



COMUNE DI PALAU

Provincia di Sassari



**"Ampliamento in sopraelevazione, con
riqualificazione energetica e funzionale,
della scuola Primaria in
Via Incrociatore Trieste"**

Indagini geofisiche e Relazione Geologica Preliminare

ALLEGATO

TITOLO ALLEGATO

- G.0 2 -

INDAGINI GEOFISICHE

GEOLOGO: Dott. Luigi Villa

2018
Maggio



Descrizione della Metodologia d'Indagine

Metodo sismico a rifrazione

La metodologia di indagine a rifrazione consiste nel determinare una perturbazione elastica (detto *shot*) in un punto della superficie del terreno e contemporaneamente registrare in più punti distanti, disposti su un allineamento, il tempo trascorso tra l'istante dell'energizzazione (*tempo zero*) e l'arrivo di un suo impulso rifratto dalle superfici di discontinuità presenti nel sottosuolo.

Le registrazioni sono ottenute mediante l'utilizzo di sensori detti *geofoni*, allineati lungo uno stendimento a distanze (distanza intergeofonica) che variano in funzione dell'obiettivo e delle specifiche condizioni dell'area di indagine.

I segnali più importanti che vengono registrati sono relativi a tre tipi di onde, di seguito indicati nel loro ordine di arrivo: onde di compressione o primarie (onde *P*), onde di taglio o secondarie (onde *S*) e onde di Rayleigh o superficiali.

I tempi di arrivo ai singoli geofoni posti a distanze crescenti dal punto di energizzazione vengono quindi riportate su un grafico distanze/tempi di arrivo per ogni tipologia di onda che si propaga nel mezzo elastico, ottenendo così una retta di inclinazione variabile rispetto all'asse delle ascisse, detta dromocrona (Fig.1).

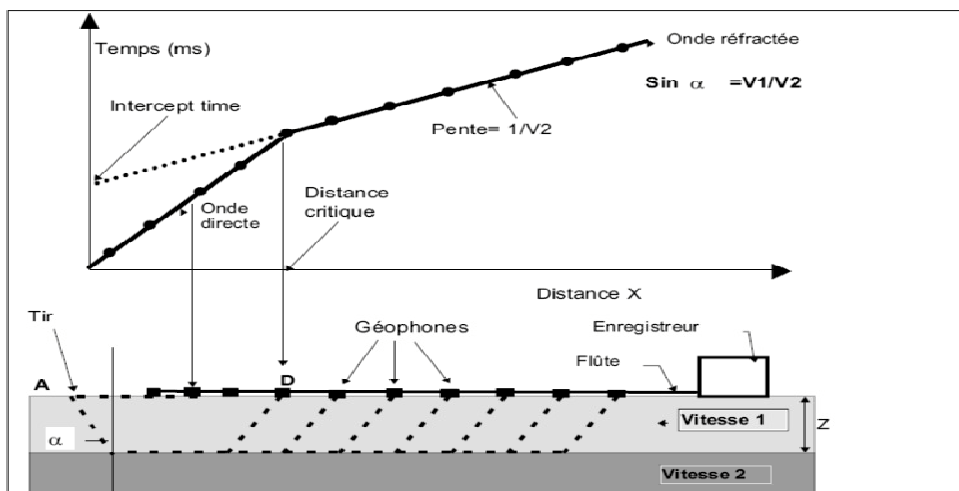


Fig. 1 : Schema metodologia d'indagine sismica a rifrazione

I tempi di arrivo dei raggi rifratti si disporranno nel diagramma tempi-distanze secondo una serie di rette di pendenza diversa tra loro e inferiore a quella delle onde dirette; dal calcolo dei coefficienti angolari delle si determina la velocità di propagazione dell'onda negli orizzonti attraversati e quindi, noto il tempo intercetto, anche il loro spessore.

Tramite software dedicati il dato così ottenuto potrà poi essere elaborato in tecnica

tomografica, ottenendo così dei modelli di dettaglio in grado di individuare e discriminare le anomalie laterali e verticali di profondità

Le velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e nei materiali in genere sono proporzionali a diversi fattori tra i quali la densità, lo stato tensionale del materiale o della formazione, l'eventuale grado di fratturazione. La conoscenza della distribuzione delle velocità di propagazione consente di assegnare ai campi di variazione di quest'ultima la presenza di geomateriali differenti o anomalie presenti nelle sezioni o nei volumi indagati.

La prova sismica SRT consente di determinare sezioni bidimensionali di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, in un deposito di terreno, attraverso la misurazione dei tempi di percorrenza di tali onde lungo percorsi tra i punti sorgenti di energia e i sensori disposti in superficie.

Le sezioni d'indagine, attraverso un apposito programma di elaborazione, vengono suddivise per passi successivi in celle quadrate o rettangolari, (di dimensioni variabili in dipendenza delle spaziature adottate tra i sensori e del passo tra i diversi punti di scoppio (o tiro), e per ciascuna di esse secondo un procedimento iterativo di convergenza si calcola il tempo necessario all'impulso sismico per attraversarle. Questa procedura rende possibile ricostruire la velocità sismica del mezzo nella sezione di interesse. Poiché le velocità di propagazione delle onde di compressione P e di taglio S sono proporzionali a diversi fattori tra i quali la densità, la composizione del materiale, lo stato tensionale della formazione, l'eventuale grado di fratturazione, è possibile dedurre una distribuzione dei vari materiali presenti.

Il potere risolutivo della tecnica tomografica è legato essenzialmente:

- al numero ed alla distribuzione delle misure nella sezione indagata;
- alla lunghezza d'onda della perturbazione sismica, la quale a sua volta dipende dalla velocità e dalla frequenza principale di oscillazione delle onde sismiche;
- all'orientamento ed alla distribuzione delle eventuali discontinuità ed alla stratificazione del sottosuolo;
- al rapporto tra la distanza di separazione tra i sensori e quindi alla lunghezza dello stendimento in superficie.

Le indagini a rifrazione in oggetto sono state condotte secondo le seguenti specifiche:

- acquisizione dati con array a 24 geofoni;

- *set-up* costituito da 9 punti di energizzazione superficiali con 6 scoppi intermedi, 1 centrale e 2 offset esterni; a questi, per una maggiore precisione di indagine, sono stati aggiunti: - L.1) 3 scoppi intermedi, trascurando un off-set esterno, per un totale di n° 12 tiri (scoppi); - L.2) 2 scoppi intermedi, per un totale di n° 11 tiri (Scoppi). (Per la posizione di geofoni e punti di tiro (Scoppi) vedasi planimetria sondaggi allegata)

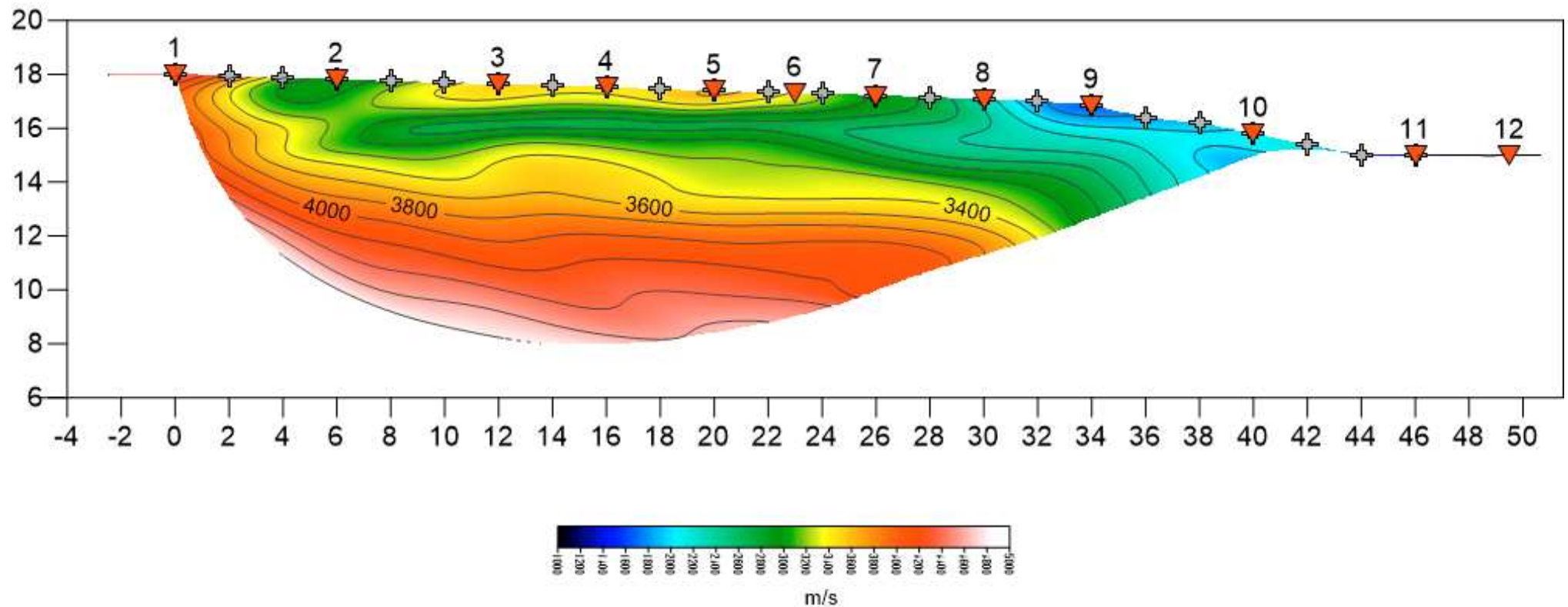
distanza intergeofonica di 2.0 metri (L.1) e di 2.5 m. (L.2) per i profili denominati L.1 e L.2; La prova MASW è stata eseguita lungo la L.2 con la sola sostituzione dei geofoni. Le distanze intergeofoniche sono state imposte dagli spazi a disposizione entro il lotto di indagine.

Il sismografo utilizzato è un DTM – SUMMIT X StreaN PRO – GERMANIA – a 24 canali.

I dati sono stati elaborati ed interpretati a cura della: Geostudi Astier s.r.l. con sede in Via Nicolodi n° 48 di Livorno.

(Vedi alle pagine seguenti: - Tomografie L1 ed L2; Planimetria con posizione e direzione delle linee tomografiche all'interno del lotto di ubicazione della scuola)

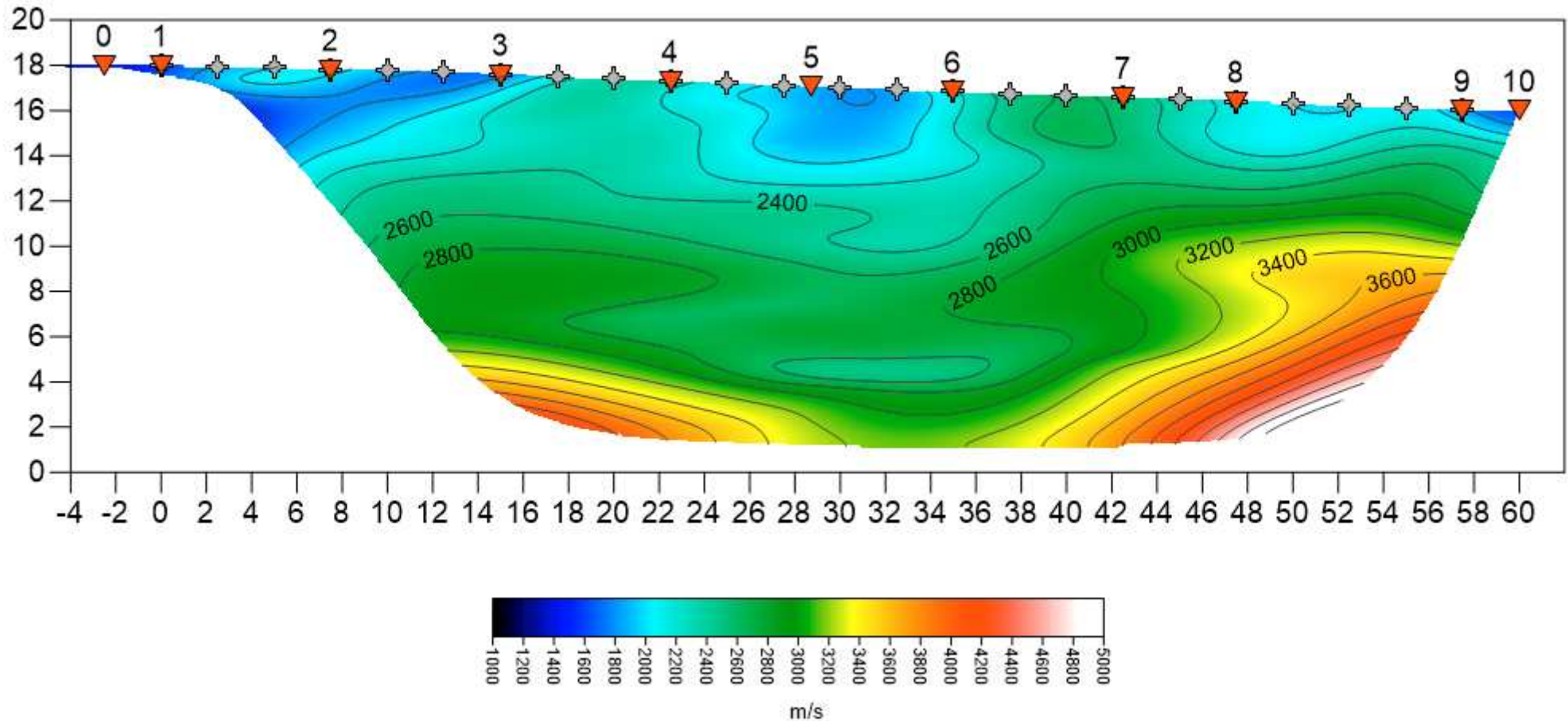
LINEA SISMICA 1



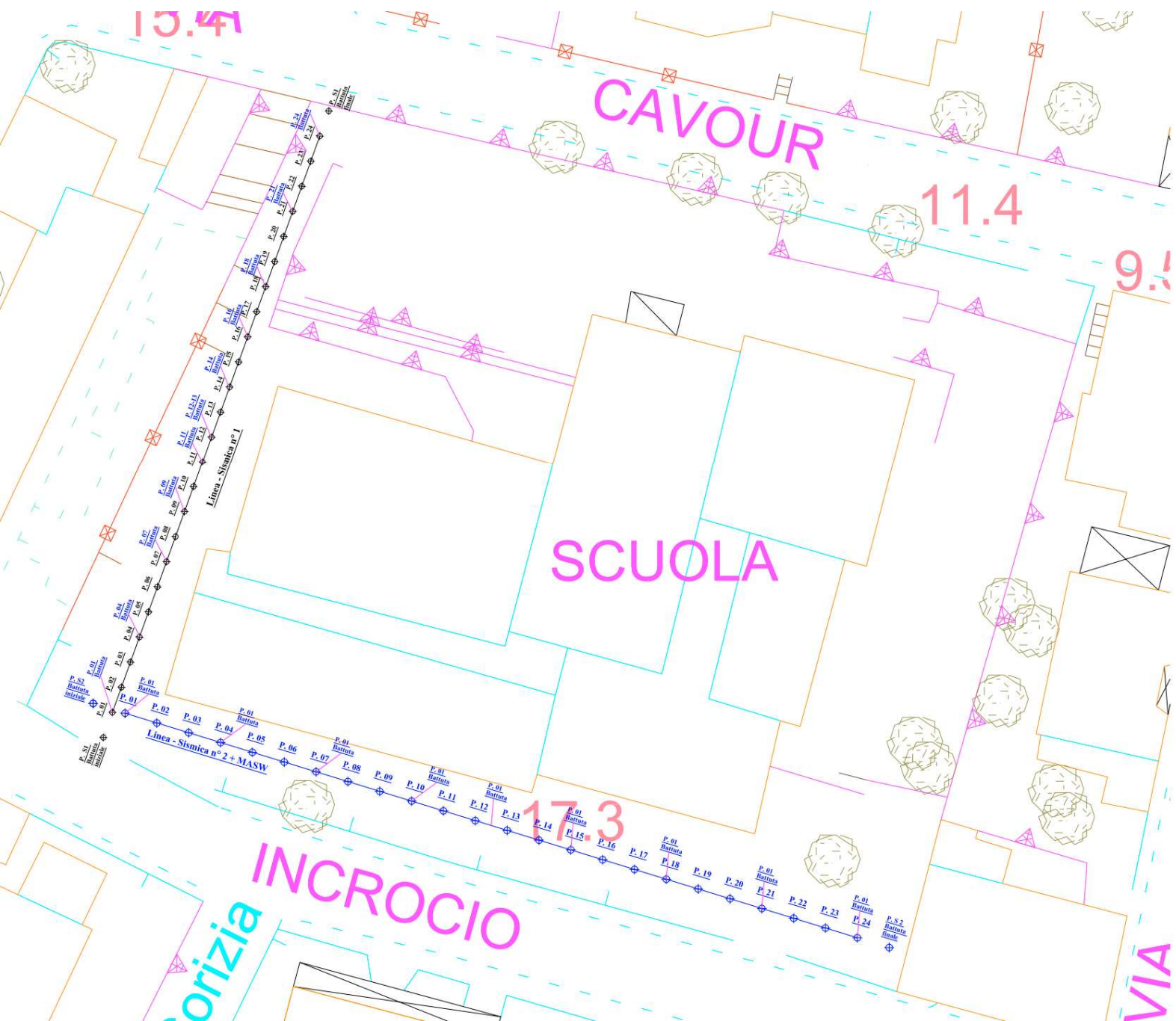
Nell'immagine si evidenzia la chiara presenza di un rifrattore continuo ed omogeneo con velocità >di 3000/s, che affiora nella porzione sud Geofoni 1e 2 per approfondirsi e mantenere una quota di circa 14 metri lungo lo sviluppo in direzione nord.

Nell'estremità nord si osserva la presenza di un potente livello con velocità non superiori a 2000m/s, che indicano terreni con bassa tenacità probabilmente legati al piccolo terrapieno attraversato dalle scale che conducono al campo sportivo. Il livello rifrattore superficiale con velocità >3000m/s è interpretabile come livello rigido della pavimentazione in cls.

LINEA SISMICA 2



Nell'immagine si osserva un rifrattore continuo ed omogeneo con velocità < 2400 m/s, che mostrando variazioni interne di velocità ha due minimi in prossimità dei geofoni 6-7 e 14-15. In particolare la riduzione di velocità mostrata nel settore est appare estesa anche a maggiore profondità nella direzione est. Il rifrattore con velocità > 3000 m/s appare in questa sezione localizzato a profondità maggiori di 8 metri; anche in questo caso si può ipotizzare la presenza di un prisma non naturale connesso alla realizzazione del fabbricato.



PLANIMETRIA

UBICAZIONE
SONDAGGI

Metodo sismico MASW

L'indagine MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è una tecnica investigativa che consente una ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo, permettendo di ricavare il parametro Vs30 necessario per la classificazione dei suoli in base all'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri (e successive modifiche) e alle NTC 2008 che stabiliscono le nuove norme tecniche in materia di progettazione antisismica. Per quanto concerne la fase di acquisizione del dato di campo, l'indagine MASW non è troppo diversa da una comune acquisizione per un'indagine di sismica a rifrazione, in quanto le onde di superficie sono facilmente generabili da una qualsiasi sorgente sismica quale ad esempio una mazza. L'acquisizione del dato prevede di effettuare uno stendimento di 24 geofoni (con frequenza da 4,5 Hz) allineati con la sorgente ad una distanza intergeofonica variabile in base alle condizioni di sito e di energizzare in un solo punto (off set) con una sorgente ad impatto verticale, ad una distanza dal geofono più esterno anch'essa variabile in un range prestabilito.

Sono state eseguite due prove, una per ciascuna sezione sismica. Di queste, la prova eseguita sulla L.1 è stata solamente estrapolata dai dati e sismogrammi ricavati durante l'acquisizione della sezione tomografica sismica a rifrazione: L1.

La seconda, sulla sezione relativa alla L.2 è stata eseguita secondo norma, sostituendo i geofoni utilizzati per la tomografia a rifrazione con geofoni idonei alla prova. In entrambi i casi si sono ottenuti risultati simili.

I valori riscontrati nelle due prove sono i seguenti:

PROVA MASW su L.2: $V_s eq = 474 \text{ m/s}$

Estrapolazione di Prova Masw da L.1: $V_s eq = 496 \text{ m/s}$

Questi risultati classificano i terreni indagati nella Categoria B (Vedi tabella seguente)

Per ulteriori dettagli vedasi la documentazione allegata:

Per Le sezioni tomografiche della sismica a rifrazione:

- I singoli sismogrammi dei singoli tiri (Scoppi) sono visibili all'interno della cartella "SISMOGRAMMI";
- SUMMIT X STREAM PRO (Caratteristiche tecniche del sismografo utilizzato)
- SUMMIT X Stream Brochure Italiano (Caratteristiche tecniche del sismografo utilizzato)

- Linea_1 ; Linea_2 per i grafici delle sezioni tomografiche sismiche a rifrazione
- L1_Rifrazione, L2_Rifrazione – file di elaborazione

Per le prove MASW:

- Report_MASW_L1; - Report_MASW_L2 – per i dati di calcolo

- Tabella 3.2.11

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori Vs_30 superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di tre metri
B	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>250kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori Vs_30 compresi tra i 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15<NSPT_30<50 nei terreni a grana grossa e 70<Cu_30<250kPa nei terreni a grana fina)
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT_30<15 nei terreni a grana grossa e Cu_30<70 kPa nei terreni a grana fina)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (Con Vs>800 m/s).

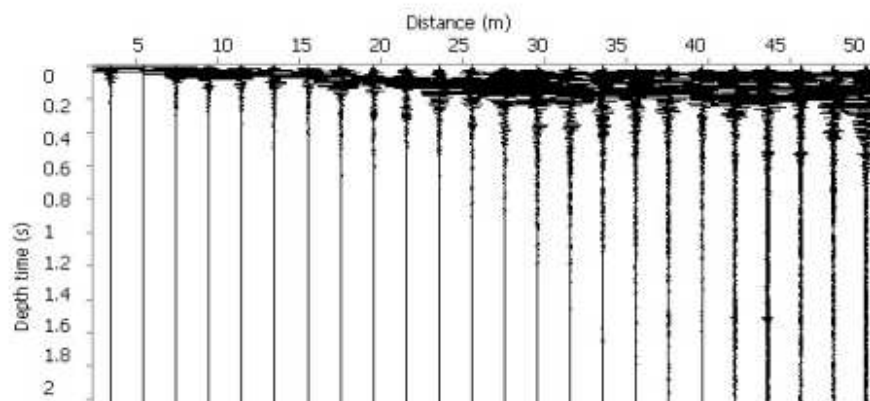
PROVA MASW 1

Setup

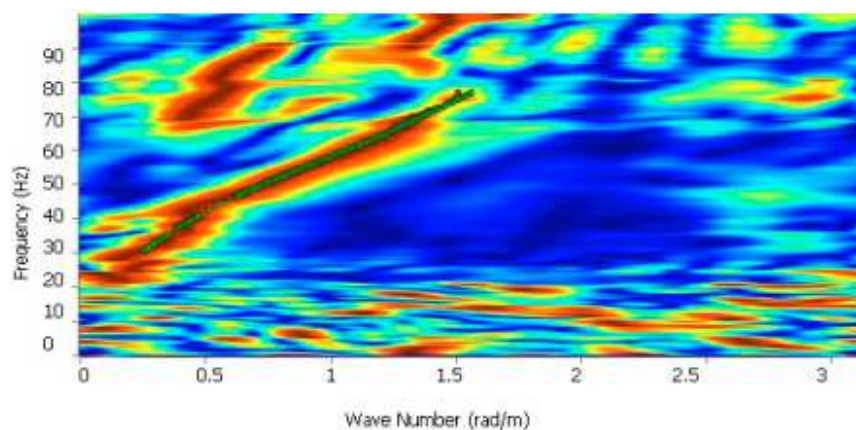
Sample Interval [ms]: 0.25
Number of samples: 8192
Record Length [ms]: 2048
Number of channels: 24
Distance to the first geophone [m]: 3.5
Distance to the last geophone [m]: 49.5
Geophone's mean spacing [m]: 2

Sismograph: DMT, Summit II Compact
Sampler: 24bit
Source: Hammer (8Kg)
Cut off frequency of the Geophones: 4.5Hz

Seismogram

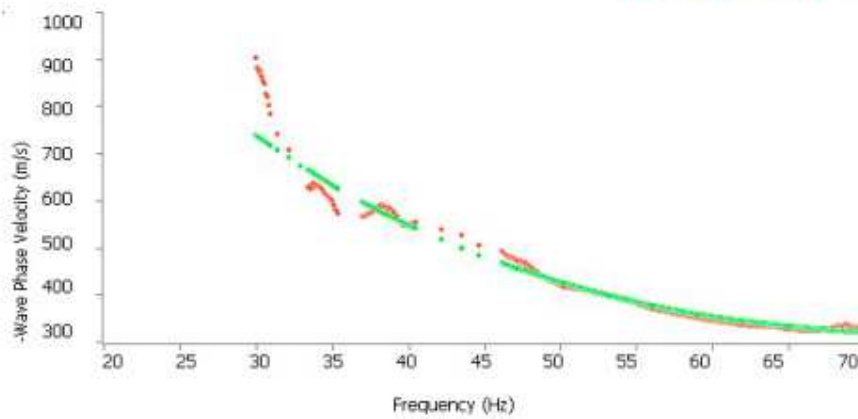


Spectrum

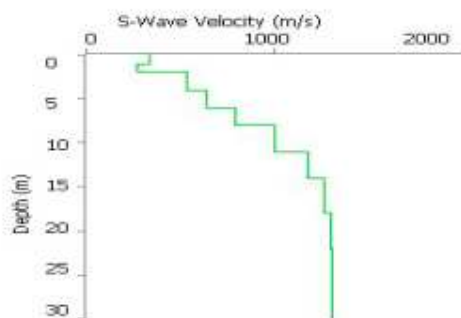


Dispersion Curve

Experimental dispersion curve
Theoretical dispersion curve



Profile



Vs eq = 496m/s

Layer	Thickness [m]	Depth [m]	Density [Kg/dm3]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Poisson [1]
1	1.00	0.00	1.80	333	666	0.333
2	1.00	1.00	1.80	271	542	0.333
3	2.00	2.00	1.80	531	1061	0.333
4	2.00	4.00	1.80	639	1277	0.333
5	2.00	6.00	1.80	784	1567	0.333
6	3.00	8.00	1.80	997	1993	0.333
7	3.00	11.00	1.80	1167	2332	0.333
8	4.00	14.00	1.80	1259	2516	0.333
9	4.00	18.00	1.80	1289	2576	0.333
10	INF	22.00	1.80	1298	2594	0.333

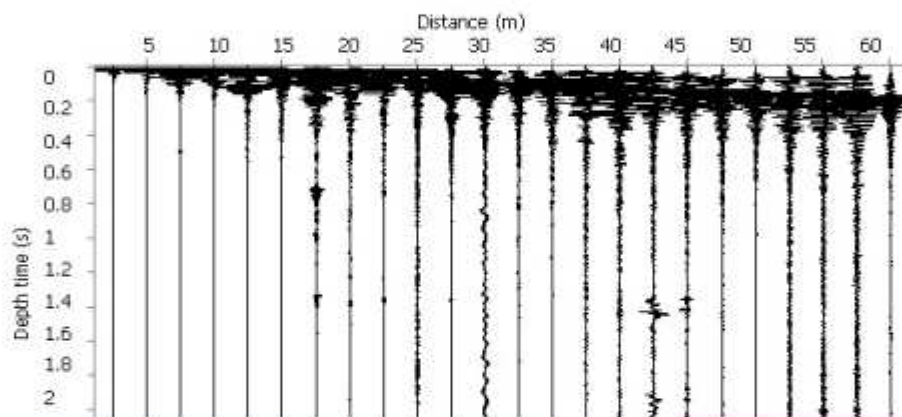
PROVA MASW 2

Setup

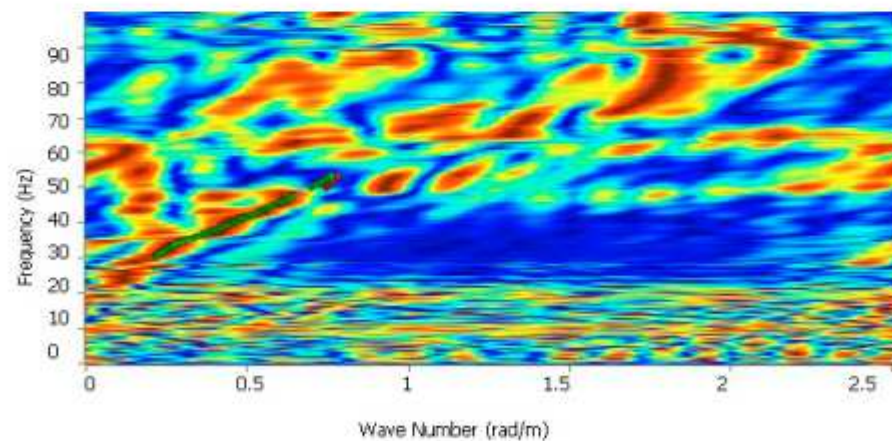
Sample Interval [ms]: 0.25
Number of samples: 8192
Record Length [ms]: 2048
Number of channels: 24
Distance to the first geophone [m]: 2.5
Distance to the last geophone [m]: 60
Geophone's mean spacing [m]: 2.5

Sismograph: DMT, Summit II Compact
Sampler: 24bit
Source: Hammer (8Kg)
Cut off frequency of the Geophones: 4.5Hz

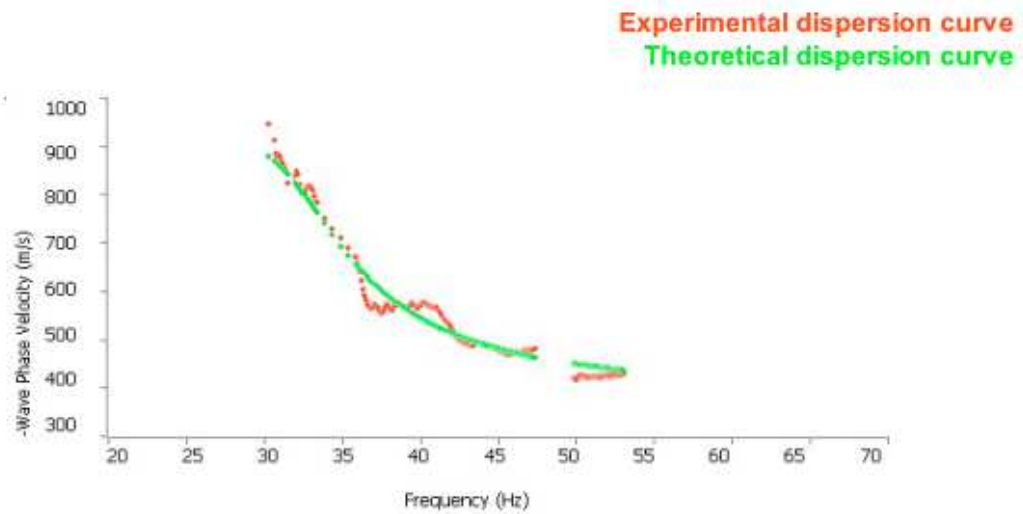
Seismogram



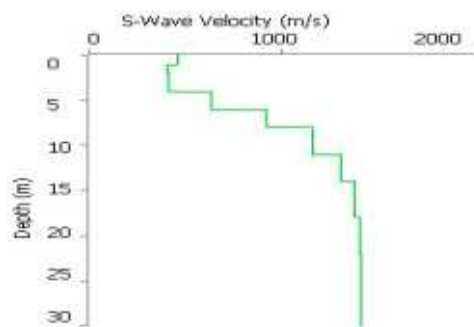
Spectrum



Dispersion Curve



Profile



Vs eq = 474m/s

Layer	Thickness [m]	Depth [m]	Density [Kg/dm3]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Poisson [1]
1	1.00	0.00	1.80	454	907	0.333
2	1.00	1.00	1.80	406	811	0.333
3	2.00	2.00	1.80	414	827	0.333
4	2.00	4.00	1.80	633	1265	0.333
5	2.00	6.00	1.80	913	1825	0.333
6	3.00	8.00	1.80	1154	2306	0.333
7	3.00	11.00	1.80	1298	2594	0.333
8	4.00	14.00	1.80	1370	2738	0.333
9	4.00	18.00	1.80	1395	2788	0.333
10	INF	22.00	1.80	1402	2802	0.333

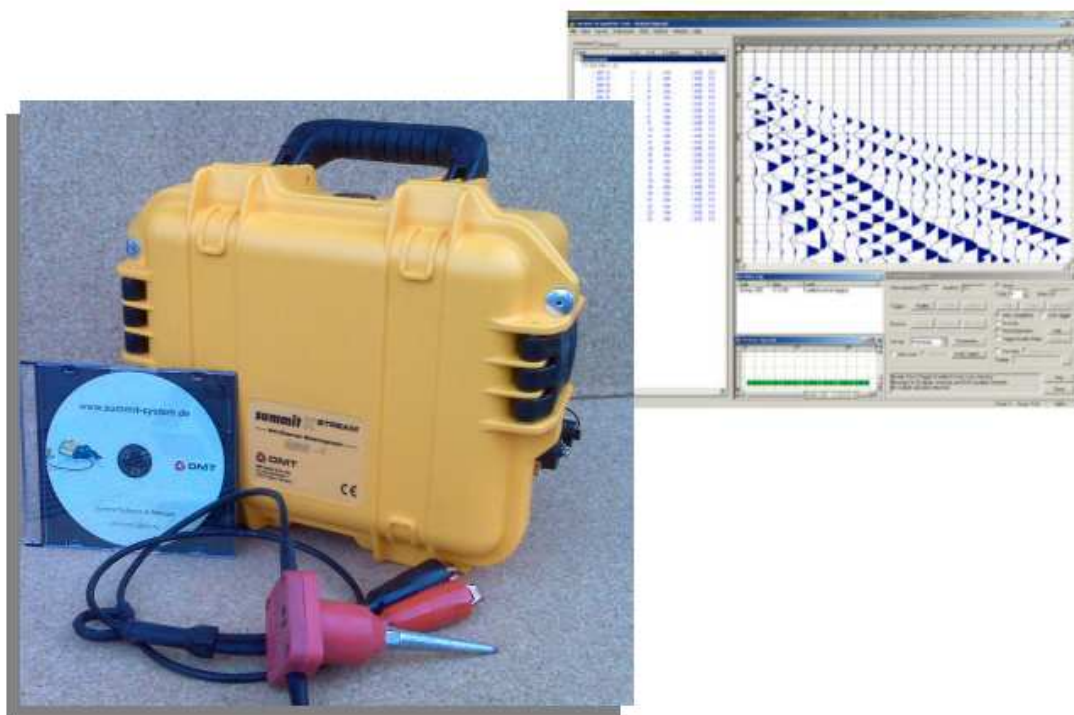
CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTALI

NUOVO SISMOGRAFO SUMMIT X STREAM



LE CARATTERISTICHE PRINCIPALI SONO LE SEGUENTI:

- Sismografo progettato per le applicazioni tipiche della geologia applicata all'ingegneria
- 24 canali a 24 bit con tecnologia tedesca DMT "Plug and Trace" per elevata produttività
- Nuova funzione *Noise monitor 3D*
- Ideale per acquisizioni tradizionali e LVL, MASW, REMI, VSP, Cross-Hole e con Streamers
- Facilità di utilizzo
- Unità compatta e leggera controllata da notebook/netbook
- Ottimo rapporto qualità/prezzo
- Sistema espandibile mediante unità Summit Compact collegate in cascata



Geostudi Astier srl

Tel. +39 0586 864734 Fax +39 0586 869274

www.geoastier.com - info@geoastier.it

NUOVO SISMOGRAFO SUMMIT X STREAM

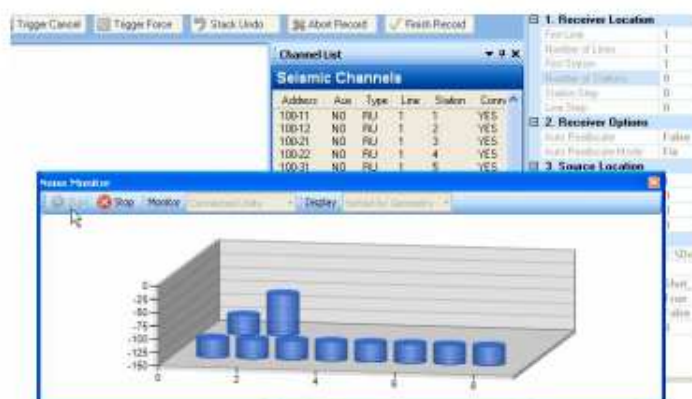


SPECIFICHE TECNICHE			
Intervalli di campionamento	1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 ms	Alimentazione	+ 9 - 18 VDC @ 0.2 W / canale
Lunghezza traccia	Fino a 120.000 campioni (<i>single shot</i>)	Dimensioni	30 x 24.9.0 x 19.6 cm
Preamp Gain	0 dB, 20 dB or 40 dB	Peso	3.8 kg
Convertitore A/D	24 bit a tecnologia delta sigma	Filtro digitale anti-Alias	- 3 dB @ 0.8 x Nyquist
Massimo segnale in ingresso	2.0 Volt RMS 5.6 Volt picco-picco	Reiezione alle frequenze di Nyquist	- 120dB
Impedenza di ingresso	20 kOhm	Passband ripple	+/- 0.05 dB
Dinamica istantanea	= 115 dB @ tempo di campionamento di 2 ms e 40 dB di guadagno di preamplificazione	Funzioni di test integrate	- Onda sinusoidale - Impulso - Rumore strumentale - Passo geofonico
Rumore di ingresso equivalente	Inferiore a 0.2 μ V RMS @ 2 ms di intervallo di campionamento e 40 dB di guadagno preamp	Funzioni di controllo sistema	- Stato batteria - Rumore di ingresso equivalente - Distorsione armonica totale - Range dinamico totale - Reiezione di modo comune - Interferenza <i>cross talk</i> - Precisione sul <i>time</i>
Interferenza <i>Crosstalk</i>	= 112 dB (tra canali)	Funzioni di controllo geofoni	- Impedenza - Attenuazione - Frequenza naturale - Rumore
Distorsione armonica totale	= 0.0008 %	Canali ausiliari	Canali ausiliari possono essere programmati come AUX o DATA
Rapporto di reiezione di modo comune	= 100 dB		

SPECIFICHE AMBIENTALI D'USO	
Intervallo di temperature di utilizzo	da -20°C a +60°C
Intervallo di umidità	0-95%
Involucro	Contenitore stagno in materiale antiurto per utilizzo su qualsiasi superficie

DMT
DMT GmbH & Co. KG
 Exploration & Geosurvey
 Am Technologiepark 1
 45307 Essen, Germany
 Phone +49 201-172-1970
 Fax +49 201-172-1971
 info.summit@dm.de
 www.summit-system.de
 Member of TÜV NORD Group

NUOVO SISMOGRAFO SUMMIT X STREAM (accessori)



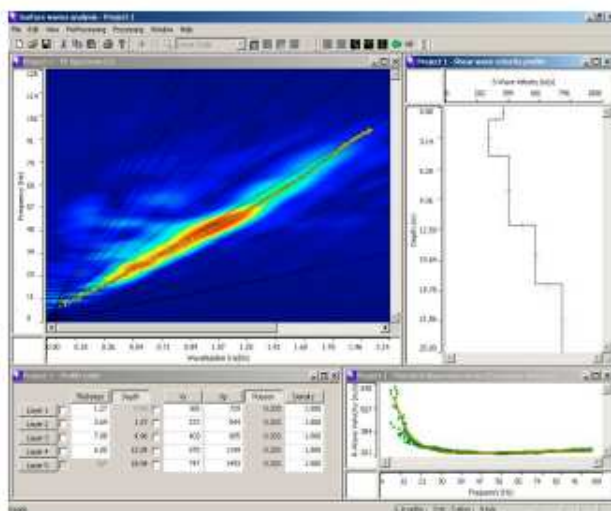
Nuova funzione *Noise monitor 3D*



Connettore cavo sismico MIL a 55 pins



Prese geofoniche
(altri modelli sono disponibili)



Software SWAN di elab. MASW e REMI



Land streamer per acquisizioni in trascinamento