

Geol. Andrea Giorgi

COMMITTENTE: Comune di Valtournenche



Sito di indagine: Loc. Cretaz

Comune di VALTOURNENCHE



**INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW FINALIZZATA ALLA DETERMINAZIONE
DEL PARAMETRO V_{s30} PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI**

RELAZIONE TECNICA - ILLUSTRATIVA

Sarre 21-11-2016

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. QUADRO NORMATIVO	2
3. NOTE METODOLOGICHE	4
3.1 Cenni teorici sulla metodologia MASW	4
3.2 Strumentazione tecnica utilizzata.....	6
3.3 Caratteristiche dello stendimento eseguito.....	7
4. ELABORAZIONE E RISULTATI INDAGINE MASW	8
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	14
6. ALLEGATO FOTOGRAFICO	15

1. PREMESSA



Su incarico dell'AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI VALTOURNENCHE, nell'ambito del progetto di Adeguamento strutturale delle scuole medie di Valtournenche ai sensi delle NTC2008, da realizzarsi in fraz. Cretaz, nel Comune di Valtournenche, in data 15/11/2016, è stata eseguita una campagna di indagini volta alla caratterizzazione sismica del sito oggetto di intervento. Nel dettaglio è stata eseguita una prospezione sismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) finalizzata alla definizione del parametro $V_{s,30}$ per la classificazione sismica del suolo (in accordo al D.M. 14.01.2008 e s.m.i.)

La seguente relazione illustra le modalità esecutive e i risultati dell'indagine realizzata.

2. QUADRO NORMATIVO

Per la definizione dell'azione sismica è necessario individuare la classe di suolo, secondo le modalità di seguito esposte. La normativa raccomanda la misura diretta della velocità delle onde sismiche come primario approccio per la caratterizzazione geotecnica a fini sismici come disposto al §7.11.3. L'obiettivo del presente lavoro è dunque quello di definire il profilo verticale delle velocità di taglio " V_s " alle varie profondità dedotte, in modo tale da poter dedurre il valore di $V_{s,30}$ "velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m", e quindi la Categoria di Sottosuolo, secondo quanto esplicitamente imposto dal Paragrafo §3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE, di seguito riportato nelle parti salienti:

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel §7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo, ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai **valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità**. Per le fondazioni superficiali, tale profondità 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. La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al §3.2.3 delle presenti norme.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo

Per la determinazione della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ la normativa indica la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$$

con:

h_i spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

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

N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;

K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Riguardo a considerazioni sull'interpretazione del contesto litostratigrafico dei terreni in esame è da specificare, che, le prospezioni sismiche MASW sono sempre indagini indirette. In ogni caso è sempre raccomandabile combinare i dati ottenuti da tale tipologia d'indagine con l'impiego di indagini dirette, oggetto di altro studio.

Le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata, le modalità di esecuzione della prova, l'interpretazione dei risultati ed i relativi grafici sono riportati nei paragrafi successivi.

3. NOTE METODOLOGICHE



3.1 Cenni teorici sulla metodologia MASW

L'indagine sismica con metodologia **MASW** "**Multichannel Analysis Of Surface Waves**", consiste in una tecnica di superficie non invasiva, che permette di individuare i profili delle velocità delle onde di taglio "Vs" in relazione alla misurazione delle onde superficiali in corrispondenza di diversi sensori utilizzati ("geofoni verticali").

L'indagine sismica con tecnica MASW si fonda sull'apprendimento della dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di tipo Rayleigh, che danno il contributo preponderante alle onde superficiali, la cui velocità è correlata alla rigidezza degli spessori di terreno interessati dalla propagazione delle stesse onde; in mezzi non omogenei le velocità delle onde Vs variano con la profondità. Come specificato, infatti, nella letteratura tecnica proposta da svariati autori, in mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive, in quanto onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980), e ciò sta ad indicare, che le velocità di fase apparenti delle onde di Rayleigh dipendono dalla frequenza di propagazione; pertanto, si hanno velocità differenti per differenti valori di frequenza. In mezzi eterogenei, le onde superficiali hanno velocità di fase che sono in funzione della frequenza. La condizione specificata è in relazione alla distribuzione spaziale delle caratteristiche sismiche dei substrati litologici, e la relazione che associa la frequenza alla velocità di fase è rappresentata dalla **curva di dispersione**. Alle alte frequenze la velocità di fase corrisponde con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre alle basse frequenze con la velocità dello strato più profondo.

La curva di dispersione risulta essere importante nel caso delle onde di Rayleigh per la caratterizzazione dei terreni, in quanto si pone in relazione alle caratteristiche di rigidità del sottosuolo. La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale, poiché in corrispondenza di una certa frequenza possono esserci diverse lunghezze d'onda. Ad una specificata frequenza possono infatti coincidere differenti velocità di fase ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e diversi modi di vibrazione possono mostrarsi nello stesso tempo. La curva di dispersione che scaturisce è una curva apparente, che deriva dalla sovrapposizione delle curve attinenti ai vari modi di vibrazione, e non per forza corrisponde con singoli modi negli intervalli di frequenza.

In termini del tutto generali l'analisi delle onde di superficie avviene in 3 passi fondamentali:

- 1) acquisizione;

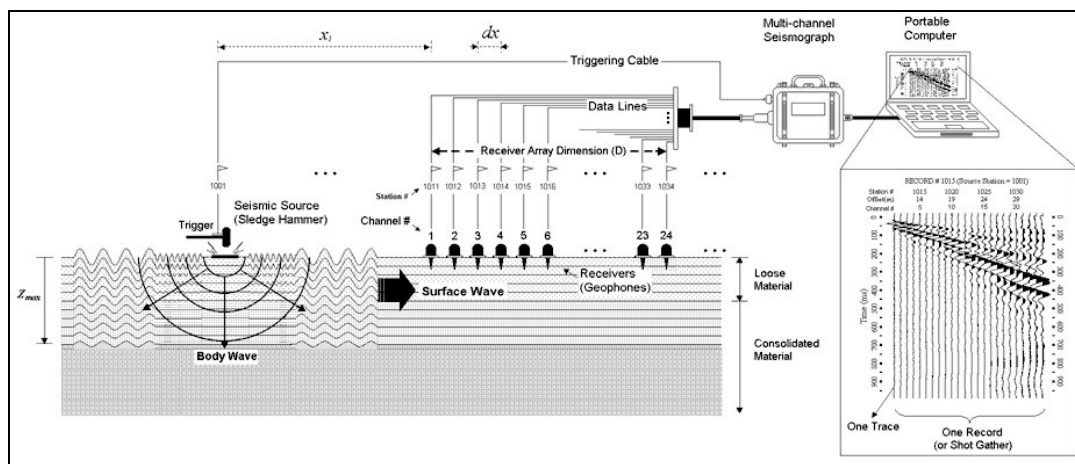


Fig. 1 – Schema di un'acquisizione di tipo MASW

2) determinazione dello spettro di velocità (sul quale identificare la curva di dispersione);

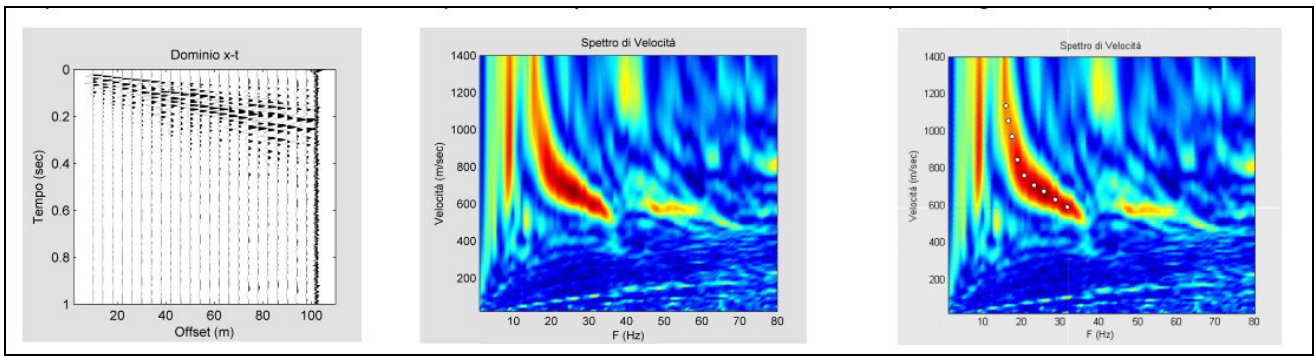


Fig. 2 – Sismogramma, determinazione della curva di dispersione e successiva fase di “picking”.

3) inversione (o modellazione) della/e curva/e di dispersione;

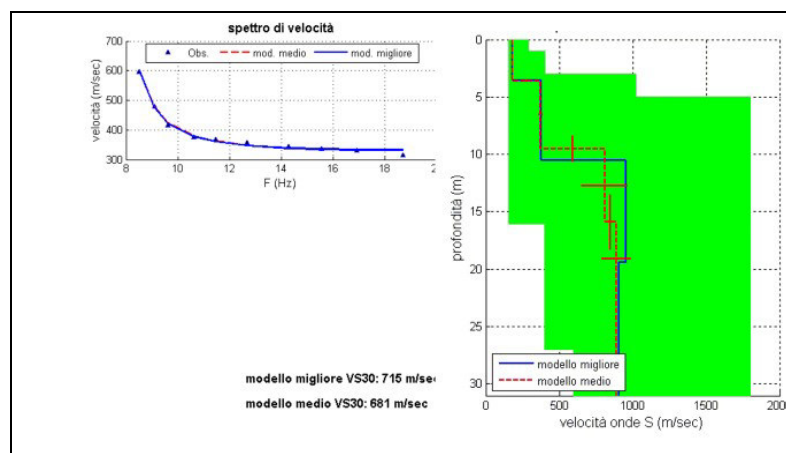


Fig. 3 – Profilo verticale di propagazione delle $V_{s,30}$

Nel caso specifico l'elaborazione dei dati acquisiti è stata effettuata per mezzo del programma WinMasw 7.0 della EliaSoft geophysical software and services. A partire dai dati registrati in sito con le acquisizioni multicanale il programma ricostruisce l'immagine di dispersione, detta anche “Overtone”, che indica la distribuzione della velocità di fase (asse delle ordinate) delle onde sismiche rispetto alla frequenza d'onda (asse delle ascisse): in particolare, esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è rappresentata dall'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che, nell'intervallo di frequenze analizzato, le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali ed un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione riportata in Fig. 2 utilizzabile nella successiva fase di inversione.

Quindi per mezzo del processo di inversione il programma ricava l'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s) dei depositi costituenti il sottosuolo secondo la configurazione correlata alla curva di dispersione teorica che meglio approssima (fase di "picking") la curva di dispersione ottenuta. In particolare il programma si avvale di algoritmi genetici che 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 infatti 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 genetici offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

Noti quindi i valori di V_s dei vari orizzonti indagati viene calcolato il valore di $V_{s,30}$, ossia la velocità media di propagazione delle onde di taglio all'interno dei primi 30 m di profondità dal piano di fondazione impostato nel programma, mediante la relazione di seguito riportata (D.M. 14/01/2008):

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$$

3.2 Strumentazione tecnica utilizzata

L'acquisizione dei dati sismici è stata effettuata con un sismografo PASI Mod. GEA 24 a 24 canali modello dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit, con interfaccia USB per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma (GEA_24) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate. I geofoni verticali utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%. L'energizzazione è stata ottenuta con mazza battente da 10 Kg su piastra metallica 20x20 cm. Per l'innesco (trigger) è stato utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo (Fig. 4).



Fig. 4

3.3 Caratteristiche dello stendimento eseguito

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, l'indagine ha previsto la realizzazione di una prova sismica di tipo MASW il cui stendimento è stato ubicato, nel piazzale di fronte all'edificio scolastico ed esteso, per questione di spazio, all'interno di un appezzamento prativo adiacente, in direzione circa N-S (vd. Ortofoto riportata in Figura 5). Dal punto di vista plano-altimetrico lo stendimento è stato eseguito su terreno/piazzale asfaltato pianeggiante e privo di irregolarità o salti di quota significativi. Pertanto non è stata effettuata alcuna correzione geometrica in fase di input dei dati all'interno del software di elaborazione.

Lo stendimento è stato realizzato posizionando 24 geofoni verticali da 4.5 Hz con interasse di 2 m, e per l'acquisizione dei dati sono stati individuati un totale di 6 punti di energizzazione ("sorgenti"), disposti a partire dalle estremità della stesa rispettivamente a 3, 5 e 10 m di distanza (offset) dall'ultimo/primo geofono. Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici, attivando la procedura di "vertical stacking" in corrispondenza di ciascun punto sorgente di onde, al fine di limitare l'effetto del rumore sismico di fondo e di conseguenza aumentare il Rapporto S/N (Segnale/Rumore).

Le coordinate geografiche UTM riferite al punto mediano del profilo MASW (per il calcolo VS_{30}) sono le seguenti:

Localizzazione - Coordinate UTM 32 ED50

- 393.316,08
- 5.081.246,24



Fig. 5

4. ELABORAZIONE E RISULTATI INDAGINE MASW

Nel seguente paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti prendendo in considerazione 1 degli “scoppi” ritenuto più rappresentativo tra quelli realizzati nella modalità MASW.

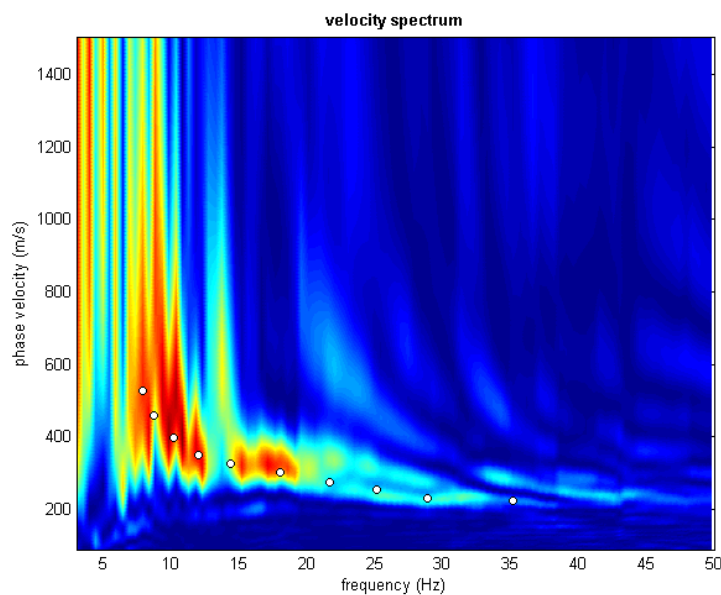
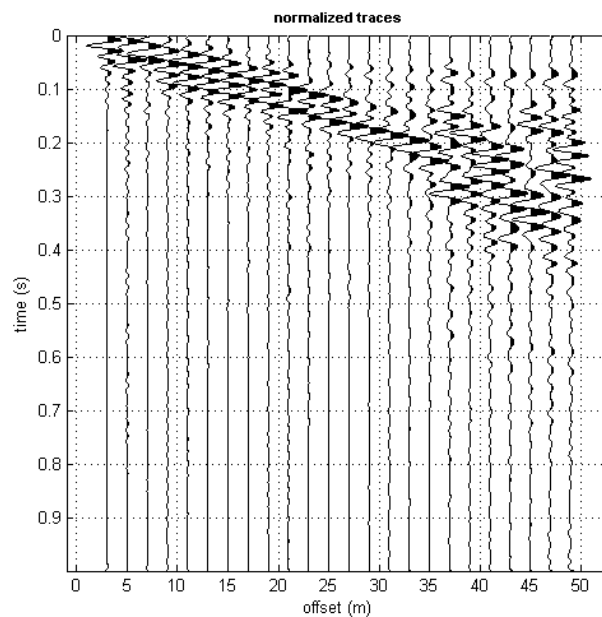
In particolare si riporta di seguito il grafico relativo alle tracce sperimentali acquisite dai vari geofoni con tempo di campionamento pari a 0,25 ms, lo **spettro di frequenza** ed il relativo **spettro di velocità** nel range 0 – 50 Hz con sovrapposizione dei singoli punti corrispondenti all’operazione di “picking” manuale.

dataset: VALTOU_sCUOLE₃M_DX₁iltrata.sg2

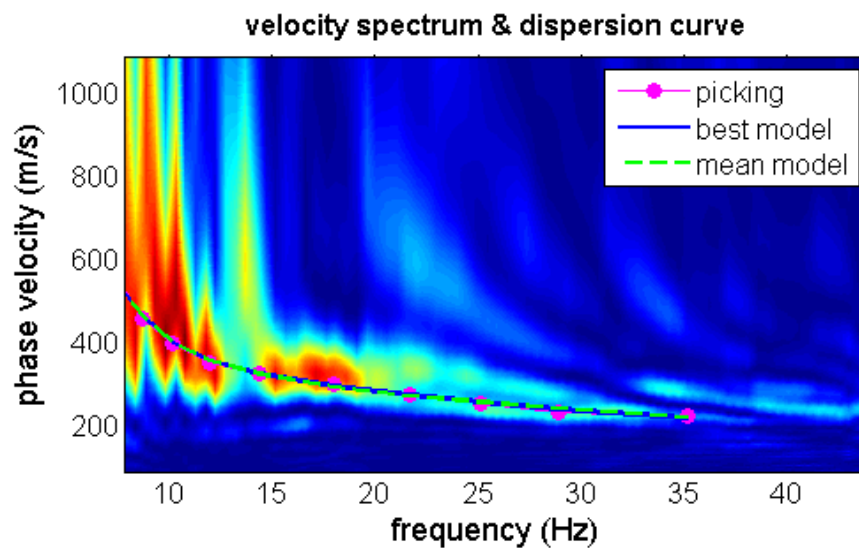
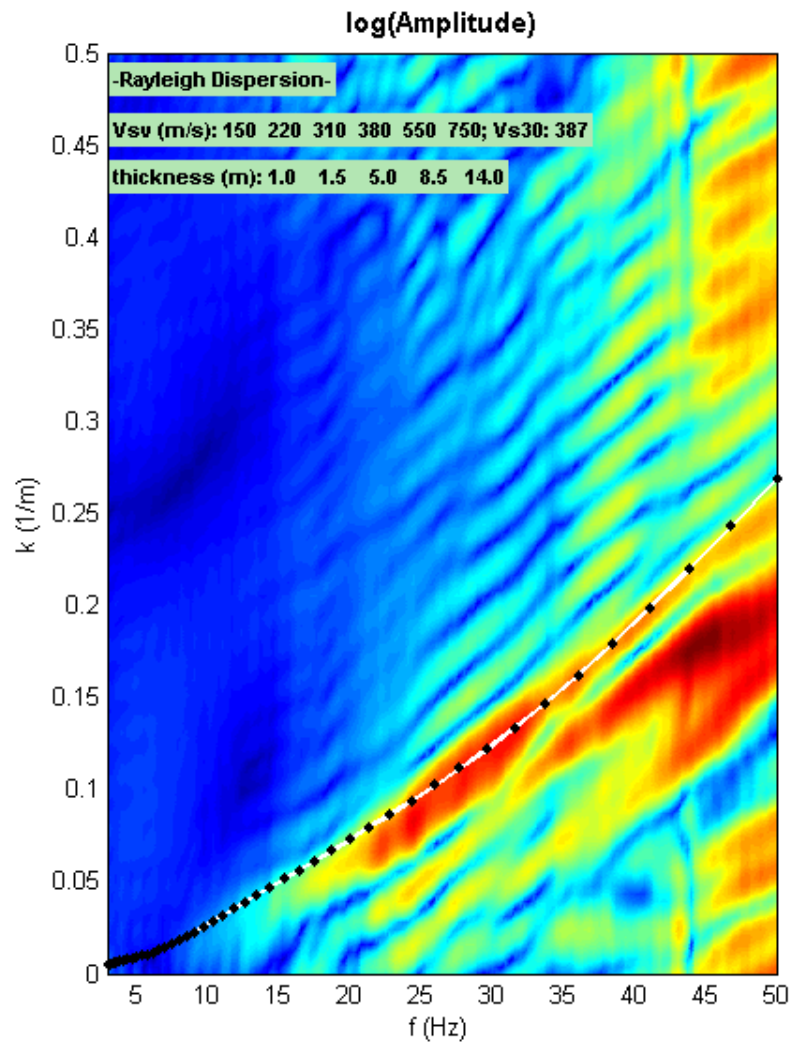
sampling: 0.25 ms

minimum offset: 3 m

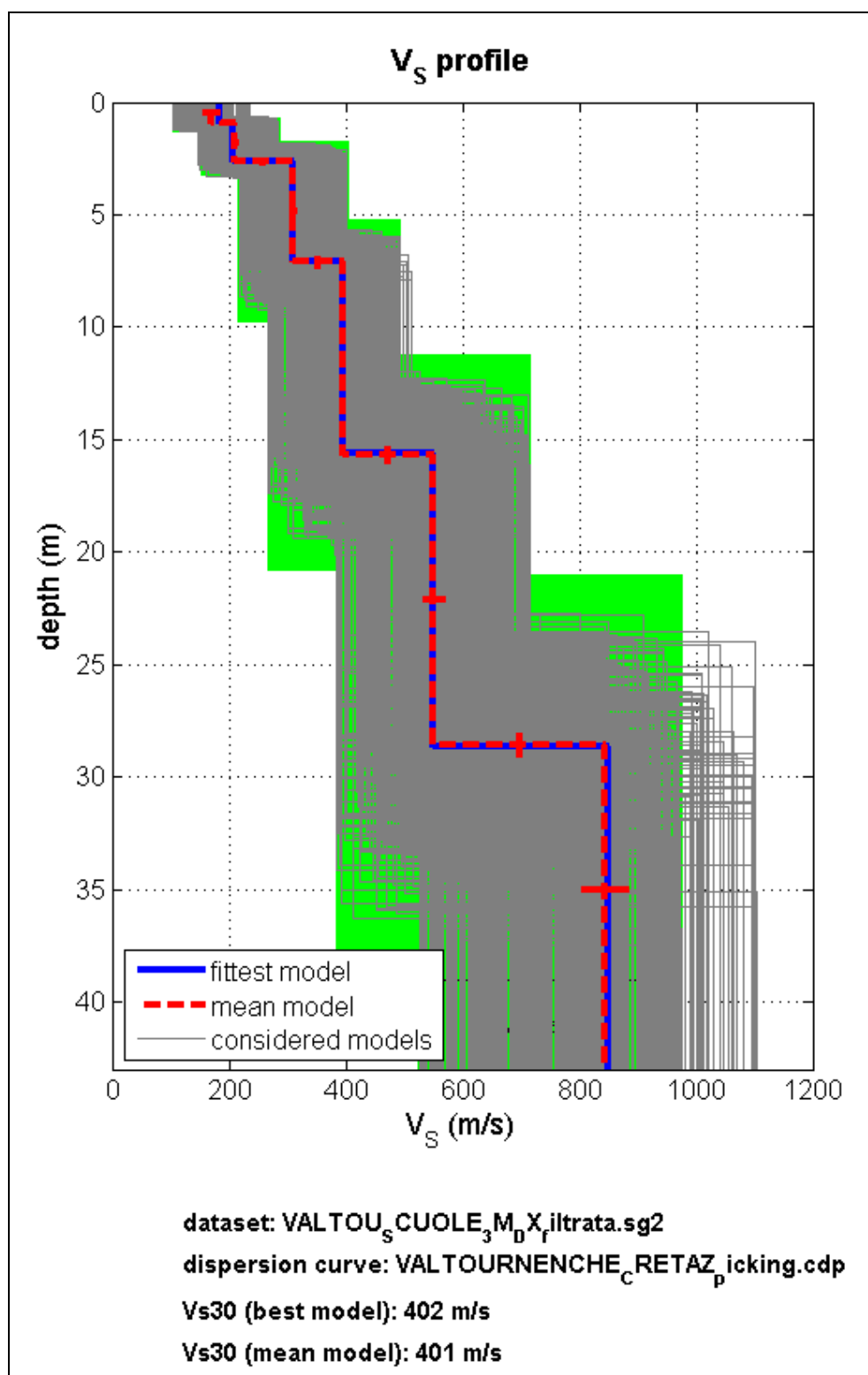
geophone spacing: 2 m



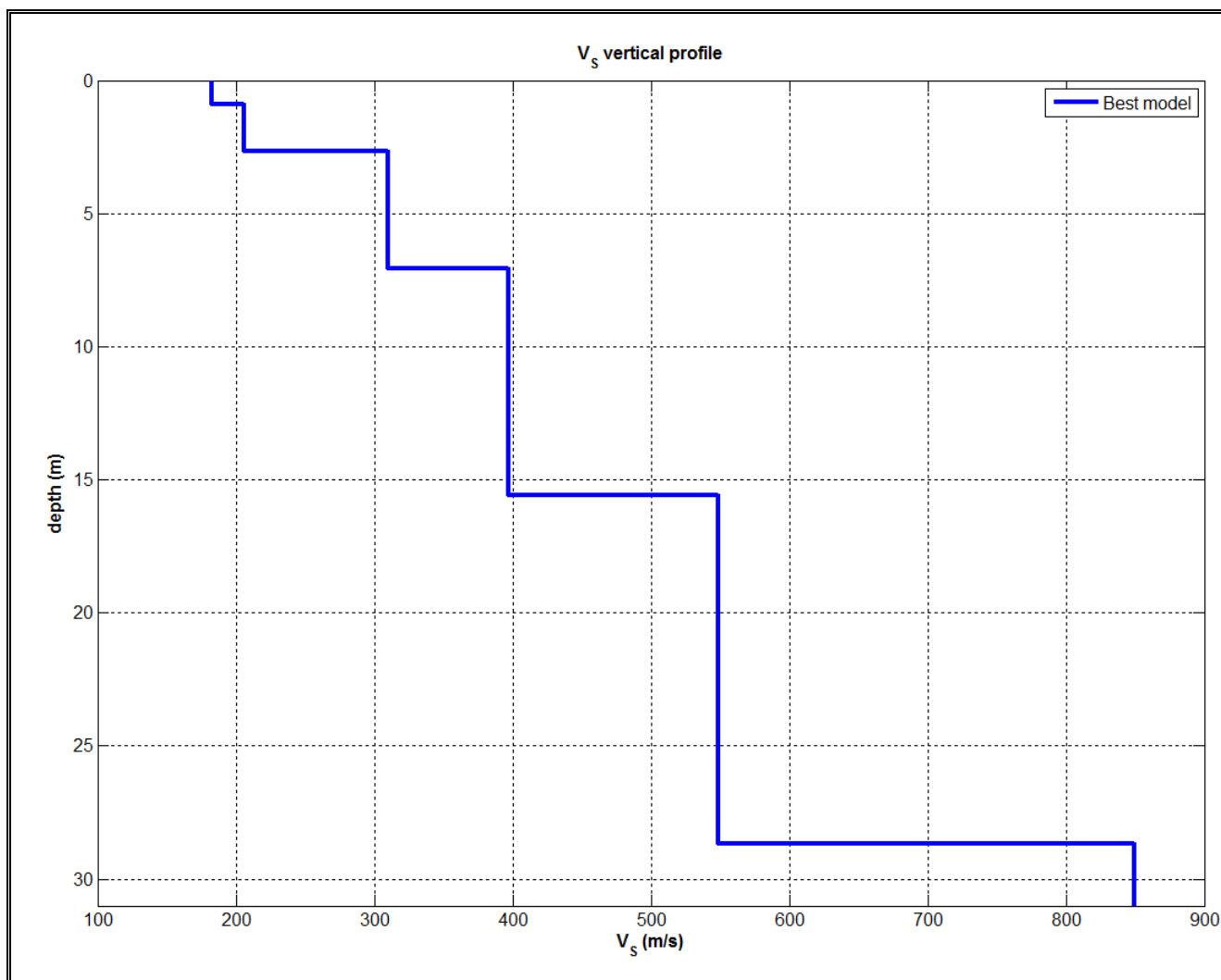
Di seguito viene presentata la **curva di modellazione** utilizzata sovrapposta allo **spettro di velocità nel dominio f/k** e successivamente la **curva di dispersione estratta** tramite operazione di “picking” manuale sovrapposta allo spettro di velocità.



A seguire il profilo verticale delle onde di taglio ottenuto tramite fase di processing ed inversione.



Infine si riporta il profilo verticale delle onde di taglio riferito al "best model" ricavato dalla fase di inversione.



SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs30 CALCOLATO
	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	
B		431 m/s

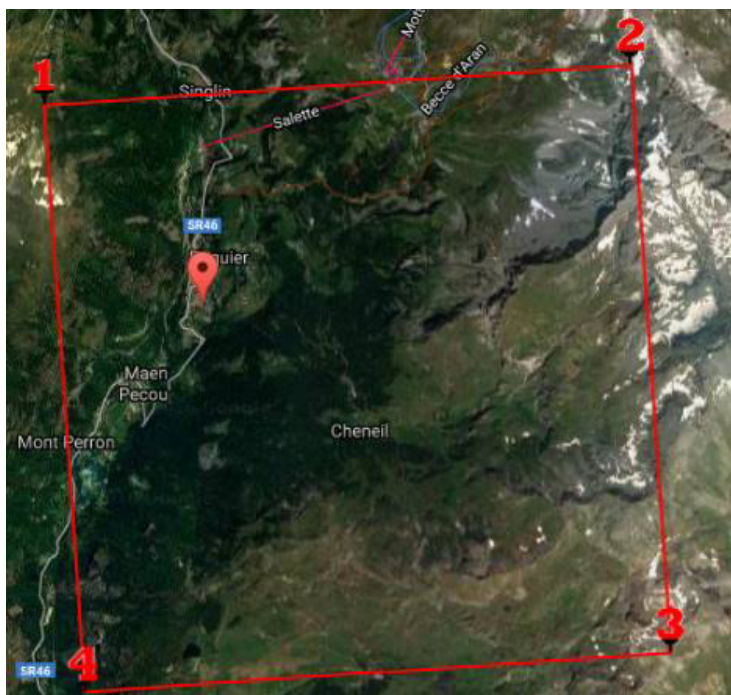
5. PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI RIFERITI AL SITO IN OGGETTO

Si riportano di seguito, i principali parametri e coefficienti sismici riferiti al sito in oggetto, assumendo un sottosuolo di categoria B da utilizzare per la determinazione degli spettri di risposta ed il dimensionamento sismo-geotecnico dell'opera (a cura dell'Ing. Giuseppe ZINGHINI'), ricavati mediante applicazione del software Geostru PS Parametri sismici v.1.5 in ottemperanza a quanto stabilito dalle NTC 2008 e dalla Circolare Ministeriale n. 617 del 2 Febbraio 2009.

Coefficienti sismici N.T.C.

Dati generali sito in esame:

Latitudine: 45,875584 (coordinate ED50)
 Longitudine: 7,625331 (coordinate ED50)
 Classe edificio: 3
 Vita nominale: 50



Indicazione dell'area di intervento con sovrapposizione dei vertici della maglia del grigliato di riferimento.

Siti di riferimento:

Sito 1 ID: 10019	Lat: 45,8927Lon: 7,6059	Distanza: 2429,834
Sito 2 ID: 10020	Lat: 45,8962Lon: 7,6774	Distanza: 4634,530
Sito 3 ID: 10242	Lat: 45,8463Lon: 7,6823	Distanza: 5481,022
Sito 4 ID: 10241	Lat: 45,8429Lon: 7,6108	Distanza: 3807,848



Indicazione di dettaglio del sito di interesse.

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,038	2,472	0,216
Danno (SLD)	50	0,048	2,483	0,241
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,110	2,573	0,302
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,138	2,612	0,312

Parametri sismici su sito di riferimento:

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni
Coefficiente c_u :	1.5

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,490
St:	1,000
Kh:	0,009
Kv:	0,005
Amax:	0,453
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,000
Kh:	0,032
Kv:	0,016
Amax:	1,297
Beta:	0,240

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,460
St: 1,000
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,569
Beta: 0,200

SLC:

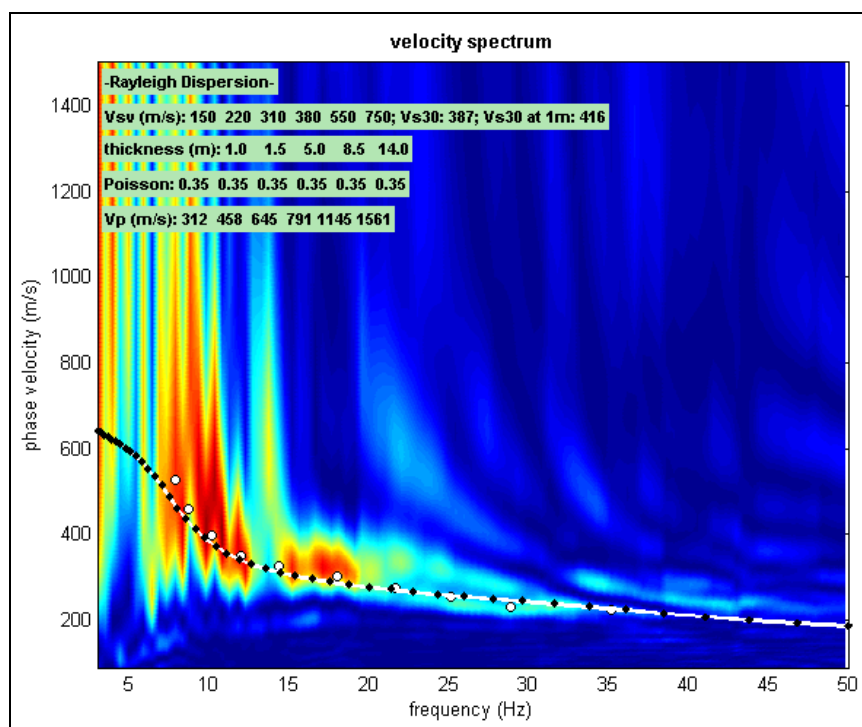
Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,000
Kh: 0,040
Kv: 0,020
Amax: 1,625
Beta: 0,240

14

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

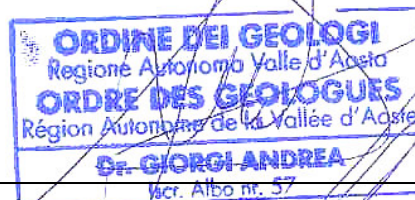
I risultati della prova sismica con metodologia MASW eseguita nel territorio comunale di Valtournenche, in loc. Cretaz, per il progetto di *Adeguamento strutturale delle scuole medie di Valtournenche ai sensi delle NTC2008*, hanno evidenziato valori del parametro Vs30 compatibili con un suolo di classe sismica "B" così definita nella nuova normativa sismica: *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina)"*.

Si sottolinea che, ponendo all'interno del software di elaborazione come dato di input la quota del piano di imposta dell'edificio scolastico in esame, a circa - 1,0 m di profondità rispetto a quella del piano di esecuzione dello stendimento (piazzale antistante), si ottiene comunque un valore di Vs30 compatibile con una **classe sismica di tipo B** (valore pari a 416 m/s).



Il tecnico incaricato:

Dott. Geol. Andrea Giorgi



7. ALLEGATO FOTOGRAFICO

