

4. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

n°	Strumentazione Sismica
1	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch - 24 bit
1	Computer portatile HP per registrazione dei dati di campagna
24	Geofoni verticali con frequenza pari a 4,5 Hz
1	Cavo di collegamento per geofoni
1	Trigger dispositivo "hammer switch"
1	Massa battente del peso di 6,5 kg

5. FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE

Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- ricostruzione di una sezione sismo-stratigrafica secondo le onde sismiche di compressione P;
- ricostruzione di una successione sismica stratigrafica secondo in funzione delle onde di taglio S.
- definire il valore Vs30 per la classificazione dei suoli di fondazione nelle categorie previste dalla normativa antisismica

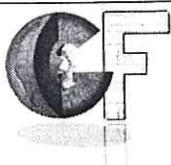
6. LAVORI SVOLTI

In accordo con la Committenza, l'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione, elaborato con metodo tomografico. Inoltre, in corrispondenza dello stendimento sismico costituito da 24 geofoni, è stata acquisita una prova "Re.Mi." e una prova "MASW". L'ubicazione del profilo è riportata nell'allegato 1.

Di seguito si riporta il dettaglio delle indagini:

Profilo sismico a rifrazione n°	prove Re.Mi. n°	prove MASW n°	Interdistanza Geofoni (m)	Geofoni n°	Lunghezza * (m)
1	1	1	2,5	24	60

* Si ricorda che la misura riportata per il profilo è comprensiva dei punti di scoppio esterni allo stendimento geofonico realizzato.



STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO

Sede: Strada d'Istieto n. 6 - 53100 SIENA -
Tel: +39 0577 378209 - Fax: +39 0577 378209
e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu
www.studiogf.eu
C.F.: GRGFPP70S301726P - P.IVA: 01327030522

7. PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE TOMOGRAFICO (ONDE P)

Lo scopo della prova consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito attraverso la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p), secondo fasi d'acquisizione differenti e determinare le geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) dei sismostrati individuati.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, lungo il profilo da indagare, delle sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale (geofoni).

Nel presente rilievo è stato adottato una configurazione sismica realizzata con un sistema ricevente composto da 24 geofoni. Tali ricevitori sono stati disposti sul terreno con interdistanza pari a 2,5 metri per una lunghezza del profilo totale di 60 metri compreso i punti di scoppio esterni. I punti di energizzazione sono stati realizzati con intervallo di 4 geofoni.

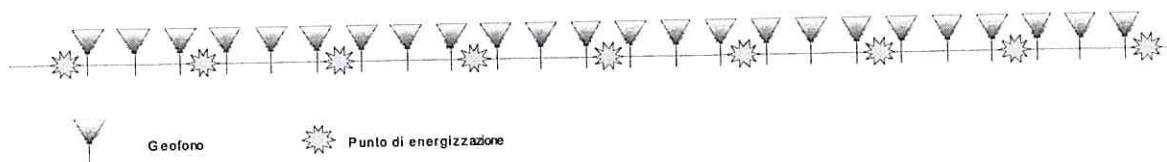
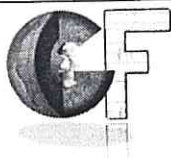


Figura 7.1: rappresentazione schematica di array sismico a rifrazione

Dai sismogrammi registrati con il rilievo sismico eseguito con le caratteristiche sopra citate si ricavano i tempi di "primo arrivo" dell'onda sismica. Tali tempi sono riportati nel grafico dromocrone nella figura dell'allegato 1.

I tempi sismici delle onde P sono stati elaborati con metodologia tomografica che prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle quadrate o rettangolari secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica. Nell'elaborazione il programma di calcolo determina il tempo di transito ipotizzando dei valori di velocità sismica per ogni cella, tale processo cessa quando si raggiunge la minore discordanza tra i tempi calcolati e i tempi sismici sperimentali misurati sui sismogrammi.

Il modello sismico derivato da tale processo, detto inverso, permette di ottenere una sezione in due dimensioni che ci consente di poter effettuare una interpretazione per definire un assetto stratigrafico in base alla velocità sismica e al gradiente di velocità.



8. ONDE SUPERFICIALI MASW E REMI

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh.

Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S. Tuttavia, diversi studi hanno messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di secondo ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S.

Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

8.1 Onde superficiali MASW

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato sullo studio spettrale delle onde superficiali presenti in un sismogramma realizzato per mezzo di un'energizzazione sismica artificiale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle onde Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).



La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale e nel registrare tramite uno sfidamento lineare di sensori le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

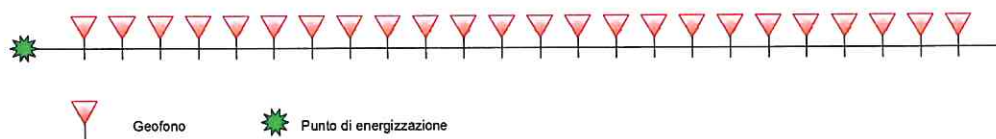


Figura 8.1.1: rappresentazione schematica di array per acquisizione di MASW

In riferimento all'indagine geofisica la prova MASW è stata acquisita con le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Spaziatura dei geofoni: 2,5 metri;
- Frequenza geofoni: 4,5 Hz;
- Tempo di registrazione degli eventi: 2 s;
- Tempo di campionamento: $0,25 \times 10^{-3}$ s;
- offset minimo 2,5 - 5 metri

La metodologia "MASW" consente di eseguire un'analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S.

Il profilo verticale delle velocità sismiche delle onde S (V_s) è ottenuto tramite l'inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

Ottenuto il sismogramma si determina lo spettro di velocità sul quale si identifica la curva di dispersione.

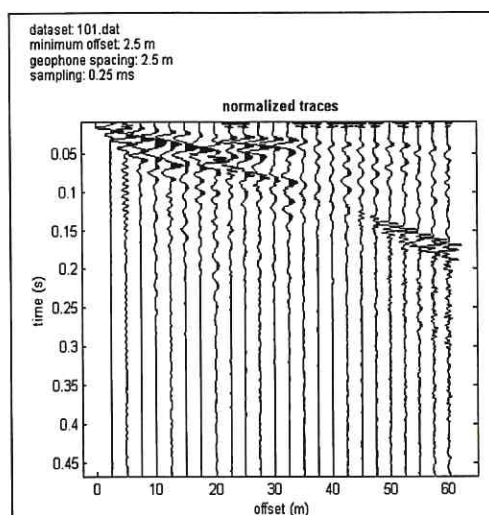


Figura 8.1.2: sismogramma

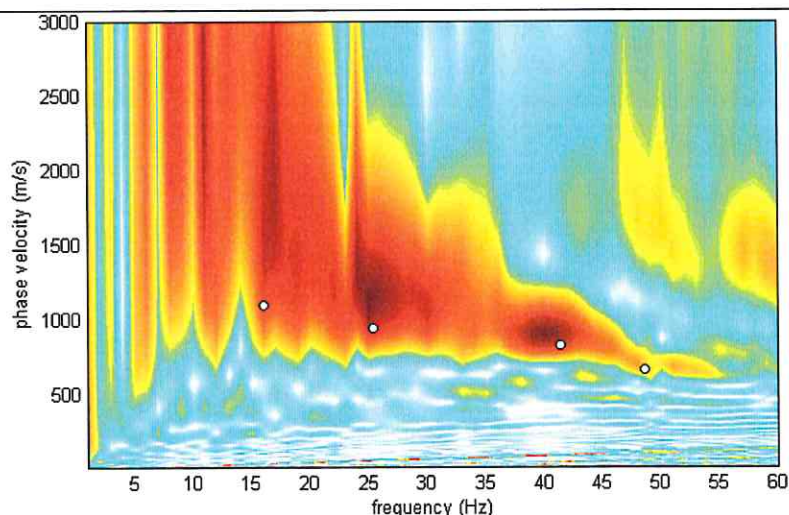


Figura 8.1.3 : spettro di velocità con curva di dispersione e picking

L'operazione di inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di V_s e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalla sismica a rifrazione.



Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui (ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori) sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.

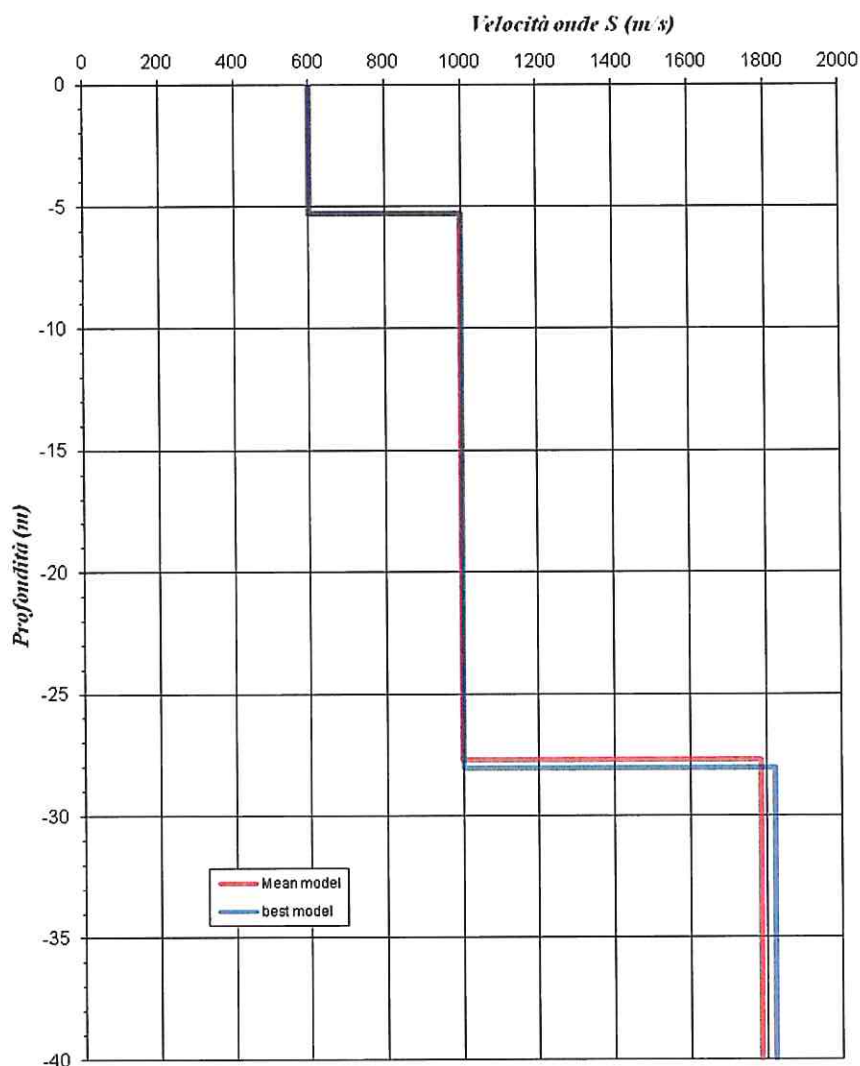


Figura 8.1.4: modello interpretativo

8.2 Onde superficiali ReMi

Il metodo di indagine ReMi (Refraction Microtremor) è basato sullo studio spettrale delle onde superficiali presenti in una registrazione sismica di microtremori naturali e/o artificiali a bassa frequenza, che si propagano all'interno del mezzo indagato. Lo scopo della prova Re.Mi, consiste nel determinare il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh ed un successivo processo d'inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). L'acquisizione dei dati è stata eseguita utilizzando la



STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO

Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA –
Tel: +39 0577 378209 - Fax: +39 0577 378209
e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu
www.studiogf.eu

C.F.: GRGFPP70S301726P – P.IVA: 01327030522

strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo; vedi figura 8.2.1) disposta sul terreno con array lineare da 24 geofoni.

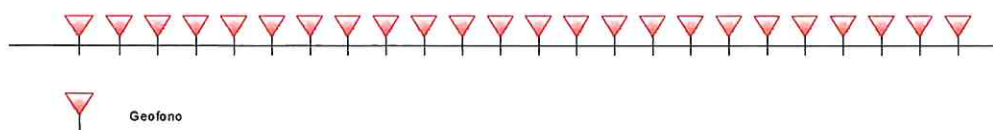


Figura 8.2.1: rappresentazione schematica di array per acquisizione ReMi

In riferimento all'indagine geofisica la prova Re.Mi. è stata acquisita con le seguenti caratteristiche:

- Numero geofoni: 24;
- Spaziatura dei geofoni: 2,0 metri;
- Frequenza geofoni: 4,5 Hz;
- Tempo di registrazione degli eventi: 30 s;
- Tempo di campionamento: 2×10^{-3} s;
- n° 8 registrazioni.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f), che studia l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni (orizzontale e verticale) lungo la linea sismica, e nel rappresentarne poi lo spettro di potenza su un grafico p-f (fig. 8.2.2).

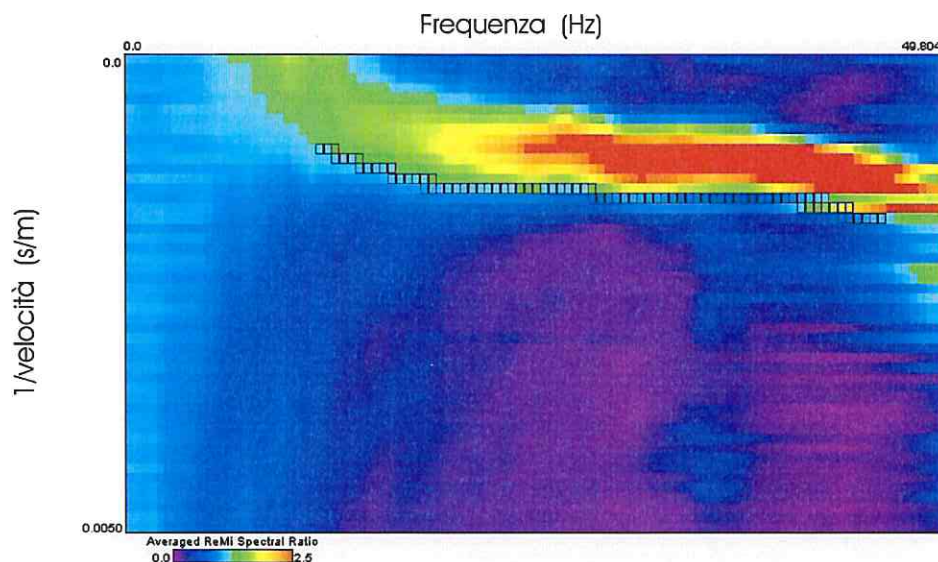


Figura 8.2.2: grafico p-f spettro di velocità con picking della curva di dispersione

Nell'immagine sono evidenziati gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase con una potenza rilevante, e ciò consente un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh in quanto queste presentano un carattere dispersivo rispetto a quelle riconducibili ad altre modalità e tipi d'onda. Sullo spettro di frequenza si identificano i valori di slowness (inverso della velocità di fase) con i rispettivi valori di frequenza (fig. 8.2.2). I valori di picking sono riportati su di un diagramma periodo-velocità di fase (fig. 8.2.3) sui quali è sovrapposta la curva di dispersione al fine di ottimizzare il modello interpretativo.



STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO

Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA –
Tel: +39 0577 378209 - Fax: +39 0577 378209
e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu
www.studiogf.eu
C.F.: GRGFPP70S30I726P – P.IVA: 01327030522

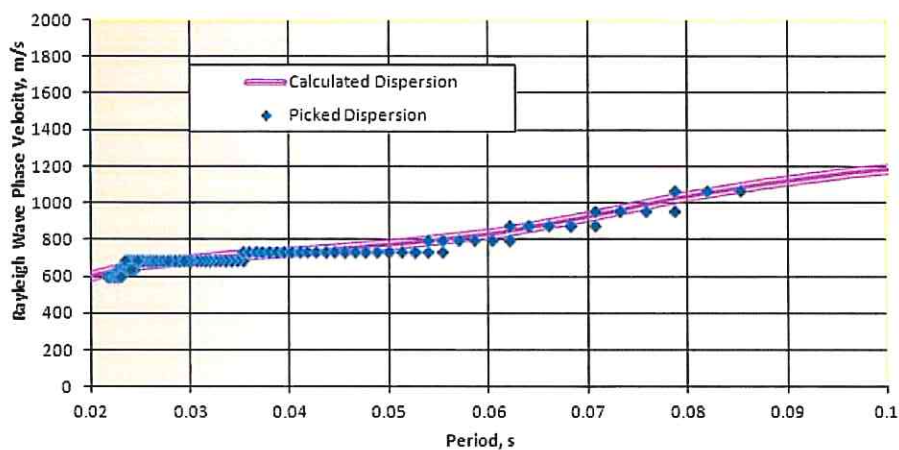


Figura 8.2.3: Diagramma periodo – velocità di fase

Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde "S" si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione, rappresentata con il colore magenta nella figura 8.2.3. Raggiunto un buon fitting con i valori sperimentali si ottiene il modello interpretativo finale (fig. 8.2.4).

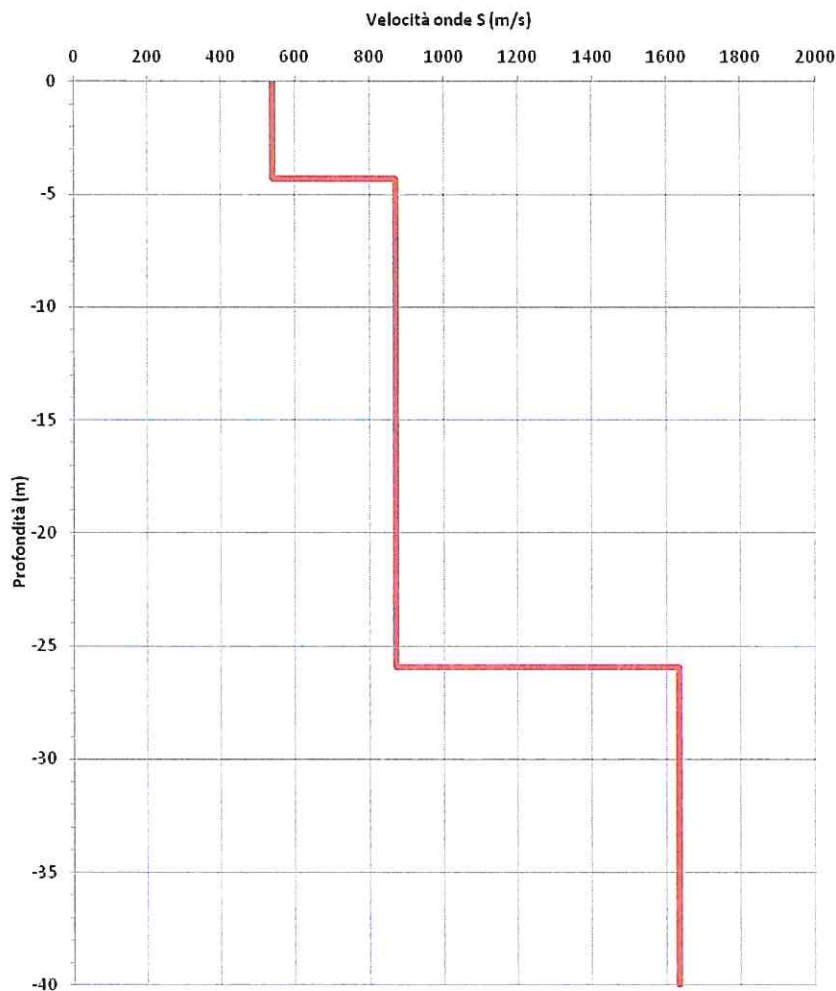


Figura 8.2.4: modello interpretativo



STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO

Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA –

Tel: +39 0577 378209 - Fax: +39 0577 378209

e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu

www.studiogf.eu

C.F.: GRGFPP70S30I726P – P.IVA: 01327030522

9. RISULTANZE OTTENUTE

9.1 Profilo sismico tomografico a rifrazione

In generale la prospezione sismica a rifrazione ha permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde "P" che si correla bene con le prove geofisiche eseguite nell'area di indagine.

Il modello geofisico ottenuto, evidenzia un assetto stratigrafico che può essere sintetizzato secondo una successione rappresentata da tre orizzonti sismici, definibili in funzione della velocità sismica e del gradiente di velocità sismica e disposti nella seguente successione sismostratigrafica:

Strato A: strato superficiale caratterizzato da velocità sismica inferiore a 800 m/s, associabile a terreni superficiali o all'alterazione dei livelli lapidei sottostanti.

Strato B: strato caratterizzato da velocità sismica compresa fra 800 m/s e 2000 m/s. Tale livello si può associare litologie mediamente fratturate.

Strato C: strato caratterizzato da velocità superiori a 2.000 m/s, che tende ad aumentare con la profondità. Tale livello può essere associato litologie compatte.

9.2 Rilievo con metodologia MASW

L'interpretazione delle prove MASW, relativamente alle onde S, ha reso evidente le seguenti successioni:

PROVA MASW					
Best model			Mean model		
Profondità da P.C (m)		Velocità Onde S (m/s)	Profondità da P.C (m)		Velocità Onde S (m/s)
0	5,3	600	0	5,3	603
5,3	28,0	1000	5,3	27,7	999
28,0	40	1822	27,7	40	1787
Vs30 = 920 m/s			Vs30 = 924 m/s		

La prova MASW realizzate evidenziano che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in classe **A**.



9.3 Rilievo con metodologia ReMi

L'interpretazione delle prove Re.Mi. , relativamente alle onde S, ha reso evidente la seguente successione:

ReMi		
Profondità da P.C (m)		Velocità Onde S (m/s)
0	4,3	538
4,3	25,9	870
25,9	40	1635

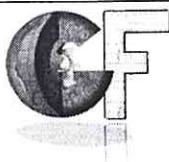
Per questo terreno il valore di Vs30 (calcolato da p.c.) risulta pari a **855 m/s**.

La prova Re.Mi. realizzata evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in classe **A**.

In definitiva, le prove realizzate evidenziano che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in classe **A** – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m

Siena , Marzo 2016

Il Tecnico
Dott. Geol. Filippo Giorgi



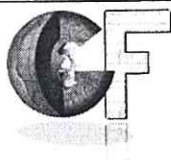
STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO

Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA –
Tel: +39 0577 378209 - Fax: +39 0577 378209
e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu
www.studiogf.eu
C.F.: GRGFPP70S30I726P – P.IVA: 01327030522

Allegati

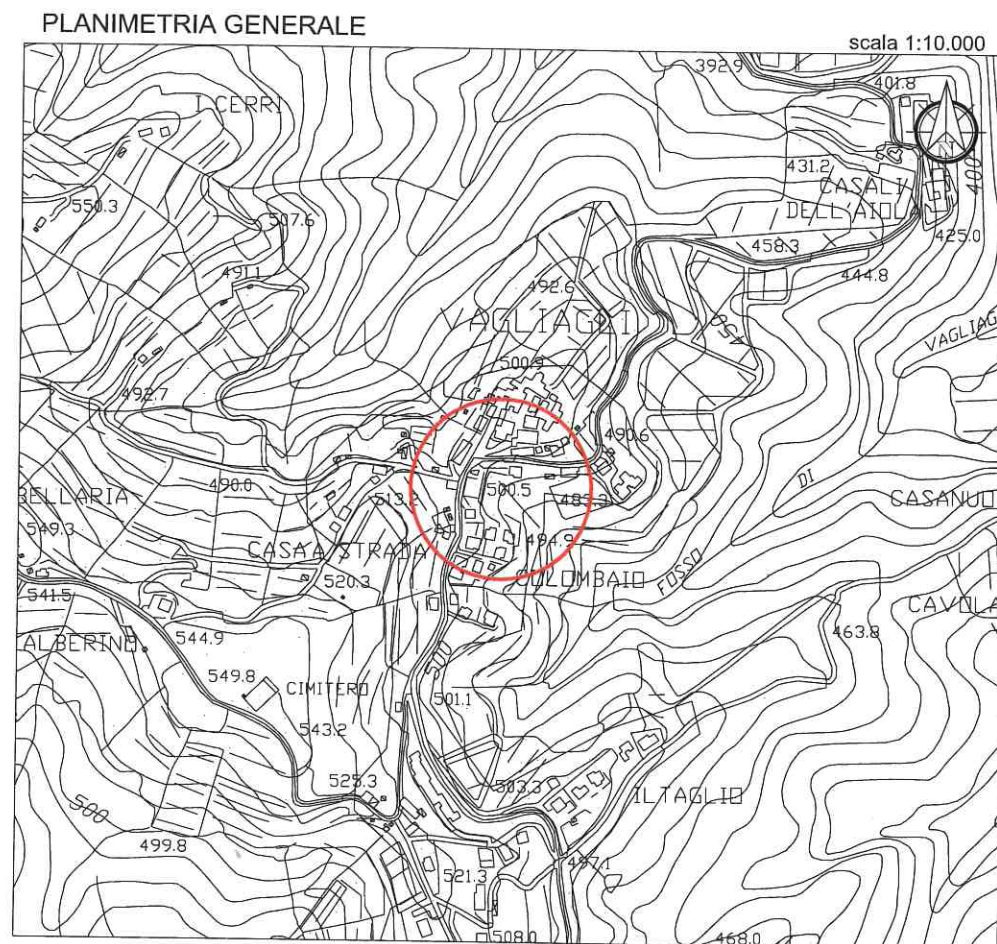
Allegato 1: planimetria ubicativa e profilo sismico

Allegato 2: prova MASW e prova ReMi

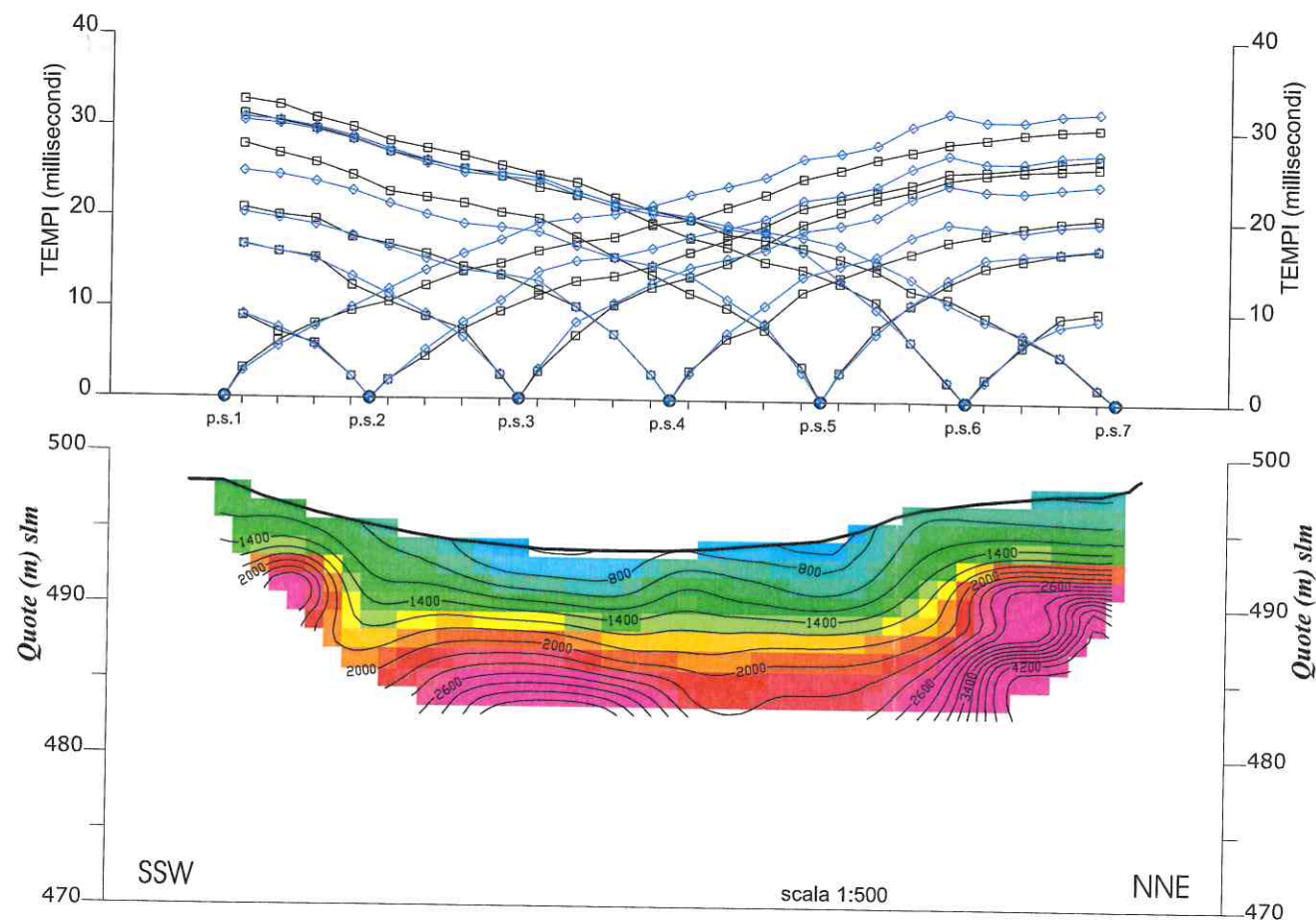


STUDIO DI GEOLOGIA GIORGI FILIPPO

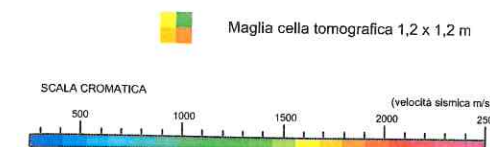
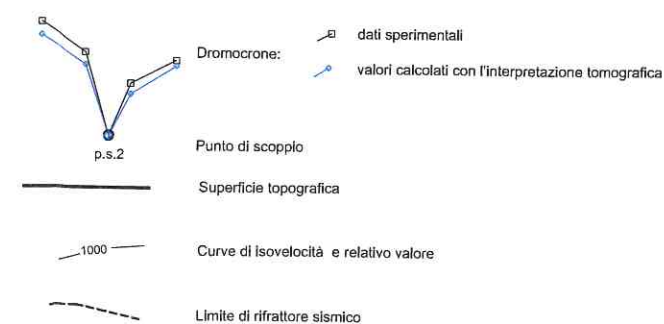
Sede: Strada d'Istieto n. 6 – 53100 SIENA –
Tel: +39 0577 378209 - Fax: +39 0577 378209
e-mail: filippo.giorgi@studiogf.eu
www.studiogf.eu
C.F.: GRGFPP70S301726P – P.IVA: 01327030522



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE TOMOGRAFICO

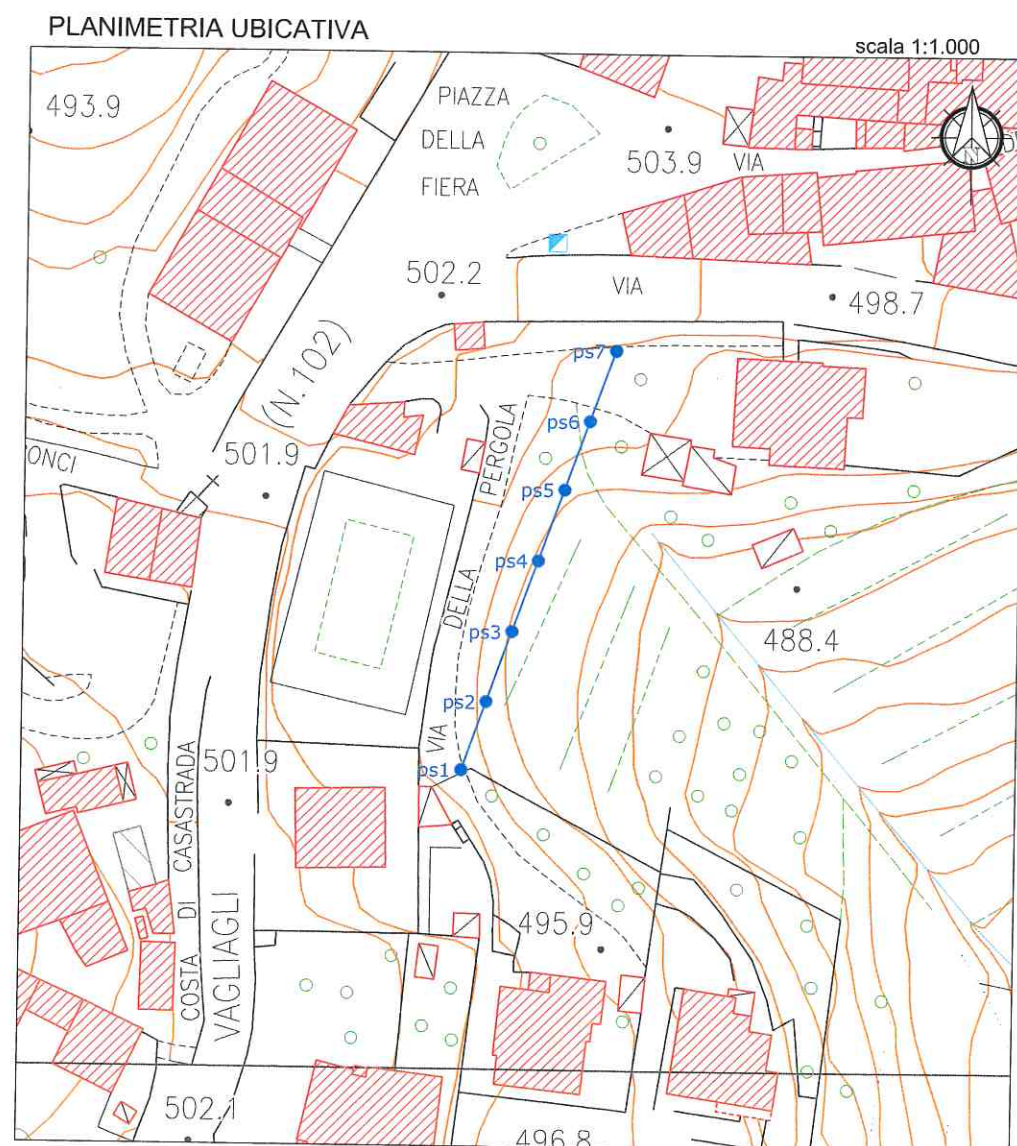


LEGENDA:

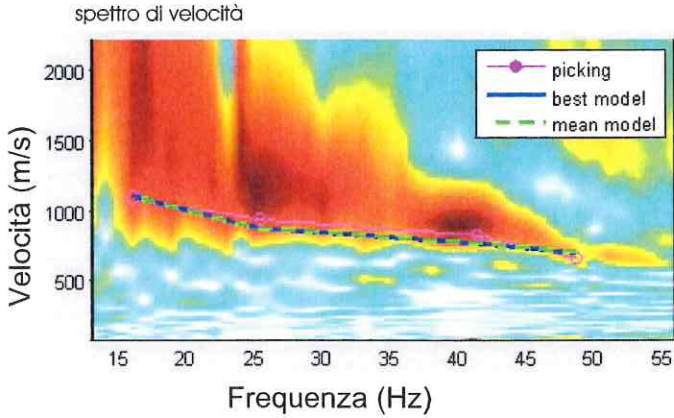


LEGENDA:

Profilo sismico a rifrazione con ubicazione dei punti di scoppio di riferimento



PROVA MASW

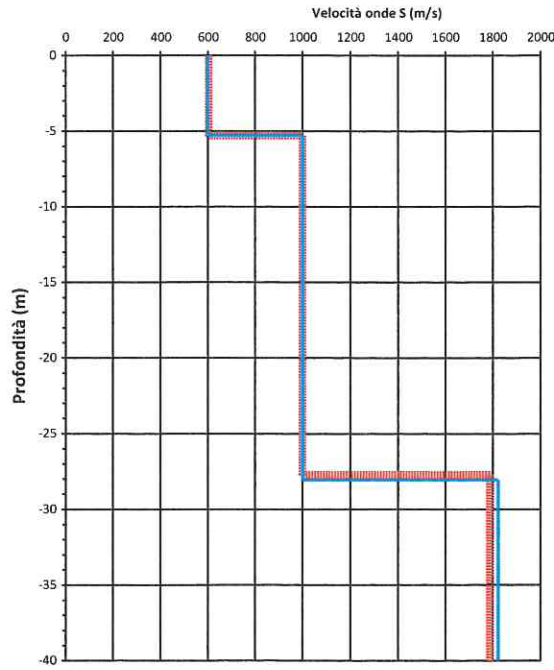


best model

— Vs30 = 920 m/s
Site Class A

mean model

- - - Vs30 = 924 m/s
Site Class A



Ricostruzione sismostratigrafica onde S mediante analisi MASW

PROVA RE.MI.

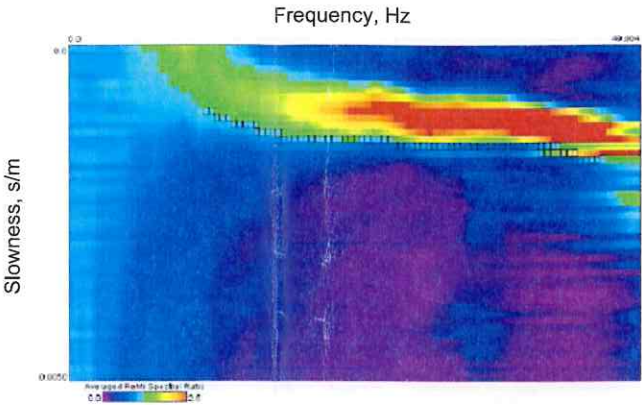
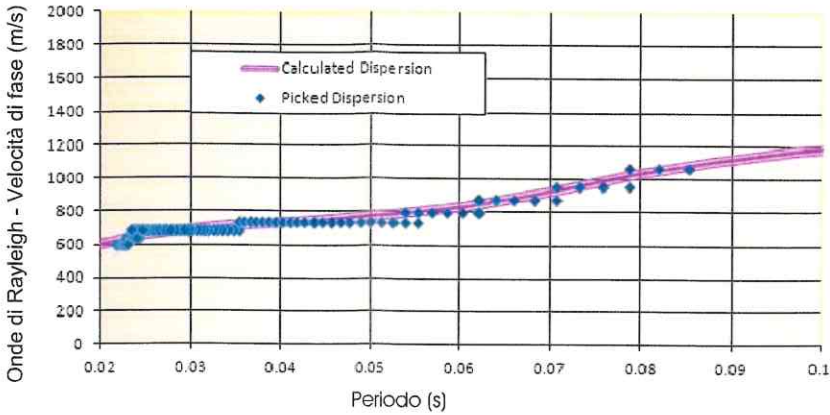
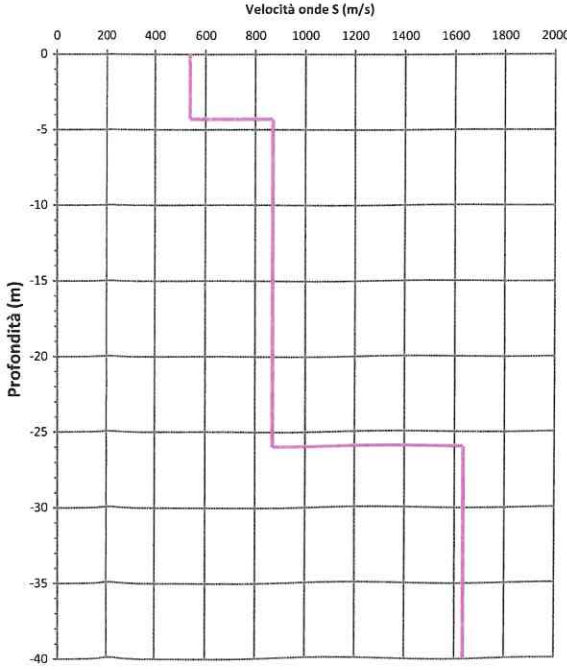


Grafico p-f (frequenza / inverso della velocità)

Grafico periodo / velocità di fase (fitting picking e curva di dispersione)



— Vs30 = 855 m/s
Site Class A



Ricostruzione sismostratigrafica onde S mediante analisi ReMi