



Regione Toscana

TERZA TORRE

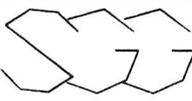
Novoli, Firenze
nuovo edificio della Regione Toscana

CONCORSO DI PROGETTAZIONE

www.regione.toscana.it

PROSPEZIONE SISMICA



D																
C																
B																
A		1/04/09	J. De Luca	C. Rossi	C. Rossi											
Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato											
COMMITTENTE :				Archivio n° 3612												
GEOTECNICA PALAZZI - GIOMARELLI				Commessa n° Q 223												
LOCALITA': Palazzo della Regione Toscana - Via di Novoli - Firenze																
INDAGINE: Indagine geofisica ai fini della risposta sismica locale																
OGGETTO: Prospezione Sismica																
<table border="1"> <tr> <td>3</td><td>6</td><td>1</td><td>2</td><td>S</td><td>G</td><td>G</td><td>0</td><td>2</td><td>A</td> <td>01 APR 09</td> </tr> </table>			3	6	1	2	S	G	G	0	2	A	01 APR 09	N° Copie	N° Pagine	Formato
3	6	1	2	S	G	G	0	2	A	01 APR 09						
nome file :3612SGG02A.dwg			3	19	A4 <input checked="" type="checkbox"/> A3 <input type="checkbox"/>											
Coordinatore: C. Rossi																
			STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l. STRADA MASSETANA ROMANA , 56 - SIENA - ITALY - Tel. +39 0577 49276 - Fax +39 0577 287254 - e.mail: info@sgg.it		CONTROLLO QUALITA' data-sigla 01-06-09 											

Tutti i diritti sono riservati. La riproduzione e la divulgazione a terzi è vietata.



INDICE

1	- INTRODUZIONE	Pag.	3
2	- INDAGINI SVOLTE	Pag.	4
3	- STRUMENTAZIONE, PERSONALE IMPIEGATO E QUALITÀ	Pag.	5
4	- FINALITA' DELLA PROSPEZIONE	Pag.	7
5	- ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag.	7
6	- ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME "P" E "SH"	Pag.	8
7	- ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH	Pag.	10
8	- ANALISI DEI RISULTATI	Pag.	13

ALLEGATO

TAV. 1	Planimetria ubicativa, profili sismici a rifrazione onde P, onde Sh e prove Masw.	scala	1:500 1:1000
--------	---	-------	-----------------



1 - INTRODUZIONE

Il presente rapporto riferisce i risultati ottenuti da un'indagine sismica condotta per conto della società GEOTECNICA PALAZZI GIOMARELLI S.r.l. presso il Palazzo della Regione Toscana ubicato in via di Novoli (FI).

Le finalità della prospezione erano quelle di identificare e ricostruire, sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche, i rapporti geometrici dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area indagata, e di fornire il valore V_{s30} utile per la classificazione del terreno nelle varie categorie di suolo come prescritto dalla nuova normativa antisismica.

A tal scopo sono stati realizzati due profili sismici tomografici a rifrazione con doppia acquisizione per determinare le variazioni della velocità delle onde di volume "P" e "Sh" nel sottosuolo. Inoltre, per permettere una più adeguata rappresentazione del terreno indagato e descrivere la propagazione delle onde superficiali di Rayleigh sono stati realizzati, in corrispondenza degli stessi stendimenti sismici, tre prove "Masw" (Multichannel Analysis of Surface Waves) in modo da ricostruire le variazioni della velocità delle onde "S".

Nella presente relazione sono illustrate le metodologie esecutive ed interpretative delle misure geofisiche ed i risultati della prospezione secondo un criterio essenzialmente geofisico.

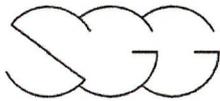
I lavori si sono svolti nel giorno 20 Marzo 2009.



Profilo sismico 1



Profilo sismico 2



2 - INDAGINI SVOLTE

In accordo con la Committenza, l'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di 3 profili sismici a rifrazione con doppia acquisizione (onde P e onde Sh), elaborati tutti con metodo tomografico. Inoltre, in corrispondenza degli stessi stendimenti sismici costituiti da 24 geofoni, sono state acquisite tre prove "Masw". L'ubicazione delle indagini geofisiche è riportata nella tavola 1 allegata: *Planimetria ubicativa, profili sismici a rifrazione onde P, onde Sh e prova Masw*.

Di seguito si riporta il dettaglio delle indagini:

Profilo	Interdistanza Geofoni (m)	Geofoni n°	Lunghezza * (m)	prove Masw n°
Profilo 1a Onde P	2,5	24	60	1
Profilo 1a Onde Sh	2,5	24	60	
Profilo 1b Onde P	2,5	24	60	1
Profilo 1b Onde Sh	2,5	24	60	
Profilo 2 Onde P	2,5	24	60	1
Profilo 2 Onde Sh	2,5	24	60	

Si ricorda che le misure riportate per i profili sono comprensive dei punti di scoppio esterni agli stendimenti geofonici realizzati.



3 – STRUMENTAZIONI, PERSONALE IMPIEGATO, E QUALITA'

Per l'esecuzione delle prospezioni sono state utilizzate le seguenti strumentazioni ed attrezzature:

n°	Strumentazione PER INDAGINI SISMICHE	COD. IDENT.
1	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit	SGG-SI-47
1	Computer portatile HP per registrazione dei dati di campagna;	
24	Geofoni verticali con frequenza pari a 4,5 Hz	SGG-SI-02
24	Geofoni orizzontali con frequenza pari a 8 Hz	SGG-SI-63
1	Cavo di collegamento per geofoni	SGG-SI-39H
1	Massa battente da 10 kg	

Tutti gli strumenti di misura impiegati, in riferimento con il "calendario di taratura" afferente al "sistema di qualità" in uso presso questo studio, sono periodicamente tarati presso il LABORATORIO CETACE di Prato, della CESVIT S.p.A., ed accreditato SIT (Servizio di Taratura in Italia).

AUTOMEZZI

- ◆ 1 Fiat Ducato (CW 184 PM).



Risorse coinvolte

Per l'esecuzione della prospezione di campagna e della relativa interpretazione in ufficio, sono state coinvolte le seguenti risorse:

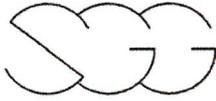
- Responsabile dell'incarico C. ROSSI
- Responsabile della prospezione C. ROSSI
- Responsabile Assicurazione Qualità C. ROSSI
- Prospettori geofisici J. DE LUCA
- Interpretazione J. DE LUCA
- Editing J. DE LUCA

Tutte le risorse umane coinvolte sono state utilizzate nel rispetto della certificazione SA8000 in materia di responsabilità sociale conseguita da questa società.

SISTEMA QUALITÀ

La prospezione geofisica è stata eseguita in riferimento alle specifiche SP0302 e SP0901; l'elaborazione dei dati è avvenuta in conformità all'istruzione IS09001.

Per la registrazione delle varie attività sono stati utilizzati i moduli del sistema qualità in uso presso questo studio.



4 - FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE

Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- *Definire il modello del sottosuolo in riferimento alla velocità delle onde "P" ed "Sh";*
- *Definire il valore del V_{s30} .*

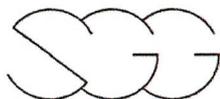
5 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

In riferimento all'indagine geofisica nel suo complesso, i profili sismici a rifrazione sono stati acquisiti con le seguenti caratteristiche:

- *Numero geofoni: 24;*
- *Spaziatura dei geofoni: 2.5 metri;*
- *Frequenza geofoni: 4.5 Hz (verticali) - 8 Hz (orizzontali);*
- *Spaziatura dei tiri: 7.5 metri;*
- *Sorgente: massa battente da 10 kg*

Di seguito sono invece riportate le principali caratteristiche delle prove Masw effettuata:

- *Numero geofoni: 24;*
- *Spaziatura dei geofoni: 2.5 metri;*
- *Frequenza geofoni: 4.5 Hz (verticali);*
- *Tempo di registrazione degli eventi: 4 s;*
- *Tempo di campionamento: 0.25×10^{-3} s;*
- *Offset: 5 metri.*



6 – ANALISI DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME “P” E “S_H”

La fase d'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è preceduta dalla lettura dei tempi sismici registrati.

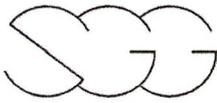
I tempi d'arrivo delle onde “P” e “Sh” sono letti attraverso uno specifico programma di *picking* ed in seguito tabellati. Tale programma permette di apprezzare variazioni di tempo dell'ordine di $0,1 \times 10^{-3}$ s.

Dopo, per mezzo dello specifico programma SEISOPTPRO V5.0, viene eseguita un'interpretazione con metodologia tomografica del profilo sismico.

La metodologia tomografica prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle quadrangolari secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica.

Il programma calcola quindi il tempo di transito dell'onda sismica attraverso le maglie del modello e confronta tale valore con quello sperimentale, impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati, previo controllo dei tragitti dei raggi sismici. Per successive iterazioni si perviene a dei valori di velocità sismica per le diverse celle che soddisfino contemporaneamente più raggi sismici.

L'elaborazione dei dati è sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropa, la quale fornisce, in seguito ad un'elaborazione con metodologie iterative R.T.C. e ad algoritmi di ricostruzione tomografica, il campo delle velocità sismiche del sottosuolo attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari.



Nel caso specifico è stata utilizzata una maglia rettangolare di dimensioni 0,9 x 0,4 metri; nella restituzione, i valori di velocità sismica attribuiti alla singola cella, sono rappresentati attraverso una scala colorimetrica. Inoltre, per facilitare la lettura delle velocità sulle sezioni, sono state disegnate le curve d'isovelocità con equidistanza pari a 200 m/s.

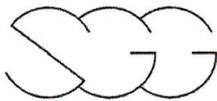
In particolare, in riferimento al profilo sismico 1, i profili a rifrazione 1a ed 1b, essendo stati questi acquisiti in campagna mantenendo una sovrapposizione di 15 metri, nella fase di elaborazione tomografica è stato possibile interpretarli come un unico profilo di lunghezza pari a 120 metri lineari.

Per la determinazione del modello d'interpretazione, il software utilizza il metodo d'inversione controllato MONTECARLO, basato su una modellizzazione avanzata, dove i modelli derivati dagli algoritmi propri del programma sono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico.

In particolare, i risultati in termine d'affidabilità statistica dell'interpretazione operata, risultano essere i seguenti:

Profilo sismico	Precisione (s^2)	n° di iterazioni
Profilo 1 onde P	$1,1 e^{-005}$	81.156
Profilo 1 onde Sh	$6,5 e^{-005}$	38.050
Profilo 2 onde P	$5,0 e^{-006}$	75.783
Profilo 2 onde Sh	$3,5 e^{-005}$	36.462

dove per *precisione* si intende la sommatoria degli scarti al quadrato tra i valori sperimentali e quelli calcolati nelle dromocrone diviso per il numero dei punti; per *iterazioni* il numero di volte che il programma ha eseguito la verifica del modello totale.



7 – ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE SUPERFICIALI DI “RAYLEIGH”

Sugli stessi allineamenti dei profili sismici sono state eseguite delle prove MASW, al fine di caratterizzare il sottosuolo anche attraverso l'ausilio della velocità delle onde superficiali.

Il metodo “MASW” consente di eseguire un'analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S.

La metodologia MASW permette altresì di definire il parametro V_{S30} , utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo da utilizzare in seguito per la descrizione dell'azione sismica in sito.

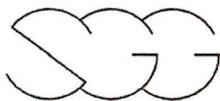
Il parametro V_{S30} determinato attraverso questo particolare tipo d'indagine di risposta sismica locale, corrisponde alla velocità equivalente di propagazione entro i primi 30 metri di profondità delle onde superficiali ed è calcolata con la seguente espressione:

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

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità delle onde S (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di profondità. Il valore del parametro V_{S30} di ciascuna prova MASW è riportato, per convenzione, al centro del relativo stendimento geofonico.

Per l'interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (winMASW Version 4.0).

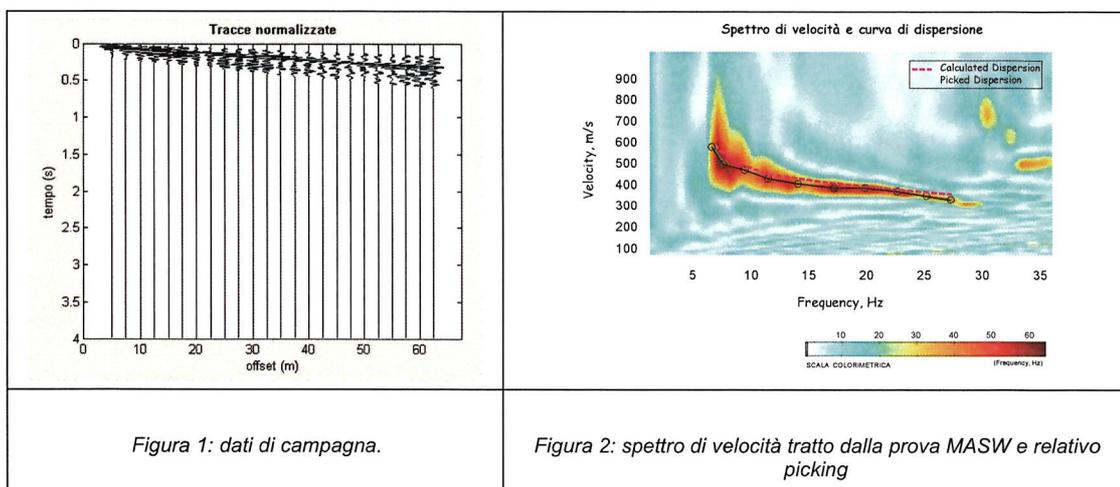
Il profilo verticale di V_s è ottenuto tramite l'inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.



La procedura si sviluppa in due fasi:

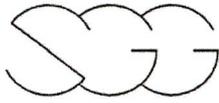
- Determinazione dello spettro della velocità sulla quale si identifica la curva di dispersione
- Inversione della curva di dispersione attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici.

L'elaborazione del segnale consiste inizialmente nel calcolo dello spettro di velocità dei dati sismici acquisiti in campagna (fig. 1).



Sullo spettro di velocità (fig. 2) è eseguito un “picking” della curva di dispersione (soprassegno con cerchietti) individuando un insieme di punti che appartengono ad un certo modo (in questo caso al modo fondamentale) di propagazione dell’onda superficiale di Rayleigh.

Allo scopo di ottenere una prima valutazione del possibile modello del terreno viene altresì effettuata una modellazione diretta del terreno tramite il calcolo di una curva di dispersione appartenente ad un modello a quattro strati, i cui valori di V_s e degli spessori sono definiti sulla base di osservazioni desunte e dalla tomografia sismica a rifrazione e delle stratigrafie dei pozzi.



Successivamente per ottenere il profilo verticale di V_s è eseguita l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata". Tale inversione è eseguita tramite l'utilizzo di algoritmi genetici che consentono di ottenere soluzioni affidabili ed una stima dell'attendibilità del modello ricavato in termini di deviazione standard.

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.

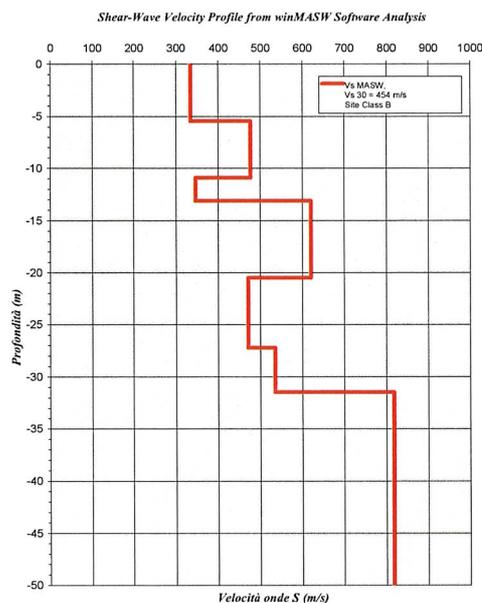
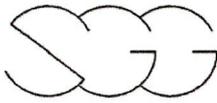


Figura 3 modello interpretativo, tratto dalla prova MASW.

L'analisi dei dati attraverso l'uso di algoritmi genetici porta in ultima analisi alla definizione del profilo verticale della V_s (fig. 3) in funzione della profondità con associato il valore del V_s 30.



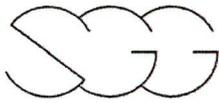
8 – ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso l'indagine geofisica eseguita ha permesso di caratterizzare il sottosuolo sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde "P", tramite l'interpretazione tomografica, sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde "S", tramite l'interpretazione tomografica e l'analisi delle prove Masw.

I risultati dell'indagine geofisica di seguito descritti sono stati riportati nella tavola allegata. In particolare è stata restituita una tavola ove viene riportata l'ubicazione planimetrica della indagine, le sezioni tomografiche in campitura di colore con i relativi valori numerici di velocità sismica delle onde P ed Sh, la scala colorimetrica delle sezioni tomografiche e le prove Masw comprendenti gli spettri di velocità, le curve di dispersione e i profili monodimensionali di velocità delle onde S con i relativi valori di V_{S30} .

In generale, attraverso la elaborazione tomografica dei vari profili, supportate anche dalle informazione desunte dalle stratigrafie dei sondaggi forniteci direttamente dalla committenza, si osserva generalmente che il tetto del terreno di riporto si attesta per valori di velocità delle onde sismiche inferiori a circa 600 m/s per le onde P e di circa 250 m/s per le onde Sh.

Andando in profondità la propagazione delle velocità sismiche si distribuisce in maniera piuttosto regolare senza mostrare repentini cambiamenti di gradiente, presentando tuttavia delle variazioni laterali dovute con molta probabilità alla presenza di una stratificazione di diversi litotipi che presentano un comportamento piuttosto disomogeneo in riferimento proprio alla propagazione delle onde di volume. Nell'insieme questi terreni mostrano le caratteristiche di materiali mediamente addensati e sono caratterizzati da valori di velocità delle onde P comprese tra i 600 m/s ed i 2500 m/s per le onde P e comprese tra i 250 m/s ed 600 m/s per le onde Sh. Infine, per valori di velocità superiori si osserva che i terreni presentano i caratteri del bedrock sismico.



Profilo sismico 1 onde P

Il profilo sismico tomografico 1 ha permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde "P" che si correla bene con l'assetto geologico evidenziato dai sondaggi meccanici effettuati a breve distanza dallo stendimento sismico.

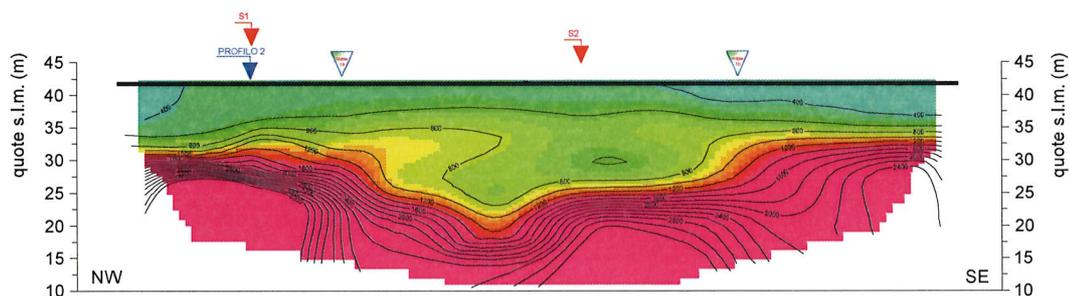
Osservando il profilo sismico si osservano delle variazioni nella distribuzione delle velocità in senso laterale mentre andando in profondità non sono presenti repentini cambiamenti del gradiente sismico.

In superficie sono presenti terreni allentati, caratterizzati da velocità sismiche minori di 600 m/s, per uno spessore massimo di circa 8 metri, nella parte finale del profilo.

Fino ad una profondità di circa 27,5 metri nella porzione centrale del profilo e minore (13-14 metri) nelle porzioni iniziale e finale, sono presenti terreni caratterizzati da velocità minori di 2500 m/s.

Al di sotto si individua probabilmente il substrato sismico con il limite superiore di velocità sismica pari a 2.500 m/sec.

Profilo sismico 1 onde P





Profilo sismico 1 onde Sh

Il profilo sismico tomografico 1 ha permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde “Sh” che si correla bene con l’assetto geologico evidenziato dai sondaggi meccanici effettuati a breve distanza dallo stendimento sismico.

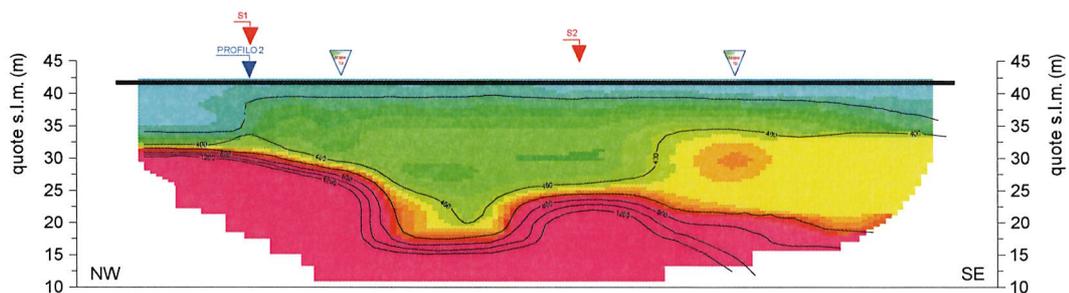
Osservando il profilo sismico si osservano delle variazioni nella distribuzione delle velocità in senso laterale mentre andando in profondità non sono presenti repentini cambiamenti del gradiente sismico.

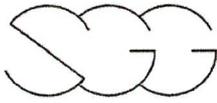
In superficie sono presenti terreni allentati, caratterizzati da velocità sismiche minori di 250 m/s, per uno spessore massimo di circa 8 metri, nella parte finale del profilo.

Fino ad una profondità di circa 25 metri nella porzione centrale del profilo e minore (10-17 metri) nelle porzioni finale e iniziale, sono presenti terreni caratterizzati da velocità minori di 600 m/s.

Al di sotto si individua probabilmente il substrato sismico con il limite superiore di velocità sismica pari a 600 m/sec.

Profilo sismico 1 onde Sh





Profilo sismico 2 onde P

Il profilo sismico tomografico 1 ha permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde "P" che si correla bene con l'assetto geologico evidenziato dai sondaggi meccanici effettuati a breve distanza dallo stendimento sismico.

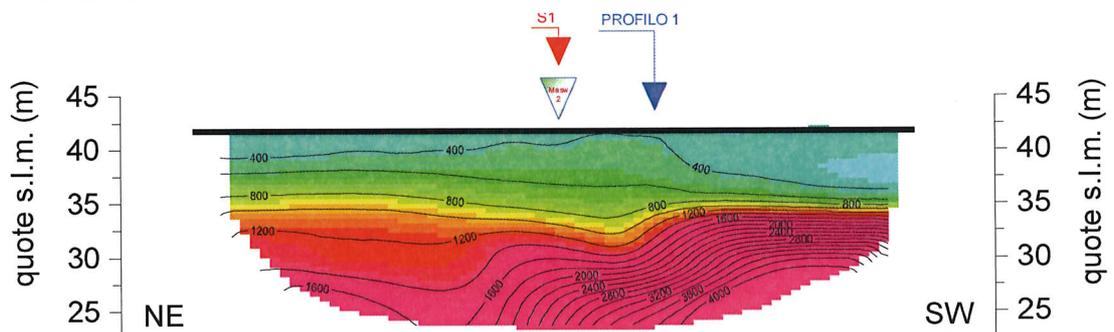
Osservando il profilo sismico si osservano delle variazioni nella distribuzione delle velocità in senso laterale mentre andando in profondità non sono presenti repentini cambiamenti del gradiente sismico.

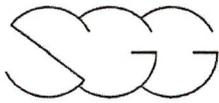
In superficie sono presenti terreni allentati, caratterizzati da velocità sismiche minori di 600 m/s, per uno spessore massimo di circa 6 metri, nella parte finale del profilo.

Fino ad una profondità di circa 16 metri nella porzione centrale del profilo sono presenti terreni caratterizzati da velocità minori di 2500 m/s.

Al di sotto si individua probabilmente il substrato sismico con il limite superiore di velocità sismica pari a 2.500 m/sec, che tende a scendere verso il basso andando verso NE.

Profilo sismico 2 onde P





Profilo sismico 2 onde Sh

Il profilo sismico tomografico 1 ha permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde "Sh" che si correla bene con l'assetto geologico evidenziato dai sondaggi meccanici effettuati a breve distanza dallo stendimento sismico.

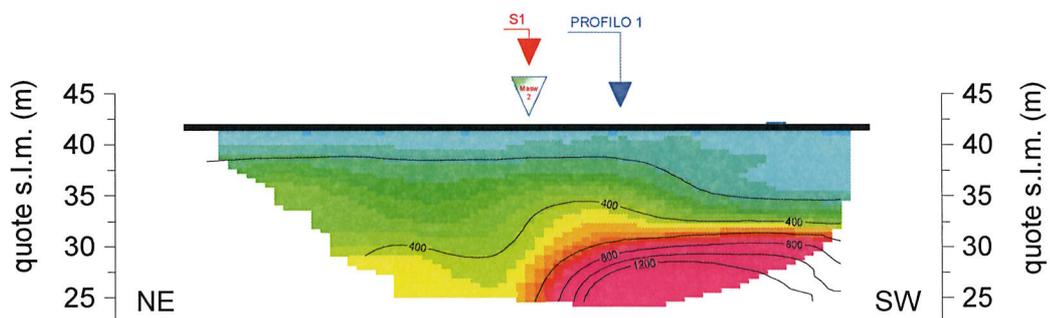
Osservando il profilo sismico si osservano delle variazioni nella distribuzione delle velocità in senso laterale mentre andando in profondità non sono presenti repentini cambiamenti del gradiente sismico.

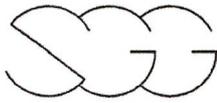
In superficie sono presenti terreni allentati, caratterizzati da velocità sismiche minori di 250 m/s, per uno spessore massimo di circa 7 metri, nella parte finale del profilo.

Fino ad una profondità di circa 17 metri nella porzione centrale del profilo sono presenti terreni caratterizzati da velocità minori di 600 m/s.

Al di sotto si individua probabilmente il substrato sismico con il limite superiore di velocità sismica pari a 600 m/sec, che tende a scendere verso NE.

Profilo sismico 2 onde Sh



**Prova Masw 1a.**

L'interpretazione della prova Masw , relativamente alle onde S, ha reso evidente la seguente successione:

Profondità da P.C		Velocità Onde S (m/s)
0.0	3.8	175
3.8	7.5	276
7.5	12.2	388
12.2	18.1	344
18.1	23.4	370
23.4	~50	1826

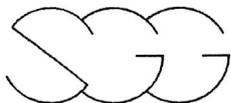
Per questo terreno il valore di Vs30 risulta pari a 365 m/s.

Prova Masw 1b.

L'interpretazione della prova Masw , relativamente alle onde S, ha reso evidente la seguente successione:

Profondità da P.C		Velocità Onde S (m/s)
0.0	2.9	140
2.9	7.6	264
7.6	11.7	231
11.7	18.3	398
18.3	30.3	354
30.3	~50	1659

Per questo terreno il valore di Vs30 risulta pari a 279 m/s.



Prova Masw 2.

L'interpretazione della prova Masw , relativamente alle onde S, ha reso evidente la seguente successione:

Profondità da P.C		Velocità Onde S (m/s)
0	3.7	237
3.7	9.3	347
9.3	13.2	501
13.2	18.2	377
18.2	26.3	547
26.3	~50	1789

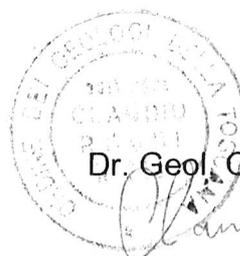
Per questo terreno il valore di Vs30 risulta pari a 425 m/s.

L'analisi delle prove Masw mostra come, andando da SE a NW, il valore di Vs30 aumenti, passando da una classe C ad una classe B, e questo bene in accordo anche con l'andamento delle velocità sismiche delle onde Sh.

Tale successione in termini di Vs30 si discosta parzialmente dall'interpretazione del profilo Sh, ma considerato che le analisi delle onde superficiali evidenziano l'andamento medio lungo tutto il profilo e che il risultato é più cautelativo dell'eventuale media calcolata sul profilo stesso, si ritiene opportuno utilizzare le prove Masw per il calcolo del Vs30.

In definitiva, le prove Masw realizzate evidenziano che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in **classe B**.

Siena, Aprile 2009



Dr. Geol. Claudio Rossi