

**Regione Lombardia**

**Provincia di Brescia**



## **COMUNE DI BRANDICO**



### **COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

(L.R. 12/2005)

---

## **ALLEGATO 2: INDAGINE SISMICA**

---

GIUGNO 2010

Dott. Geol. Massimiliano Pelizzari - Dott. Geol. Carmela Ricci  
Via Tosio, 28 - 25121 Brescia – Telefono e Fax 030 3757893



Associazione Nazionale  
Imprese Specializzate  
in Indagini Geognostiche



## INDAGINI GEOGNOSTICHE

24048 TREVIOLO (BG)

Via F.lli Bandiera n° 2

**COMMITTENTE:** Dr.ssa Carmela Ricci

Dr. Massimiliano Pelizzari

**OGGETTO:** INDAGINE SISMICA

**INDAGINE SISMICA M.A.S.W.  
IN COMUNE DI BRANDICO (BS)**

BELLOLI  
MARCO  
n° 355  
INGEGNERE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA

**DATA:**

GIUGNO 2010

## **INDICE**

1) Indagine geofisica a Brandico (BS)	Pag. 2
2) Metodologia dell'indagine sismica M.A.S.W.	Pag. 3
3) Risultati dell'indagine	Pag. 13

## **Appendici**

1. REPORT RIASSUNTIVO INDAGINE M.A.S.W.
2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

**1.0 INDAGINE SISMICA IN COMUNE DI BRANDICO (BS)**

Per la stesura della nuova componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Brandico, in data 2 Marzo 2010 sono state effettuate quattro indagini geosismiche M.A.S.W. ubicate come da Tavola 1 allegata in appendice alla relazione.

L'ubicazione degli stendimenti è stata concordata con la Direzione Lavori considerando logistica ed accessibilità: si tratta di aree pianeggianti collocate in zone di futura espansione del tessuto residenziale (Masw 3 e 4) e industriale (Masw 1 e 2).

Per ogni indagine effettuata è stato realizzato uno stendimento rettilineo di lunghezza 46 metri utilizzando 24 geofoni (interdistanza geofonica 2 m).

Con questa tipologia di indagine si è potuto ricavare la categoria di suolo di fondazione grazie all'individuazione del parametro Vs30 (velocità delle onde S nei primi 30 metri di terreno).

**2.0 METODOLOGIA INDAGINE M.A.S.W.**

**Analisi multicanale delle onde superficiali**

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle

onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione

diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) e fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in

prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior



intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y) il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione ,meglio a ventiquattro canali, collegati a geofoni singoli a bassa frequenza(<10Hz).

L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il

fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

### **Strumentazione**

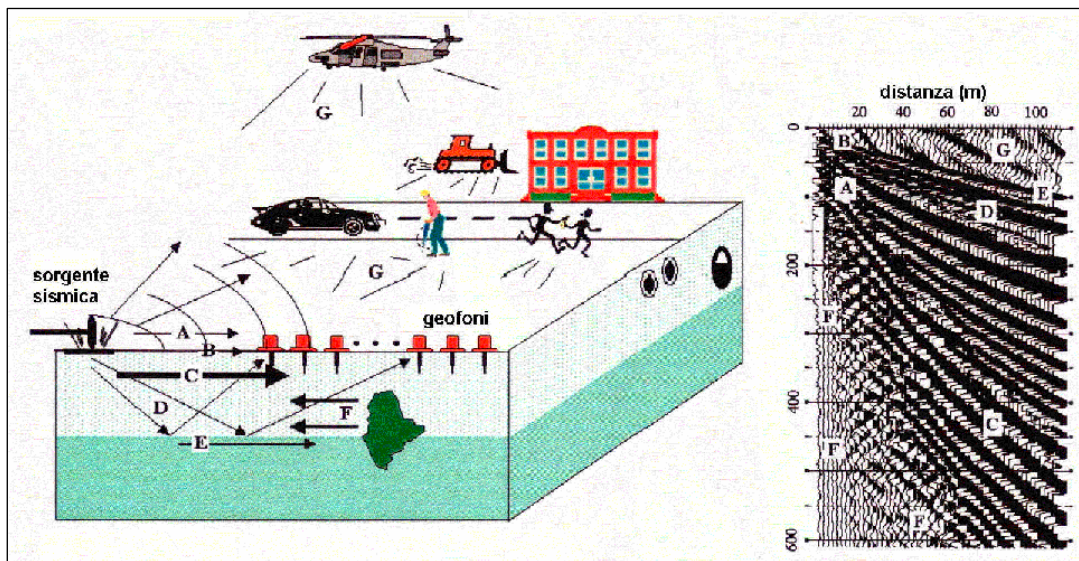
La strumentazione utilizzata è costituita da :

- Un sismografo SARA Electronic Instruments S.r.l. modello DoReMi a 24 canali;
- 24 geofoni a 4.5 Hz;
- Una mazza da 8 Kg.

## Vantaggi della registrazione multicanale

Acquisizione multicanale

Sismogramma multicanale



A: onde in aria

E: onde rifratte

B: onde dirette

F: onde riverberate

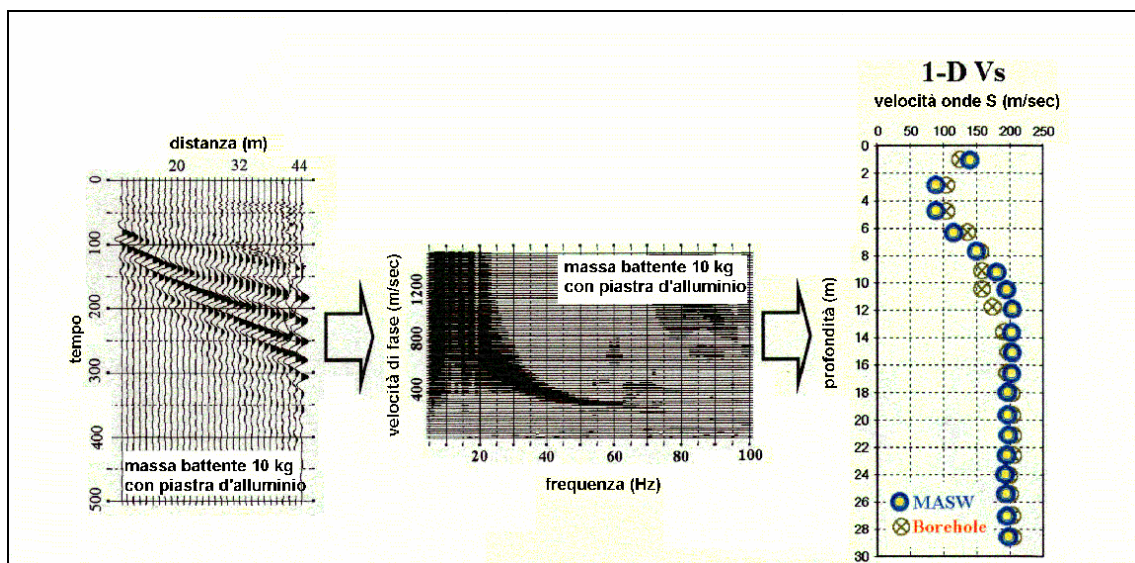
C: onde di superficie

G: rumore ambientale

D: onde riflesse

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti

tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.



La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

**3.0 RISULTATI DELL' INDAGINE**

In Appendice 1 è visualizzato il report riassuntivo dei risultati dell' indagine geosismica M.A.S.W..

Nella tavola vengono mostrate la curva di dispersione, lo spettro f-k, il sismogramma ed il profilo delle velocità delle onde  $V_{s30}$  il cui valore è stato calcolato utilizzando la formula

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$  - esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei primi 30 m da p.c.

Il sito viene quindi classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$  come riportato nella tabella in pagina seguente.

<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreno 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 $V_{s30}$ compresi fra 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)
<b>C</b>	<i>Depositati 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 $V_{s30}$ 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)
<b>D</b>	<i>Depositati 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 $V_{s30}$ 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).
<b>E</b>	<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).

Nell'indagine eseguita si sono riscontrati i seguenti valori calcolati:

**Masw 1:  $V_{s30} = 276,4$  m/s**

**Masw 2:  $V_{s30} = 273,5$  m/s**

**Masw 3:  $V_{s30} = 341,4$  m/s**

**Masw 4:  $V_{s30} = 322,0$  m/s**

tutti corrispondenti alla categoria di suolo C.



# UBICAZIONE INDAGINI EFFETTUATE

Tracciato stendimento geosismico M.A.S.W.

**TAVOLA n°1**

**SCALA 1 : 10.000**

MASW 1

MASW 2

MASW 4

MASW 3

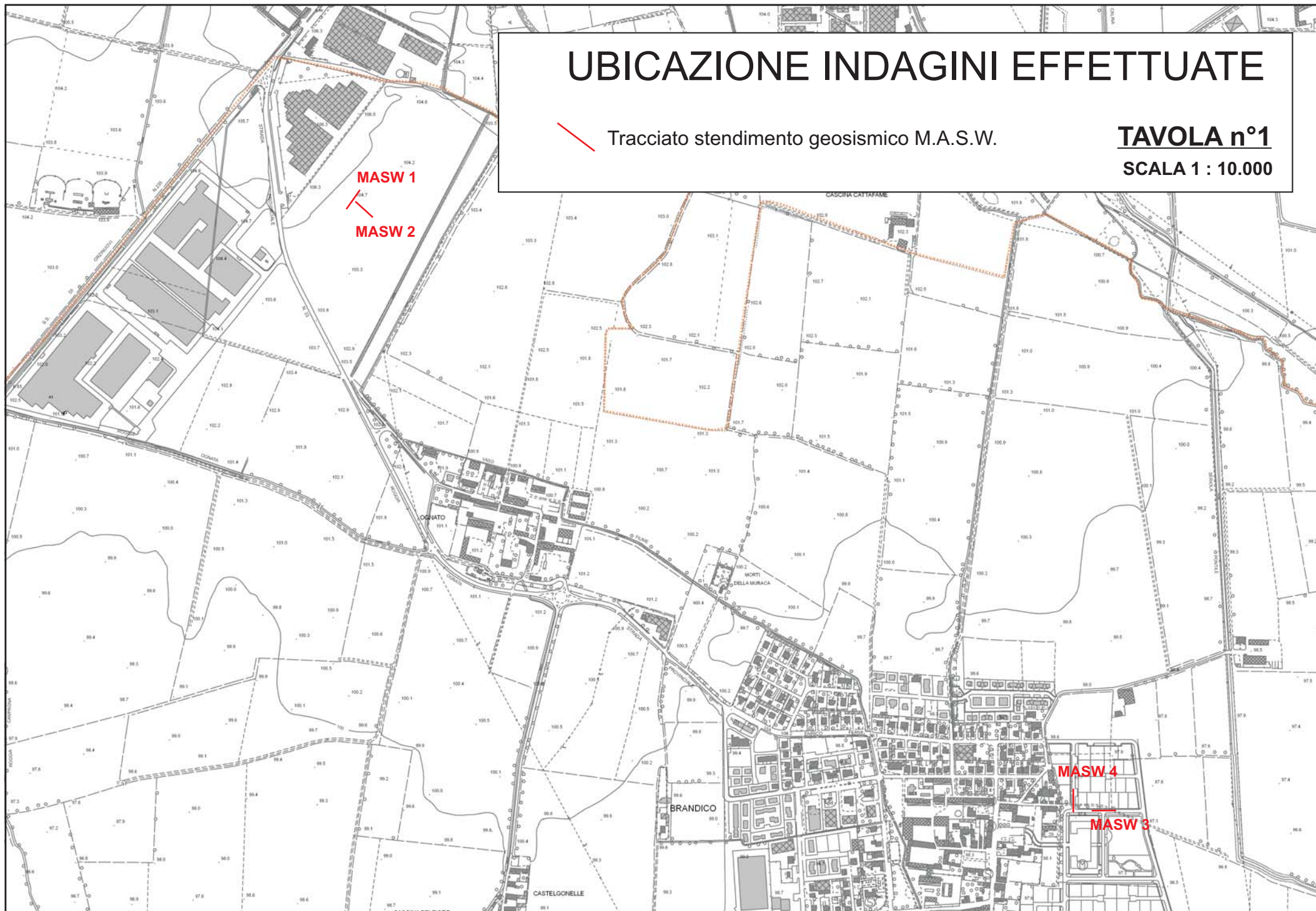




Fig. 1 – Panoramica stendimento MASW 1



Fig. 2 – Panoramica stendimento MASW 2



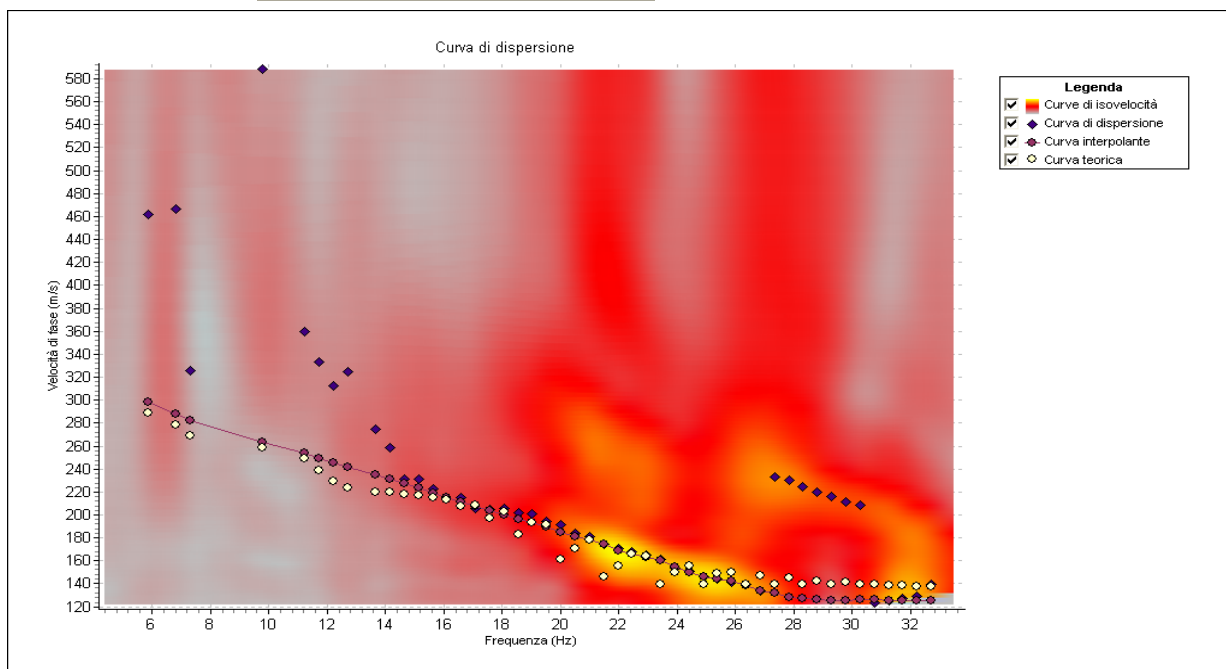
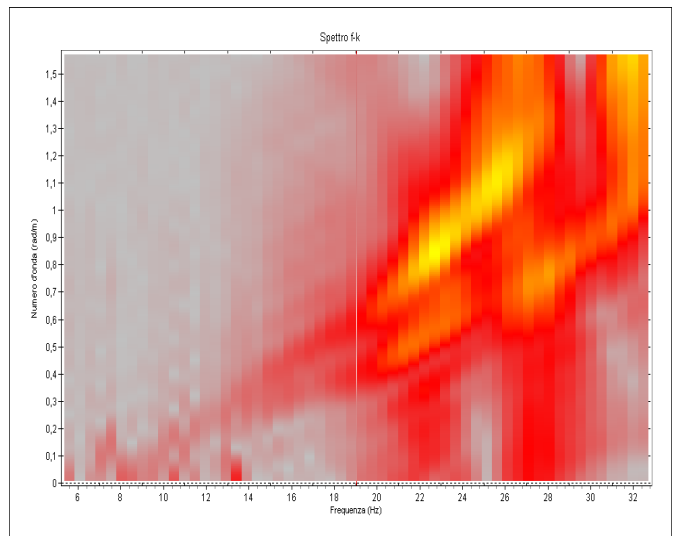
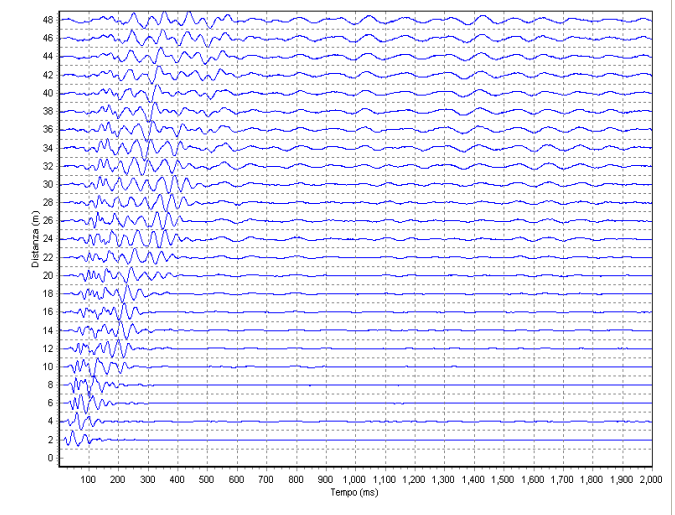
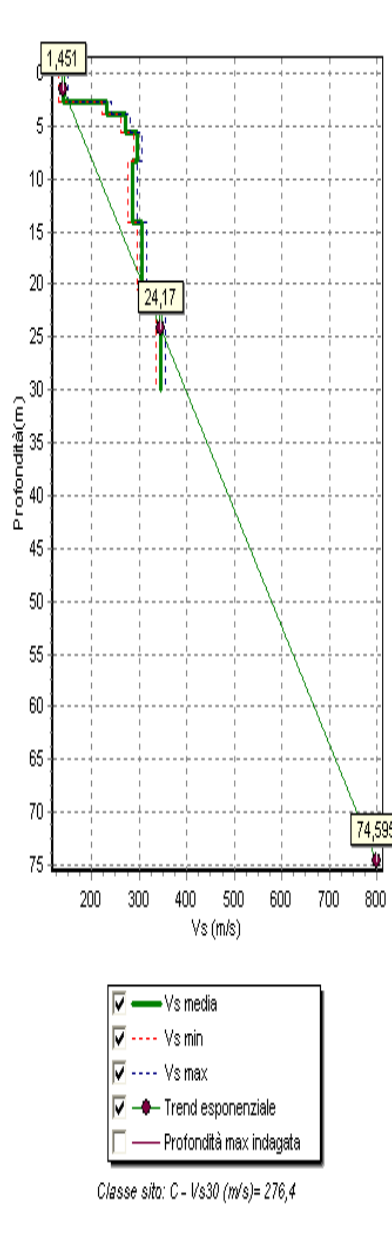
Fig. 3 – Panoramica stendimento MASW 3



Fig. 4 – Panoramica stendimento MASW 4

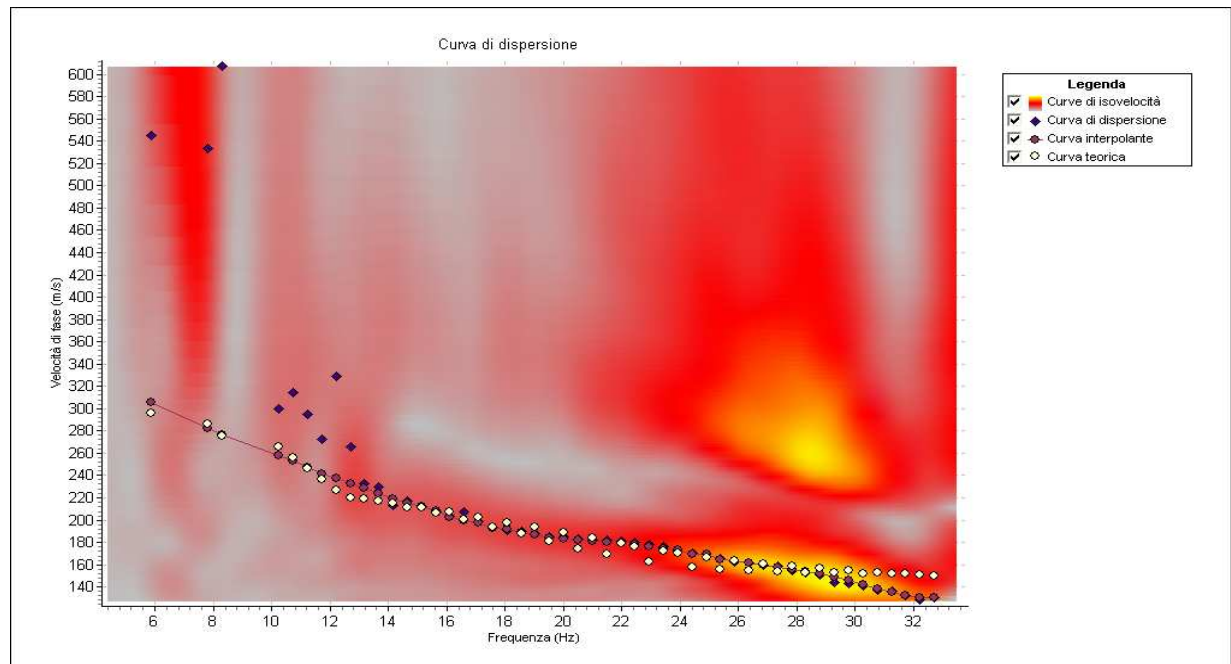
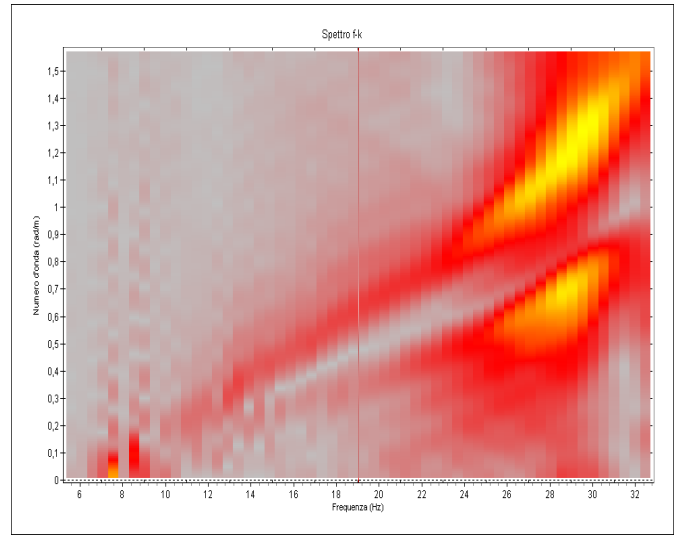
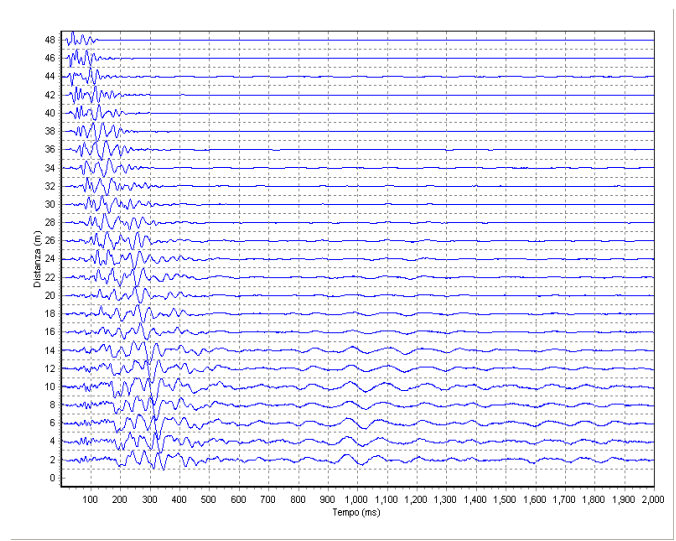
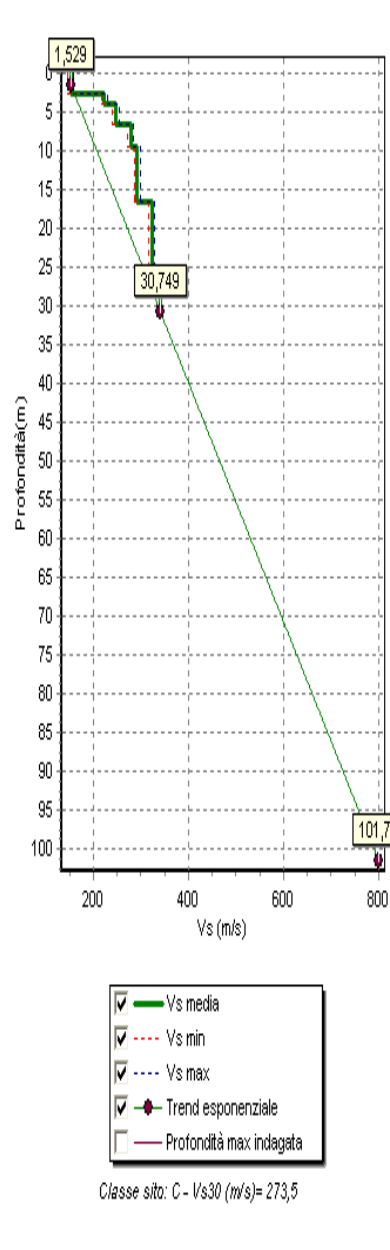
# Riassunto interpretazione MASW Brandico (BS) - Masw 1

Prof. (m)	Vs (m/s)	
1	2,7	140,0
2	3,9	231,0
3	5,7	272,0
4	8,4	297,0
5	14,1	287,0
6	20,4	305,0
7	30,0	345,0
8	-	-
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	-	-
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	-	-
21	-	-
22	-	-
23	-	-
24	-	-
25	-	-
26	-	-
27	-	-
28	-	-
29	-	-
30	-	-



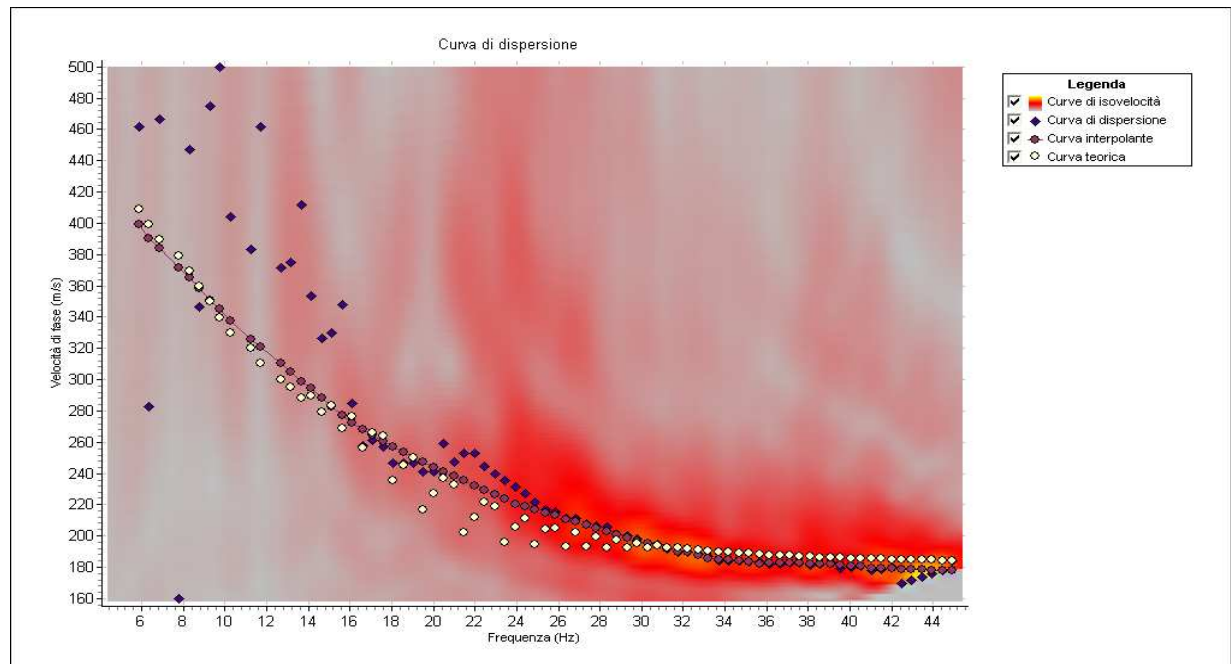
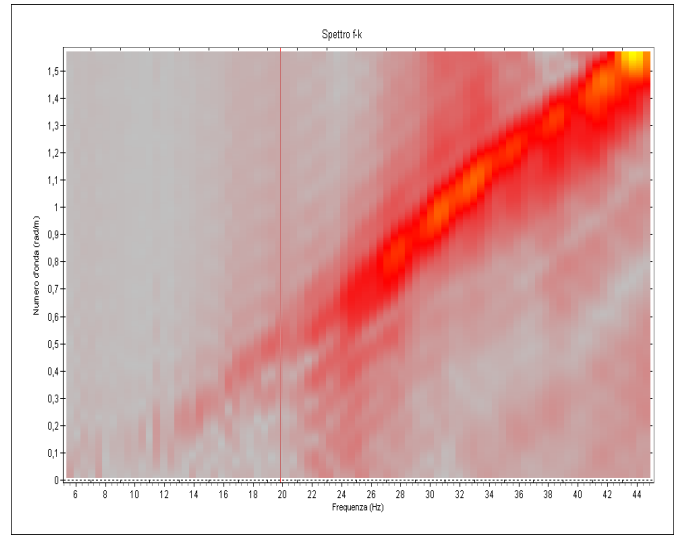
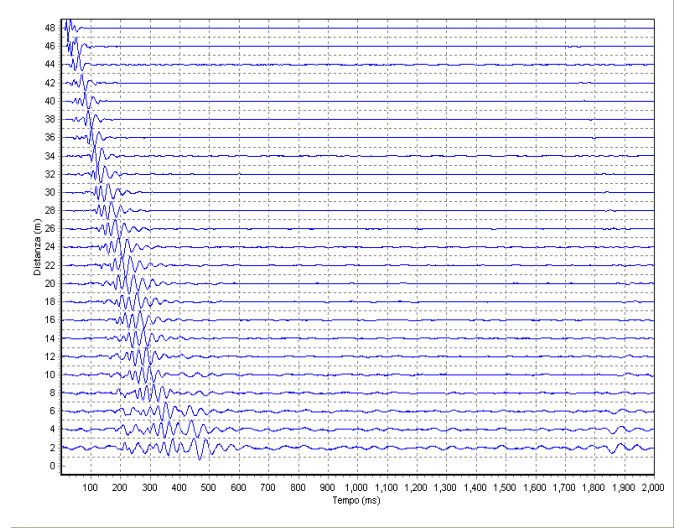
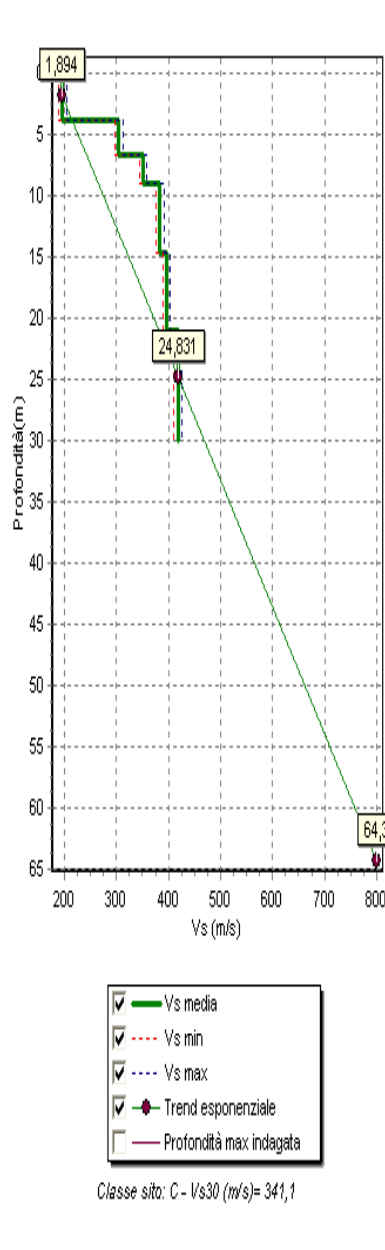
# Riassunto interpretazione MASW Brandico (BS) - Masw 2

Prof. (m)	Vs (m/s)
1	2,7
2	3,9
3	6,6
4	9,6
5	16,5
6	25,8
7	30,0
8	-
9	-
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-
26	-
27	-
28	-
29	-
30	-



# Riassunto interpretazione MASW Brandico (BS) - Masw 3

Prof. (m)	Vs (m/s)
1	3,9
2	6,6
3	9,0
4	14,7
5	21,0
6	30,0
7	-
8	-
9	-
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-
16	-
17	-
18	-
19	-
20	-
21	-
22	-
23	-
24	-
25	-
26	-
27	-
28	-
29	-
30	-



# Riassunto interpretazione MASW Brandico (BS) - Masw 4

Prof. (m)	Vs (m/s)	
1	3,9	192,0
2	6,6	280,0
3	9,0	316,0
4	14,7	334,0
5	18,9	372,0
6	30,0	407,0
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	-	-
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	-	-
21	-	-
22	-	-
23	-	-
24	-	-
25	-	-
26	-	-
27	-	-
28	-	-
29	-	-
30	-	-

