

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5737	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE LAZIO	5737-001-RT-D-0022	
	PROGETTO Rifacimento Gasdotto Colli-Broccostella DN 150-200 (6"-8") - MOP 12-24 bar	Pag. 56 di 56	Rev. 0

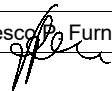
REPORT INDAGINI GEOFISICHE

COMIS SRL

Committente: Comis Srl

Oggetto: Rifacimento gasdotto Colli-Broccostella
DN 150-200 (6"-8") - MOP 12-24 bar

Titolo Elaborato: Indagini sismiche M.A.S.W. e HVSR

DATA PROVE	ID DOCUMENTO	IL RESPONSABILE DEL LABORATORIO Settore Prove in Situ
Marzo 2023	V8238/23 PS1	Ing. Francesco Furner 



INDICE

	<i>Pagina</i>
1. PREMESSA	2
2. IL PARAMETRO VS 30	3
3. L'INDAGINE GEOFISICA	5
4. PROFILI SISMICI M.A.S.W.	7
4.1 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	7
4.2 METODOLOGIA OPERATIVA	8
4.3 METODOLOGIA INTERPRETATIVA	9
5. MASW - ESAME DEI RISULTATI	11
 ALLEGATI	 17

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla COMIS Srl è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche per valutare le variazioni di velocità delle onde sismiche "S" nel sottosuolo e determinare quindi il parametro Vs30 o VsEq, in ottemperanza alla vigente normativa sismica.

A tale scopo sono stati effettuati: un profilo sismico di tipo M.A.S.W. (multichannel analysis of surface waves), e una misura di rumore sismico (HVSR), per il rifacimento del gasdotto Colli-Broccostella DN 200 (8")/150 (6") – MOP 12/24 bar – Tronco 1.

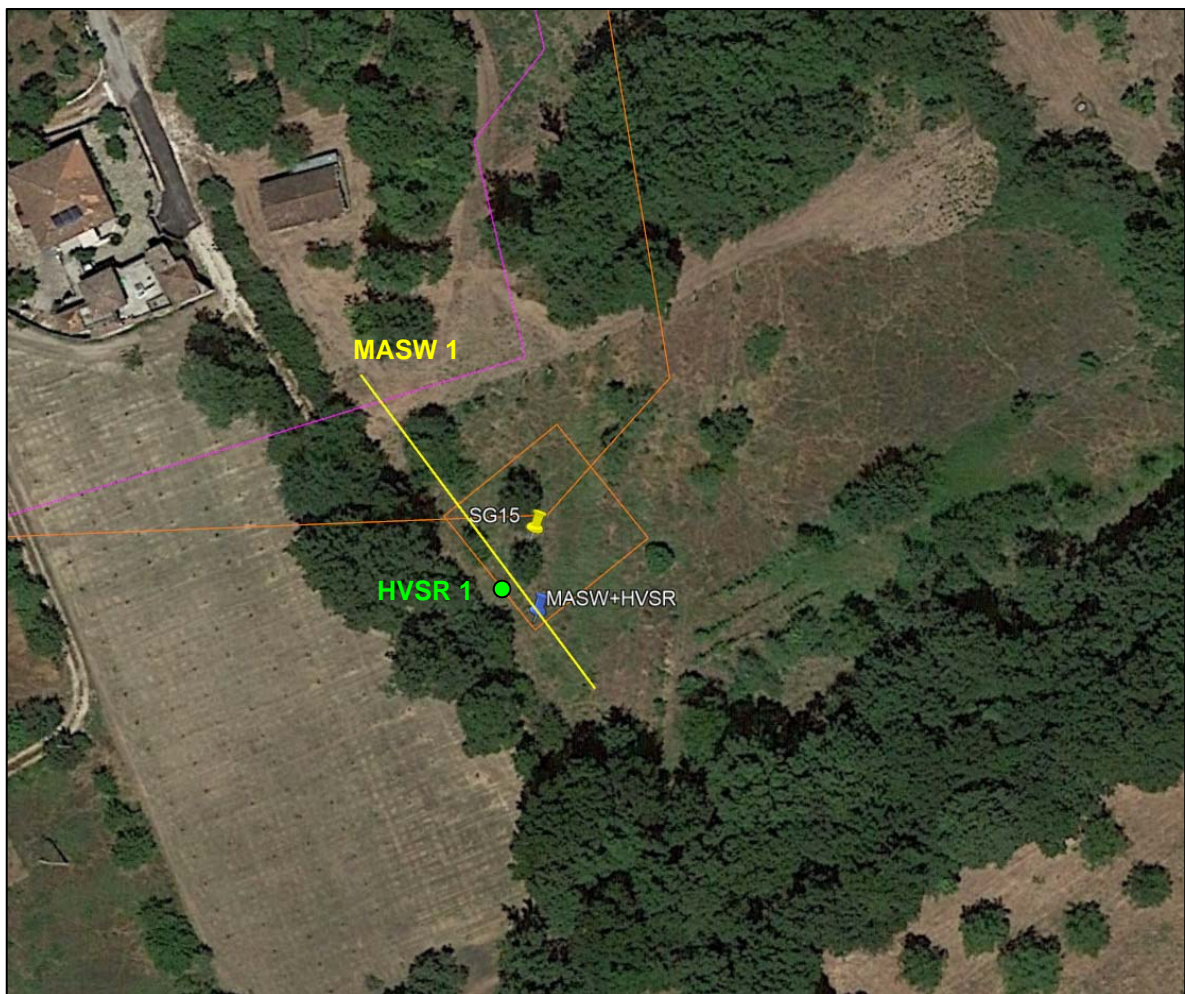


Figura 1 – Ubicazione schematica delle indagini effettuate.

2. IL PARAMETRO V_s Equivalente e V_{s30}

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro

$V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Il parametro V_{s30} rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 metri di profondità

È calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove:

V_i : velocità delle onde S dello strato i-esimo

h_i : spessore in metri dello strato i-esimo

N : numero di strati presenti nei primi 30 metri

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite come segue:

A - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

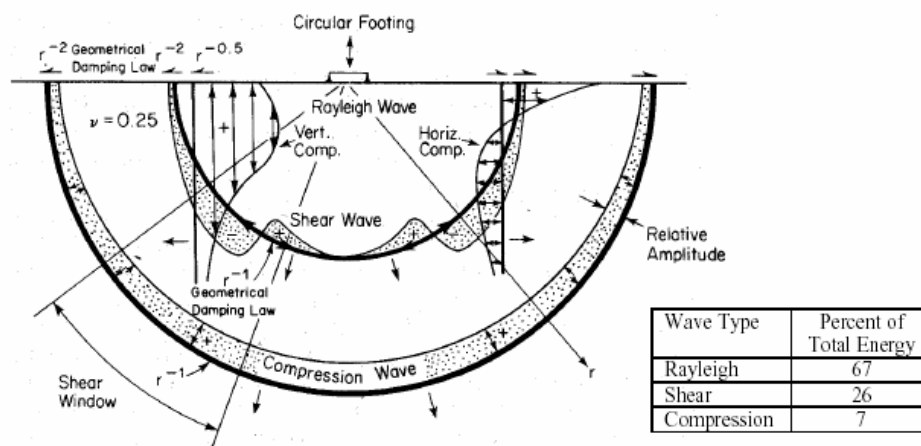
Il parametro VS30 può essere acquisito mediante:

- Prove in foro (down-hole, cross-hole)

- Profili sismici (riflessione o rifrazione)
- Modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (MASW, SASW, ReMi)

3. L'INDAGINE GEOFISICA

Il rilievo geofisico, è basato sull'impiego della MASW (multichannel analysis of surface waves) per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio (V_S) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con *algoritmi genetici*



I vantaggi dell'uso di questa metodologia geofisica rispetto ai metodi tradizionali sono:

1. Particolarmente indicato per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi
2. Non limitato – a differenza del metodo a rifrazione – dalla presenza di inversioni di velocità in profondità
3. Buona risoluzione (a differenza del metodo a riflessione)
4. Permette la ricostruzione della distribuzione verticale della velocità delle onde di taglio (S) – fondamentale per la caratterizzazione geotecnica del sito

Inoltre:

- La percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
- L'ampiezza delle *surface waves* dipende da \sqrt{r} e non da r come per le *body waves*

4. PROFILI SISMICI M.A.S.W .

4.1. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sismografo a 24 canali della PASI di Torino, modello 16SG24, con processore Pentium IV, display VGA a colori in LCD-TFT 10.4" TouchScreen, trattamento del segnale a 16 bit, trattamento dei dati Floating Point 32 bit, supporto di memorizzazione mediante Hard-Disk da 40 Gb, con funzione di incremento multiplo del segnale ad opzione per l'inversione di polarità, attivazione di filtri "passa alto", "passa basso" e "notch" in acquisizione o post-acquisizione. I guadagni sono selezionabili da software manualmente per ogni canale o in modo automatico e le acquisizioni sono automaticamente registrate sullo strumento.

Sono stati 24 geofoni da 4,5 Hz e, come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 5 Kg battuta su una piastra metallica.



4.2. METODOLOGIA OPERATIVA

Acquisire un set di dati per l'indagine MASW non è molto diverso da una comune acquisizione per un'indagine a rifrazione (o riflessione). E' sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale (martello).

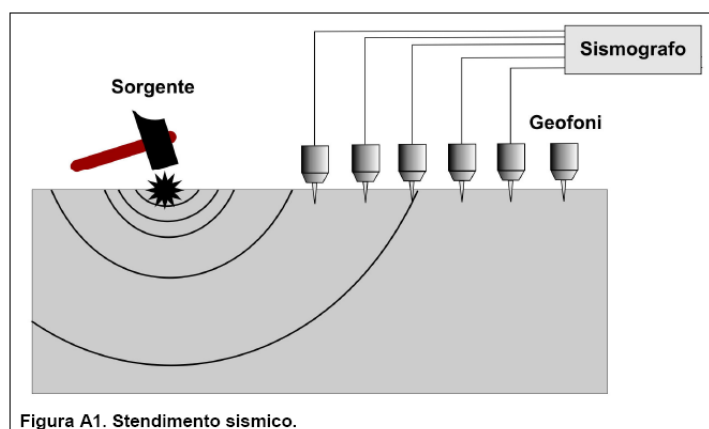


Figura A1. Stendimento sismico.

Il profilo MASW è stato eseguito utilizzando n° 24 geofoni allineati sul terreno con un'interdistanza di 2,0 metri; i punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 4,0 e 8,0 m dal geofono n° 1.

4.3. METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software *winMASW* consente di analizzare dati sismici (*common-shot gathers* acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della V_s (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità
- 2) inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici

Gli algoritmi evolutivi rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche *global-search methods* o *soft computing*).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi evolutivi offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun

modello di partenza. E' invece necessario definire uno “spazio di ricerca” (*search space*) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni.

Quella finale viene infine proposta con anche una stima della sua attendibilità (*deviazioni standard*) attenuata grazie all'impiego di tecniche statistiche.

Il principale punto di forza del software utilizzato è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli ottenibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità.

4.4. ESAME DEI RISULTATI

Il profilo con gli spessori dei litotipi e le velocità riscontrate nell'indagine effettuata nel sito esaminato, è riportato in *Allegato 1* e riassunto nella tabella seguente.

Gasdotto Colli-Broccostella – Profilo 1

Vs (m/sec)	269	351	565	712
Spessore (m)	4.4	5.2	4.3	semispazio

Sono stati individuati quattro sismostrati principali:

- il primo sismostrato, rilevato per uno spessore di 4.4 m, è caratterizzato da una velocità delle onde S di 269 m/s;
- il secondo, dello spessore di 5.2 m, ha fatto registrare una velocità delle onde di taglio (V_S) di 351 m/s;
- il terzo, dello spessore di 4.3 m, ha fatto registrare una velocità delle onde di taglio (V_S) di 565 m/s;
- il quarto ed ultimo strato ha uno spessore minimo di 25 m e velocità delle onde S di 721 m/sec.

I valori delle velocità misurate sono in buon accordo con quelle tipiche dei litotipi presenti nell'area investigata. Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una **Vs30** (al piano campagna) pari a **490 m/sec**, individuando, insieme alle valutazioni litologiche, un suolo di **tipo B**.

Per altre informazioni relative alle indagini sismiche si rimanda all'*Allegato 1*.

5.1. HVSR (HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO)

E' un'indagine finalizzata 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.

Un'onda SH (onda di taglio polarizzata sul piano orizzontale) che incide verticalmente dal basso sull'interfaccia di un singolo strato (es. bedrock-copertura) tenderà a rimanere intrappolata in superficie per riflessioni multiple (alla superficie libera, al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4 H$, ossia alle frequenze descritte dalla legge:

$$f = n \cdot \frac{V_s}{4 \cdot H} \quad n = 1,3,5, \dots$$

dove n indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.). Nella maggior parte dei casi nei sistemi copertura tenere vs. bedrock, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un qualsiasi tremore di qualsiasi origine.

Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque anche senza terremoti ed è il principio alla base della sismica passiva a stazione singola.

Una stima delle frequenze proprie di vibrare dei terreni è possibile tramite la tecnica sismica passiva a stazione singola denominata H/V (rapporto spettrale tra componenti orizzontali H e componenti verticali V; Nogoshi e Igarashi, 1979; Nakamura, 1989).

Le tecniche sismiche passive sfruttano il campo di vibrazione ambientale che è composto prevalentemente da onde di superficie (SESAME, 2004 e referenze).

Considerazioni sia teoriche che sperimentali mostrano come sia possibile stimare le frequenze di risonanza dell'onda SH a partire da misure di onde di superficie.

HVSR – STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per l'acquisizione di dati HVSR è stato utilizzato il sismografo **Gemini-2** della PASI, un unico contenitore con integrati una terna di geofoni a bassa frequenza con elevate caratteristiche, veri sensori da 2Hz accuratamente accoppiati e un potente acquisitore dati 24 bit reali. Dotato di interfaccia USB e il relativo software di acquisizione dati per PC.



Di seguito sono riassunte le Specifiche tecniche del sensore **Gemini-2**

Freq. Naturale di risonanza: 2 Hz +/-10%
Sensibilità: 2 V/cm•S-1 +/- 5%
Resistenza interna: 5.8k Ω +/-5%
Damping: 0.7 +/-10%
Distorsione armonica: \leq 0.2%
Resistenza d'isolamento: \geq 10 M Ω
Temp. funzionamento: da -25°C a + 55°C
Bloccaggio sensori: automatico per il trasporto
Dimensioni: diam. 128mm, h. 175mm
Peso: 2.15 kg

5.2. HVSR - ESAME DEI RISULTATI

Dalle misure effettuate e dall'elaborazione dei dati (sempre con il software *winmasw professional*) è stato ricavato il seguente valore di frequenza fondamentale (f_0):

Di seguito i risultati considerando i dati nella finestra di frequenza 0.5-20.0Hz

HVSR -1

Frequenza di Picco (Hz): 3.0 (± 0.9)

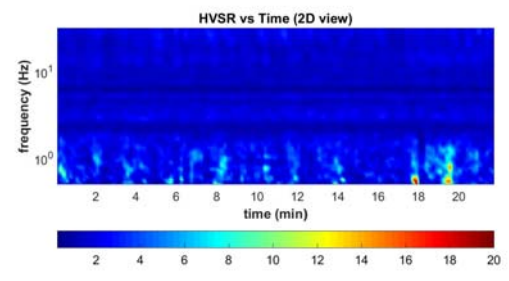
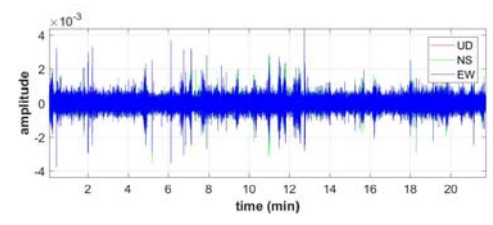
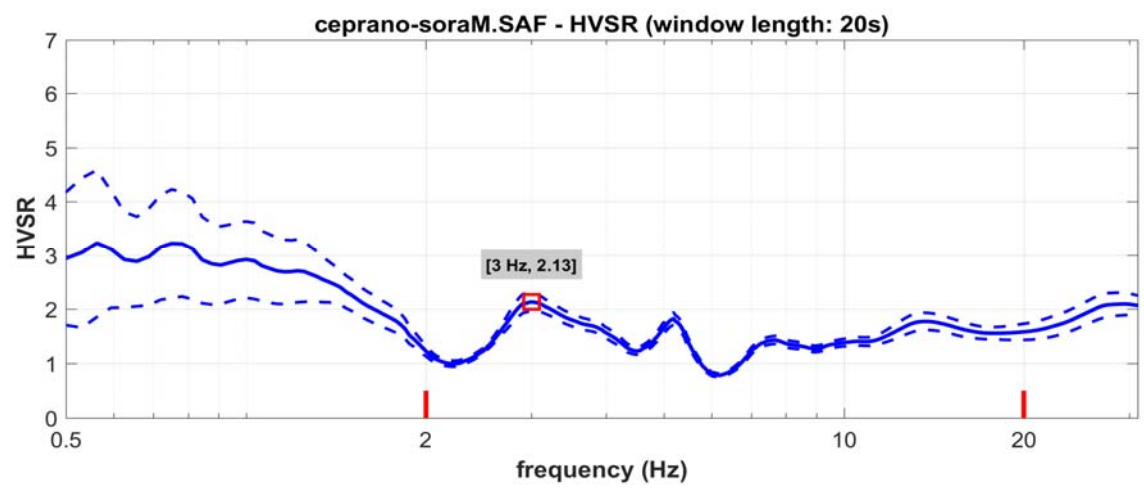
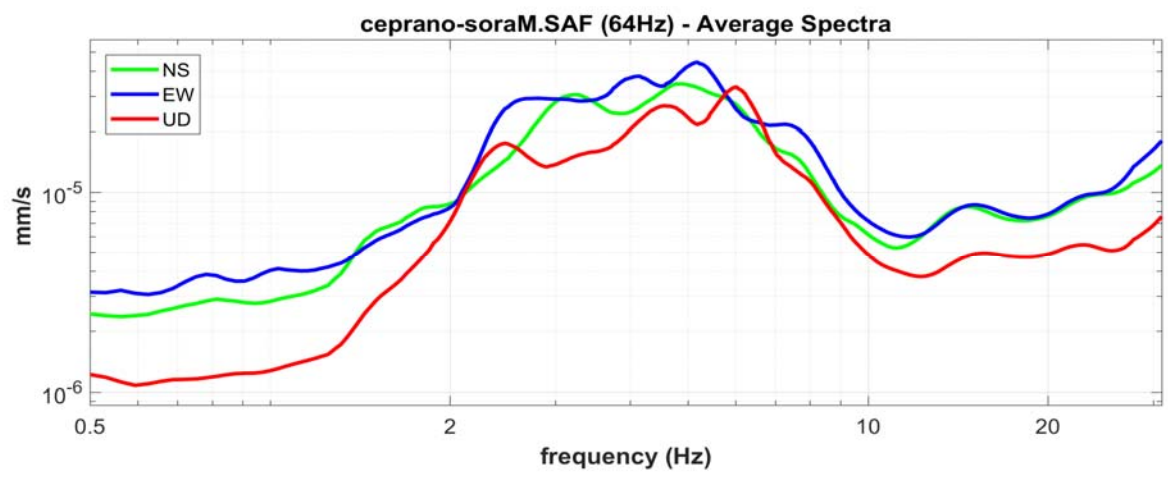
Valore HVSR di picco: 2.1 (± 0.2)

=== **Criteri per una curva H/V affidabile** =====

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $3.003 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $7868 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== **Criteri per un picco H/V chiaro (almeno 5 dovrebbero essere soddisfatti)** ==

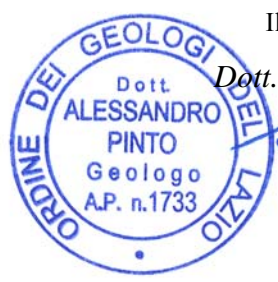
- #1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.1Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $2.1 > 2$ (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $4.948 > 0.150$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $1.418 < 1.58$ (OK)



Cassino, marzo 2023

Il tecnico prospettore

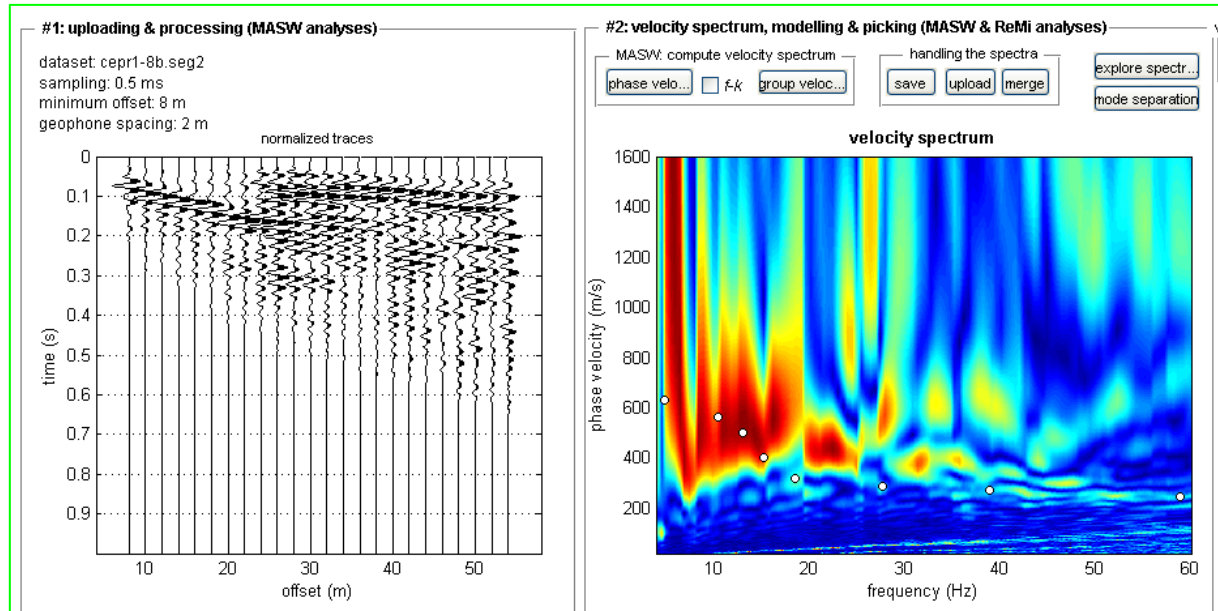
Dott. Geol. Alessandro Pinto



Alessandro Pinto

ALLEGATO 1
ELABORATI M.A.S.W.

Gasdotto Colli-Broccostella - Profilo1



MODELLO MEDIO:

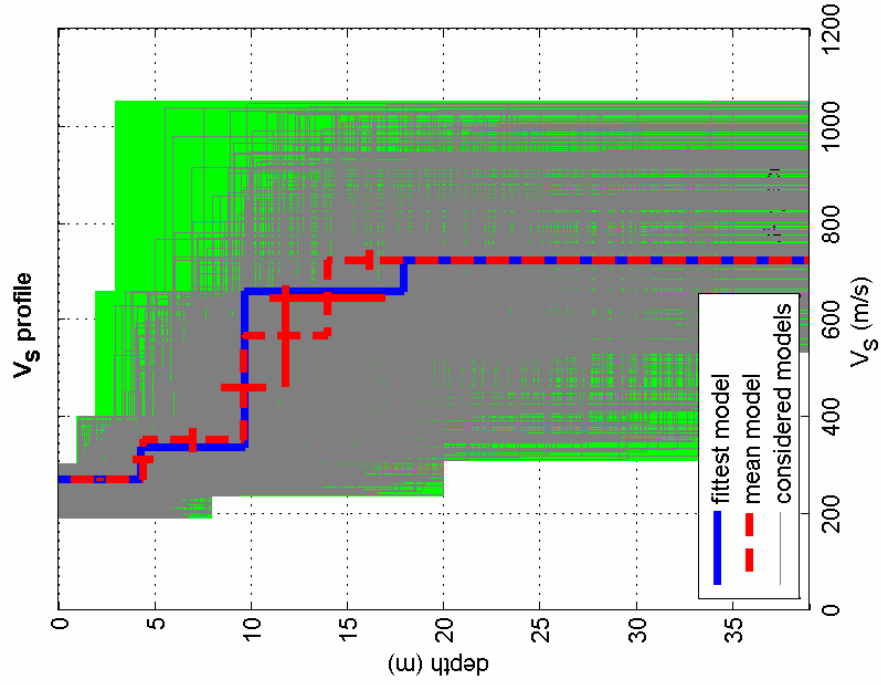
Vs (m/sec)	269	351	565	712
Spessore (m)	4.4	5.2	4.3	semispazio

Massima Profondità di Penetrazione in Approssimazione "Steady State Rayleigh Method": 34 m

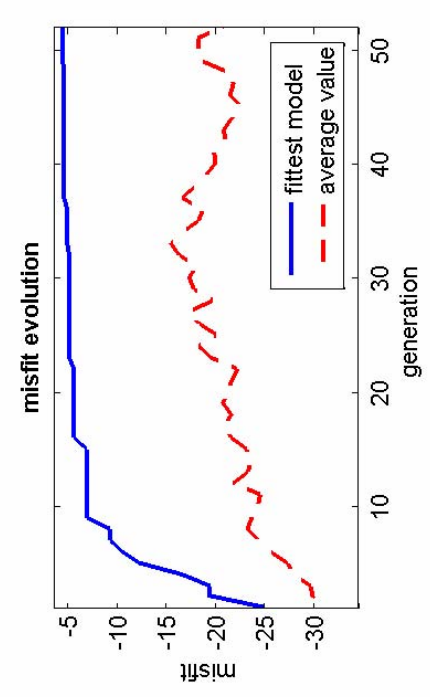
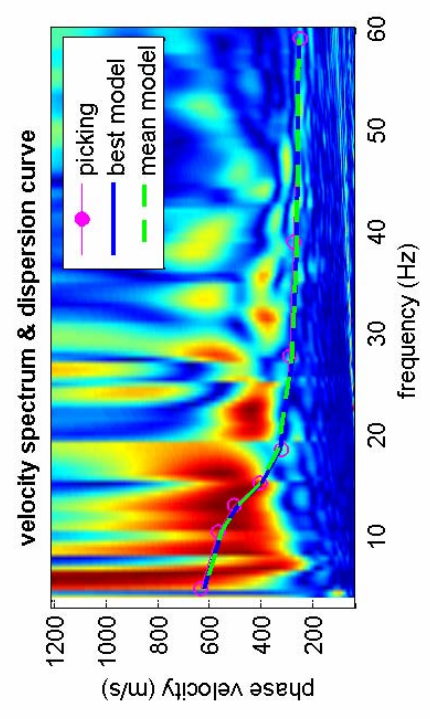
VS20 del modello medio: 422 m/s

VS30 del modello medio: 490 m/s

Vs 30 = 490 m/sec



dataset: cepr1-8b.seg2
 dispersion curve: cepr1.cdp
 Vs30 (best model): 489 m/s
 Vs30 (mean model): 490 m/s



www.winmasw.com

ALLEGATO 2

IMMAGINI DELLE INDAGINI EFFETTUATE

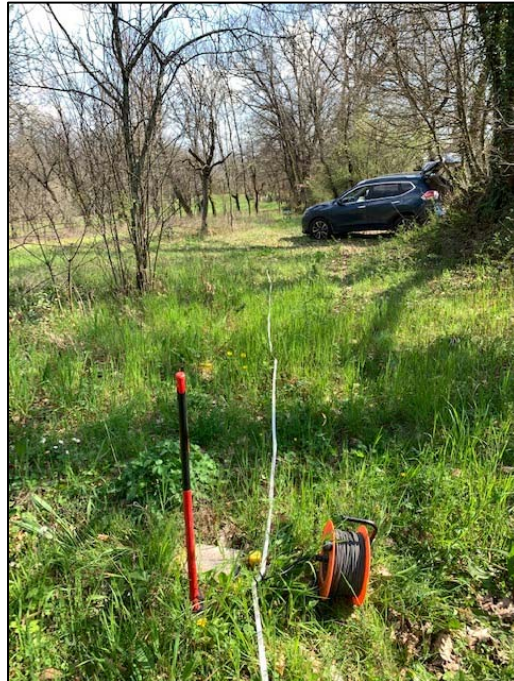


Foto 1 - Esecuzione della prova MASW1

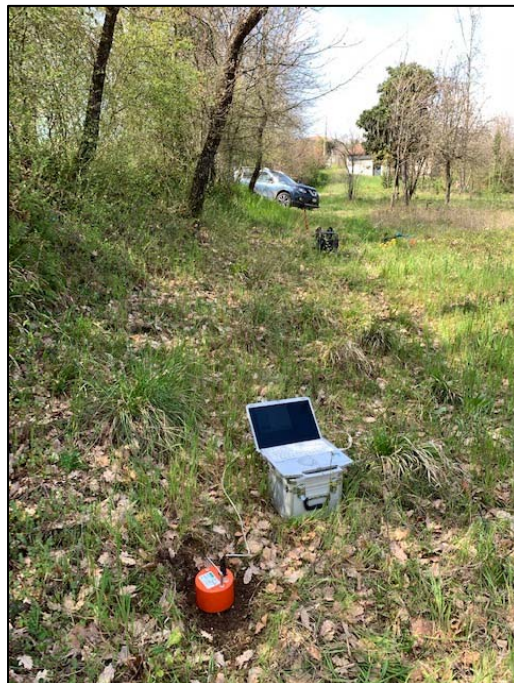


Foto 3 – Esecuzione dell'indagine HVSR1