24	7.05	562.69	1052.69	1800.00	0.30	569.91	1994.68	1234.80	1481.76
5	oo	oo	826.64	1546.50	1800.00	0.30	1230.00	4305.00	2665.00	3198.00

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

PROVA SISMICA A RIFRAZIONE – AREA DI PROT. CIVILE “PARCO DELLA FESSA”

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_l = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

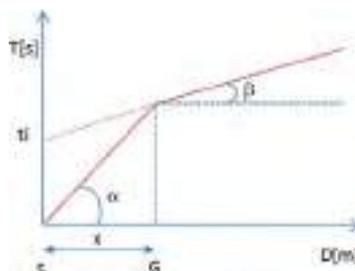
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

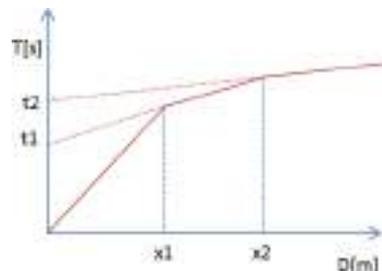
I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e

rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

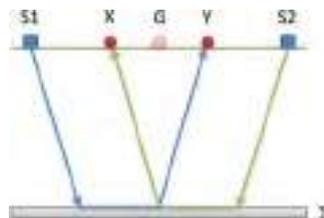


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_1^2 - V_i^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_iV_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

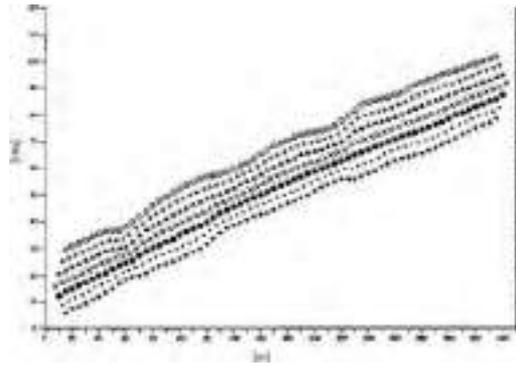
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare la **funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_2Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



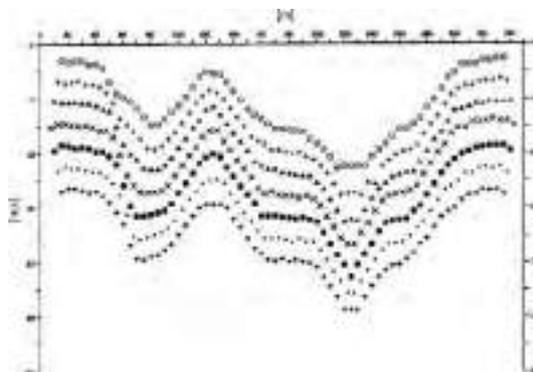
dove T_{S1Y} e T_{S2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre T_{S1S2} è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S1Y} + T_{S2X} - \left(T_{S1S2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

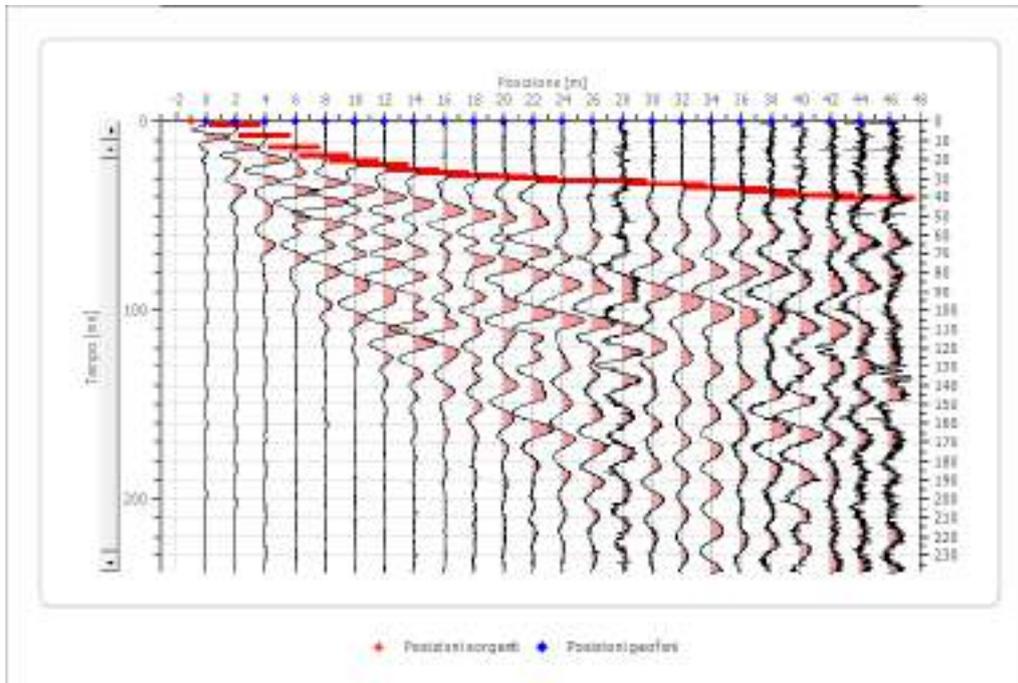
Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	2.0	0.0
3	4.0	0.0
4	6.0	0.0
5	8.0	0.0
6	10.0	0.0
7	12.0	0.0
8	14.0	0.0
9	16.0	0.0
10	18.0	0.0
11	20.0	0.0
12	22.0	0.0
13	24.0	0.0
14	26.0	0.0
15	28.0	0.0
16	30.0	0.0
17	32.0	0.0
18	34.0	0.0
19	36.0	0.0
20	38.0	0.0
21	40.0	0.0
22	42.0	0.0
23	44.0	0.0
24	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

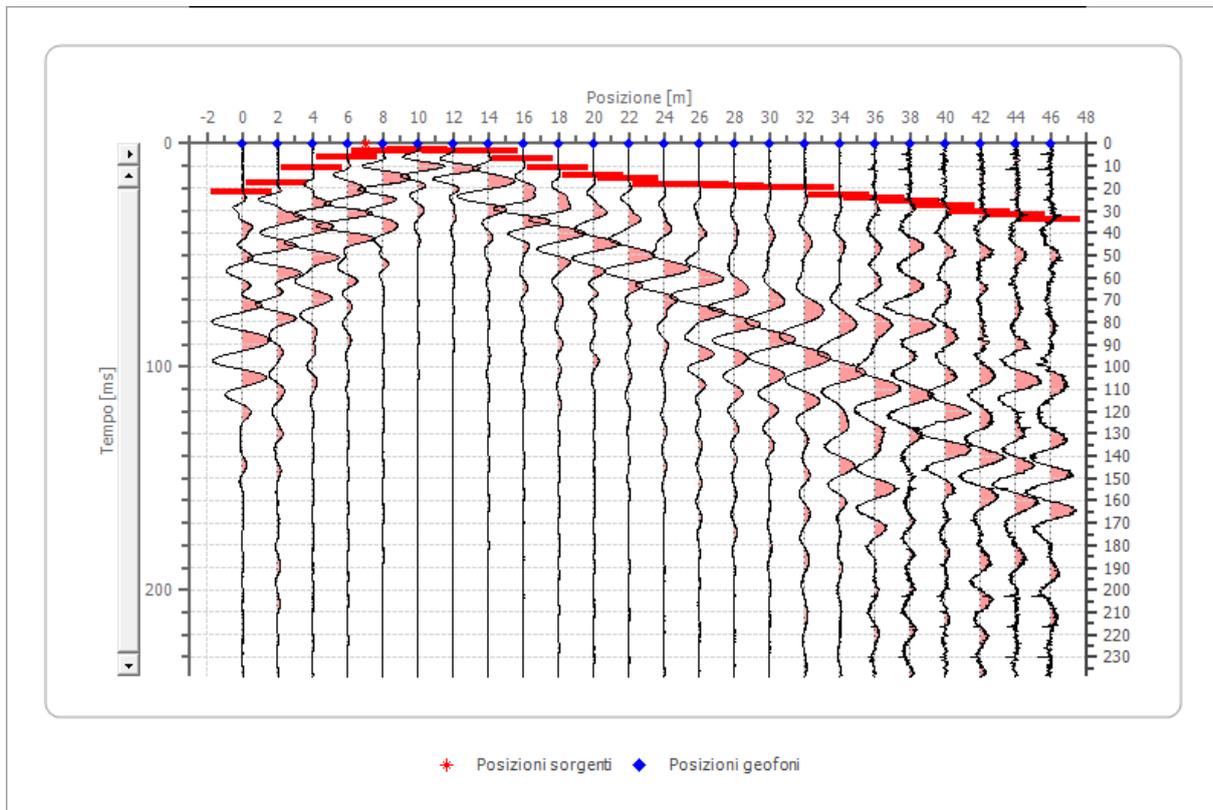
Posizione sorgente X -1 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	0.0000
2.0	2.0427
4.0	7.4900
6.0	13.6182
8.0	18.3846
10.0	21.1083
12.0	23.1510
14.0	25.8746
16.0	27.2365
18.0	28.5983
20.0	29.2792
22.0	29.9601
24.0	31.3219
26.0	31.3219
28.0	31.3219
30.0	33.3647
32.0	33.3647
34.0	35.4074
36.0	36.0883
38.0	37.4501
40.0	39.4929
42.0	39.4929
44.0	40.8547
46.0	40.8547

Battuta 2

Posizione sorgente X 7 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]



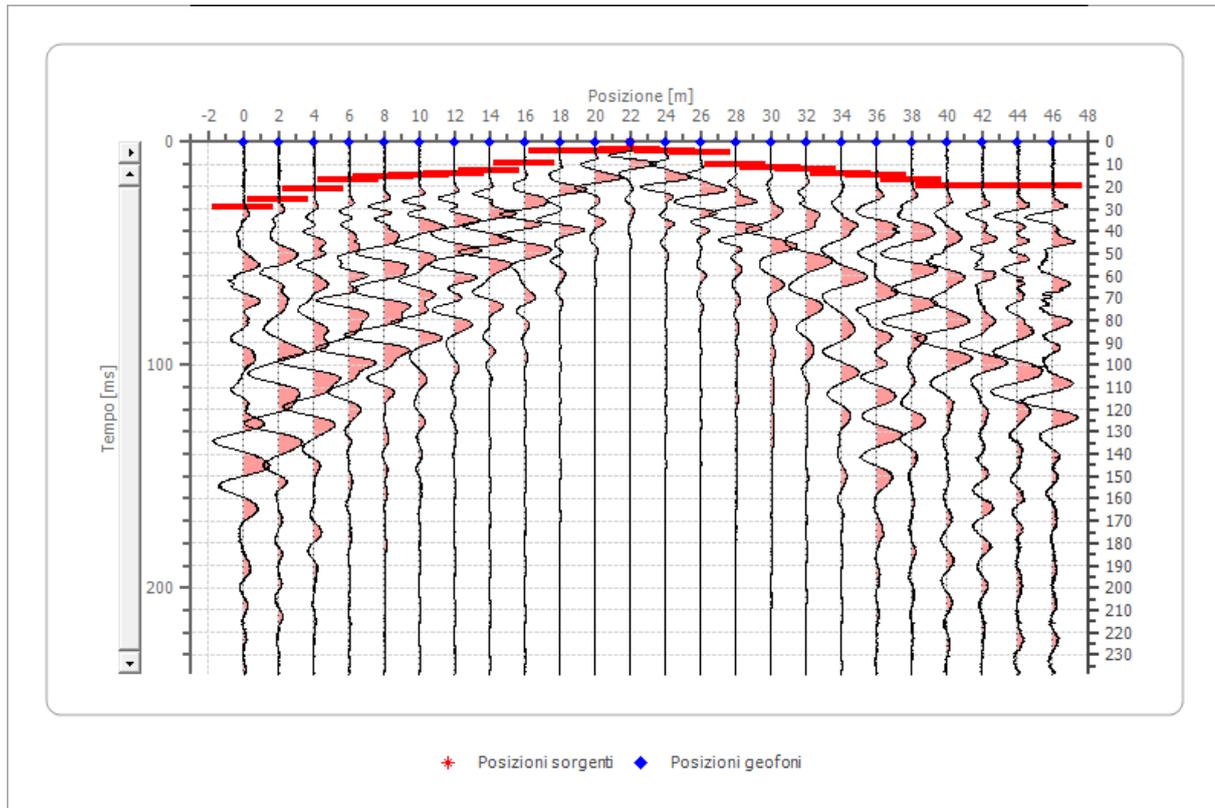
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	21.7892
2.0	17.7037
4.0	10.8946
6.0	6.1282
8.0	3.4046
10.0	2.7236
12.0	3.4046
14.0	3.4046
16.0	6.8091
18.0	10.8946
20.0	14.2991
22.0	15.6610
24.0	18.3846
26.0	18.3846
28.0	19.0655
30.0	19.7464
32.0	19.7464
34.0	23.1510
36.0	24.5128
38.0	25.8746
40.0	27.9174

	42.0	30.6410
	44.0	32.0028
	46.0	34.0456

Battuta 3

Posizione sorgente X 22 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

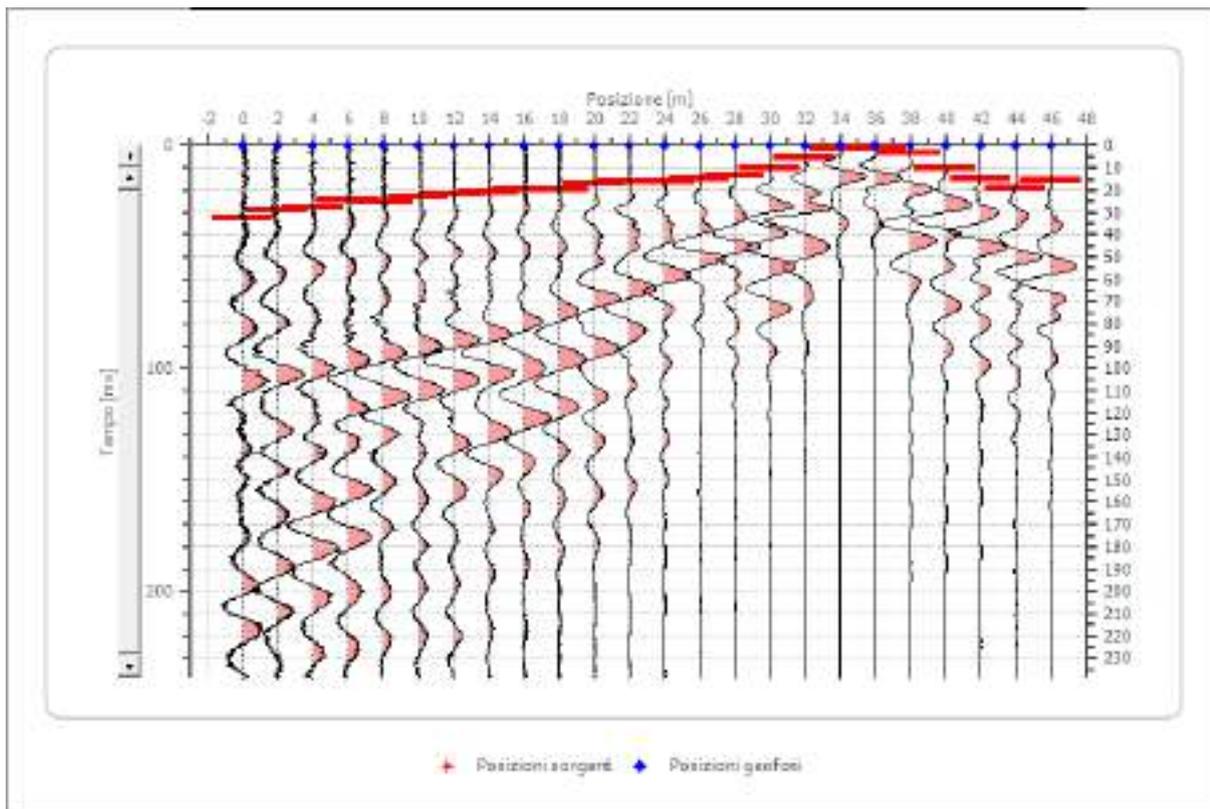


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	29.2792
2.0	25.8746
4.0	21.1083
6.0	17.0228
8.0	15.6610
10.0	14.9801
12.0	14.2991
14.0	12.9373
16.0	9.5328
18.0	4.0855
20.0	4.0855
22.0	3.4046
24.0	4.0855
26.0	4.7664
28.0	10.2137
30.0	11.5755
32.0	12.2564

	34.0	14.2991
	36.0	14.9801
	38.0	17.0228
	40.0	19.7464
	42.0	19.7464
	44.0	19.7464
	46.0	19.7464

Battuta 4

Posizione sorgente X 36 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

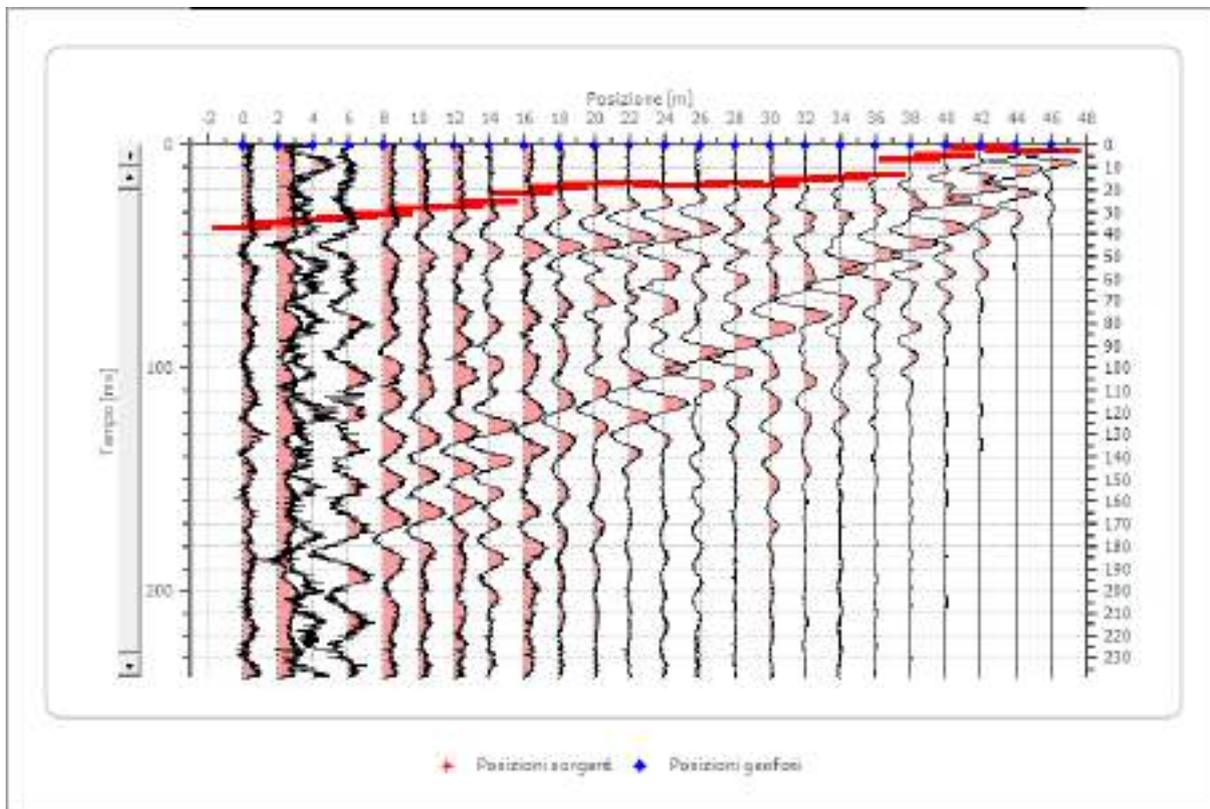


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	32.6838
2.0	29.2792
4.0	27.9174
6.0	24.5128
8.0	25.1937
10.0	23.1510
12.0	21.7892
14.0	21.1083
16.0	19.7464
18.0	19.7464
20.0	17.0228
22.0	16.3419
24.0	16.3419

26.0	14.9801
28.0	13.6182
30.0	10.2137
32.0	5.4473
34.0	1.3618
36.0	1.3618
38.0	3.4046
40.0	10.2137
42.0	14.9801
44.0	19.0655
46.0	15.6610

Battuta 5

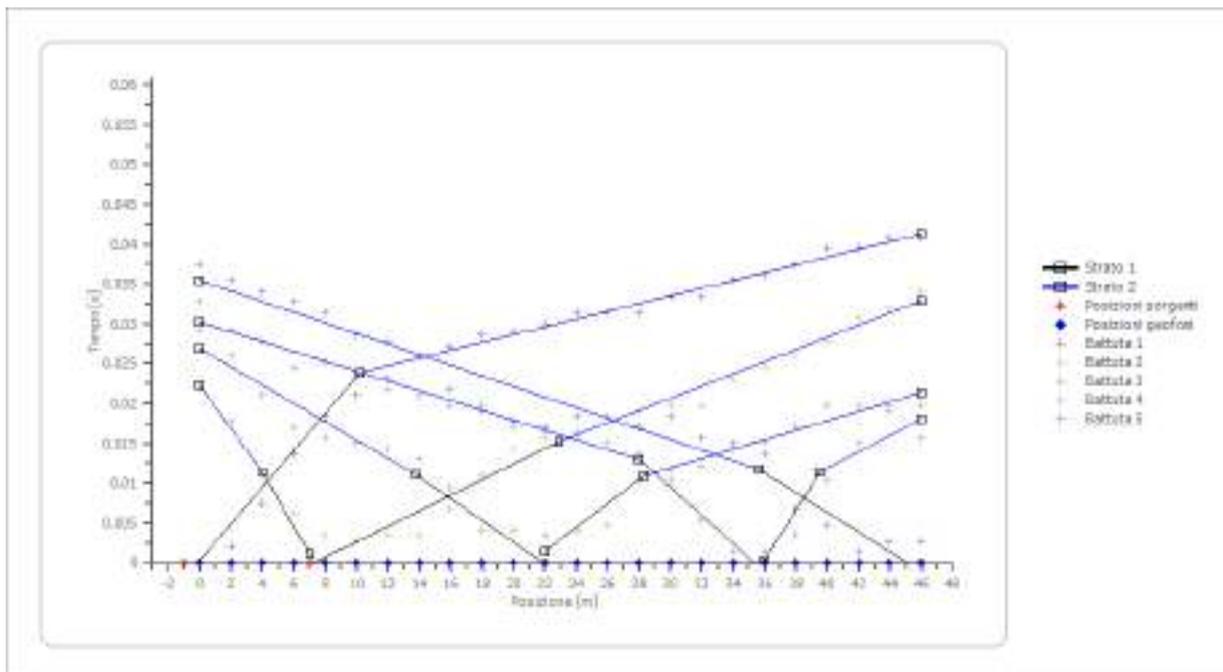
Posizione sorgente X 46 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



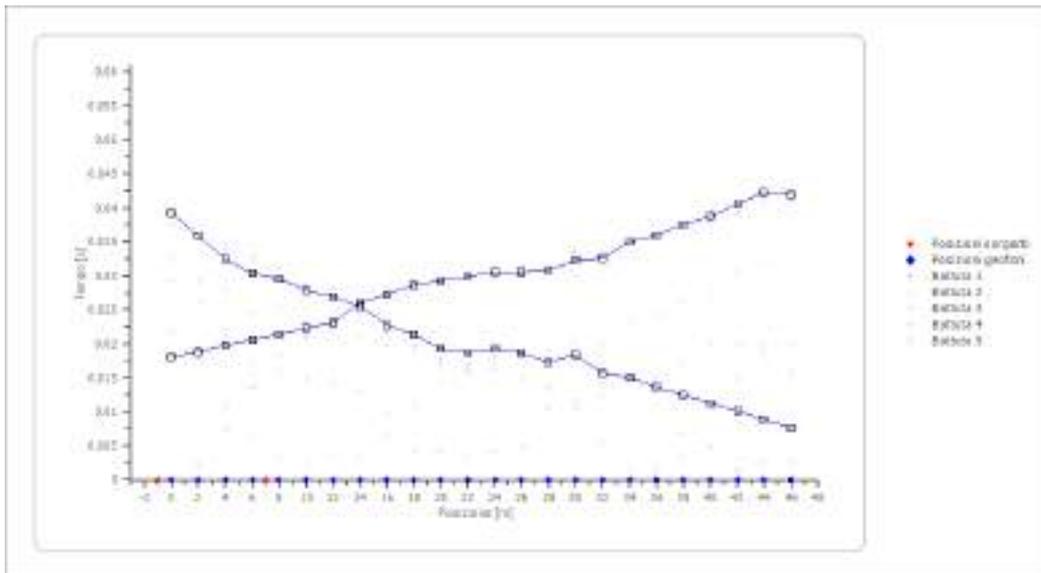
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	37.4501
2.0	35.4074
4.0	34.0456
6.0	32.6838
8.0	31.3219
10.0	28.5983
12.0	27.9174
14.0	25.8746
16.0	21.7892

	18.0	19.0655
	20.0	17.7037
	22.0	17.0228
	24.0	18.3846
	26.0	18.3846
	28.0	17.0228
	30.0	18.3846
	32.0	15.6610
	34.0	14.9801
	36.0	13.6182
	38.0	6.8091
	40.0	4.7664
	42.0	1.3618
	44.0	2.7236
	46.0	2.7236

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	6.8	--
G= 2.0 [m]	6.0	--
G= 4.0 [m]	5.0	--
G= 6.0 [m]	4.5	--
G= 8.0 [m]	4.6	--
G= 10.0 [m]	4.2	--
G= 12.0 [m]	4.2	--
G= 14.0 [m]	4.7	--
G= 16.0 [m]	4.2	--
G= 18.0 [m]	4.2	--
G= 20.0 [m]	3.7	--
G= 22.0 [m]	3.7	--
G= 24.0 [m]	4.2	--
G= 26.0 [m]	3.9	--
G= 28.0 [m]	3.5	--
G= 30.0 [m]	4.5	--
G= 32.0 [m]	3.5	--
G= 34.0 [m]	4.2	--
G= 36.0 [m]	4.0	--
G= 38.0 [m]	4.2	--
G= 40.0 [m]	4.2	--
G= 42.0 [m]	4.4	--
G= 44.0 [m]	4.6	--
G= 46.0 [m]	4.0	--
Velocità [m/sec]	683.4	1780.6
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	683.41	1780.63
Vs [m/s]	328.30	855.39
G0 [MPa]	194.01	1317.03
Ed [Mpa]	840.70	5707.14
M0 [MPa]	646.69	4390.11
Ey [Mpa]	523.82	3555.99

G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young;

