

# Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

## Nuova S.S.291 Lavori di costruzione del 1° lotto da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas

### PROGETTO DEFINITIVO

**PROGETTAZIONE:** ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

**PROGETTISTI:**

Dott. Ing. *ACHILLE DEVITOFRANCESCHI*  
Ordine Ing. di Roma n. 19116

Dott. Ing. *ALESSANDRO MICHELI*      Dott. Ing. *FULVIO MARIA SOCCODATO*  
Ordine Ing. di Roma n. 19654      Ordine Ing. di Roma n. 18861

**IL GEOLOGO**

Dott. Geol. *STEFANO SERANGELI*  
Ordine Geol. Lazio n. 659

**IL RESPONSABILE DEL S.I.A.**

Dott. Ing. *FULVIO MARIA SOCCODATO*  
Ordine Ing. di Roma n. 18861

**COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Geom. *FABIO QUONDAM*

**VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO**

Dott. Ing. *ANTONIO SCALAMANDRE'*

**PROTOCOLLO**

**DATA**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS**

Dott. Ing. <i>Pier Giorgio D'Armini</i>	- Studio di traffico
Dott. Ing. <i>Elisa Luziatelli</i>	- Studio di traffico
Dott. Ing. <i>Gabriele Giovannini</i>	- Cartografia
Arch. <i>Barbara Banchini</i>	- Ambiente
Dott. Geol. <i>Giuseppe Cardillo</i>	- Ambiente
Dott. Geol. <i>Stefano Serangeli</i>	- Geologia
Dott. Ing. <i>Enrico Mittiga</i>	- Geotecnica
Dott. Ing. <i>Alessandro Mita</i>	- Idraulica
Dott. Ing. <i>Gianfranco Fusani</i>	- Strade
Dott. Ing. <i>Francesco Primieri</i>	- Strade
Dott. Ing. <i>Alessandro Piccarreta</i>	- Opere civili
Dott. Ing. <i>Francesca Bario</i>	- Opere civili
Geom. <i>Pietro Tomasiello</i>	- Opere civili
Geom. <i>Carmelo Zema</i>	- Espropri
Dott. Ing. <i>Pierluigi Fabbro</i>	- Interferenze
Dott. Ing. <i>Francesco Bezzi</i>	- Impianti
Geom. <i>Fabio Quondam</i>	- Comp., capitolati e sicurezza

**RESPONSABILI DI SERVIZI INGEGNERIA**

Dott. Ing. <i>Fulvio Maria Soccodato</i>	- Territorio
Dott. Ing. <i>Alessandro Micheli</i>	- Geotecnica e Impianti
Dott. Ing. <i>Achille Devitofranceschi</i>	- Opere Civili
Geom. <i>Fabio Quondam</i>	- Computi e capitolati
Dott. Geol. <i>Serena Majetta</i>	- Caratterizzazione ambientale

## GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

### Documentazione indagini geofisiche pregresse

CODICE PROGETTO		NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.		
L O P L S C	D	1401	B	--
NOME FILE		T00GE00GEORE03_B.PDF		
CODICE ELAB.		T00GE00GEORE03		
D				
C				
B	EMISSIONE PER PROCEDURE AUTORIZZATIVE	APR. 2015	Geol. S. Serangeli	Geol. S. Serangeli    Ing. A. Micheli
A	EMISSIONE	APR. 2015	Geol. S. Serangeli	Geol. S. Serangeli    Ing. A. Micheli
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO    APPROVATO



**STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA**  
E GEOFISICA APPLICATA ALL'INGEGNERIA  
*dott. geol. Luciano Puddu*  
09042 MONSERRATO (CA) - via Augusto 30 -  
tel./fax 070/573013 339/1459190 e-mail [geopuddu@tiscali.it](mailto:geopuddu@tiscali.it)



**NUOVA CIRCONVALLAZIONE**  
COMUNE di ALGHERO (SS)

**Prove MASW**

**Committente:**  
**SARDA SONDAGGI SRL**  
**VIA FRANCESCO GUARINO, 7**  
**07100 SASSARI**

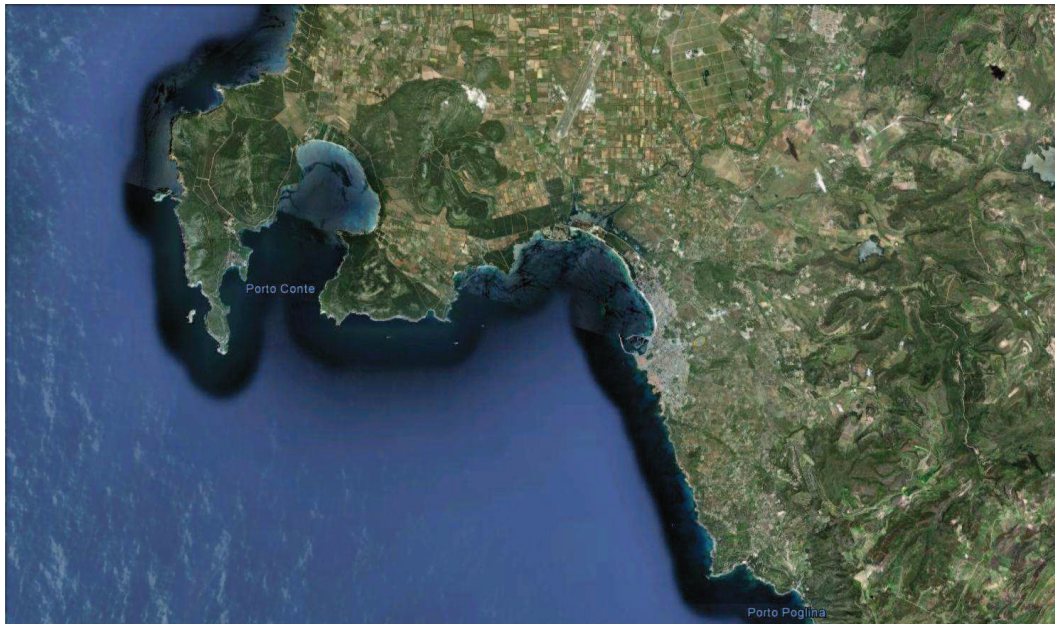


**ORDINE DEI GEOLOGI**  
**REGIONE SARDEGNA**  
N. 97 Dott. Geol. Luciano Puddu

## 1. PREMESSA.

Su incarico della Ditta Sarda Sondaggi Srl, con sede in Sassari, nel mese di dicembre 2012, nell'ambito degli studi per la caratterizzazione dei terreni insistenti lungo il tracciato della "Nuova Circonvallazione di Alghero", è stata eseguita una indagine geofisica per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio Vs30, come previsto dall'Ordinanza 3274 e dalle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni.

L'indagine è stata condotta secondo la tecnica "M.A.S.W." ("Multichannel Analysis of Surface Waves") ed ha comportato l'acquisizione dei dati sismici nel punto dove il nuovo tracciato stradale interseca un canale.

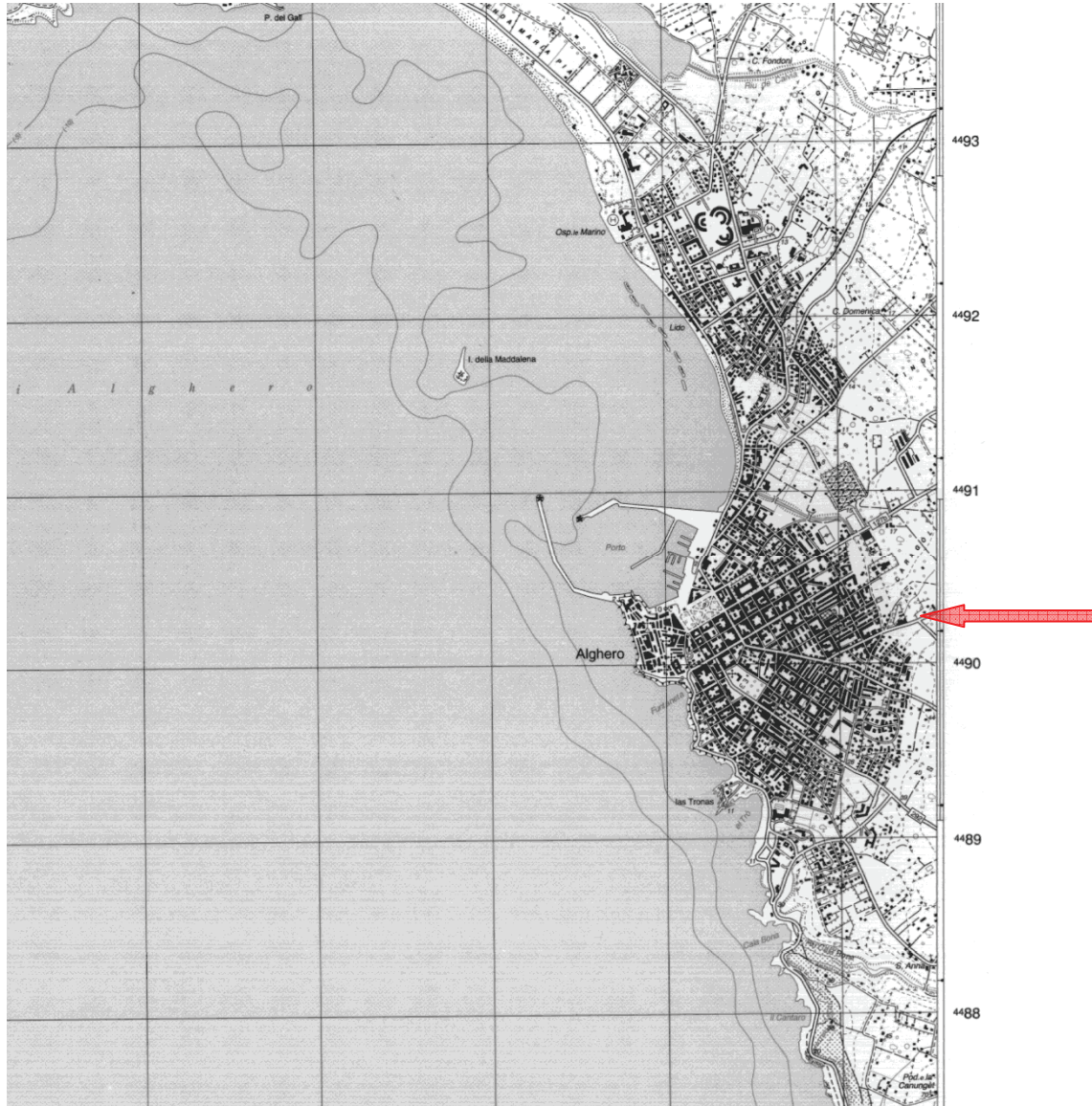


**Foto 1** Immagine satellitare della zona dell'intervento.



## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.

L'area oggetto di intervento è localizzata in prossimità del centro urbano della città di Alghero (SS) ed è compresa nel Foglio 478 Sezione I "ALGHERO" della Carta d'Italia alla scala 1:25.000.



*Fig. 1 Stralcio dalla cartografia IGM con indicazione del sito (non in scala).*

### 3. MORFOLOGIA.

L'assetto generale della zona risulta debolmente ondulato, tendente a pianeggiante, con quota media del terreno che, sulla base della cartografia ufficiale, risulta variabile intorno a 20 metri s.l.m.

Il sito si presenta con andamento pianeggiante.



**Foto 2** Panoramica del sito con lo stendimento sismico.

## 4. SISMICITÀ

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove “*Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni*” il profilo stratigrafico dei terreni impone di classificare le zone oggetto d’indagine con l’appartenenza alle differenti categorie sismiche; ovvero:

Categoria A: formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori VS30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri;

Categoria B: depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT > 50, o cu > 250 kPa);

Categoria C: depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < \text{NSPT} < 50$ , oppure  $70 < \text{cu} < 250$  kPa);

Categoria D: depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori VS30 < 180 m/s (NSPT < 15, oppure cu < 70 kPa);

Categoria E: profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 > 800 m/s.

## 5. INDAGINE GEOFISICA

### 5.1. Profilo Sismico “M.A.S.W.”

Per la classificazione dei terreni secondo quanto imposto dalla Nuova Normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e Nuove Norme Tecniche per le costruzioni) sono stati acquisiti i dati sismici lungo gli allineamenti geofonici posizionati sui punti indicati dalla D.L.

L’indagine, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle Onde di taglio (Onde S), è stata condotta secondo la metodologia MASW (“Multi-channel Analysis of Surface Waves”).

Tale metodologia sismica permette, tramite l’acquisizione di registrazioni multicanale delle onde superficiali di Rayleigh generate da masse battenti, di generare un profilo Vs in funzione della profondità.

L’intero processo comprende tre passi successivi:

- a) acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali (“ground roll”) mediante idonea strumentazione sismica;
- b) costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- c) inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs che descrive la variazione di Vs con la profondità.



Per ottenere un profilo Vs è quindi necessario produrre un treno di onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

L'inversione della curva di dispersione viene successivamente realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta sia per la procedura dei minimi quadrati.

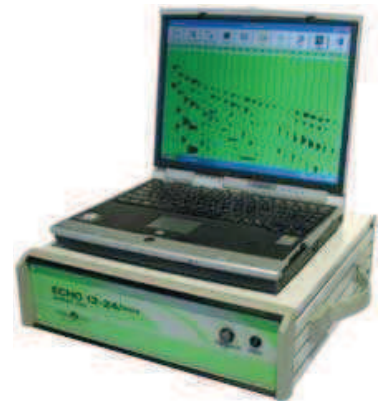
L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- registratore sismico
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

#### 5.1.1. Il sismografo

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un registratore sismico mod. Echo 12/24 2002 avente le seguenti caratteristiche:

- numero canali = 24
- intervallo di campionamento = 0,296 m/sec
- convertitore A/D = 16 bit
- Impedenza di ingresso common mode: 1 Kohm
- Guadagno selezionabile da 10 dB a 100 dB con step di 1 dB
- Tensione di saturazione = +/- 2,3 V
- Livello di saturazione 100 dB
- Distorsione 0.01%
- Durata della registrazione: 25, 50, 100, 200, 400, 1000 o 2.000 m/sec
- sommatoria di segnale (stacking)
- Possibilità di inversione della polarità (Stack polarity)
- Range dinamico 93 dB
- Alimentazione 12 V



#### 5.1.2. Il sistema di energizzazione

Come sorgente energizzante è stato utilizzato un maglio del peso di 10 kg che, battendo su un'apposita piastra metallica, ha generato le onde di compressione necessarie per l'indagine.



Foto 3 Il sistema energizzazione-trigger e la piastra di battuta

#### 5.1.3. Il trigger

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un sistema di starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta; ciò consente ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso che dà inizio alla registrazione dei dati sismici.

#### 5.1.4. Il sistema di ricezione

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Sensor con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati a sismografo tramite una coppia di cavi sismici (ciascuno con 12 takeouts) ed una coppia di prolunghhe.



Il risultato finale della fase di acquisizione dei dati di campagna è costituito da una serie di files in formato SEGY che successivamente saranno elaborati tramite gli appositi software di cui si è detto in precedenza.

Il processing dei dati acquisiti è stato eseguito con software EasyMASW.

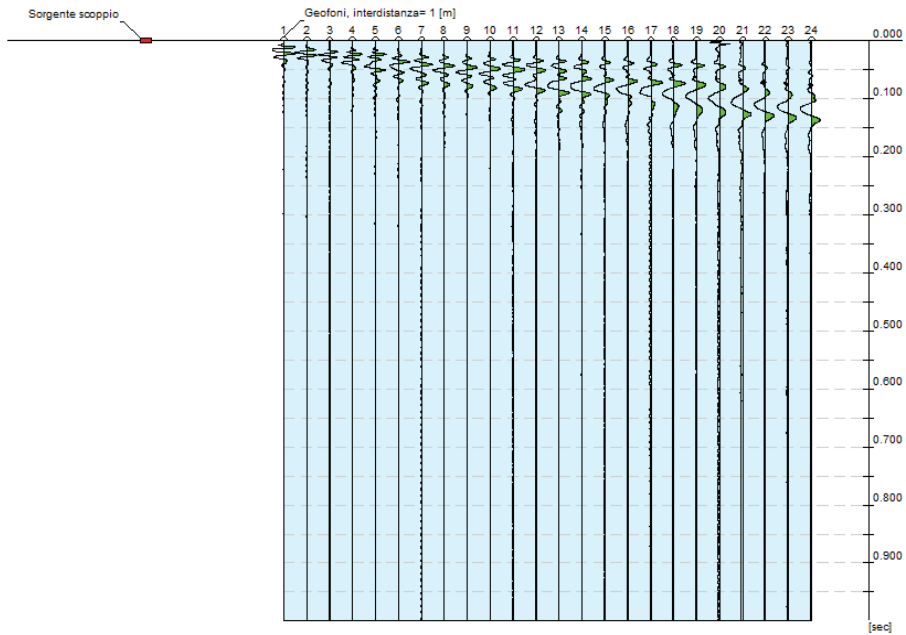




### Tracce sismiche

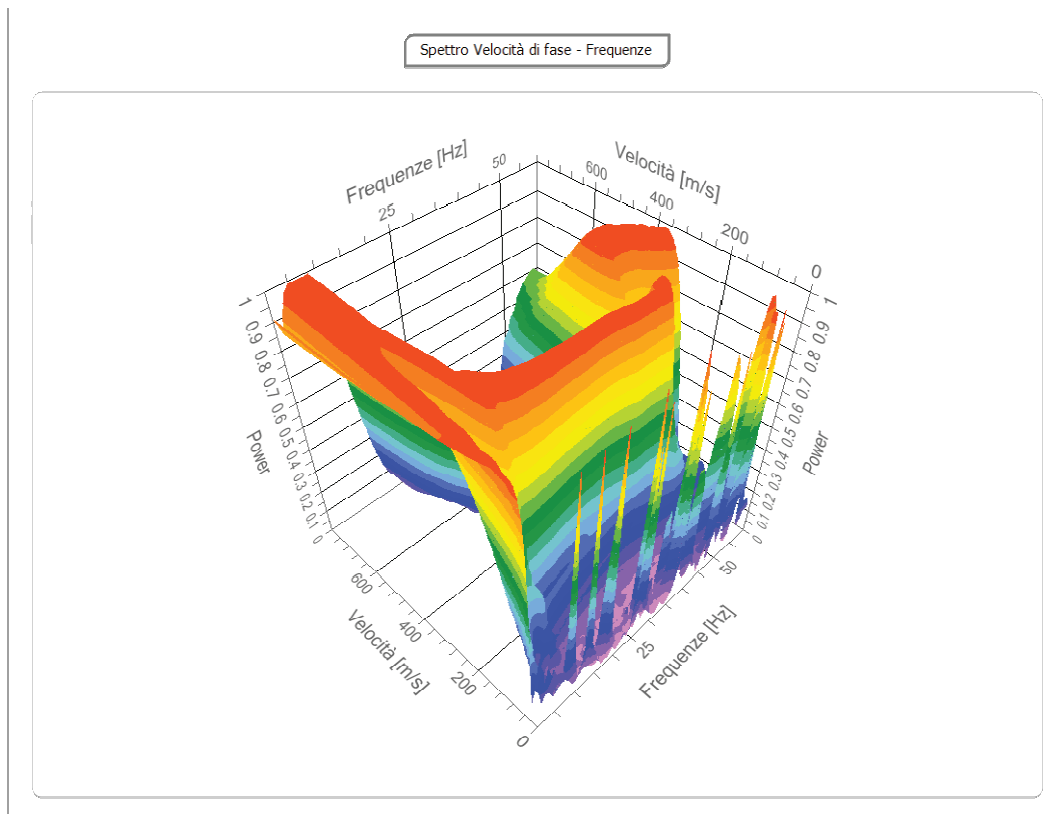
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131

Committente: Sarda Sondaggi Srl  
Cantiere: Nuova Circonvallazione di Alghero  
Località: Alghero (SS)  
Operatore: Marcella Del Rio  
Responsabile: Luciano Puddu  
Data: 15/12/2012  
Latitudine: 40.5642°, Longitudine: 8.3319°



### Analisi spettrale

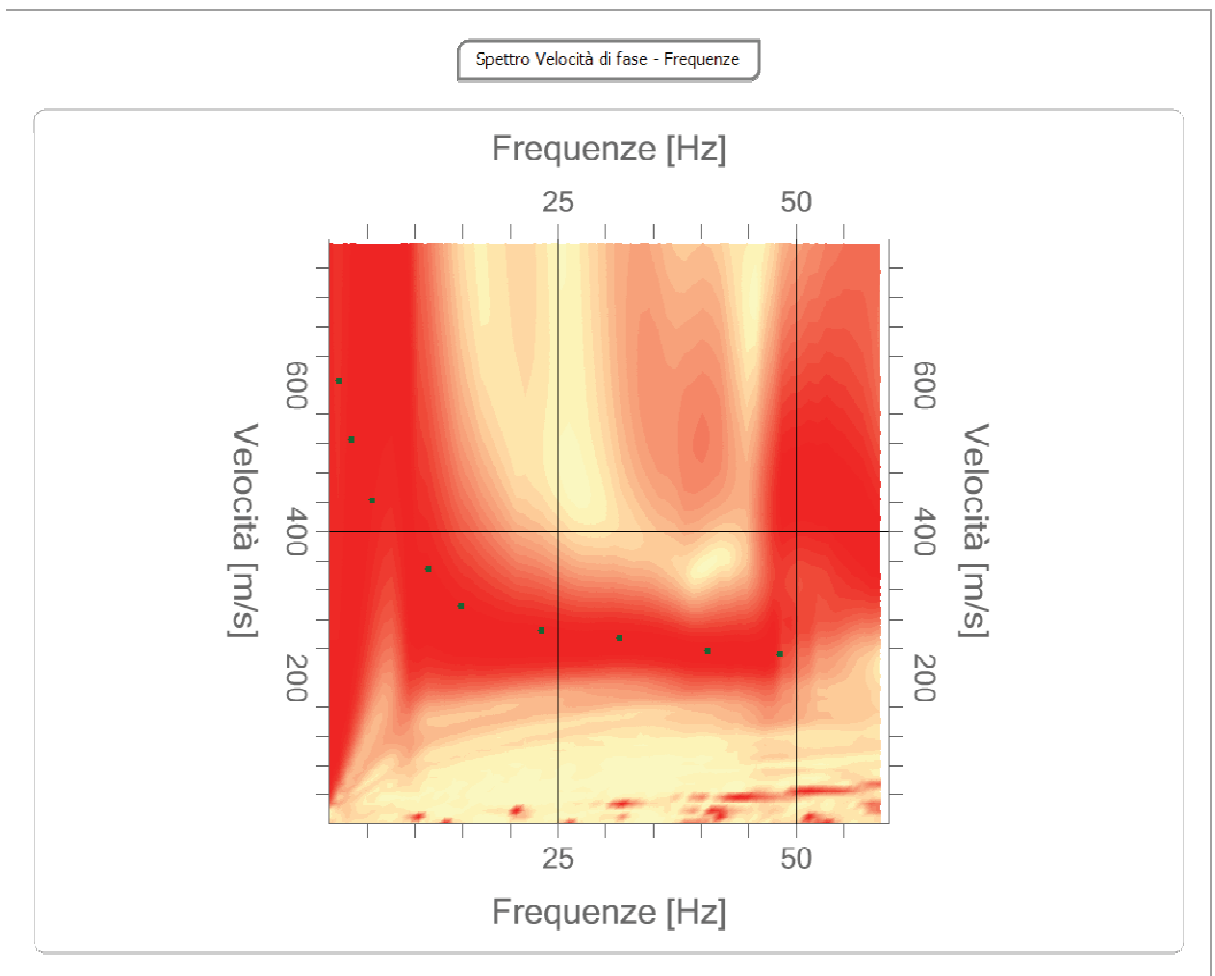
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1





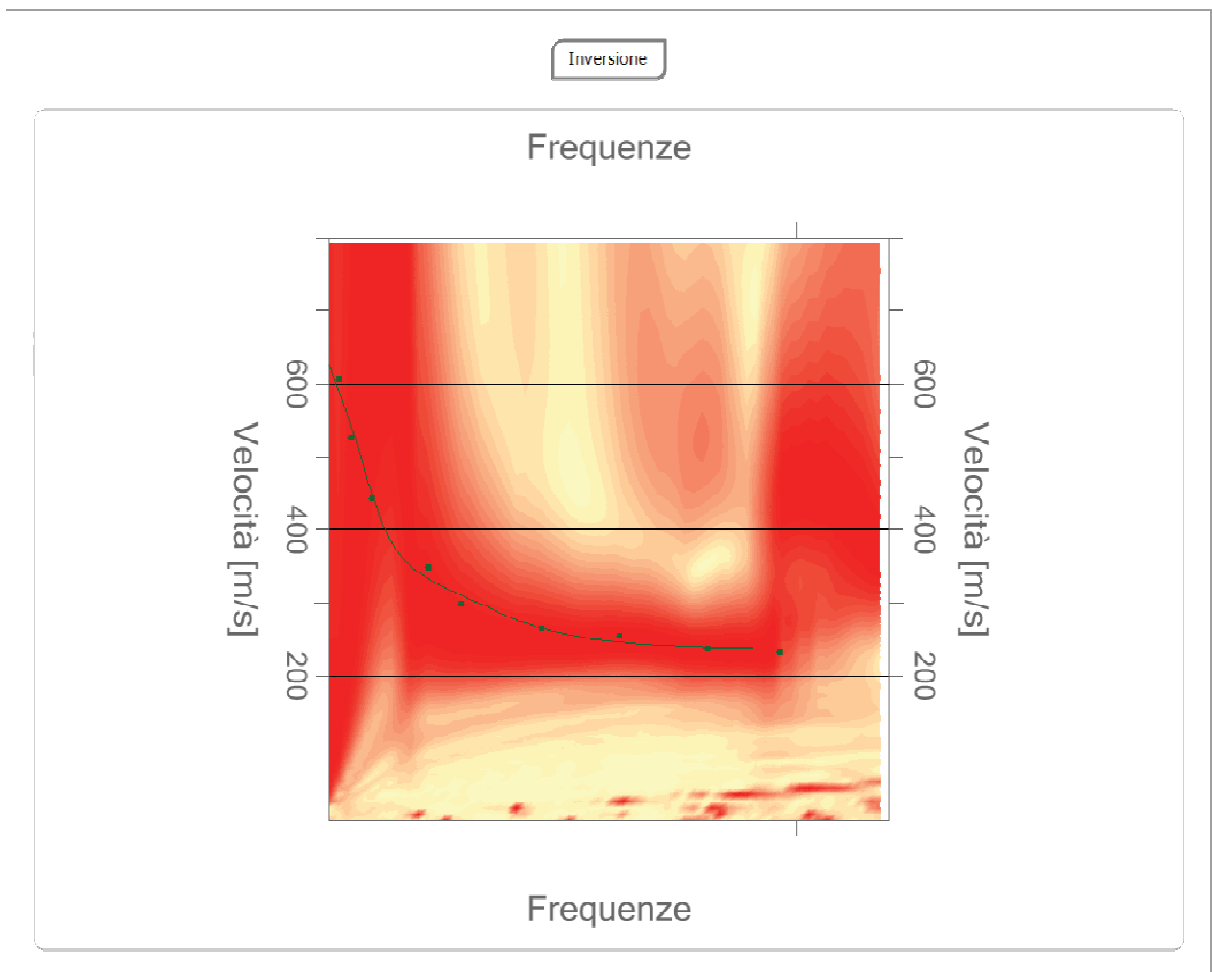
### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.1	604.8	0
2	3.3	526.0	0
3	5.6	442.3	0
4	11.4	347.2	0
5	14.9	298.0	0
6	23.3	265.1	0
7	31.6	253.7	0
8	40.7	235.6	0
9	48.4	232.3	0

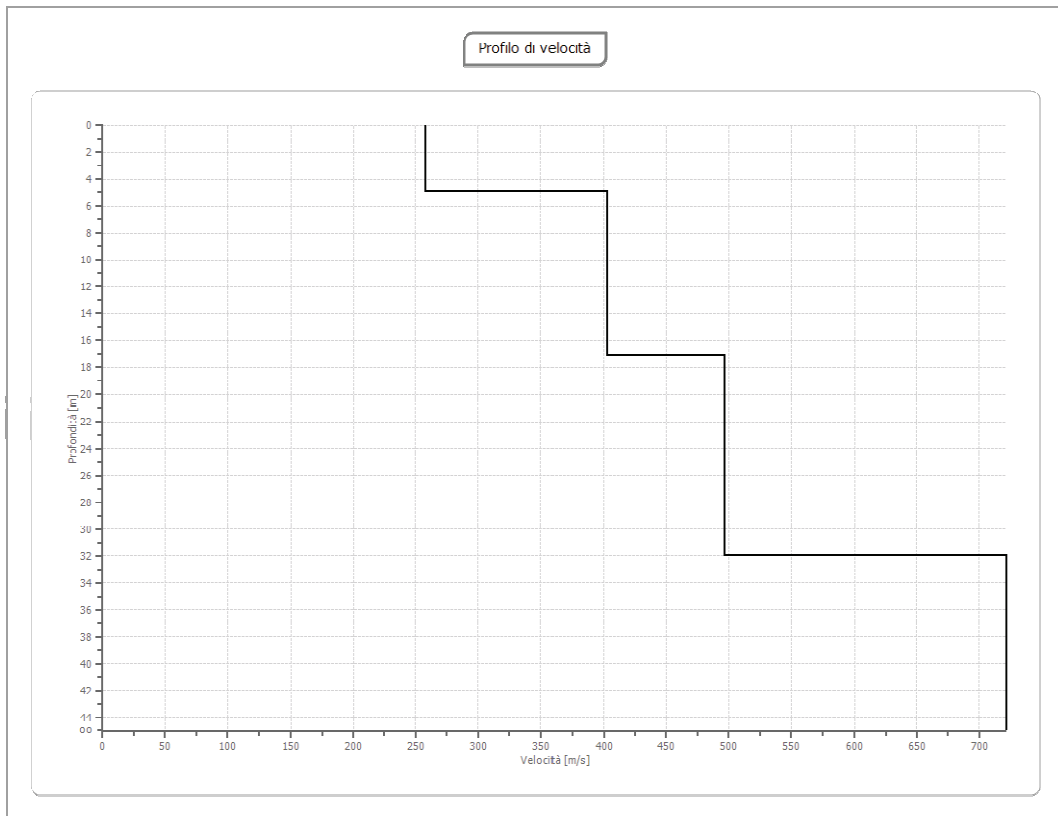


### Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		4.92	4.92	1800.0	0.2	No	421.5	258.1
2		17.06	12.14	1800.0	0.2	No	657.4	402.6
3		31.98	14.92	1800.0	0.2	No	810.7	496.5
4		oo	oo	1800.0	0.2	No	1179.2	722.1



### Profilo sismico





## 7. CALCOLO DEL MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

Come visto nel dettaglio, mediante lo stendimento sismico, e l'analisi che ne è seguita, si è proceduto alla ricostruzione del modello geofisico del terreno sulla base della velocità delle onde S e quindi al calcolo del periodo (T) e delle  $V_{s30}$ , utilizzando le formule proposte dalla normativa, la quale prevede che il calcolo del periodo T necessario all'utilizzo della scheda di valutazione sia prodotto utilizzando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore delle Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando l'equazione:

$$T = \frac{4x \sum_{f=1}^n h_i}{\frac{\sum_{f=1}^n V_{s_i} x h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

Nel caso specifico non è stata raggiunta la profondità del bedrock, inteso come strato a  $V_s = 800$  m/s.

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità  $V_{s30}$  è stata calcolata utilizzando la formula:

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

da cui, procedendo con il dettaglio sismo stratigrafico ottenuto dalle prove eseguite si ottiene:

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs30 [m/sec]</b>	398.48
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Suolo di tipo 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  $V_{s30}$  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).*

## 8. CONCLUSIONI

Come è dato di osservare, la velocità dell'onda S tende ad aumentare al crescere della profondità, variando da ~250 m/s nella porzione più areata a velocità maggiori di 400 m/s in profondità.

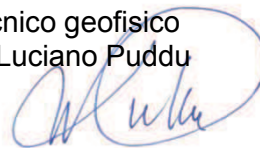
La quota del bed-rock, così come definito dalla normativa, non è stata raggiunta da questa indagine; però, in funzione del valore di Vs individuato a circa 32 m dal p.c. è facilmente ipotizzabile la sua presenza a detta quota.

Per quanto detto sopra, ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni", il profilo sismostratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto indica il sito come appartenente alla :

**Classe 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 > 250 kPa nei terreni a grana fina).*

**Vs30 = 398.48 m/s**

Il tecnico geofisico  
dott. Luciano Puddu



Monserrato, dicembre 2012

Allegati: Immagini fotografiche delle operazioni di acquisizione dei diagrammi sismici



**Foto 4** Lo stendimento sismico



**Foto 5** Particolare della stesa geofonica.