

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA CATANIA - SIRACUSA

DIREZIONE TECNICA

SO Geologia Tecnica, dell'Ambiente e del Territorio

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

Elaborati Generali

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Indagini Geofisiche

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS62	00	R	69	IG	GE0001	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	Geotec S.p.A	Novembre 2022	M. Scarpelli <i>Mario Scarpelli</i>	Novembre 2022	P. Carlesimo <i>Carlesimo</i>	Novembre 2022	M. Comedini Novembre 2022  <i>Massimo Comedini</i>

File:

n. Elab.:

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	GENERALITÀ DELLE INDAGINI SVOLTE	5
2.1	Indagine Downhole (DH), Sismic Refraction Tomography (SRT), INDAGINE MASW E MISURE HVSR	5
3	INDAGINE DOWNHOLE	6
3.1	Processing dei Dati	8
3.2	Parametri dinamici del terreno	9
3.3	Strumentazione	11
3.3.1	Geofono da Foro	11
3.3.2	Sorgente delle onde sismiche	12
3.4	Risultati.....	12
4	SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)	14
4.1	SCHEMA DI ACQUISIZIONE	14
4.2	STRUMENTAZIONE E SPECIFICHE TECNICHE.....	16
4.2.1	SISMOGRAFO	16
4.2.2	SORGENTE ONDE SISMICHE	17
4.3	PROCESSING.....	17
4.3.1	ELABORAZIONE TOMOGRAFICA	18
4.3.2	MODELLAZIONE TOMOGRAFICA VINCOLATA	20
4.3.3	RISULTATI	21
5	INDAGINE SPETTRALE HVSR	22
5.1	MODALITÀ ESECUTIVE DELL'INDAGINE.....	22
5.2	STRUMENTAZIONE E SPECIFICHE TECNICHE.....	22
5.3	ELABORAZIONE DATI E RISULTATI.....	23
6	INDAGINE MASW	24
6.1	STENDIMENTI SISMICI CON METODO "MASW" CENNI METODOLOGICI.....	25
6.2	METODI DI ANALISI.....	26
6.3	ANALISI MULTI-COMPONENTE	27
6.4	FVS INVERSION	28
6.5	STENDIMENTI SISMICI CON METODO "MASW" CENNI METODOLOGICI.....	29
6.6	ELABORAZIONE DATI E RISULTATI.....	30
7	ALLEGATI	31
7.1	Sito 1 SRT 1, HV 1 (REPORT FOTOGRAFICO, tavole srt e hv).....	31
7.2	Sito 2 SRT 2, MASW 1, HV 2 (REPORT FOTOGRAFICO, tavole srt, MASW e hv).....	31
7.3	Sito 3 SRT 3, MASW 2, HV 3, Hv4 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLE SRT, MASW e HV).....	31
7.4	Sito 4 SRT 4, MASW 3, HV5, HV6 (REPORT FOTOGRAFICO, tavole srt, MASW e hv).....	31
7.5	Sito 5 DH BH13 e DH BH14 (REPORT FOTOGRAFICO, Tavole DH).....	31

1 PREMESSA

Per incarico di ITALFERR SPA con Accordo Quadro n. 200001457 e a seguito dell'Ordine n. 100044681, la GEOTEC SPA ha eseguito prospezioni geofisiche integrative per il progetto di fattibilità tecnico economica del PFTE del nuovo collegamento ferroviario con il porto di Augusta (SR) (Fig. 1).



Fig. 1 Corografia con ubicazione delle indagini eseguite

Come richiesto dalla D.L., i siti d'indagine sono stati oggetto di prove SRT, DOWNHOLE e HVSR sintetizzate come in tabella seguente:

SITI	SRT	DH	HVSR	MASW
SITO_1	SRT 1		HV 1	
SITO_2	SRT 2		HV 2	MASW 1
SITO_3	SRT 3		HV 3	
			HV 4	MASW 2
SITO_4	SRT 4		HV 5	MASW 3
			HV 6	
SITO_5		DH-BH13		
		DH-BH14		

Tab. 1 Tabella riepilogativa delle indagini eseguite su ogni sito.

Nei paragrafi successivi verranno descritte le singole attività apponendo in allegato i risultati e le interpretazioni dei dati geofisici acquisiti con la relativa documentazione fotografica.

Di seguito si riporta in tabella una sintesi delle indagini lineari eseguite, le quali verranno specificate nei paragrafi dedicati.

SITI	Tipologia Indagine	Lunghezza complessiva indagine	Profondità (indagini in foro)
SITO_1	SRT 1	240 m.	
SITO_2	SRT 2	300 m.	
	MASW 1	60.m.	
SITO_3	SRT 3	600 m.	
	MASW 2	60 m.	
SITO_4	SRT 4	480 m.	
	MASW 3	60 m.	
SITO 5	DH - BH13	.	40 m.
	DH - BH14		40 m.

Tab. 2 Tabella sintetica delle misurazioni delle indagini eseguite su ogni sito.

2 GENERALITÀ DELLE INDAGINI SVOLTE

2.1 INDAGINE DOWNHOLE (DH), SISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT), INDAGINE MASW E MISURE HVSR

- Le indagini DOWNHOLE vengono eseguite allo scopo di ricostruire la colonna sismo-stratigrafica nelle immediate vicinanze del foro d'indagine misurando la velocità delle onde sismiche dirette.
- Il metodo SRT è finalizzato alla determinazione diretta e continua lungo la verticale d'esplorazione della velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno del mezzo preso in esame.
- La stazione singola (HVSR), costituita da tre ricevitori a bassa frequenza, è finalizzata alla misura in sito dei microtremori per la determinazione della frequenza "f0" e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche di sito.
- Lo stendimento MASW è finalizzato all'acquisizione e all'analisi delle onde superficiali di tipo attivo ai sensi delle NTC 2008; è costituito da n. 12 geofoni posizionati ad intervalli regolari collegati ad un sismografo; la ricostruzione del modello di velocità Vs rappresentativo del volume di terreno indagato è riferita al punto mediano dello stendimento.

3 INDAGINE DOWNHOLE

Il metodo geofisico downhole consente la caratterizzazione meccanica dei terreni investigati mediante la stima diretta della velocità di propagazione delle onde elastiche energizzando il terreno in direzione verticale oppure in direzione trasversale (parallelamente alla orientazione di uno dei trasduttori orizzontali). Nel primo caso verranno generate prevalentemente onde compressive (P) che si propagano in profondità per compressione-dilatazione e vengono registrate al meglio dal geofono verticale. Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde S o di taglio (moto delle particelle sollecitate ortogonale alla direzione di propagazione), visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente. Queste ultime, avendo velocità inferiori a quelle compressive raggiungeranno la terna geofonica quando già il fronte d'onda P è transitato. Questo passaggio costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali qualora i geofoni orizzontali, eccitati dal transito del treno compressivo, si trovino ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva e l'energia dell'onda trasversale a favore di quest'ultima, si esegue una doppia registrazione orizzontale con polarità opposta, che, all'occorrenza, in fase di elaborazione dati permette di:

- 1- eseguire il confronto delle forme d'onda tra battute a polarità opposta (**Fig. 2**, onde S identificabili dal cambio di fase);
- 2- ridurre in ampiezza la componente compressiva sulle battute orizzontali mediante stacking dei record dopo inversione di polarità di una delle battute (P in contro-fase vengono ridotte per interferenza distruttiva, al contrario le onde S in fase risulteranno ulteriormente amplificate per interferenza costruttiva).

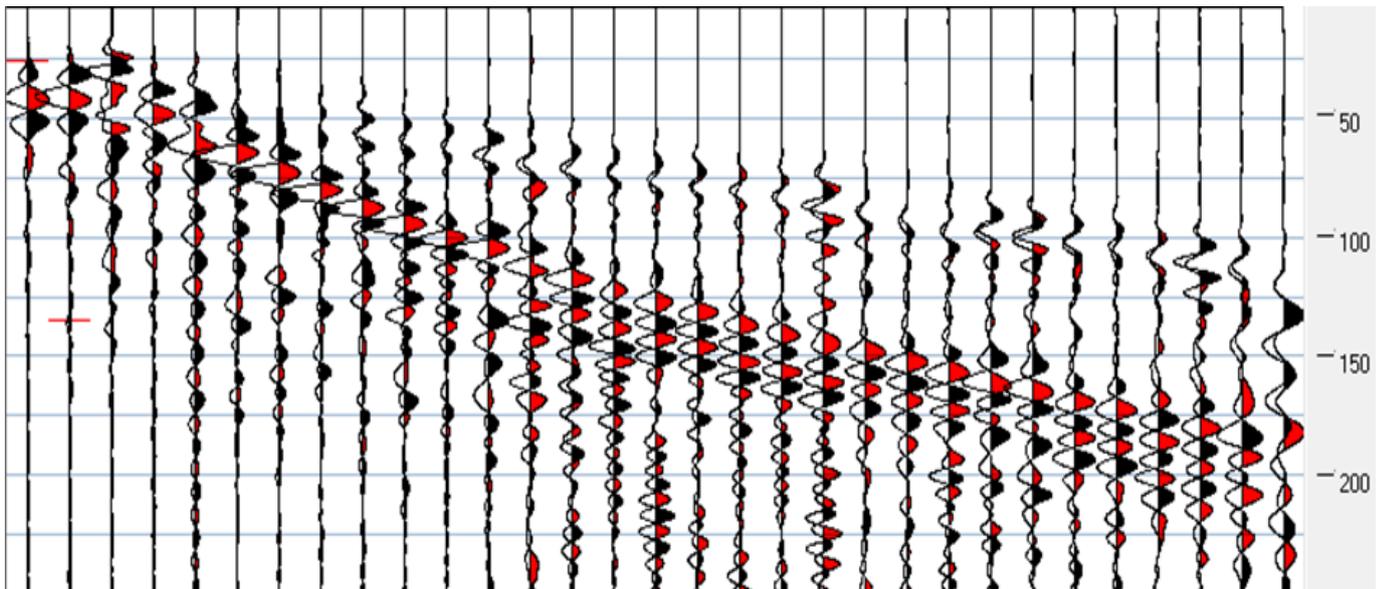


Fig. 2 Esempio di registrazione onde di taglio, confronto battuta destra (tracce nero) e battuta sinistra (tracce rosso). Mentre il treno di onde compressive eccita allo stesso modo tutti i canali attivi, il primo arrivo delle onde di taglio è chiaramente marcato da un'inversione di fase

Per l'indagine è necessario predisporre un foro da sonda in cui calare i ricevitori in fase di registrazione. Il foro viene effettuato generalmente con sondaggio meccanico e incamiciato con tubazione in PVC. Tale rivestimento, atto a resistere alle pressioni del terreno e dell'eventuale falda, viene chiuso all'estremità inferiore e cementato alle spalle in modo da garantire completa continuità elastica tra terreno e tubazione.

Per la misura si utilizza un sensore, generalmente tridimensionale, dotato di un dispositivo, meccanico o pneumatico, che consenta un perfetto accoppiamento con la tubazione e che garantisca quindi una corretta captazione del segnale generato dalla sorgente.

La sorgente degli impulsi sismici deve garantire un lobo di radiazioni atte a generare sia onde di compressione (onde P) che onde superficiali di taglio (onde S). Per tale ragione, la scelta del tipo di energizzazione, gioca un ruolo fondamentale: la soluzione maggiormente utilizzata consiste nell'ottenere le onde P con una martellata su di una piastra posta sul terreno e le onde S sferrando due colpi distinti sulle facce laterali di una piastra opportunamente ancorata al suolo.

Altro aspetto importante è quello di porre la sorgente ad una distanza dal foro (3mt c.ca) tale da poter considerare rettilinei i raggi sismici dalla sorgente alle varie posizioni del geofono e allo stesso tempo minimizzare la generazione delle onde di tubo (onde di Stoneley) nel foro.

3.1 PROCESSING DEI DATI

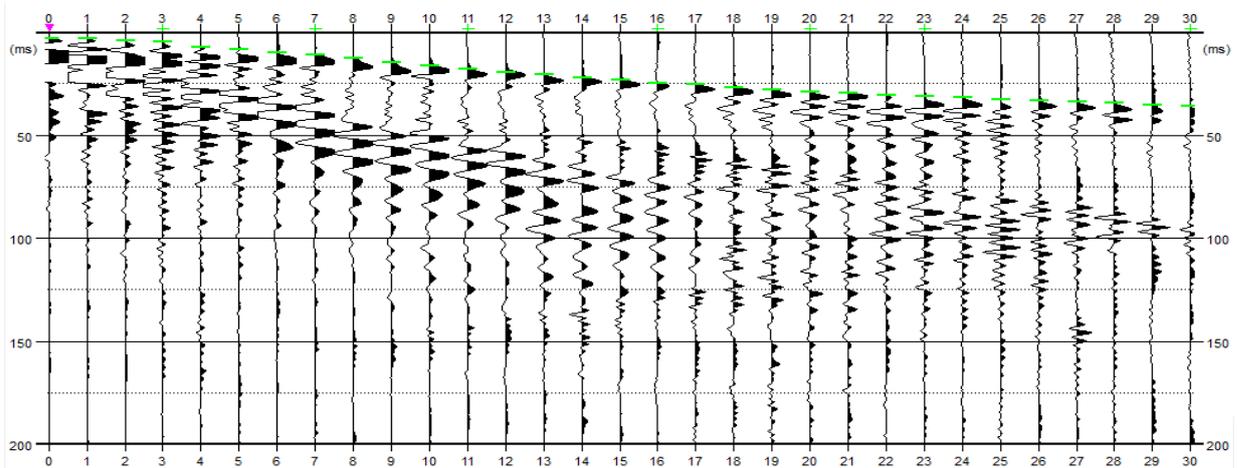


Fig. 3 Esempio di tracce relative al sensore verticale raggruppate in un unico sismogramma prima di procedere all'identificazione dei primi arrivi

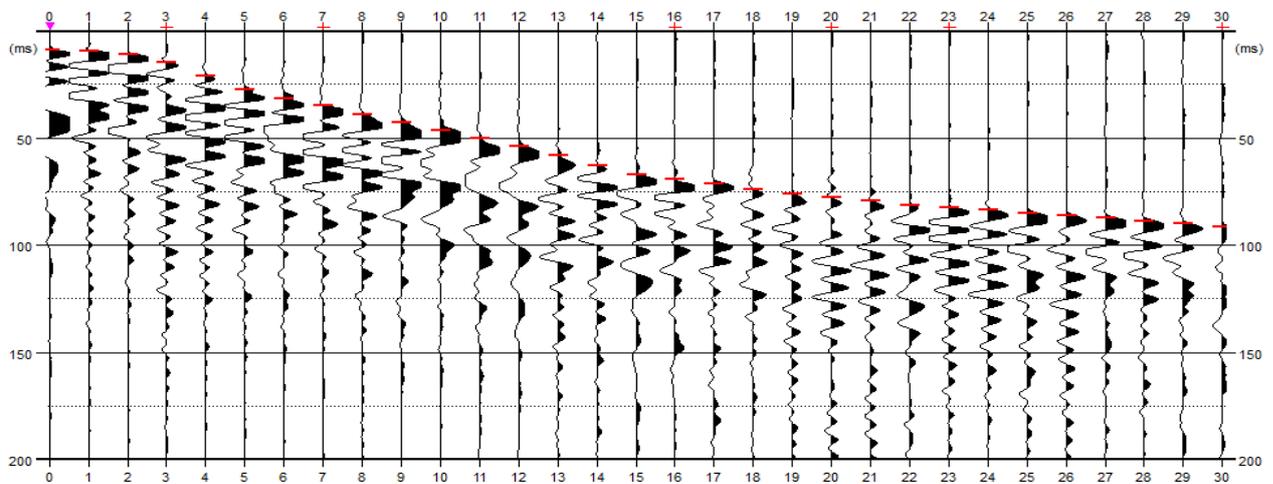


Fig. 4 Esempio di tracce relative al sensore orizzontale raggruppate in un unico sismogramma prima di procedere all'identificazione dei primi arrivi

L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite a diverse quote vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena composta di tanti sensori quante sono le quote di registrazione nel foro. In particolare, vengono raggruppate in sismogrammi separati le forme d'onda relative ai geofoni verticali (Fig. 3) e quelle relative ai geofoni orizzontali (Fig. 4).

Su questi si esegue il picking, ovvero l'identificazione del momento di primo arrivo della deformazione elastica al ricevitore (first break) e quindi la definizione del tempo di tragitto sorgente-ricevitore (tempo "osservato") necessario per il calcolo del tempo "corretto" (t^*) da cui si ottengono infine le velocità, essendo t^* il tempo che impiegherebbe l'onda se si

propagasse in direzione verticale. Per una registrazione eseguita a profondità “Z”, con sistema di energizzazione posto a distanza “d” dal boccaforo, il tempo corretto si ottiene dalla seguente:

$$t^* = \frac{Z}{d} \cdot t = \frac{Z}{\sqrt{Z^2 + d^2}} \cdot t$$

Trattandosi di registrazioni acquisite con terna geofonica singola il calcolo delle velocità si esegue con il metodo delle dromocrone, o dello pseudo-intervallo, secondo cui, ad ogni cambio di pendenza dell'involuppo dei tempi di primo arrivo corrisponde una variazione di velocità dei terreni attraversati.

Per minimizzare l'errore insito nel metodo le velocità non vengono calcolate per ogni quota di misura, ma attraverso l'analisi delle dromocrone (senza trascurare le informazioni geologico-stratigrafiche disponibili), vengono individuati strati omogenei (involuppo lineare dei tempi di primo arrivo), per i quali la velocità è materializzata dalla pendenza del ramo di dromocrona e si ottiene per regressione lineare dei tempi di primo arrivo attribuiti allo strato in esame. Le velocità di pseudo-intervallo, “non interpretate” mediante suddivisione in strati, vengono comunque riportata in apposita tabella nelle tavole allegate.

Dai valori delle velocità sismiche delle onde di taglio calcolate e riportate nella tabella dei risultati, è possibile ottenere anche il valore di Vs30 e il valore di VsE calcolato secondo quanto stabilito dalla vigente normativa, ed i moduli elastici dinamici del terreno secondo le relazioni riportate nel paragrafo dedicato ai risultati.

3.2 PARAMETRI DINAMICI DEL TERRENO

Conoscendo la densità e le velocità delle onde P ed S è possibile determinare i parametri necessari per la definizione del modello elastico a piccole deformazioni. I moduli dinamici del terreno sono calcolati dalle velocità sismiche ottenute dall'indagine Downhole, secondo le seguenti relazioni:

Nella classificazione dei suoli secondo l'Eurocodice 8, uno dei tre parametri principali per la classificazione dei suoli si basa sulla velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri. Questo parametro è convenzionalmente chiamato "Vs 30":

Con le NTC del 2018 sono stati introdotti i concetti di "Vs equivalente" e "Profondità equivalente", valida laddove si rinvenga il substrato sismico, ossia roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800m/s, entro i primi 30 m dal piano di fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs_eq rimane definita dal parametro Vs30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

$$\text{Coefficient de Poisson } n = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$V_p = \text{vitesse des ondes sismiques P (m/s)}$
 $V_s = \text{vitesse des ondes sismiques S (m/s)}$

$$\text{Module de rigidité ou de cisaillement } G = dV_s^2$$

$V_s = \text{vitesse des ondes sismiques (m/s)}$
 $d = \text{densité (g/m}^3\text{)}$

$$\text{Module de Young } E = 2G(1 + n)$$

$G = \text{module de rigidité (MPa)}$
 $n = \text{coefficient de Poisson}$

$$\text{Module de Bulk } k = \frac{1}{3} \frac{E}{(1-2n)}$$

$E = \text{module di Young (MPa)}$
 $n = \text{coefficient de Poisson}$

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

$h = \text{spessore dello strato } i\text{-esimo}$
 $V = \text{velocità delle onde di taglio dello strato } i\text{-esimo}$
 $N = \text{numero degli strati}$

$$V_{S_{eq}} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$H = \text{spessore della copertura sovrastante il bedrock sismico}$
 $h = \text{spessore dello strato } i\text{-esimo}$
 $V = \text{velocità delle onde di taglio}$
 $N = \text{numero degli strati}$

3.3 STRUMENTAZIONE

L'apparecchiatura d'indagine, per l'esecuzione di indagini sismiche a rifrazione è costituita da: sismografo Seismic Source, Modello DAQLink IV, 24 canali, con risoluzione di acquisizione a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Conversion A/D: convertitori sigma delta ad alta velocità a 24 bit;
- Rumore di fondo: 0.2 microVolt RMS (a 2 msec);
- Precisione trigger: +/- 1 microsecondo a qualsiasi frequenza di campionamento;
- Intervallo di campionamento: da 0.0208 a 16,0 millisecondi;
- Frequenza di campionamento: da 48.000 a 62.5 campioni/secondo;

I settaggi dei parametri, quali il numero dei canali, la modalità di trigger, il gain, il sample interval e la lunghezza della finestra di acquisizione avvengono con un PC esterno. La comunicazione avviene mediante rete Ethernet ed i parametri sono gestiti con il software "Vscope" fornito dalla stessa casa costruttrice del sismografo.

3.3.1 Geofono da Foro

Per le indagini in foro viene impiegato il modello BGK5 prodotto da Geotomographie (Fig. 5) con cavo da 50 m, sistema di ancoraggio pneumatico e dotato di 5 ricevitori con frequenza propria di risposta 10 Hz. 4 ricevitori nel piano orizzontale disposti a 45° uno dall'altro ed uno verticale.



Fig. 5 Geofono da foro BGK5 per prove fino a 50 m

3.3.2 Sorgente delle onde sismiche

La generazione delle onde di compressione “P” e delle onde di taglio “Sh”, analogamente alle altre tipologie di onde sismiche, avviene mediante idonei strumenti di contrasto, utili per enfatizzare prevalentemente la propagazione delle diverse tipologie di perturbazione elastica. Per quanto riguarda le onde di Taglio “Sh”, la sorgente è costituita da una trave in legno e ferro che viene colpita orizzontalmente con una massa pesante, solitamente una mazza da 8 kg per gli stendimenti di modesta lunghezza, o un grave da 30 kg, o anche con un fucile sismico, per gli stendimenti di lunghezza superiore. Mentre per le onde di Compressione “P” la sorgente è una piastra in ferro solidale con il terreno percossa verticalmente con una massa pesante con modalità analoga alle onde “Sh” sopra descritte. Per ogni punto di acquisizione può essere eseguita la sommatoria (stack) di più battute al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore. Questa tecnica si rivela estremamente efficace in presenza di rumore random. Per poter verificare la ripetibilità della misura ed individuare eventuali problemi di triggering, un numero minimo di due battute per ciascuna posizione di scoppio viene comunque acquisito anche in caso di assenza di disturbi.

3.4 RISULTATI

La normativa vigente NTC 2018 prevede che la classificazione del sottosuolo venga effettuata “in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione”:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

- h_i spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Analogamente al caso in studio, “per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità”.

Per le DOWNHOLE eseguite nell'ambito della presente commessa si sono ricavati i seguenti risultati:

Sondaggio	Profondità	V _{seq} (m/s)	Prof. Eq. (m)	V _{s30} (m/s)	Categoria NTC 2018
DH_BH13	40 m.	-----	>30	178 m/s	D
DH_BH14	40 m.	-----	>30	229 m/s	C

Tab. 3 tabella riepilogativa dei risultati ottenuti nelle indagini Down-hole

I valori riportati ricadono nelle categorie "B", riferimento normativo NTC 2018 (dm 17/01/2018):

C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

In allegato alla presente le elaborazioni e i report fotografici.

4 SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)

Il metodo sismico a rifrazione è finalizzato alla determinazione diretta e continua lungo la verticale d'esplorazione della velocità di propagazione delle onde sismiche all'interno del mezzo preso in esame. Dall'analisi dei valori di velocità è possibile ricostruire le geometrie del sottosuolo e ricavare informazioni circa le condizioni meccaniche dei materiali attraversati (addensamento, rigidità, stato di fratturazione, alterazione, etc.). Il metodo considera il fenomeno della rifrazione di onde elastiche generate artificialmente in superficie in corrispondenza di interfacce che separano mezzi a differenti condizioni di densità, assumendo che il terreno esplorato abbia un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (le deformazioni tangenziali prodotte dalle onde sismiche sono spesso inferiori a $3 \div 10$ %, quindi al di sotto della soglia di linearità).

4.1 SCHEMA DI ACQUISIZIONE

L'energia acustica viene immessa nel sottosuolo dalla fonte di energia, sia essa una mazza, un grave in caduta libera o una carica esplosiva. Le onde acustiche si propagano nel sottosuolo ad una velocità che è funzione delle proprietà elastiche del materiale attraverso cui viaggiano. Quando le onde raggiungono un'interfaccia che separa mezzi a densità o velocità significativamente differenti, una parte dell'energia viene riflessa verso la superficie e il resto viene trasmessa nello strato inferiore. Se, e solo se, la velocità dello strato inferiore è maggiore

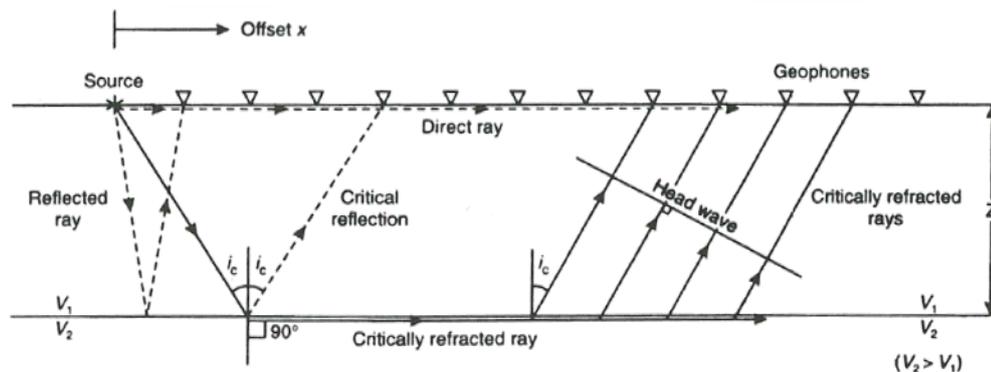


Fig. 6 percorso dei raggi sismici diretti, riflessi e criticamente rifratti. Lungo l'interfaccia posta a profondità Z la perturbazione elastica si propaga alla velocità maggiore, e durante questo percorso ciascun punto investito dal fronte d'onda emette energia verso la superficie con angolo di incidenza critico

di quella dello strato superiore, una parte dell'energia viene anche criticamente rifratta lungo l'interfaccia stessa (Fig. 6). Le onde criticamente rifratte viaggiano lungo l'interfaccia alla velocità dello strato inferiore e continuamente rifrangono energia verso la superficie, dove si

dispongono appositi sensori (velocimetri o accelerometri) in grado di avvertire la perturbazione propagatasi nel terreno a seguito della generazione dell'onda elastica. Tali sensori traducono la sollecitazione in un segnale elettrico che attraverso un cavo multipolare viene trasferito ad uno strumento di registrazione (sismografo multicanale). Il sismografo digitalizza i segnali ricevuti dai geofoni sotto forma di "sismogrammi", dove, per ogni canale vengono rappresentati il dominio dei tempi sull'asse verticale e l'ampiezza del segnale elettrico (\pm mV) sull'asse orizzontale.

La prima perturbazione elastica (primo arrivo) ricevuta da ogni geofono a seguito della generazione dell'impulso (shot) può avere seguito un percorso "diretto" (ossia il tragitto più breve tra sorgente e ricevitore), oppure avere subito una o più "rifrazioni totali" presso superfici di discontinuità. Oltre una certa distanza definita "critica" (cross-over distance), i raggi rifratti raggiungono i geofoni in superficie prima dei raggi diretti, malgrado il tragitto più lungo, in virtù del tratto percorso a velocità più elevata presso l'interfaccia. Il metodo presuppone un incremento della velocità di propagazione delle onde elastiche con la profondità. Ne segue una implicita difficoltà nel risolvere adeguatamente eventuali inversioni di velocità (velocity inversion channel).

I tempi di primo arrivo (first break) identificati sui sismogrammi e riportati in diagrammi tempo-distanza, vanno a costituire le dromocrone (traveltimes), e sono la base dei più comuni processi di inversione.

Nella tabella successiva (Tab. 4), vengono indicate le caratteristiche specifiche, compresi i parametri di acquisizione, mentre i risultati vengono presentati nelle pagine successive in apposite tavole grafiche, cui si rimanda per l'analisi di dettaglio delle singole stese. La posizione di tutti gli stendimenti è stata concordata con la D.L.

Sito	Rifr.	Lunghezza	Geofoni	Array	Passo	Shots	Energizzazione	Acquisizione	Campionamento
SITO 1	SRT 1	240 m	Vert. 96	Onde P	2.5 m	17	Mazza 8 Kg su Piastra	1500 ms	500.0 μ s - 4000 μ s
			Oriz. 96	Onde Sh			Mazza 8 Kg su Trave		
SITO 2	SRT 2	300 m	Vert. 120	Onde P	2.5 m	21	Mazza 8 Kg su Piastra	1500 ms	500.0 μ s - 4000 μ s
			Oriz. 120	Onde Sh			Mazza 8 Kg su Trave		
SITO 3	SRT 3	600m	Vert. 240	Onde P	2.5 m	38	Mazza 8 Kg su Piastra	1500 ms	500.0 μ s - 4000 μ s
			Oriz. 52	Onde Sh			Mazza 8 Kg su Trave		
SITO 4	SRT 4	480	Vert. 192	Onde P	2.5 m	33	Mazza 8 Kg su Piastra	1500 ms	5000.0 μ s - 4000 μ s
			Oriz. 192	Onde Sh			Mazza 8 Kg su Trave		

Tab. 4 caratteristiche geometriche e parametri di acquisizione utilizzati per l'acquisizione delle linee SRT realizzate sul Lotto.

4.2 STRUMENTAZIONE E SPECIFICHE TECNICHE

4.2.1 SISMOGRAFO

L'apparecchiatura d'indagine, per l'esecuzione di indagini sismiche a rifrazione è costituita da: sismografo Seismic Source, Modello DAQLink IV, 24 canali, con risoluzione di acquisizione a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Conversion A/D: convertitori sigma delta ad alta velocità a 24 bit;
- Rumore di fondo: 0.2 microVolt RMS (a 2 msec);
- Precisione trigger: +/- 1 microsecondo a qualsiasi frequenza di campionamento;
- Intervallo di campionamento: da 0.0208 a 16,0 millisecondi;
- Frequenza di campionamento: da 48.000 a 62.5 campioni/secondo;

L'attrezzatura per prove sismiche è completata da:

- 4 set di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz;
- 4 set di 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz;
- 8 coppie di cavi sismici, passo 5,0 m, dotati ognuno di 12 take out.

4.2.2 SORGENTE ONDE SISMICHE

La generazione delle onde di compressione “P” e delle onde di taglio “Sh”, analogamente alle altre tipologie di onde sismiche, avviene mediante idonei strumenti di contrasto, utili per enfatizzare prevalentemente la propagazione delle diverse tipologie di perturbazione elastica. Per quanto riguarda le onde di Taglio “Sh”, la sorgente è costituita da una trave in legno e ferro che viene colpita orizzontalmente con una massa pesante, solitamente una mazza da 8 kg per gli stendimenti di modesta lunghezza, o un grave da 30 kg, o anche con un fucile sismico, per gli stendimenti di lunghezza superiore. Mentre per le onde di Compressione “P” la sorgente è una piastra in ferro solidale con il terreno percossa verticalmente con una massa pesante con modalità analoga alle onde “Sh” sopra descritte.

Per ogni punto di acquisizione sono state eseguite una sommatoria (stack) di più battute eseguite al fine di migliorare il rapporto segnale/rumore. Questa tecnica si rivela estremamente efficace in presenza di rumore random. Per poter verificare la ripetibilità della misura ed individuare eventuali problemi di triggering, un numero minimo di due battute per ciascuna posizione di scoppio viene comunque acquisito anche in caso di assenza di disturbi.

4.3 PROCESSING

L’impiego della sismica a rifrazione come prima tecnica di esplorazione petrolifera ha portato allo sviluppo di numerosi metodi di inversione, non tutti impiegati regolarmente o egualmente efficaci, oggi noti come tecniche “convenzionali” o basate su modelli a strati, per differenziarle dai più recenti metodi tomografici. Tutti i metodi, riportati di seguito, prevedono l’attribuzione dei diversi rami delle traveltimes (definiti dai punti di ginocchio o cambi di pendenza), ai diversi strati del sottosuolo:

- Wavefront reconstruction method, (Rockwell, 1967);
- Intercept Time Method (Edwing et al., 1939);
- Metodi dei Reciproco Convenzionale che assumono diverse denominazioni ma che sostanzialmente risultano equivalenti (ABC method in Nord America, Hagiwara’s method in Giappone, Plus-Minus in Europa).

Oppure i più “raffinati”:

- Delay-Time (Barry,1967);
- Hale’s method o Graphycal rayfract (Hales, 1958; Sjogren, 1984);
- Metodo del Reciproco Generalizzato (Palmer, 1980);

che introducono la tecnica della migrazione per ottimizzare la offset distance (distanza orizzontale tra il punto di emergenza del raggio rifratto ed il punto di ricezione alla superficie).

A seconda della complessità del sito, l'analisi dei dati potrebbe essere fatta con un metodo piuttosto che un altro, tuttavia molti di questi sono di fatto inglobati nel metodo GRM di Palmer, di cui costituiscono casi limite. Questi metodi richiedono generalmente un minimo di 5 punti per ogni linea (2 colpi esterni, 2 colpi agli estremi e un colpo al centro). Solo il caso semplice di strati a velocità costanti, orizzontali o debolmente inclinati, può essere risolto adeguatamente con due soli colpi alle estremità della linea applicando il metodo del tempo-intercetto.

Come tutti i metodi di inversione, anche le tecniche di modellazione di dati sismici a rifrazione sono affette da non univocità della soluzione. Oltre alle problematiche connesse alla qualità dei dati acquisiti, ulteriori incertezze di interpretazione possono essere causate dalla presenza di strutture non diagnosticabili per limiti intrinseci al metodo come: inversioni di velocità; livelli nascosti; marcate variazioni laterali sia di velocità, sia di giacitura dei sismo-strati; rifrazioni fuori piano (generate da strutture a lato della linea piuttosto che sotto).

Un'inversione di velocità è uno strato geologico con una velocità sismica inferiore a quella dello strato sovrastante. Lungo tale strato la rifrazione critica non avviene perché la velocità non aumenta. Se il livello non viene individuato la profondità degli strati sottostanti risulta sovrastimata. Uno strato nascosto è invece un livello caratterizzato da incremento di velocità ma di spessore troppo modesto rispetto alle velocità degli strati soprastanti e sottostanti, tale che gli arrivi rifratti non raggiungono i geofoni prima di quelli dallo strato più profondo. Un tipico esempio si verifica laddove sedimenti saturi sovrastano un substrato veloce.

Quando invece la struttura di velocità del sottosuolo aumenta gradualmente in funzione della profondità piuttosto che per strati discreti, i metodi "classici" non sono lo strumento di analisi e la profondità dei rifrattori risulta sovra o sottostimata.

Analisi dettagliate del metodo sismico a rifrazione si possono trovare in Musgrave (1967), Redpath (1973), Palmer (1991).

4.3.1 ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Metodi classici come Delay-Time o GRM assumono a priori l'esistenza di rifrattori geometrici semplificando in modo eccessivo la reale struttura di velocità del sottosuolo, in particolare per gli studi a ridotta profondità, dove lo strato superficiale alterato costituisce

una porzione importante dello spazio esplorato. Eterogeneità laterali, discontinuità, gradiente di velocità, si uniscono ai già citati strati cieco ed inversioni di velocità nel definire una realtà geologica più complessa rispetto agli strati a velocità interna costante. Le più recenti tecniche di inversione tomografia hanno invece le potenzialità per superare i limiti dei metodi classici e risolvere queste sismo-strutture complesse che possono essere ad esempio osservate nelle transizioni tra roccia alterata verso roccia massiva del substrato. Ad esempio, sebbene il metodo sismico a rifrazione non possa modellare inversioni di velocità che siano continue sotto tutto lo stendimento, utilizzando tecniche di inversione tomografica è invece possibile identificare inversioni di velocità "localizzate".

La tomografia è uno strumento matematico applicato in vari campi, inclusa l'inversione di dati geofisici, in cui lo spazio indagato viene suddiviso in celle, ciascuna associata ad un valore di velocità. Il procedimento avviene attraverso una funzione obiettivo che ricerca il minor scarto tra il modello teorico di riferimento e i dati osservati.

A partire da un modello iniziale viene calcolato il percorso dei raggi sismici (ray-tracing) per tutte le coppie sorgente-ricevitore disponibili, da cui vengono derivate le dromocrone teoriche. L'errore residuo tra tempi sperimentali e tempi teorici viene quindi minimizzato attraverso un procedimento iterativo fino a valori ritenuti congrui. A differenza dei metodi tradizionali, non è necessario assegnare (soggettivamente) i rami delle traveltimes ai rifrattori. I metodi a strati in questo contesto vengono comunque impiegati per definire i ranges di variazione delle velocità nei modelli tomografici, che malgrado una maggiore capacità risolutiva degli aspetti geometrici, tendono invece a sottostimare e sovrastimare le velocità. Se non opportunamente vincolate le tecniche di inversione tomografica producono un modello con gradiente anche laddove esista un netto contrasto di impedenza.

Esistono in letteratura molti diversi approcci alla rifrazione tomografica, e molti programmi commerciali ciascuno con le proprie peculiarità. Nel lavoro in esame l'elaborazione tomografica è realizzata con il software RAYFRACT, versione 4.01, sviluppato da Intelligent Resource Inc.

In Rayfract il modello iniziale determinato dai tempi di primo arrivo utilizzando il metodo Delta-t-V, che assume un gradiente verticale costante oltre ad utilizzare il metodo Common Mid Point (CMP) in luogo del common shot-point per il calcolo delle velocità apparenti (Gebrande, 1986), viene mediato in senso orizzontale (metodo di Herglotz-Wiechert) per ridurre l'incidenza di artefatti che si generano in caso di forti contrasti orizzontali, quindi

iterativamente affinato mediante l'algoritmo di inversione tomografica Wavepath Eikonal Travelttime (Schuster, 1993), basato sulla modellazione dei percorsi di propagazione multipla di raggi sismici "fat" o Fresnell Volume (Watanabe, 1999), invece dei tradizionali raggi sismici. Tale algoritmo valuta inoltre le differenze tra onde rifratte, diffratte e trasmesse, di conseguenza le immagini delle anomalie vengono esaltate.

Infine, viene calcolata e restituita in forma grafica la copertura dei raggi sismici (raypath coverage) come funzione della profondità lungo tutto il profilo. Queste sezioni sono un ulteriore strumento diagnostico utile, in particolare, per identificare zone dalle scadenti proprietà geo-meccaniche solitamente evidenziate da aree a ridotta copertura in quanto, per natura, sono zone a bassa velocità tendendo l'energia a concentrarsi più facilmente in settori a maggiore rigidità.

4.3.2 MODELLAZIONE TOMOGRAFICA VINCOLATA

In fase di elaborazione viene comunque sempre valutata una soluzione a strati discreti attraverso il metodo più idoneo, scelto in base alle caratteristiche delle dromocrone. Rayfract dispone di tre diversi approcci:

- il metodo wavefront che costituisce una variante del GRM classico in cui il parametro XY non è costante ma può variare lungo la linea (Ali Ak, 1990);
- metodo classico plus-minus;
- metodo CMP intercept time refraction che consente la modellazione di velocità e spessori sotto ciascun ricevitore e punto sorgente, ma in caso di forti curvature del rifrattore può restituire valori di velocità non affidabili.

Un modello preliminare a strati consente una valutazione delle velocità e degli spessori prima di addentrarsi nel processo di inversione. In caso di rifrattori ben definiti e strati internamente omogenei, è possibile ottenere un risultato più fedele alle reali condizioni geologiche, utilizzando tale risultato preliminare per eseguire un'inversione vincolata. Solitamente il risultato è una sezione tomografica con gradienti molto accentuati in corrispondenza dei rifrattori precedentemente individuati, restando però possibile apprezzare variazioni di velocità interne agli strati e non solo lungo il rifrattore.

Per questi motivi, senza trascurare la morfologia talvolta molto pronunciata, le routine di inversione tomografica sono ritenute la tecnica di modellazione dati più appropriata tuttavia, in fase di elaborazione, sono stati prodotti due modelli: uno tomografico libero, con gradiente di velocità e l'altro impiegando come vincolo il rifrattore geometrico calcolato

preliminarmente. Il confronto dei risultati e l'analisi incrociata con i dati geologici disponibili hanno infine guidato la scelta su quale fosse il risultato più robusto.

4.3.3 RISULTATI

La DL ha stabilito che i siti oggetto di indagini di tipo SRT fossero investigati mediante profili sismici sia in onde di compressione sia in onde di taglio. Il risultato finale ottenuto dal lavoro di campagna è costituito da sezioni tomografiche di velocità (una per ogni profilo realizzato) presentate in allegato in forma di tavole grafiche. Negli elaborati l'identificazione dei vari sismo-strati è facilitata dall'impiego di scale cromatiche utilizzate per la rappresentazione dei valori di velocità.

Nel caso in esame non sono stati presi in considerazione gli approcci di elaborazione classici (a strati), in quanto non idonei a risolvere l'evidente complessità delle traveltimes (crossover point poco definito e marcata asimmetria). Il modello finale è pertanto puramente tomografico.

Poiché il metodo tomografico lavora per transizioni e non per discontinuità, sono i settori a forte gradiente piuttosto che una certa velocità a identificare i passaggi tra i vari elementi sismo-stratigrafici.

5 INDAGINE SPETTRALE HVSR

Il metodo HVSR si basa sull'acquisizione e analisi del rumore sismico, ovvero quelle vibrazioni del suolo dovute sia a cause antropiche sia naturali, attraverso misure a stazione singola. rientra dunque nei metodi sismici di tipo passivo, e come tale non è in grado di fornire ricostruzioni sismo-stratigrafiche di dettaglio. tuttavia presenta aspetti peculiari di estremo interesse, in quanto attraverso l'analisi del rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e verticali del moto secondo il metodo Nakamura (1989), è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f) di questa vibrazione sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra f , lo spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bed-rock) e la velocità media (v_s) delle onde simiche nel sottosuolo (possibilmente ricavata con altri metodi), attraverso le misure HVSR è inoltre possibile stimare lo spessore di questo strato. È stata eseguita n.1 prova Hvsr denominata "HVSR".

5.1 MODALITÀ ESECUTIVE DELL'INDAGINE

Per l'acquisizione di tale indagine si è provveduto a ripulire per quanto possibile la superficie di appoggio. Vista la natura delle aree selezionate per le acquisizioni HV, si è potuto posizionare il geofono con punte coniche completamente infisse in maniera corretta per l'acquisizione. I sensori orizzontali sono stati orientati secondo il nord magnetico ed ortogonalmente ad esso. Il controllo della verticalità avviene mediante apposita bolla presente sul corpo dello strumento. Per favorire la pulizia del segnale, il computer e qualunque altra fonte di rumore potenzialmente presente tra le attrezzature al seguito sono state collocate a circa 3 m di distanza dal sensore triassiale, sfruttando interamente la lunghezza del cavo di connessione.

5.2 STRUMENTAZIONE E SPECIFICHE TECNICHE

Per l'acquisizione di microtremori viene impiegato il sensore triassiale Gemini 2, prodotto da PASI Geophysics, con acquisizione e salvataggio dei dati direttamente su PC collegato mediante cavo USB. Lo strumento è dotato di tre sensori calibrati (velocimetri) che rilevano contemporaneamente i segnali sismici dalle tre direzioni ortogonali: NS; EW e UD (verticale), trasformandoli in impulsi elettrici. È dotato di un sistema di livellamento mediante bolla ed indici di direzione. Di seguito le caratteristiche tecniche:

- Frequenza dei velocimetri $2.0\text{Hz} \pm 10\%$;
- sensibilità $2\text{V}/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1} \pm 10\%$;
- Resistore interno $5.8\text{k}\Omega \pm 5\%$;
- Fattore di umidità $0.7 \pm 10\%$
- Distorsione armonica $< 0.2\%$
- Resistore di isolamento $> 10\text{M}\Omega$
- Temperatura circostante $-25^\circ\text{C} \sim +55^\circ\text{C}$
- Dimensioni $\Phi 128 \times 80 \text{ mm}$
- Peso 2.3 kg

5.3 ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

Per il trattamento e l'analisi di dati HVSR vengono utilizzati i seguenti software:

1. WinMasw© della Eliosoft s.r.l., nella versione 2019 Academy;
2. Geopsy, sviluppato dal team del progetto SESAME, versione 2.9.

6 INDAGINE MASW

Per l'analisi delle onde superficiali di tipo attivo, la determinazione del parametro V_{s30eq} e la classificazione della categoria sismica dei suoli di fondazione, ai sensi delle NTC 2018, sono state eseguite n.4 prove sismiche di tipo MASW, denominate con sigla identificativa "MASWn+1". La normativa "Norme tecniche per le costruzioni" afferma che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (punto 3.2.2 della normativa), deve essere valutata

l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In mancanza di tali studi si può utilizzare la classificazione dei terreni descritta di seguito. La classificazione deve riguardare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento, (bedrock) ovvero quelli presenti ad una profondità commisurata all'estensione ed all'importanza dell'opera.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tab. 5 Tab.3.2.II NTC 2018 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Per tener conto delle condizioni stratigrafiche la Normativa Tecnica definisce cinque categorie di sottosuolo denominate A, B, C, D, ed E. La categoria di sottosuolo viene determinata sulla base della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_S) ottenuta da specifiche prove in sito, tra cui appunto l'indagine MASW.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

6.1 STENDIMENTI SISMICI CON METODO “MASW” CENNI METODOLOGICI

I metodi di Multichannel Analysis of Surface Waves, meglio noti con l’acronimo MASW, particolarmente apprezzati per la loro non invasività e praticità di esecuzione rispetto ad altri metodi sismici, negli ultimi 20 anni hanno riscosso una sempre maggiore attenzione in ambito geotecnico e ingegneristico, fino a diventare ormai di largo uso per la determinazione di modelli monodimensionali della velocità delle onde di taglio.

Diversamente dalle onde di volume, la cui velocità non dipende dalla frequenza, per le onde di superficie non esiste “una” velocità di propagazione ma ogni frequenza è caratterizzata da una propria velocità. Questo comportamento definito dispersione in frequenza è fortemente controllato dalle caratteristiche del mezzo in cui la propagazione avviene. Maggiore l’eterogeneità tra gli strati presenti, maggiore la dispersività del mezzo. All’estremo opposto, un mezzo omogeneo è invece poco dispersivo, o addirittura non dispersivo nel caso limite di un mezzo omogeneo e isotropo.

L’energia legata alle onde di superficie decade esponenzialmente allontanandosi dalla superficie stessa, e la trattazione matematica dimostra che il moto indotto alle particelle dal passaggio dell’onda è confinato in profondità non oltre una lunghezza d’onda. È chiaro quindi come al variare delle caratteristiche elastiche con la profondità, si abbiano ripercussioni sullo spettro di velocità ed è questo il principio alla base dei metodi MASW. Lunghezze d’onda minori sono condizionate solo dalle porzioni di terreno più prossime alla superficie, mentre lunghezze d’onda maggiori (o basse frequenze), penetrando il terreno più in profondità risentono anche di quanto si trova in basso nella colonna sismo-stratigrafica. Ne segue che la forma dello spettro di dispersione è una rappresentazione indiretta del sottosuolo, in cui il dominio delle alte frequenze è rappresentativo di quanto si trova nell’immediato sottosuolo, mentre procedendo verso le basse frequenze si collezionano informazioni a maggiore profondità.

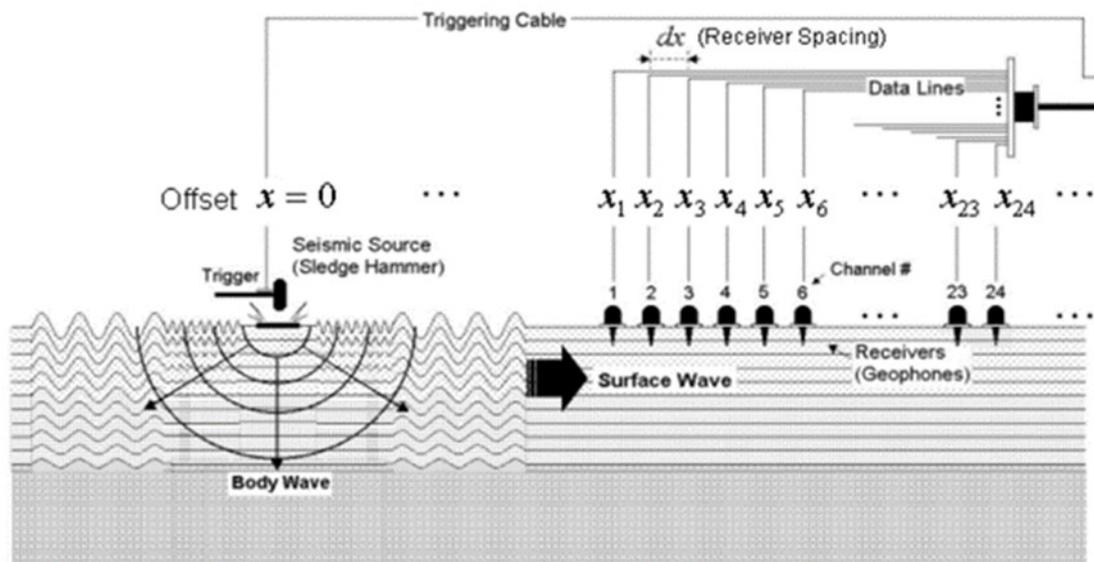


Fig. 7 *schema della disposizione dei geofoni e del punto di energizzazione*

6.2 METODI DI ANALISI

I metodi di prospezione sismica basati sulle onde di superficie adottano modelli fisico-matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati piano paralleli sovrapposti, con caratteristiche elastiche lineari nei casi più semplici, oppure considerando il comportamento visco-elastico più realistico per i materiali naturali. Per ogni strato si possono definire i parametri principali che controllano la propagazione dell'energia elastica: spessore; densità; velocità di propagazione delle onde di taglio V_s ; coefficiente di Poisson; fattore di qualità (Q). A partire da questi è possibile ricavare le proprietà dispersive delle onde superficiali, definendo in questo modo il problema diretto che, note le caratteristiche del terreno, permette di descrivere la dispersione.

Nei metodi geofisici occorre invece affrontare il problema inverso, ossia, partendo dal dato sperimentale, si deve risalire al modello del terreno descrivendolo attraverso i parametri meccanici e sismici.

La procedura utilizzata può essere sintetizzata nelle tre seguenti fasi principali:

- **Acquisizione dati e controllo qualità (QC):** registrazione (dominio del tempo) e osservazione dei dati sismici (dominio delle frequenze) per un intervallo sufficientemente ampio in termini sia di tempo (il ventaglio dispersivo deve essere interamente contenuto nel sismogramma), sia di frequenze (tipicamente $4.5 \div 60$ Hz);

- **Signal processing:** trattamento dei dati attraverso trasformata di Fourier, filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione espresse come velocità di fase o gruppo in funzione della frequenza (spettro velocità di fase/frequenza);
- **Processing/Inversione:** elaborazione del profilo monodimensionale di VS mediante definizione di uno spazio di ricerca ottenuto iterativamente per modellazione diretta e affinamento mediante inversione numerica.

Come tutti i metodi geofisici, anche in questo caso la ricerca della soluzione del problema inverso è sottodimensionata. Una data curva/spettro di dispersione può essere quindi soddisfatta da “n” soluzioni dove per soluzione si intende in questo caso il log sismo-stratigrafico composto di coppie spessore-velocità per ciascuno strato.

Esistono in letteratura numerosi metodi di inversione (Monte Carlo, minimi quadrati, algoritmi genetici, etc.), nessuno dei quali è però in grado di garantire la congruità della soluzione. Ragione per cui le tecniche più evolute, ormai adottate anche da alcuni softwares commerciali, hanno abbandonato l'approccio acritico puramente matematico in favore di un processing ragionato che attraverso la definizione di vincoli geologici prevede la preliminare definizione di uno spazio di ricerca quanto più ristretto possibile, che può essere spinto fino alla definizione del modello finale o affinato mediante inversione numerica.

6.3 ANALISI MULTI-COMPONENTE

Un ulteriore passo avanti nella riduzione dell'incertezza della soluzione è stato fatto in anni recenti da una parte della comunità scientifica adottando un approccio multi-componente.

Se è vero che il termine MASW rimanda solitamente alla procedura più comunemente utilizzata e nota, in cui la curva di dispersione è ricavata dalle onde di Rayleigh acquisite con geofoni verticali, è altrettanto vero che il panorama delle onde di superficie non è limitato ad esse ma comprende: le onde di Love, in cui il moto delle particelle avviene ortogonalmente alla direzione di propagazione; le onde di Scholte la cui propagazione avviene all'interfaccia tra un solido ed un fluido; o le onde di Stoneley che si propagano tra solido e solido. Le stesse onde di Rayleigh si propagano per moto ellittico retrogrado, pertanto si può distinguere tra una componente verticale ed una orizzontale.

In quanto onde di superficie questi diversi tipi di propagazione dell'energia elastica sono dispersivi, e come tali possono essere utilizzati per risalire alle proprietà del mezzo

sottostante la superficie di propagazione. Tralasciando le Scholte e le Stoneley che trovano applicazioni nello studio dei fondali e nella sismica a riflessione marina le prime, o per l'analisi delle Vs nella sismica di pozzo le seconde, Love, Rayleigh verticale e Rayleigh orizzontale, ciascuna col proprio spettro di dispersione, offrono l'opportunità di collezionare una maggiore quantità di informazioni sull'oggetto dello studio. Nel caso ad esempio di una classica acquisizione in onde di Rayleigh associata ad una registrazione delle onde di Love, si hanno a disposizione due spettri di dispersione. Ciascuno, se trattato indipendentemente ammette più di una soluzione in quanto come detto il problema è sottodimensionato. Un approccio multi-componente consente però di scartare dall'insieme delle "nR" soluzioni valide per la dispersione delle Rayleigh, tutte quelle che non soddisfino anche la dispersione delle Love, e viceversa. Spingendo ancora oltre lo stesso approccio metodologico, la verifica della congruenza del modello con un terzo dataset, ad esempio la componente orizzontale delle Rayleigh o una curva HVSr ottenuta per registrazione passiva a stazione singola, andrebbe ad incrementare drasticamente la robustezza del modello finale.

Pertanto, al costo di un contenuto aumento delle attività di campo e di processing, è possibile migliorare sensibilmente la robustezza del risultato perseguito, riducendo drasticamente l'ambiguità intrinseca e rendendo il metodo meno dipendente dalle informazioni accessorie, spesso insufficienti a vincolare adeguatamente il campo di ricerca.

6.4 FVS INVERSION

La complessità delle dispersioni, se affrontate con il metodo delle curve modali, pongono spesso il tecnico nelle condizioni di dover eseguire delle scelte interpretative basate sull'esperienza piuttosto che su informazioni oggettive. Le più recenti tecniche di inversione full velocity spectrum (Dal Moro, 2014; Dal Moro et al., 2014), costituiscono un approccio meno "soggettivo" e pertanto più robusto.

Infatti, mentre lavorando con le curve modali l'interprete deve necessariamente definire l'ordine gerarchico dei modi (fondamentale, primo, etc.), cosa non sempre di facile soluzione, l'approccio FVS consiste nel cercare di riprodurre quanto più fedelmente possibile l'intero spettro di velocità evitando qualunque ambiguità potenzialmente introdotta dall'interpretazione delle curve di dispersione modale.

6.5 STENDIMENTI SISMICI CON METODO “MASW” CENNI METODOLOGICI

L’acquisizione di un set di dati per l’indagine MASW si esegue mediante uno stendimento di sensori, solitamente da 12 a 24 velocimetri con frequenza caratteristica di 4.5 Hz, rigorosamente allineati con la sorgente. Distanza intergeofonica ed offset minimo vengono in genere definiti in base al contesto geologico ed alle condizioni logistiche. In generale, dispositivi geofonici con lunghezze di 50÷70 m e due o tre punti di energizzazione posti a distanze comprese tra 5.0 e 15.0 metri dal primo ricevitore, consentono una buona definizione degli spettri di frequenza in quasi tutte le condizioni. Terreni particolarmente lenti possono necessitare di stendimenti di maggiore lunghezza affinché la profondità di esplorazione raggiunga il target richiesto, o l’abbinamento di qualche tecnica passiva (es, ESAC o MAAM, tralasciando l’ormai obsoleta REMI), per definire adeguatamente la porzione bassa dello spettro. Stendimenti di lunghezze inferiori a 45-50m portano solitamente ad un deterioramento della qualità dello spettro alle basse frequenze per campionamento spaziale insufficiente, e sono generalmente da evitare.

Nella tabella successiva (Tab. 6), vengono indicate le caratteristiche specifiche, tra cui lunghezza stendimento, geometria dello stesso e parametri di acquisizione, mentre i risultati vengono presentati nelle pagine successive in apposite tavole grafiche, cui si rimanda per l’analisi di dettaglio delle singole stese. La posizione di tutti gli stendimenti è stata concordata con la D.L.

Lunghezza	Geofoni	Array	Passo	Shots	Energizzazione	Acquisizione	Campionamento
60 m	Verticali	Onde Rayleigh	2.5 m	4	Mazza/Piastra	1500 ms	500.0 µs

Tab. 6 caratteristiche geometriche e parametri di acquisizione utilizzati per l’acquisizione delle linee MASW realizzate sul Lotto.

La generazione delle onde di superficie avviene mediante idonei strumenti utili ad enfatizzare le diverse tipologie di perturbazione elastica desiderata. Nel caso delle onde di Rayleigh l’onda viene generata percuotendo verticalmente il terreno con una mazza da 5-8kg. Si ricorre al fucile sismico o ad un grave in caduta in caso di terreni particolarmente scadenti. Un trave in legno ben accoppiato con il terreno e colpito lateralmente con una mazza da 5-8kg o un pendolo di massa superiore, consente invece di generare le onde di Love.

In funzione del tipo di componente che si desidera registrare è necessario adottare i sensori opportuni. Come già detto i ricevitori impiegati sono solitamente velocimetri (geofoni) a frequenza caratteristica di 4.5Hz, essendo questo il miglior compromesso tra capacità risolutiva, costi ed ergonomia. Geofoni verticali consentono la registrazione della

componente verticale delle Rayleigh, mentre la componente orizzontale si registra con geofoni ad asse orizzontale disposto secondo la linea sismica e allineato con la sorgente. Gli stessi sensori orizzontali disposti invece trasversalmente all'allineamento permettono la registrazione delle onde di Love.

6.6 ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

Acquisizione dati, pre-processing e processing dati sono eseguiti con i seguenti softwares commerciali:

- Front End Express, Geogiga Technology Corp, ultimo aggiornamento novembre 2019.
- WinMASW 2019 Acd, da Eliosoft srl, ultimo aggiornamento maggio 2020.

Dall'analisi dei dati acquisiti è stato possibile definire i principali orizzonti sismostratigrafici calcolando un profilo verticale di Velocità sismiche VS; è bene sottolineare che la restituzione finale rappresenta una soluzione monodimensionale del profilo di velocità media e che il calcolo è effettuato per una profondità riferita all'attuale piano campagna.

Per le MASW eseguite nell'ambito della presente commessa si sono ricavati i seguenti risultati:

Linea	V _{seq} (m/s)	Profondità equivalente (m)	V _{s30} (m/s)	Categoria NTC 2018
MASW.01	-----	>30	196 m/s	C
MASW 02	-----	>30	193 m/s	C
MASW.03	-----	>30	219 m/s	C

Tab. 7 risultati ottenuti dalle analisi MASW

I valori riportati ricadono nella categoria "C" del riferimento normativo NTC 2018 (dm 17/01/2018):

- C. Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

In allegato alla presente i risultati delle elaborazioni.

7 ALLEGATI

7.1 **SITO 1** SRT 1, HV 1 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLE SRT E HV)

7.2 **SITO 2** SRT 2, MASW 1, HV 2 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLE SRT, MASW E HV)

7.3 **SITO 3** SRT 3, MASW 2, HV 3, HV4 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLE SRT, MASW E HV)

7.4 **SITO 4** SRT 4, MASW 3, HV5, HV6 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLE SRT, MASW E HV)

7.5 **SITO 5** DH BH13 E DH BH14 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLE DH)

7.1 SITO 1 - SRT 1, HVSR 1



Foto 1: Esecuzione Indagini, SRT 1

Indagini geofisiche

COMMESSA
RS62

LOTTO
00

CODIFICA
IG

DOCUMENTO
GE0001

REV.
A

FOGLIO
2 di 2





Legenda

- ◆ Line 1 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 2 - 144ch, X=2.5m
- ◆ Line 3 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 4 - 144ch, X=2.5m
- ✚ HVSr
- ◆ Seismic Down Hole
- ◆ MASW



Sistema di coordinate:
 projection: UTM;
 datum: WGS84_zone 33N
 coordinates: m

Quote altimetriche estratte da TINITALY DEM:
 Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

commessa
 CA100044687_Porto_Augusta

committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
 M. Scarpelli
 Dott. Geol.

progetto
 "ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Seismic Refraction Tomography (SRT)

processing
 Dott. L. Allacorta

approvazione
 Dott. Geol. A. Reale

tavola
 SRT1_Ubi_rev0

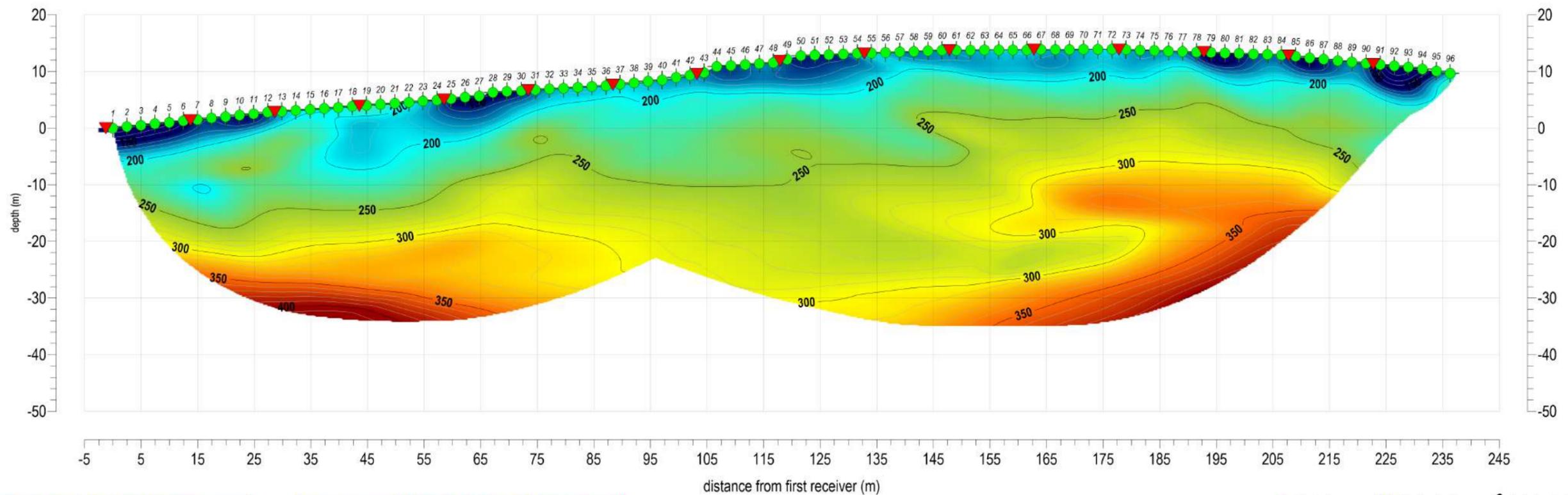
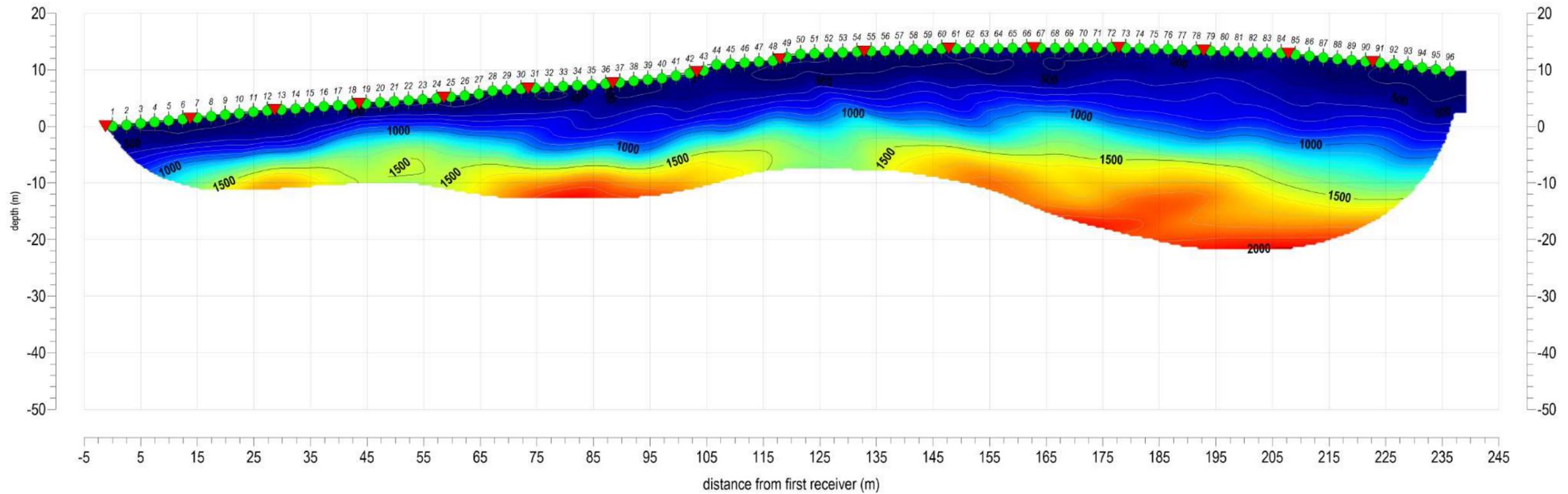
emissione
 11 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING

Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

PORTO AUGUSTA - LINE 1 - SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT) - P+S WAVES



- ◆ Geofoni
- ▼ Shots positions
- ▼ Altre linee sismiche
- ▼ Indagini dirette
- limiti sismo-stratigrafici
- probabili andamenti di sistemi di fratturazione

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
M. Scarpelli
Dott. Geol.

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Seismic Refraction Tomography (SRT)
compression (P) and shear (S) waves

processing
Dott. L. Allacorta

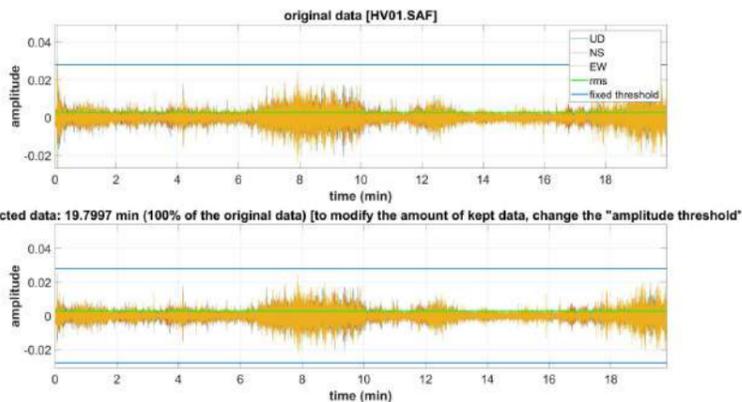
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
Line1_SRT P+S_rev0

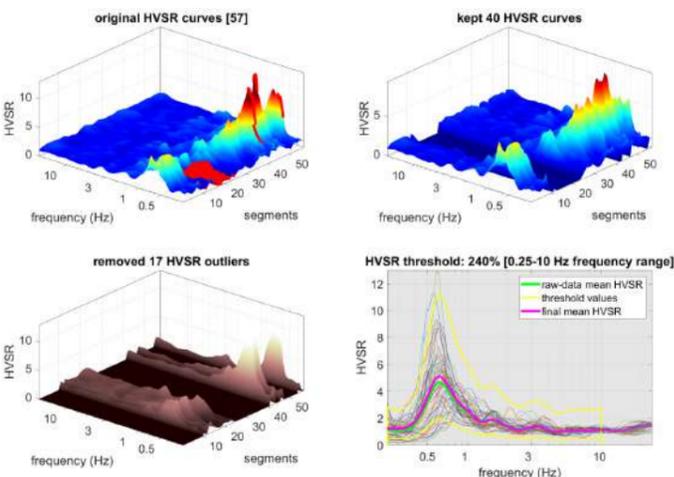
emissione
12 ott 2022

GEOTEC SPA

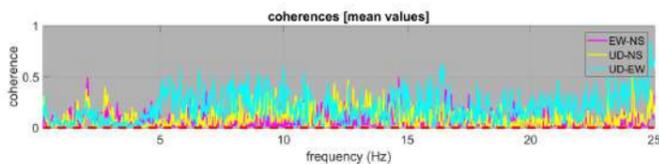
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, IT info@geotecspa.com



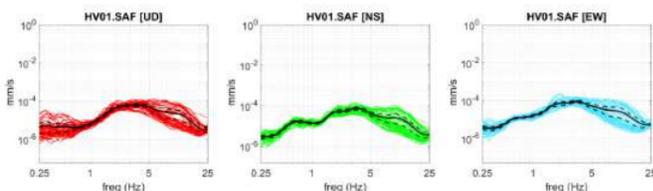
Data cleaning: rimozione di eventi caratterizzati da ampiezza anomala rispetto al segnale medio registrato, solitamente di origine antropica (traffico stradale; rumori industriali; passi in prossimità del sensore...). Nella figura superiore (dominio tempo-ampiezza), sono riportate le registrazioni per ciascuno dei tre canali attivi (UD; NS; EW), il valore medio ed i valori di soglia impostati; nella figura inferiore il segnale filtrato (in didascalia il totale del segnale residuo, in minuti e come % della durata iniziale).



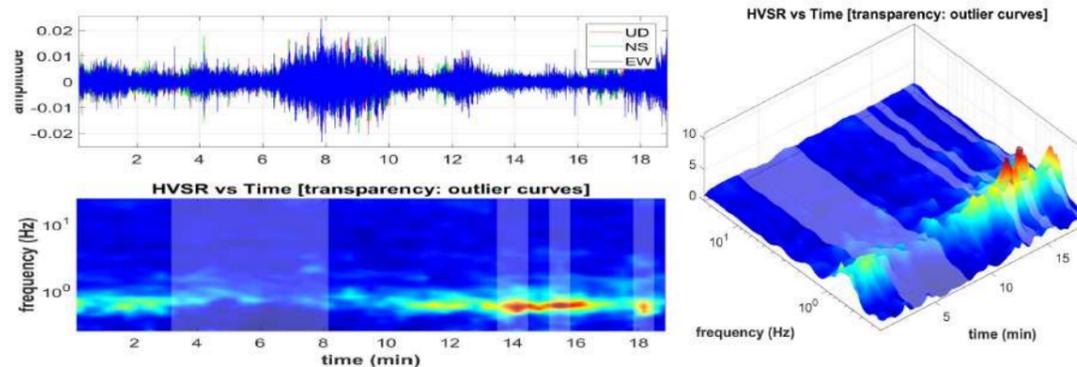
HVoutliers: il grafico *stack* di tutte le curve HV calcolate consente di individuare le curve anomale e di impostare una soglia di rigetto. L'intervallo di ascolto viene suddiviso in intervalli di ampiezza costante (*segments*), definita in funzione della frequenza del picco da analizzare (più bassa la frequenza, maggiore l'ampiezza della finestra, minore il numero di finestre a parità di tempo di registrazione).



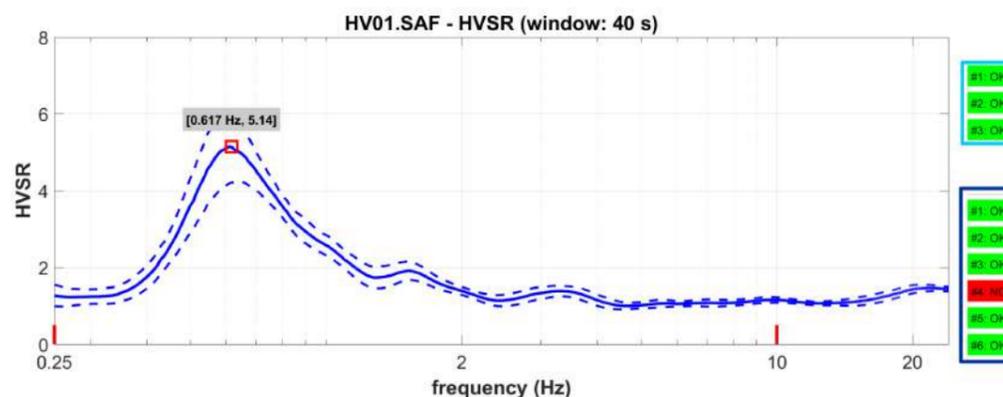
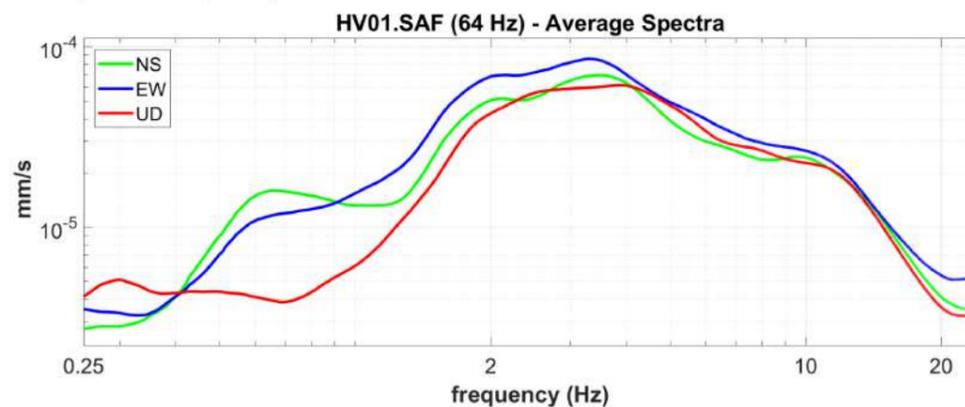
Coerenza: funzione di coerenza calcolata per tutti i segmenti dell'intervallo di ascolto delle tre coppie UD-NS, UD-EW, EW-NS. Operazione propedeutica al riconoscimento di segnali di origine antropica in quanto un aumento delle ampiezze (funzione di coerenza tendente ad 1), su una o più coppie di canali, può generare un picco nella curva HV senza alcuna attinenza con la realtà geologica. I box viola evidenziano le componenti antropiche presenti nello spettro.



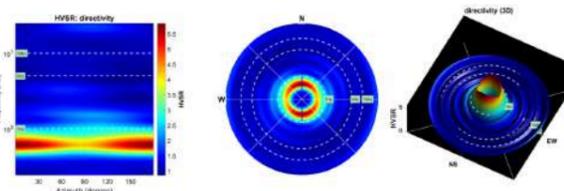
Singole componenti: spettro delle componenti UD, NS, EW, per ciascuna finestra considerata per il calcolo del rapporto HV



Persistenza: verifica della stazionarietà temporale del segnale, che per essere considerato di origine stratigrafica non può avere interruzioni temporali significative. In trasparenza gli intervalli le cui curve HV vengono considerate anomale in base ai parametri di filtraggio; dx) rappresentazione tridimensionale frequenza-finestra temporale-ampiezza.



Segnale medio e curva HV: grafico superiore) grafico frequenza-ampiezza dei segnali medi per i tre canali attivi, calcolati secondo i parametri sotto indicati (*HV computation*); nel grafico inferiore curva HV (rapporto spettrale medio), le barre verticali rosse indicano l'intervallo di frequenze in cui sono calcolati i criteri "sesame" (box celeste: criteri di affidabilità della curva; box blu: criteri di affidabilità del picco; evidenziati in rosso quelli non soddisfatti). In mancanza di un picco significativo la valutazione dei criteri perde di significato.



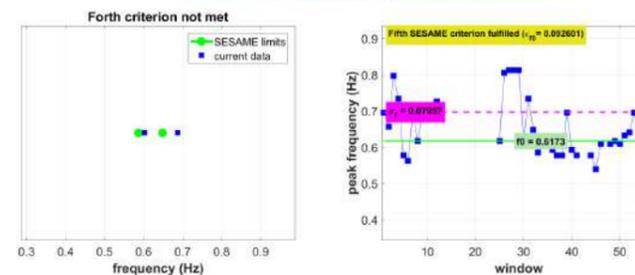
Direzionalità: verifica della direzionalità del segnale mediante rappresentazione grafica cartesiana e polare (2D e 3D). Nella rappresentazione polare gli assi NS ed EW coincidono con quelli strumentali (direzioni di oscillazione dei due sensori disposti nel piano orizzontale).

HV computation	
20	record length (min)
250	sampling (Hz)
84	downsampling (Hz)
50	window length (s)
5	tapering (%)
10	amplitude threshold
220	HVSR threshold
20%	spectral smoothing (triangular window)
6	detrending order

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio postazione_HV01



+ Sismica passiva (HVSR) / MASW



Criteri: verifica dei criteri SESAME n° 4 (sx) e 5 (dx): frequenza di picco di tutte le finestre considerate per il calcolo dell'HVSR). In caso di assenza di picco HV la verifica perde di significato.

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

processing
L.A.
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
HVSR1_rev0
emissione
07 ott 2022

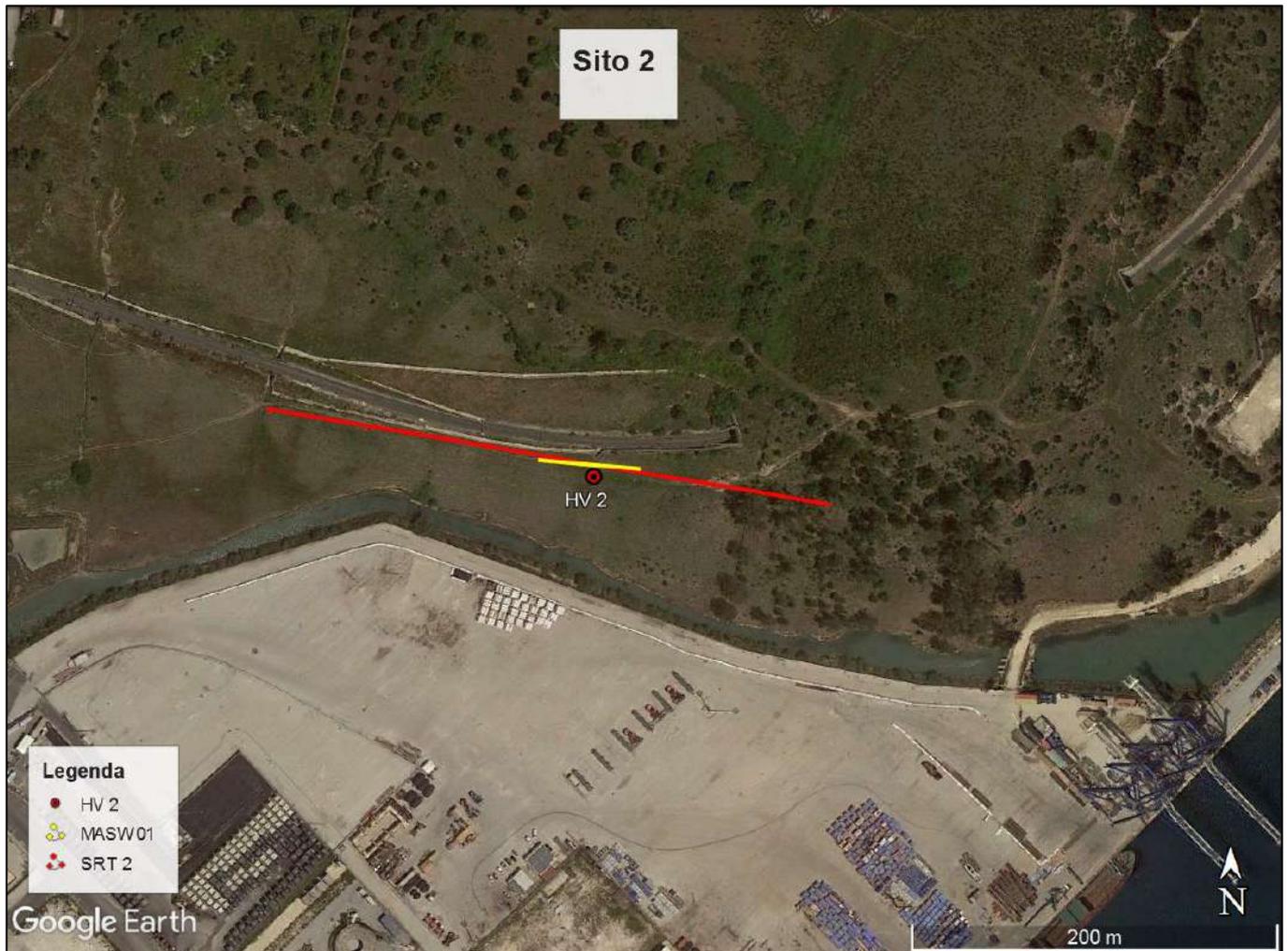
GEOTEC SPA

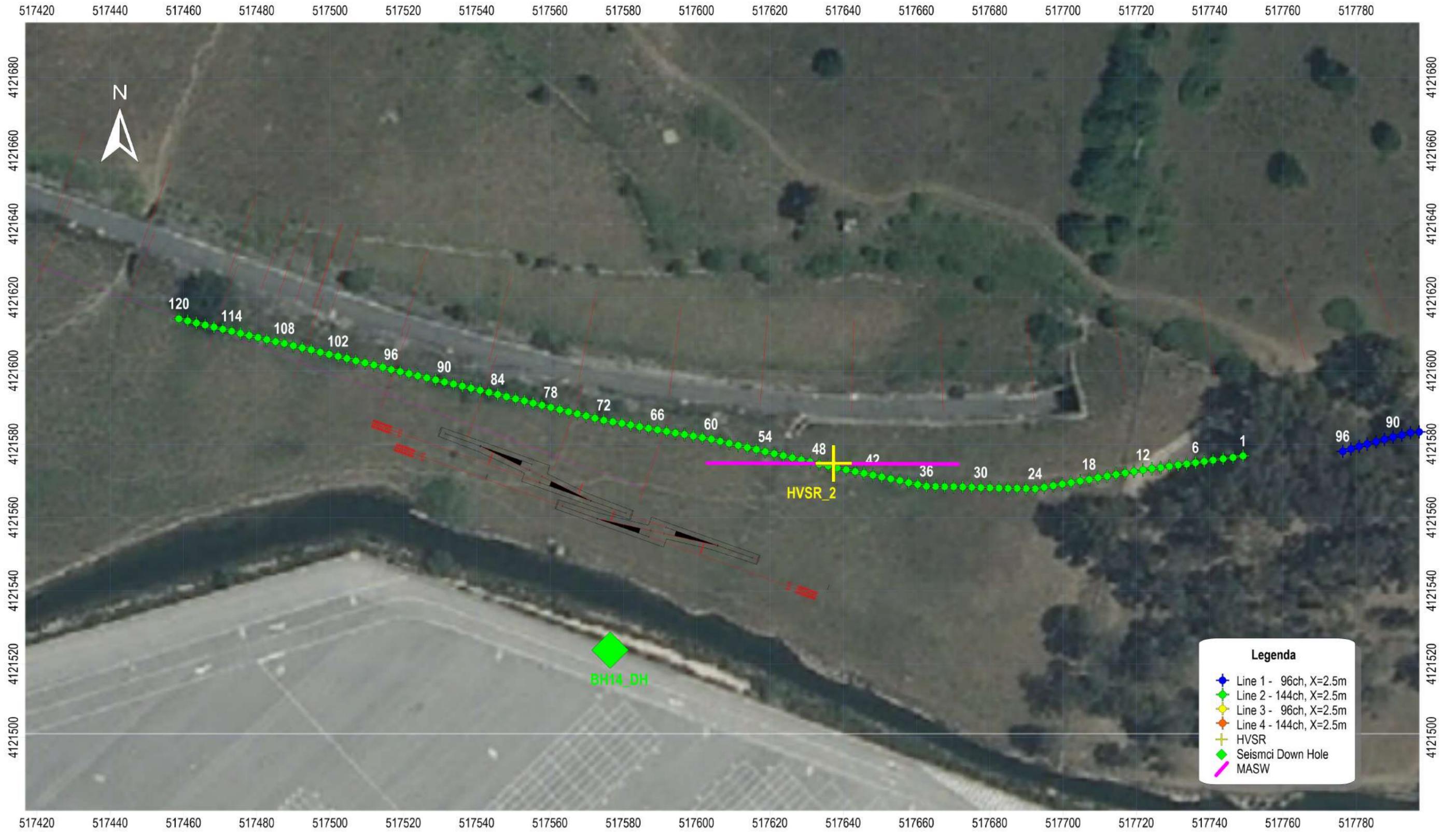
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

7.2 SITO 2 - SRT 2, MASW 01, HVSR 2



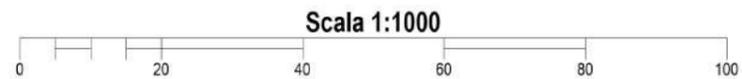
Foto 1: Esecuzione Indagini, sopra SRT 2, sotto HVSR 2





Legenda

- ◆ Line 1 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 2 - 144ch, X=2.5m
- ◆ Line 3 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 4 - 144ch, X=2.5m
- ✚ HVSr
- ◆ Seismci Down Hole
- MASW



Sistema di coordinate:
 projection: UTM;
 datum: WGS84_zone 33N
 coordinates: m

Quote altimetriche estratte da TINITALY DEM:
 Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

commessa
 CA100044687_Porto_Augusta

committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
 M. Scarpelli
 Dott. Geol.

progetto
 "ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Seismic Refraction Tomography (SRT)

processing
 Dott. L. Allacorta

approvazione
 Dott. Geol. A. Reale

tavola
 SRT2_Ubi_rev0

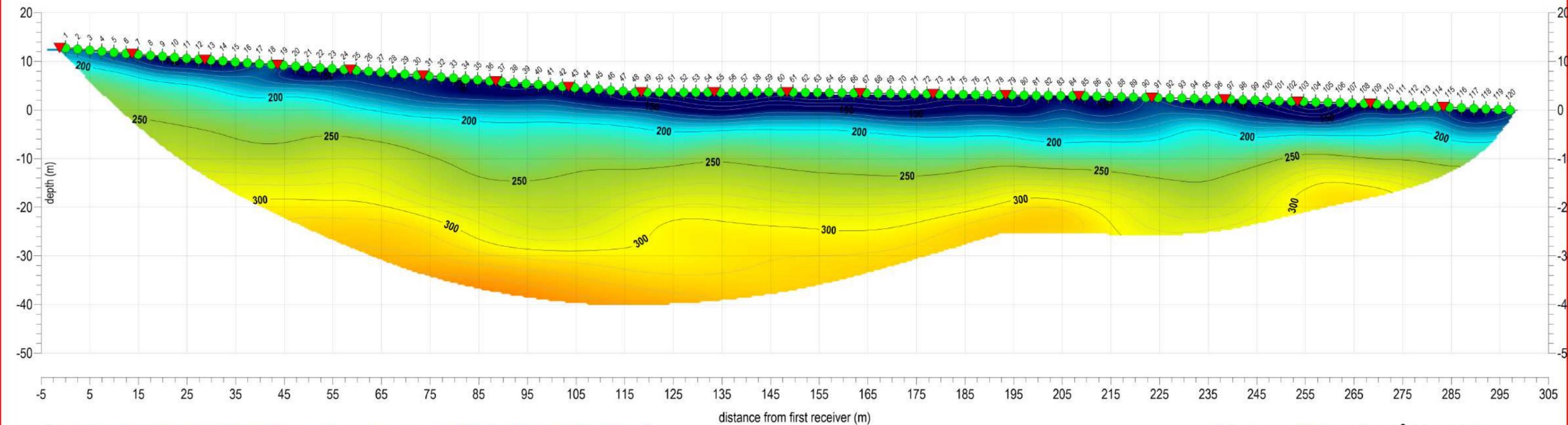
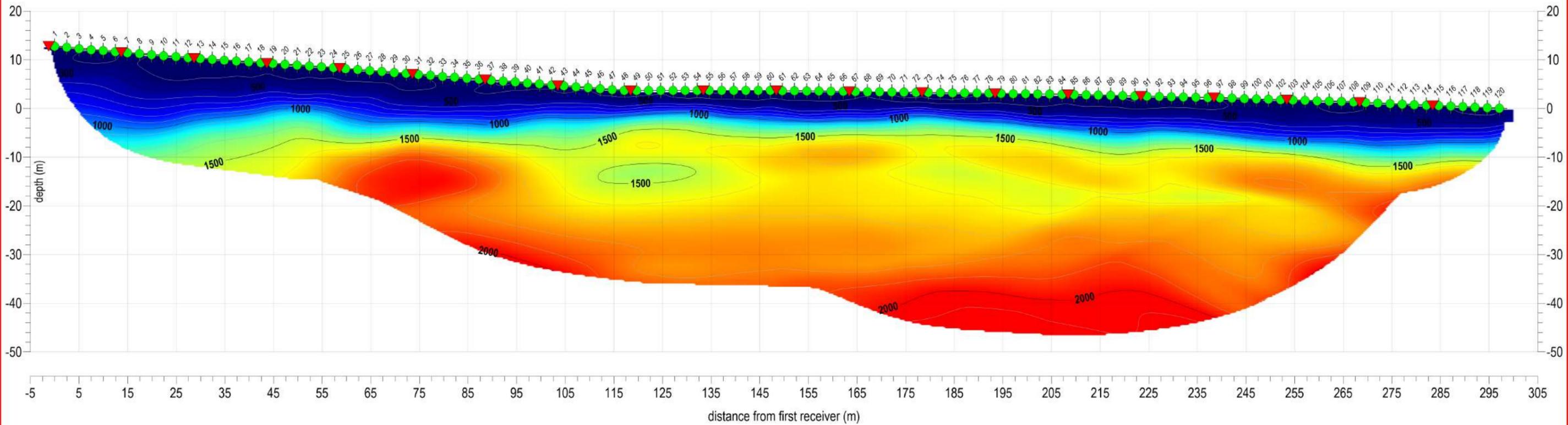
emissione
 11 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING

Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

PORTO AUGUSTA - LINE 2 - SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT) - P+S WAVES



- ◆ Geofoni
- ▼ Shots positions
- ▼ Altre linee sismiche
- ▼ Indagini dirette
- limiti sismo-stratigrafici
- probabili andamenti di sistemi di fratturazione

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano

richiedente
M. Scarpelli
Dott. Geol.

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Seismic Refraction Tomography (SRT)
compression (P) and shear (S) waves

processing
Dott. L. Allacorta

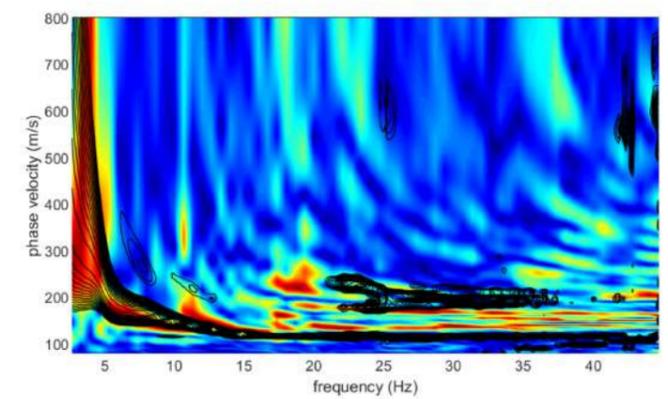
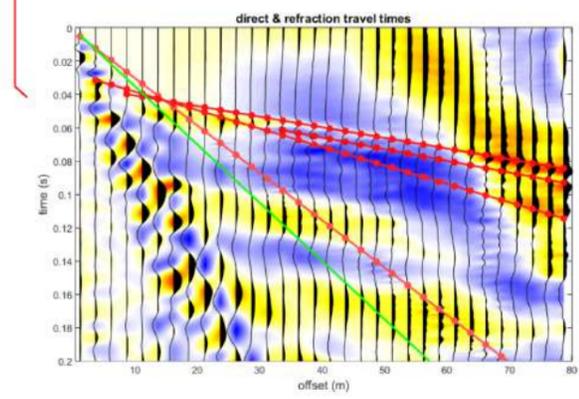
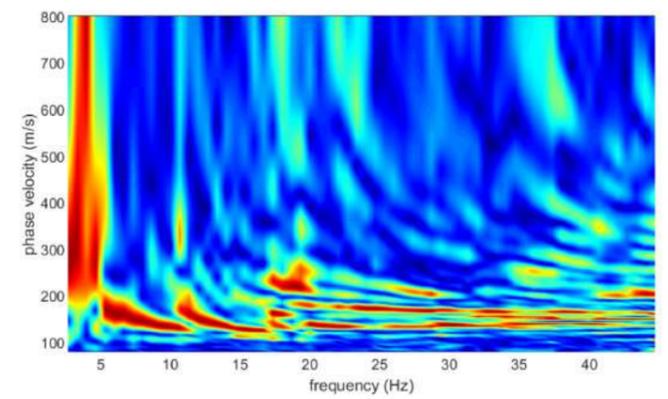
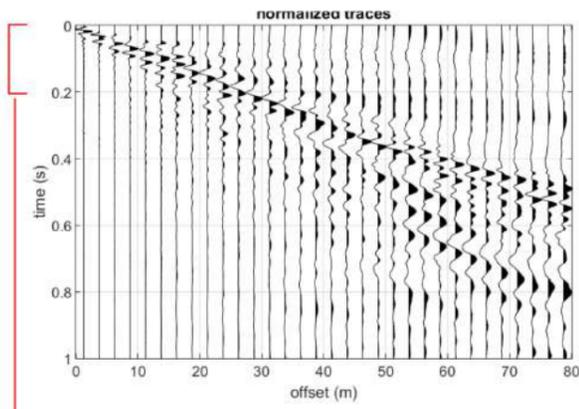
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
Line2_SRT P+S_rev0

emissione
12 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, IT info@geotecspa.com



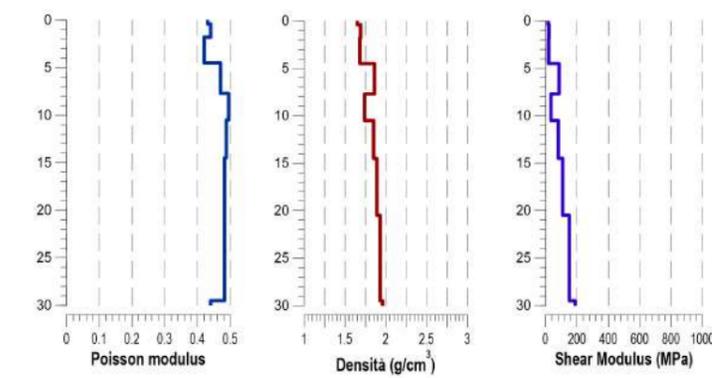
In alto: sismogramma **common shot gather** a 24 tracce (rappresentazione del dato acquisito nel dominio spazio-tempo): acquisizione finalizzata alla registrazione delle onde di Rayleigh (componente verticale o ZVF), ottenuta per *stack* verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su piastra in acciaio. **In basso** ingrandimento sui primi arrivi rifratti con proiezione delle dromocrona sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modulo di Poisson viene assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno, mentre per gli strati più superficiali viene calibrato per riprodurre i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, il modulo Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500 \text{ m/s}$.

In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale); **In basso**: confronto per sovrapposizione tra lo spettro sintetico (*contouring* nero) delle velocità di fase ottenuto per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum), e lo spettro sperimentale (in scala colori).

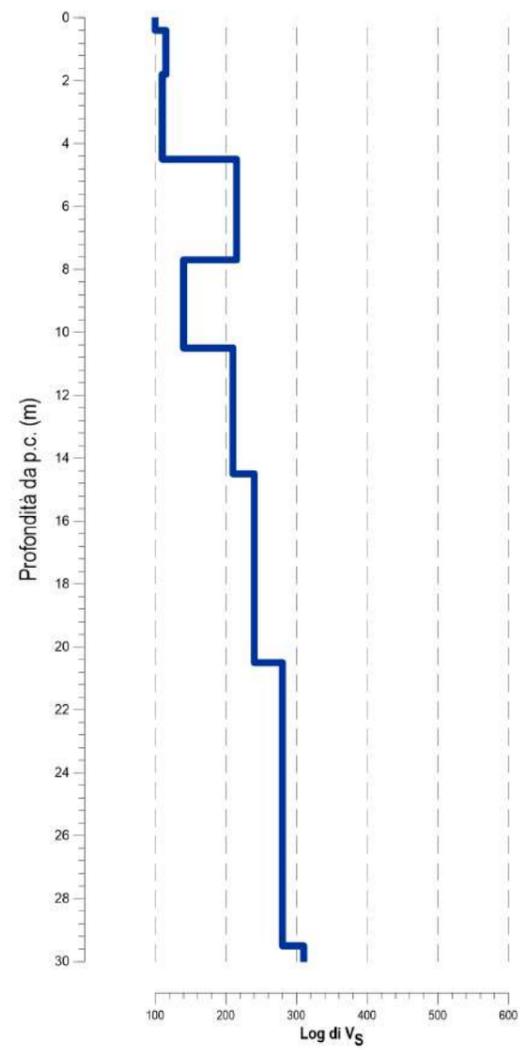
Configurazione di acquisizione
 strumento: DAQLink III intertraccia sensori: $x = 2.5 \text{ m}$
 canali: 24 posizioni di scoppio: -7.5; -5.0; 62.5; 65.0 m
 sensori: vertical, 4.5Hz software di elaborazione: WinMasw Acd 2019

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)	
1	0.4	100	0.0	0.4	1.7	0.43	286
2	1.4	115	0.4	1.8	1.7	0.44	351
3	2.7	110	1.8	4.5	1.7	0.42	296
4	3.2	215	4.5	7.7	1.9	0.47	904
5	2.8	140	7.7	10.5	1.7	0.50	1407
6	4.0	210	10.5	14.5	1.9	0.49	1372
7	6.0	240	14.5	20.5	1.9	0.48	1288
8	9.0	280	20.5	29.5	1.9	0.48	1502
9		310	29.5		2.0	0.44	947

Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Gli strati profondi (prof. >30-35m) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolabili, tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geologicamente plausibili, escludendo quelle non compatibili con il contesto geologico. **Densità** secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap*. Geophysics 39, 770-780.



Log di velocità delle onde di taglio (profilo monodimensionale di velocità delle onde S), **Moduli di Poisson** assegnati al modello finale. **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³. **Modulo di taglio:** noti Vs e Densità è possibile calcolare il modulo di taglio (espresso in MPa). È implicito che il valore dei moduli dinamici così derivati è puramente indicativo.



V_{Seq} (m/s) -
 VS30 (m/s) **196**
 Profondità equivalente (m) **>30m**

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Categoria di sottosuolo: ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 (NTC2018 - DM del 17-01-18), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s)

Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW01



(up) Ubicazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (dw) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dell'allineamento geofonico indicativamente da g1



commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Multichannel Analysis of Surface Waves

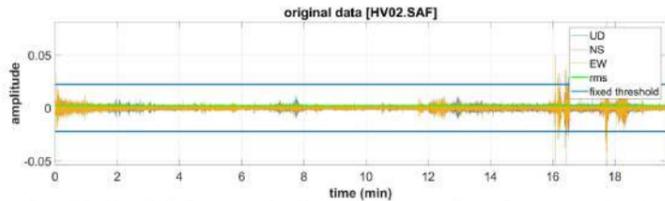
processing
Dott. L. Allacorta
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
masw1_rev0
emissione
14 ott 2022

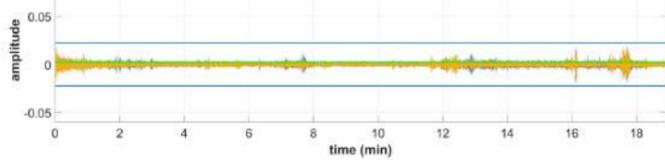
progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"



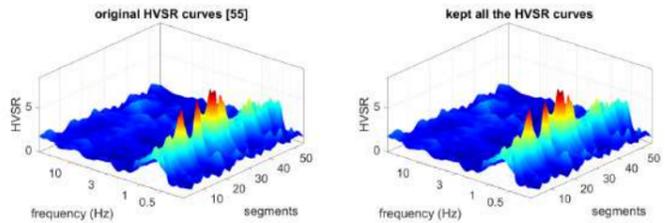
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com



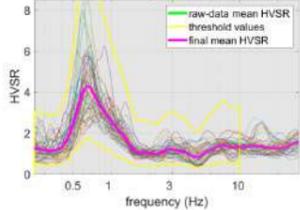
selected data: 18.9331 min (97% of the original data) [to modify the amount of kept data, change the "amplitude threshold"]



Data cleaning: rimozione di eventi caratterizzati da ampiezza anomala rispetto al segnale medio registrato, solitamente di origine antropica (traffico stradale; rumori industriale; passi in prossimità del sensore...). Nella figura superiore (dominio tempo-ampiezza), sono riportate le registrazioni per ciascuno dei tre canali attivi (UD; NS; EW), il valore medio ed i valori di soglia impostati; nella figura inferiore il segnale filtrato (in didascalia il totale del segnale residuo, in minuti e come % della durata iniziale).

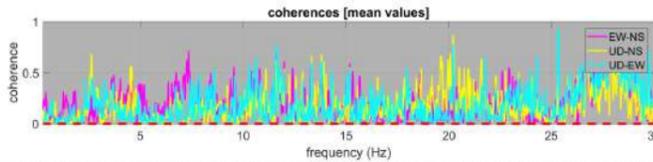


HVSR threshold: 250% [0.25-10 Hz frequency range]

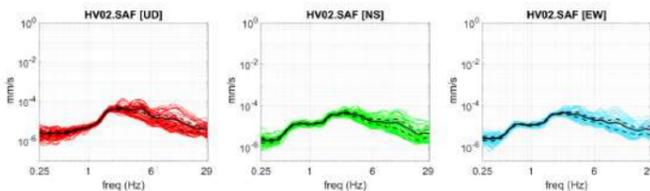


no curves rejected

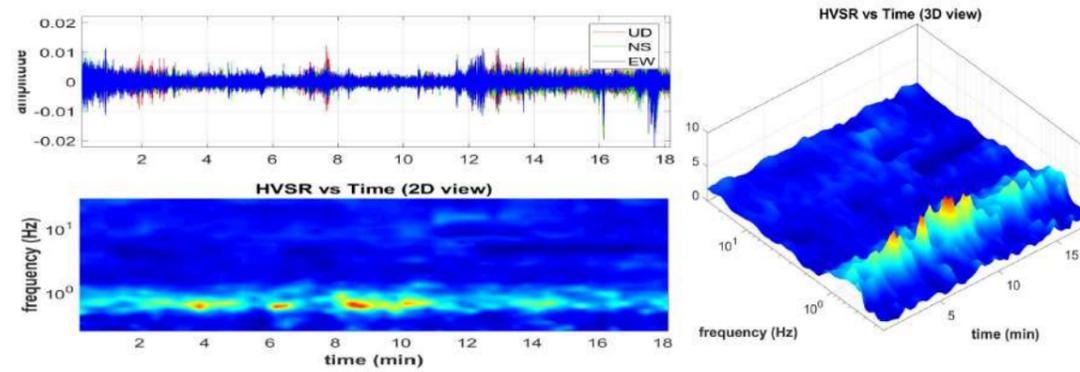
HV outliers: il grafico stack di tutte le curve HV calcolate consente di individuare le curve anomale e di impostare una soglia di rigetto. L'intervallo di ascolto viene suddiviso in intervalli di ampiezza costante (segments), definita in funzione della frequenza del picco da analizzare (più bassa la frequenza, maggiore l'ampiezza della finestra, minore il numero di finestre a parità di tempo di registrazione).



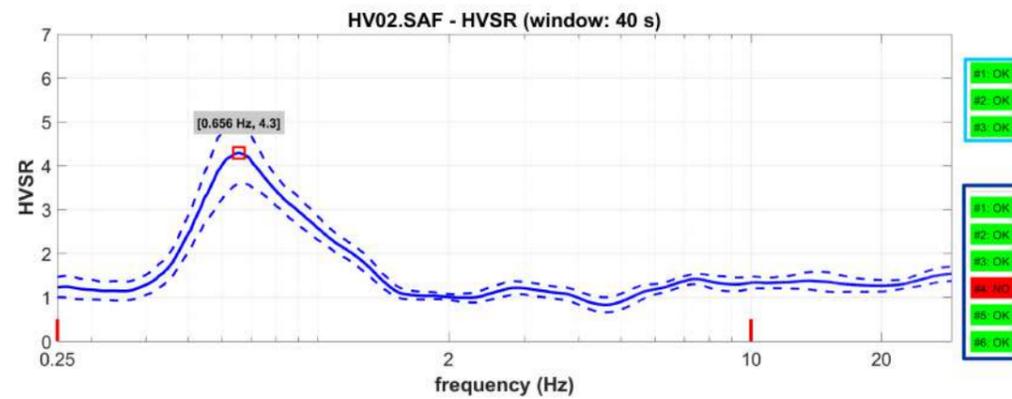
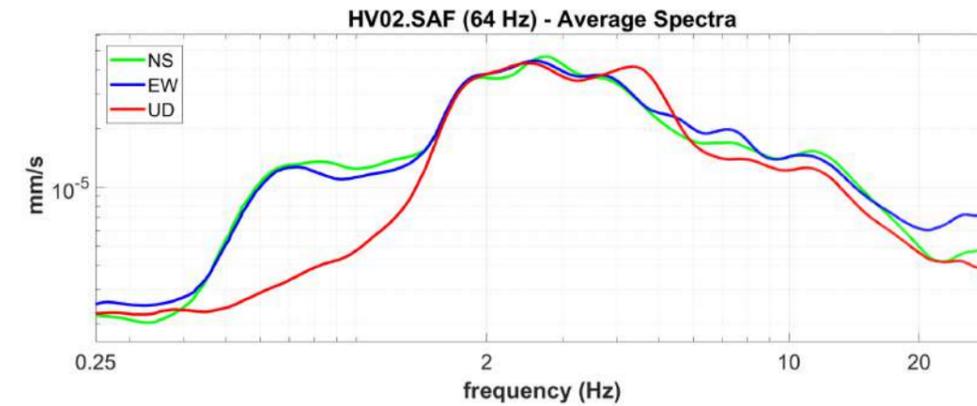
Coerenza: funzione di coerenza calcolata per tutti i segmenti dell'intervallo di ascolto delle tre coppie UD-NS, UD-EW, EW-NS. Operazione propedeutica al riconoscimento di segnali di origine antropica in quanto un aumento delle ampiezze (funzione di coerenza tendente ad 1), su una o più coppie di canali, può generare un picco nella curva HV senza alcuna attinenza con la realtà geologica. I box viola evidenziano le componenti antropiche presenti nello spettro.



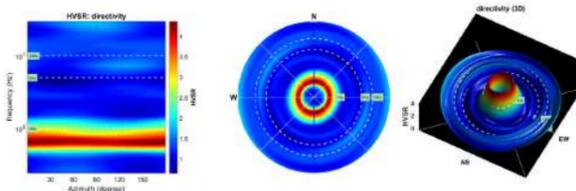
Singole componenti: spettro delle componenti UD, NS, EW, per ciascuna finestra considerata per il calcolo del rapporto HV



Persistenza: verifica della stazionarietà temporale del segnale, che per essere considerato di origine stratigrafica non può avere interruzioni temporali significative. In trasparenza gli intervalli le cui curve HV vengono considerate anomale in base ai parametri di filtraggio; dx) rappresentazione tridimensionale frequenza-finestra temporale-ampiezza.



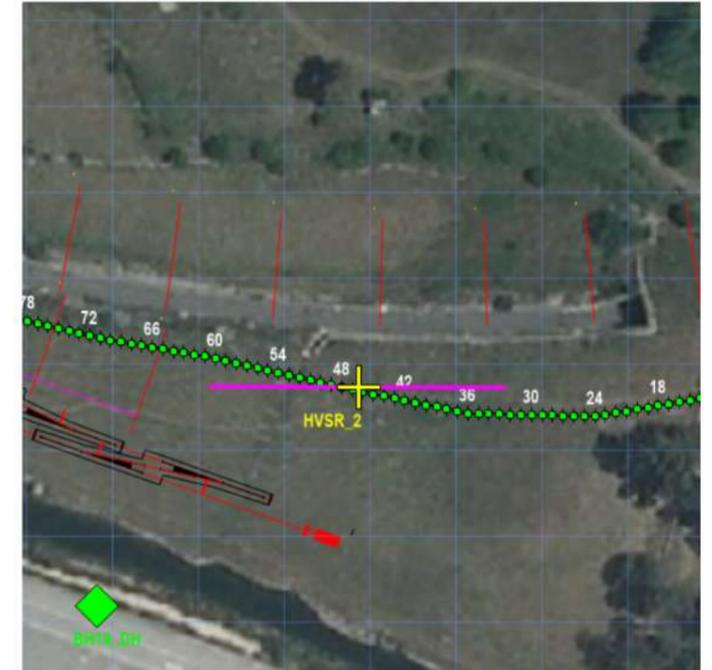
Segnale medio e curva HV: grafico superiore) grafico frequenza-ampiezza dei segnali medi per i tre canali attivi, calcolati secondo i parametri sotto indicati (HV computation); nel grafico inferiore curva HV (rapporto spettrale medio), le barre verticali rosse indicano l'intervallo di frequenze in cui sono calcolati i criteri "sesame" (box celeste: criteri di affidabilità della curva; box blu: criteri di affidabilità del picco; evidenziati in rosso quelli non soddisfatti). In mancanza di un picco significativo la valutazione dei criteri perde di significato.



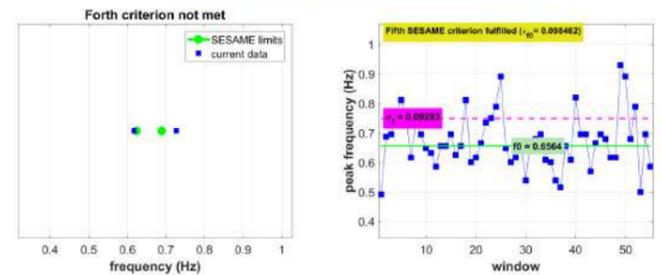
Direzionalità: verifica della direzionalità del segnale mediante rappresentazione grafica cartesiana e polare (2D e 3D). Nella rappresentazione polare gli assi NS ed EW coincidono con quelli strumentali (direzioni di oscillazione dei due sensori disposti nel piano orizzontale).

HV computation	
20	record length (min)
250	sampling (Hz)
84	downsampling (Hz)
50	window length (s)
5	tapering (%)
10	amplitude threshold
220	HVSR threshold
20%	spectral smoothing (triangular window)
6	detrending order

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio postazione_HV02



+ Sismica passiva (HVSR) MASW



Criteri: verifica dei criteri SESAME n° 4 (sx) e 5 (dx): frequenza di picco di tutte le finestre considerate per il calcolo dell'HVSR). In caso di assenza di picco HV la verifica perde di significato.

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

processing
L.A.
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
HVSR2_rev0
emissione
07 ott 2022

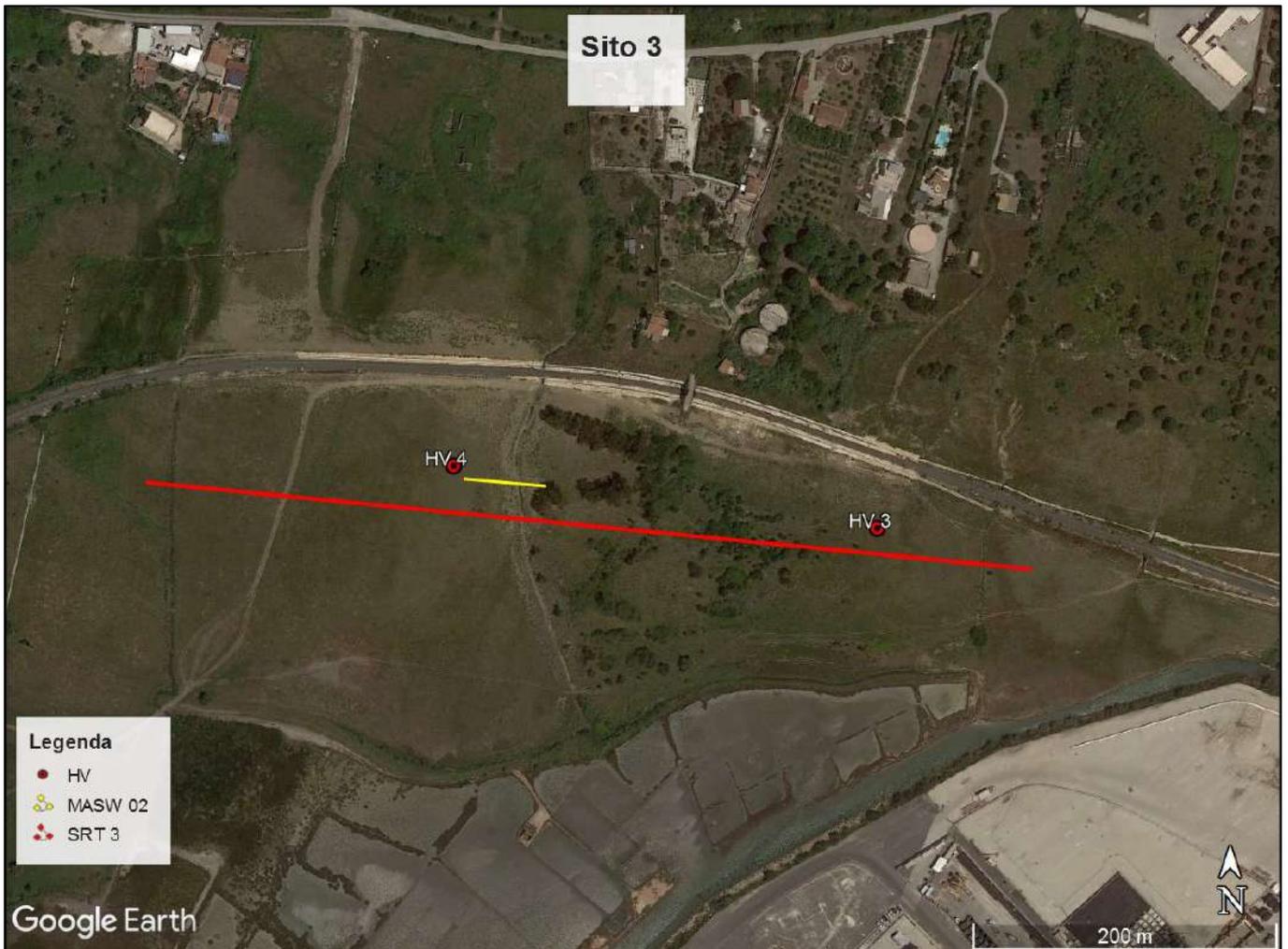
GEOTEC SPA

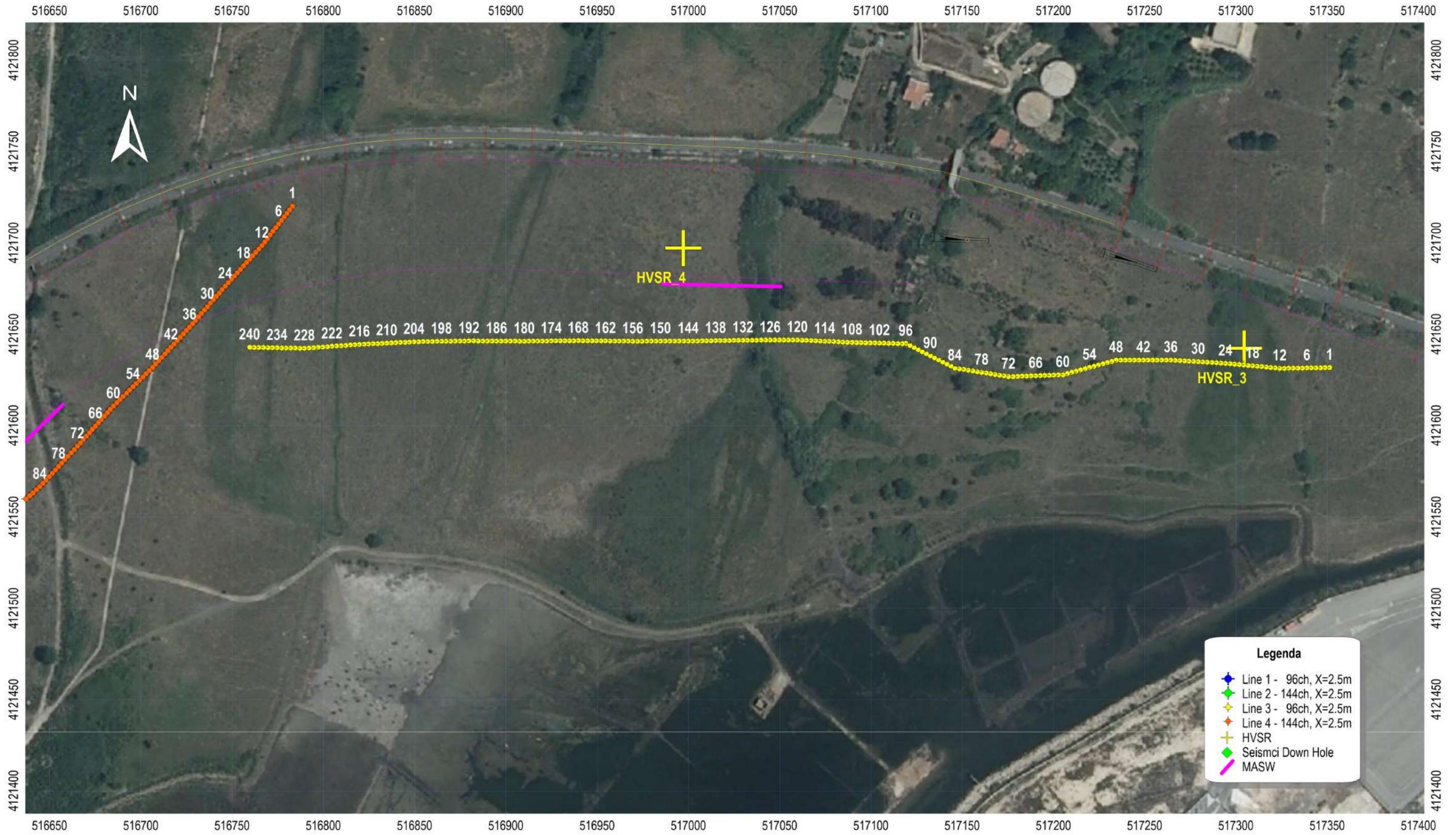
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

7.3 SITO 3 – SRT 3, MASW 02, HVSr 3, HVSr 4



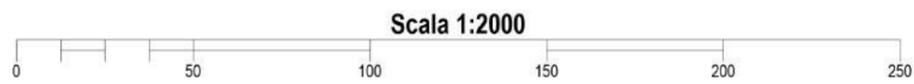
Foto 1: Esecuzione Indagini sopra SRT 3, sotto HVSr 3





Legenda

- ◆ Line 1 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 2 - 144ch, X=2.5m
- ◆ Line 3 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 4 - 144ch, X=2.5m
- ⊕ HVSR
- ◆ Seismic Down Hole
- ◆ MASW



Sistema di coordinate:
 projection: UTM;
 datum: WGS84_zone 33N
 coordinates: m

Quote altimetriche estratte da TINITALY DEM:
 Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

commessa
 CA100044687_Porto_Augusta

committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano

richiedente
 M. Scarpelli
 Dott. Geol.

progetto
 "ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Seismic Refraction Tomography (SRT)

processing
 Dott. L. Allacorta

approvazione
 Dott. Geol. A. Reale

tavola
 SRT3_Ubi_rev0

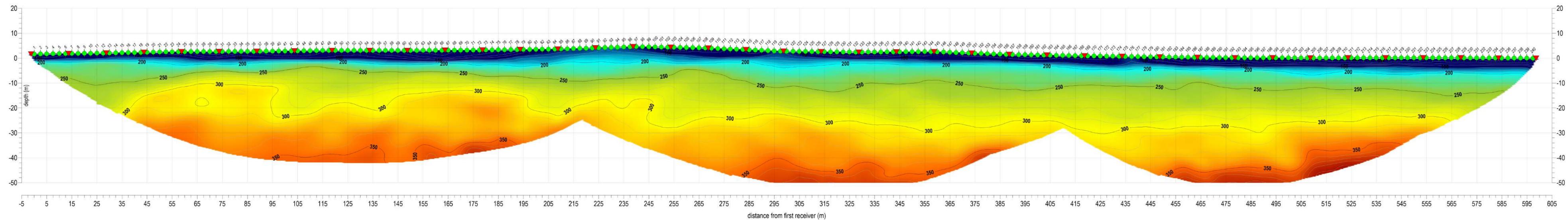
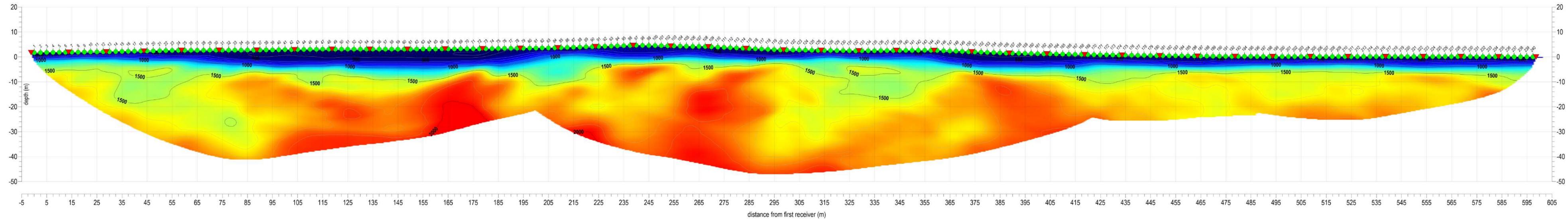
emissione
 11 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING

Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

PORTO AUGUSTA - LINE 3 - SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT) - P+S WAVES

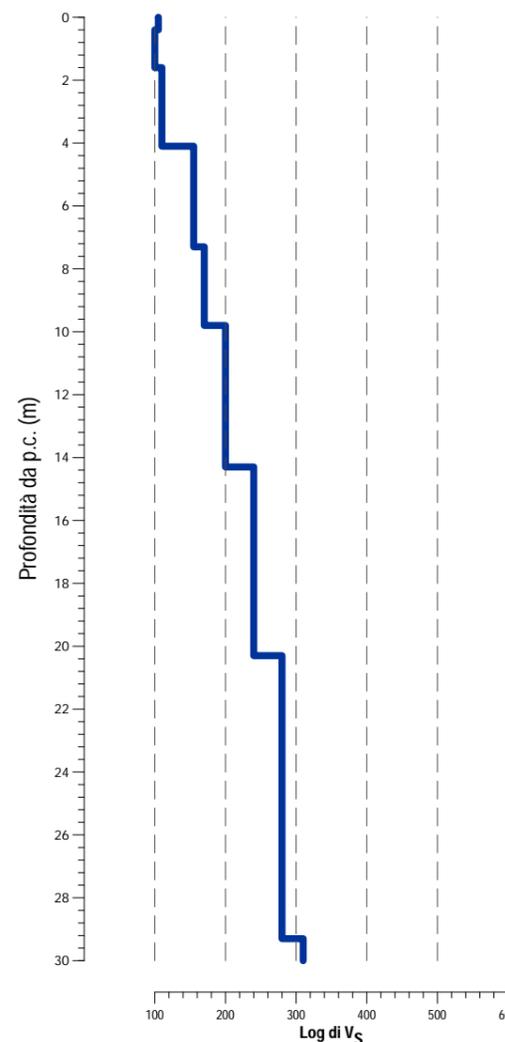
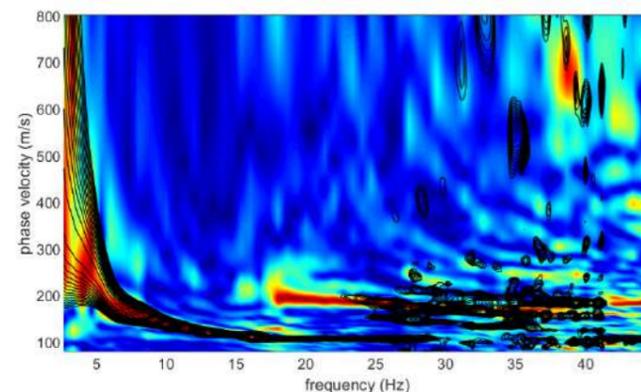
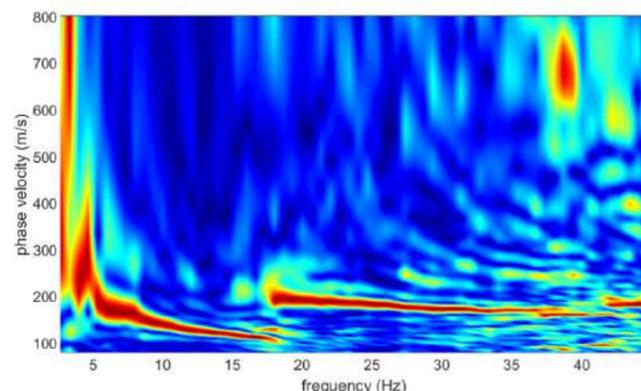
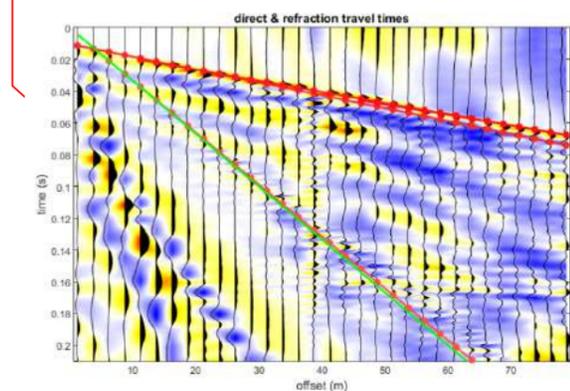
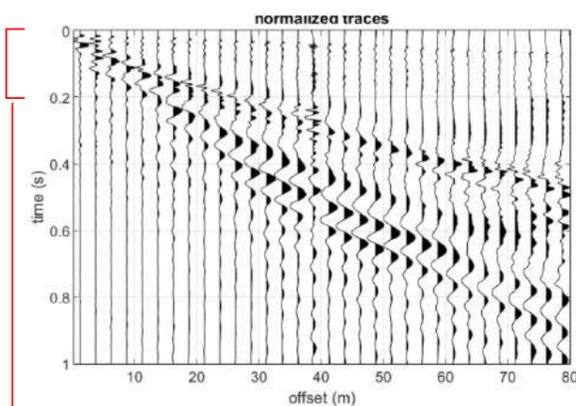


commessa
 CA100044687_Porto_Augusta
committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
richiedente
 M. Scarpelli
 Dott. Geol.
oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Seismic Refraction Tomography (SRT)
 compression (P) and shear (S) waves
processing
 Dott. L. Allacorta
approvazione
 Dott. Geol. A. Reale
tavola
 Line3_SRT P+S_rev0
emissione
 13 ott 2022

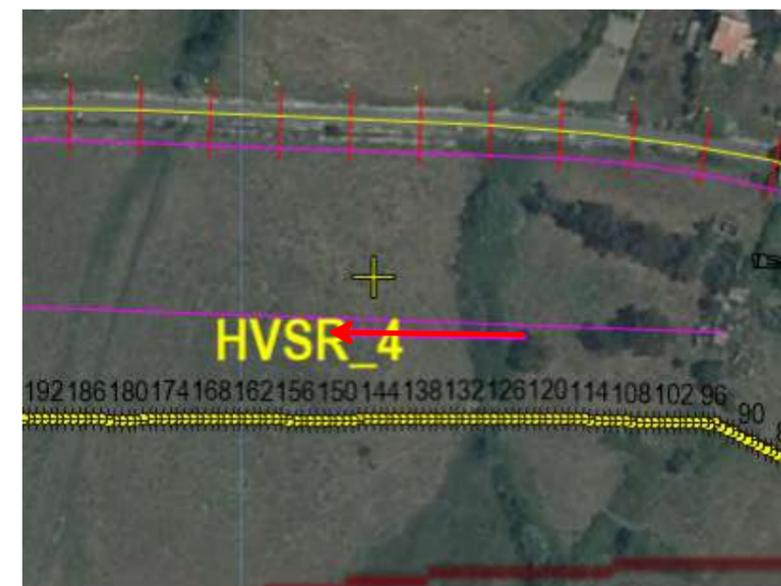


◆ Geofoni
 ▼ Altre linee sismiche
 ▲ Shots positions
 ▽ Indagini dirette
 — limiti sismo-stratigrafici
 - - - probabili andamenti di sistemi di fratturazione

GEOTEC SPA
 SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0874 461868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, IT info@geotecspa.com



Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW02



(up) Ubicazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (dw) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dell'allineamento geofonico indicativamente da g1

In alto: sismogramma **common shot gather** a 24 tracce (rappresentazione del dato acquisito nel dominio spazio-tempo): acquisizione finalizzata alla registrazione delle onde di Rayleigh (Componente verticale o ZVF), ottenuta per *stack* verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su piastra in acciaio. **In basso** ingrandimento sui primi arrivi rifratti con proiezione delle dromocrone sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modulo di Poisson viene assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno, mentre per gli strati più superficiali viene calibrato per riprodurre i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, il modulo Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500 \text{ m/s}$.

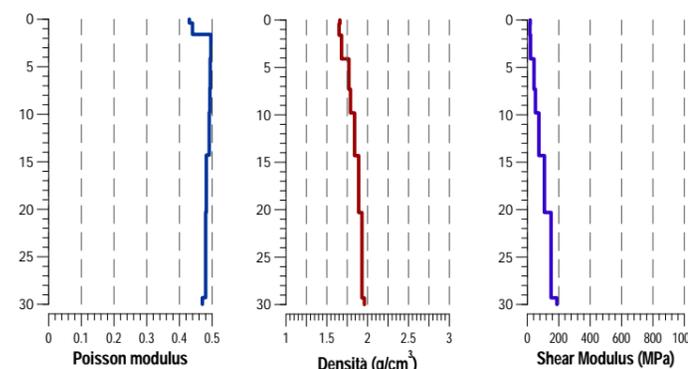
In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale). **In basso:** confronto per sovrapposizione tra lo spettro sintetico (*contouring* nero) delle velocità di fase ottenuto per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum), e lo spettro sperimentale (in scala colori).

Configurazione di acquisizione

strumento: **DAQLink III** intertraccia sensori: **x = 2.5m**
 canali: **24** posizioni di scoppio: **-7.5; -5.0; 62.5; 65.0m**
 sensori: **vertical, 4.5Hz** software di elaborazione: **WinMasw Acd 2019**

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.4	105	0.0	0.4	1.7	0.43
2	1.2	100	0.4	1.6	1.7	0.44
3	2.5	110	1.6	4.1	1.7	0.50
4	3.2	155	4.1	7.3	1.8	0.49
5	2.5	170	7.3	9.8	1.8	0.49
6	4.5	200	9.8	14.3	1.8	0.49
7	6.0	240	14.3	20.3	1.9	0.48
8	9.0	280	20.3	29.3	1.9	0.48
9		310	29.3		2.0	0.47

Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Gli strati profondi (prof. >30-35m) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolabili, tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geologicamente plausibili, escludendo quelle non compatibili con il contesto geologico. **Densità** secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basis for stratigraphic trap*. Geophysics 39, 770-780.



Log di velocità delle onde di taglio (profilo monodimensionale di velocità delle onde S); **Moduli di Poisson** assegnati al modello finale; **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³; **Modulo di taglio:** noti Vs e Densità è possibile calcolare il modulo di taglio (espresso in MPa). È implicito che il valore dei moduli dinamici così derivati è puramente indicativo.

V_{Seq} (m/s) -
 V_{S30} (m/s) **193**
 Profondità equivalente (m) **>30m**

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Categoria di sottosuolo: ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 (NTC2018 - DM del 17-01-18), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s)



commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Multichannel Analysis of Surface Waves

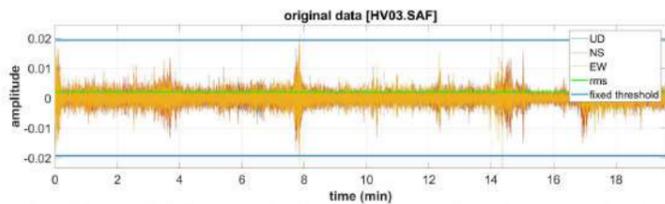
processing
Dott. L. Allacorta
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
masw2_rev0
emissione
14 ott 2022

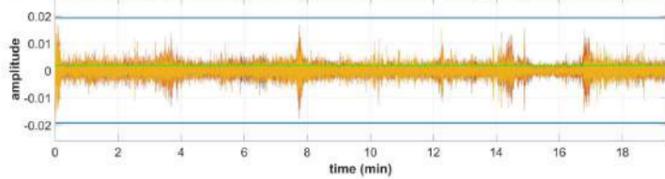
GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

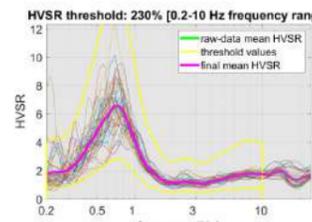
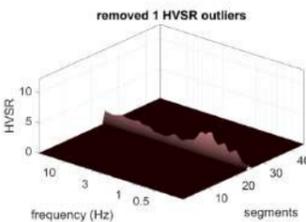
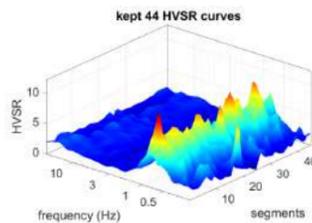
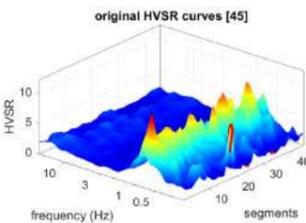
progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"



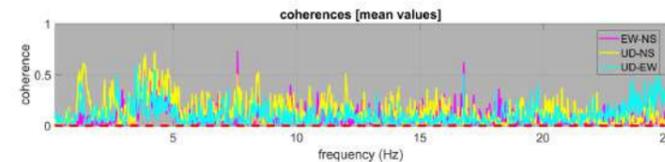
selected data: 19.3997 min (99% of the original data) [to modify the amount of kept data, change the "amplitude threshold"]



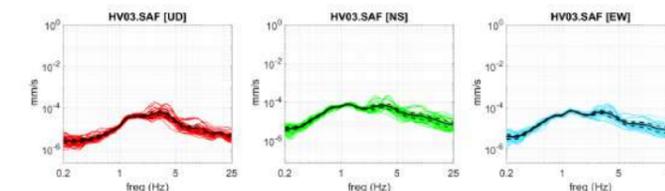
Data cleaning: rimozione di eventi caratterizzati da ampiezza anomala rispetto al segnale medio registrato, solitamente di origine antropica (traffico stradale; rumori industriali; passi in prossimità del sensore...). Nella figura superiore (dominio tempo-ampiezza), sono riportate le registrazioni per ciascuno dei tre canali attivi (UD; NS; EW), il valore medio ed i valori di soglia impostati; nella figura inferiore il segnale filtrato (in didascalia il totale del segnale residuo, in minuti e come % della durata iniziale).



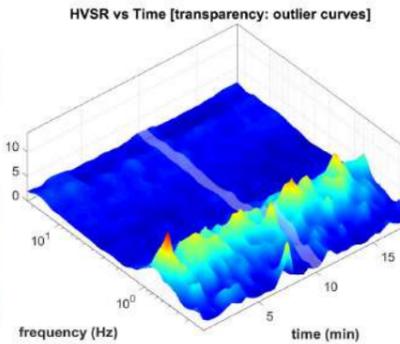
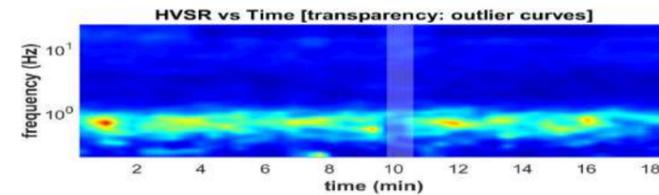
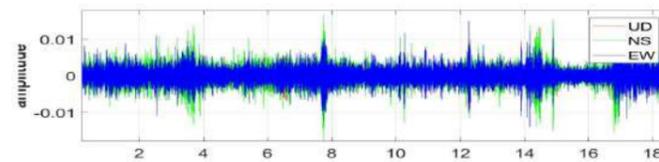
HVoutliers: il grafico stack di tutte le curve HV calcolate consente di individuare le curve anomale e di impostare una soglia di rigetto. L'intervallo di ascolto viene suddiviso in intervalli di ampiezza costante (segments), definita in funzione della frequenza del picco da analizzare (più bassa la frequenza, maggiore l'ampiezza della finestra, minore il numero di finestre a parità di tempo di registrazione).



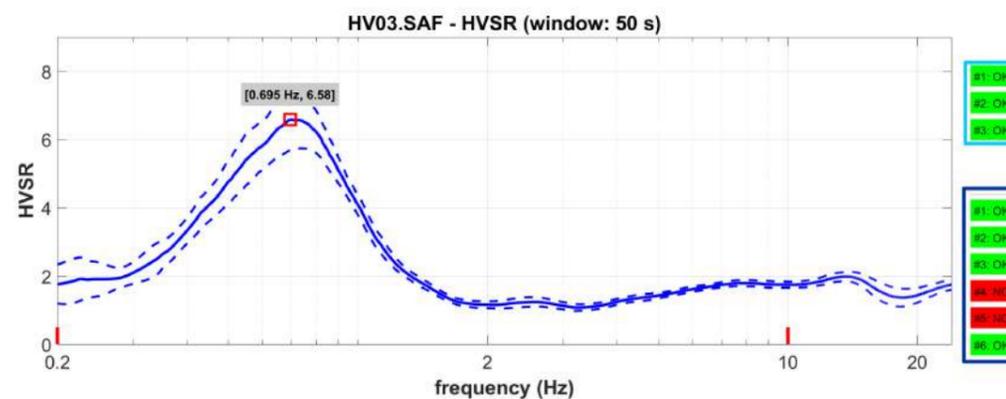
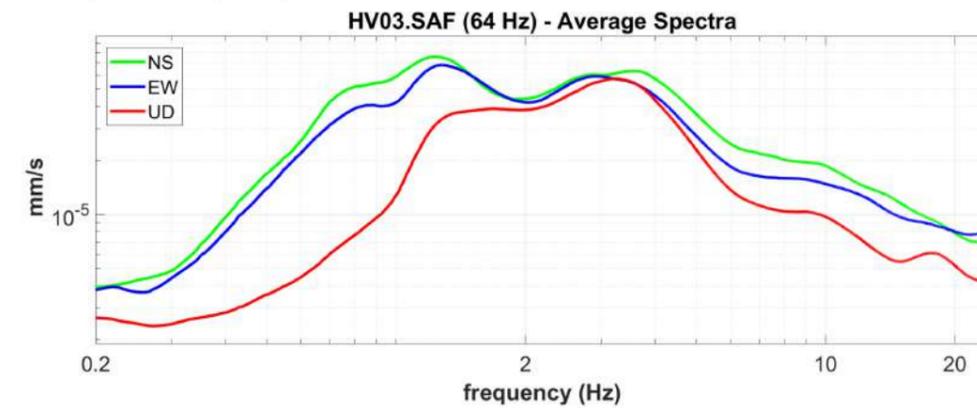
Coerenza: funzione di coerenza calcolata per tutti i segmenti dell'intervallo di ascolto delle tre coppie UD-NS, UD-EW, EW-NS. Operazione propedeutica al riconoscimento di segnali di origine antropica in quanto un aumento delle ampiezze (funzione di coerenza tendente ad 1), su una o più coppie di canali, può generare un picco nella curva HV senza alcuna attinenza con la realtà geologica. I box viola evidenziano le componenti antropiche presenti nello spettro.



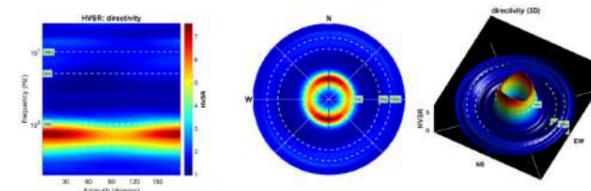
Singole componenti: spettro delle componenti UD, NS, EW, per ciascuna finestra considerata per il calcolo del rapporto HV



Persistenza: verifica della stazionarietà temporale del segnale, che per essere considerato di origine stratigrafica non può avere interruzioni temporali significative. In trasparenza gli intervalli le cui curve HV vengono considerate anomale in base ai parametri di filtraggio; dx) rappresentazione tridimensionale frequenza-finestra temporale-ampiezza.



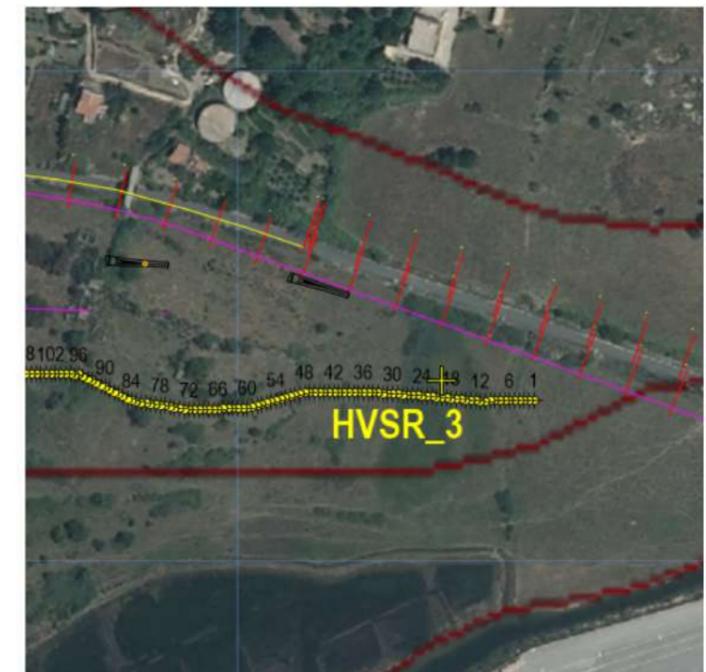
Segnale medio e curva HV: grafico superiore) grafico frequenza-ampiezza dei segnali medi per i tre canali attivi, calcolati secondo i parametri sotto indicati (HV computation); nel grafico inferiore curva HV (rapporto spettrale medio), le barre verticali rosse indicano l'intervallo di frequenze in cui sono calcolati i criteri "sesame" (box celeste: criteri di affidabilità della curva; box blu: criteri di affidabilità del picco; evidenziati in rosso quelli non soddisfatti). In mancanza di un picco significativo la valutazione dei criteri perde di significato.



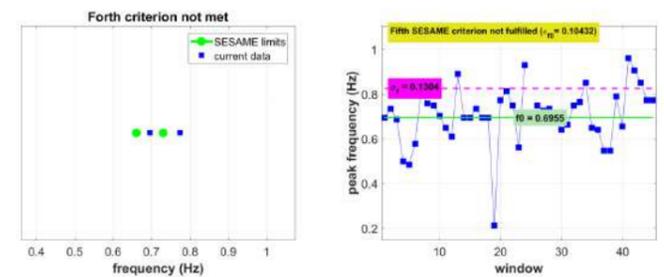
Direzionalità: verifica della direzionalità del segnale mediante rappresentazione grafica cartesiana e polare (2D e 3D). Nella rappresentazione polare gli assi NS ed EW coincidono con quelli strumentali (direzioni di oscillazione dei due sensori disposti nel piano orizzontale).

HV computation	
20	record length (min)
320	sampling (Hz)
84	downsampling (Hz)
50	window length (s)
5	tapering (%)
10	amplitude threshold
220	HVSR threshold
20%	spectral smoothing (triangular window)
6	detrending order

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio postazione_HV03



+ Sismica passiva (HVSR) MASW



Criteri: verifica dei criteri SESAME n° 4 (sx) e 5 (dx: frequenza di picco di tutte le finestre considerate per il calcolo dell'HVSR). In caso di assenza di picco HV la verifica perde di significato.

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

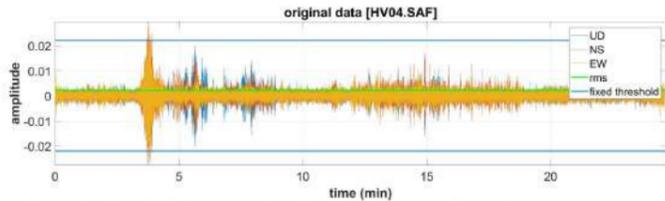
oggetto
INDAGINI SISMICHE
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

processing
L.A.
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

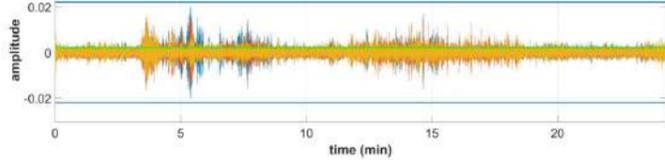
tavola
HVSR3_rev0
emissione
07 ott 2022

GEOTEC SPA

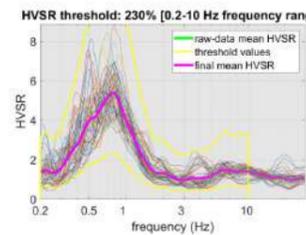
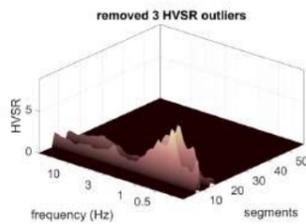
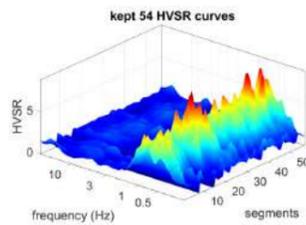
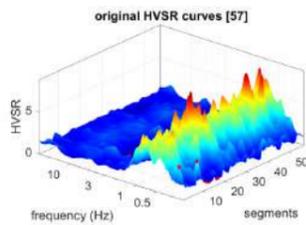
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com



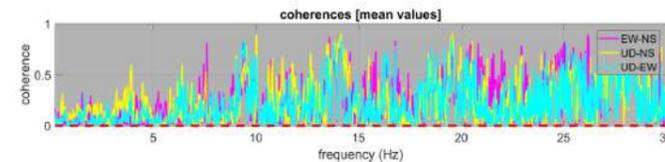
selected data: 24.3331 min (99% of the original data) [to modify the amount of kept data, change the "amplitude threshold"]



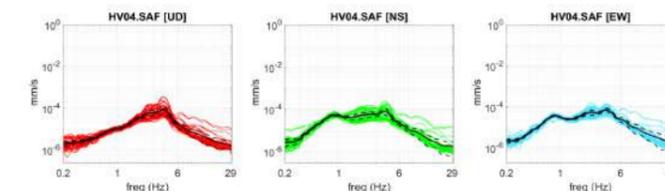
Data cleaning: rimozione di eventi caratterizzati da ampiezza anomala rispetto al segnale medio registrato, solitamente di origine antropica (traffico stradale; rumori industriali; passi in prossimità del sensore...). Nella figura superiore (dominio tempo-ampiezza), sono riportate le registrazioni per ciascuno dei tre canali attivi (UD; NS; EW), il valore medio ed i valori di soglia impostati; nella figura inferiore il segnale filtrato (in didascalia il totale del segnale residuo, in minuti e come % della durata iniziale).



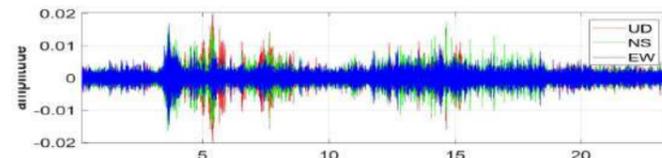
HVoutliers: il grafico *stack* di tutte le curve HV calcolate consente di individuare le curve anomale e di impostare una soglia di rigetto. L'intervallo di ascolto viene suddiviso in intervalli di ampiezza costante (*segments*), definita in funzione della frequenza del picco da analizzare (più bassa la frequenza, maggiore l'ampiezza della finestra, minore il numero di finestre a parità di tempo di registrazione).



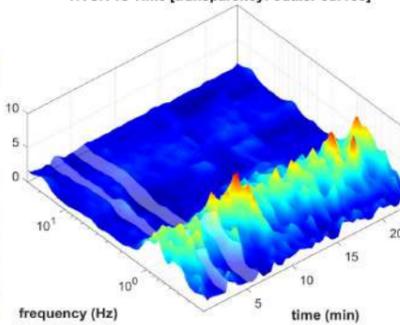
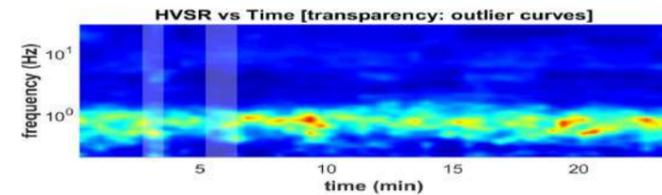
Coerenza: funzione di coerenza calcolata per tutti i segmenti dell'intervallo di ascolto delle tre coppie UD-NS, UD-EW, EW-NS. Operazione propedeutica al riconoscimento di segnali di origine antropica in quanto un aumento delle ampiezze (funzione di coerenza tendente ad 1), su una o più coppie di canali, può generare un picco nella curva HV senza alcuna attinenza con la realtà geologica. I box viola evidenziano le componenti antropiche presenti nello spettro.



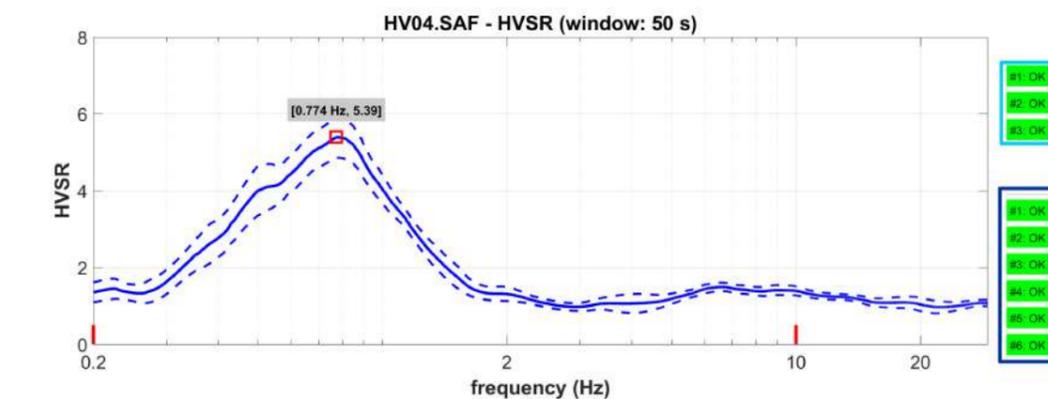
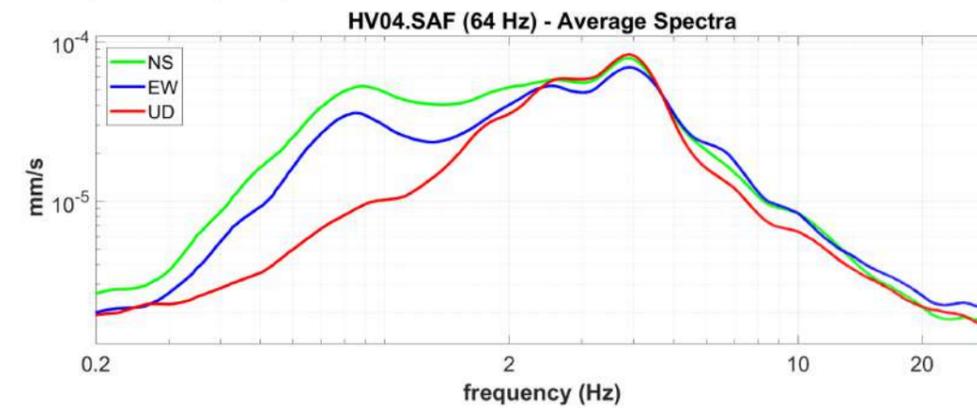
Singole componenti: spettro delle componenti UD, NS, EW, per ciascuna finestra considerata per il calcolo del rapporto HV



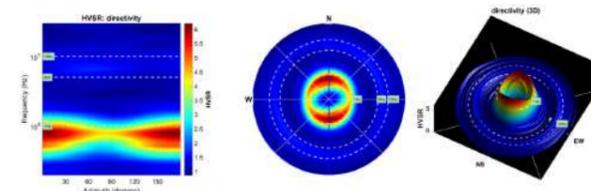
HVSR vs Time [transparency: outlier curves]



Persistenza: verifica della stazionarietà temporale del segnale, che per essere considerato di origine stratigrafica non può avere interruzioni temporali significative. In trasparenza gli intervalli le cui curve HV vengono considerate anomale in base ai parametri di filtraggio; dx) rappresentazione tridimensionale frequenza-finestra temporale-ampiezza.



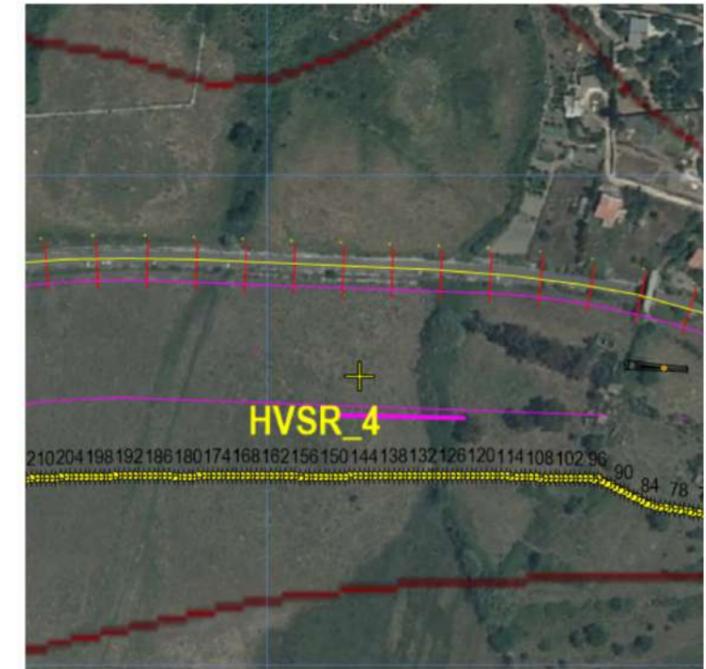
Segnale medio e curva HV: grafico superiore) grafico frequenza-ampiezza dei segnali medi per i tre canali attivi, calcolati secondo i parametri sotto indicati (*HV computation*); nel grafico inferiore curva HV (rapporto spettrale medio), le barre verticali rosse indicano l'intervallo di frequenze in cui sono calcolati i criteri "sesame" (box celeste: criteri di affidabilità della curva; box blu: criteri di affidabilità del picco; evidenziati in rosso quelli non soddisfatti). In mancanza di un picco significativo la valutazione dei criteri perde di significato.



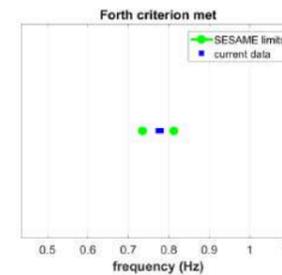
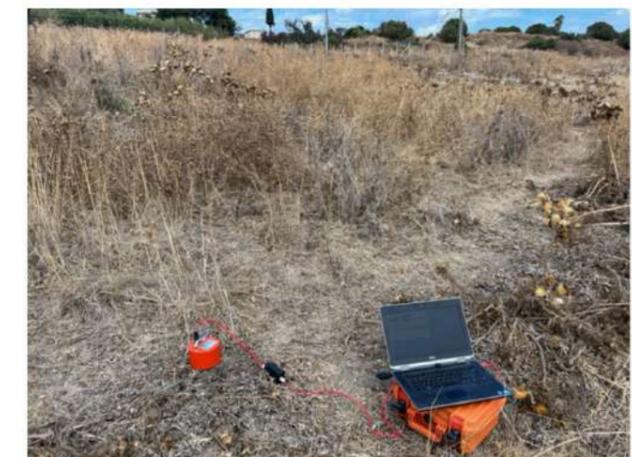
Direzionalità: verifica della direzionalità del segnale mediante rappresentazione grafica cartesiana e polare (2D e 3D). Nella rappresentazione polare gli assi NS ed EW coincidono con quelli strumentali (direzioni di oscillazione dei due sensori disposti nel piano orizzontale).

HV computation	
20	record length (min)
250	sampling (Hz)
84	downsampling (Hz)
50	window length (s)
5	tapering (%)
10	amplitude threshold
220	HVSR threshold
20%	spectral smoothing (triangular window)
6	detrending order

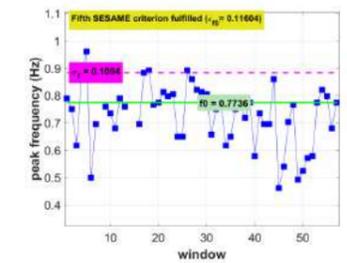
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio postazione_HV04



+ Sismica passiva (HVSR) / MASW



Criteri: verifica dei criteri SESAME n° 4 (sx) e 5 (dx: frequenza di picco di tutte le finestre considerate per il calcolo dell'HVSR). In caso di assenza di picco HV la verifica perde di significato.



commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

processing
L.A.
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
HVSR4_rev0
emissione
07 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

7.4 SITO 4 – SRT 04, MASW 03, HVSR 5, HVSR 6



Foto 1: Esecuzione Indagini, sopra SRT 4, sotto a sinistra HVSR 5 a destra HVSR 6,

Indagini geofisiche

COMMESSA
RS62

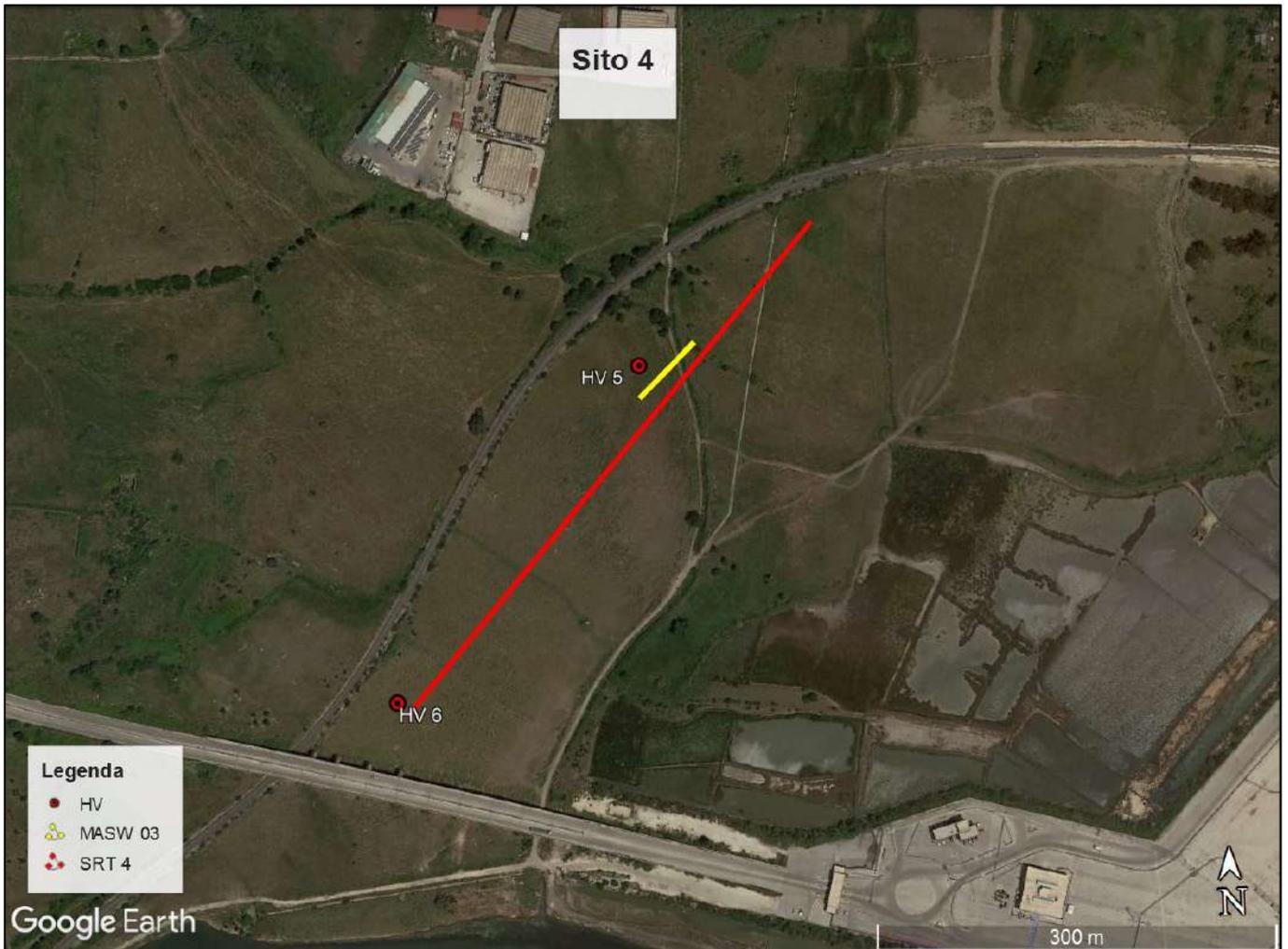
LOTTO
00

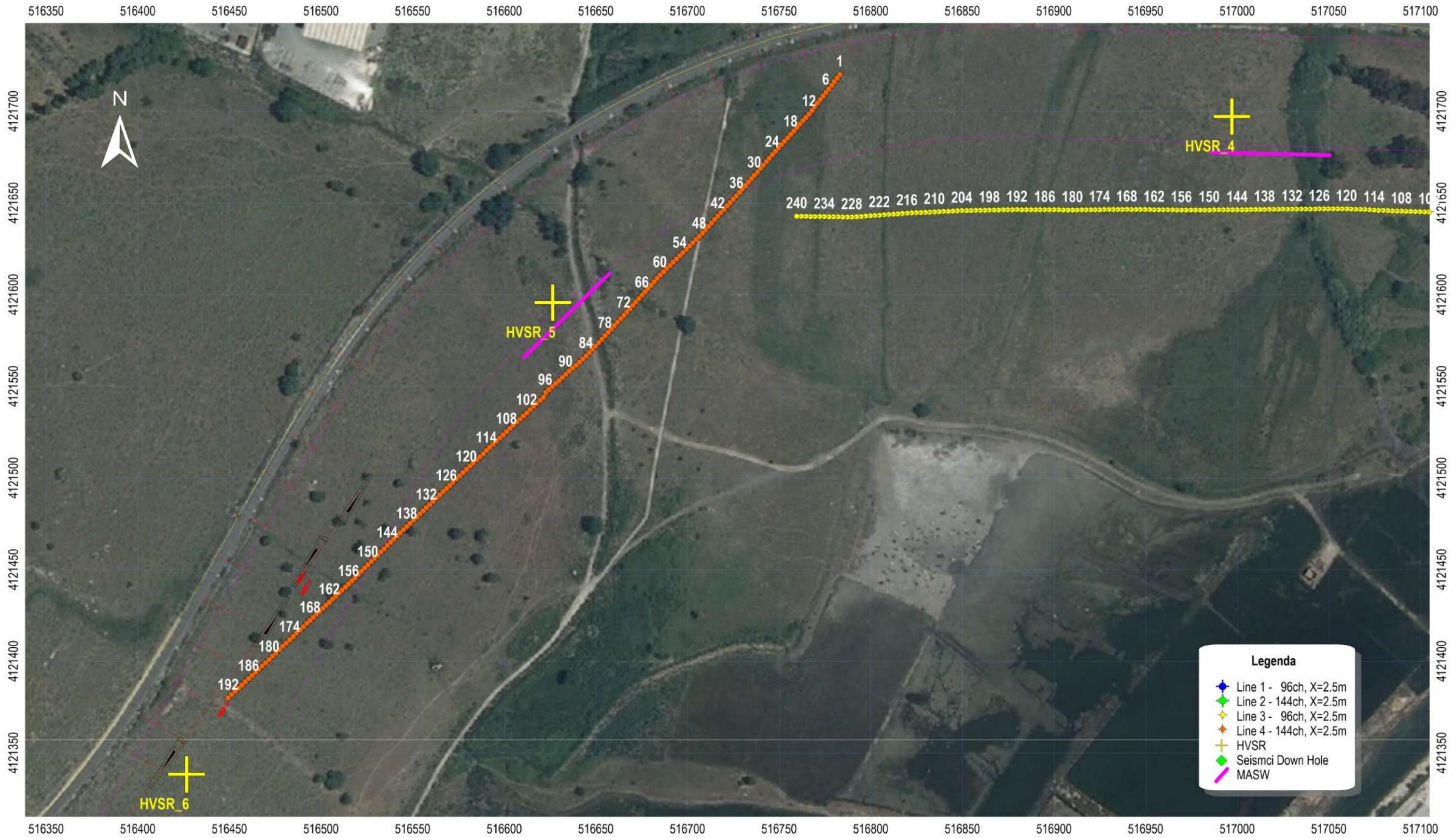
CODIFICA
IG

DOCUMENTO
GE0001

REV.
A

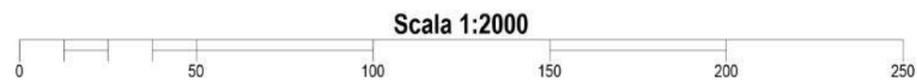
FOGLIO
2 di 2





Legenda

- ◆ Line 1 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 2 - 144ch, X=2.5m
- ◆ Line 3 - 96ch, X=2.5m
- ◆ Line 4 - 144ch, X=2.5m
- ⊕ HVSRS
- ◆ Seismic Down Hole
- MASW



Sistema di coordinate:
 projection: UTM;
 datum: WGS84_zone 33N
 coordinates: m

Quote altimetriche estratte da TINITALY DEM:
 Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

commessa
 CA100044687_Porto_Augusta

committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano

richiedente
 M. Scarpelli
 Dott. Geol.

progetto
 "ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Seismic Refraction Tomography (SRT)

processing
 Dott. L. Allacorta

approvazione
 Dott. Geol. A. Reale

tavola
 SRT4_Ubi_rev0

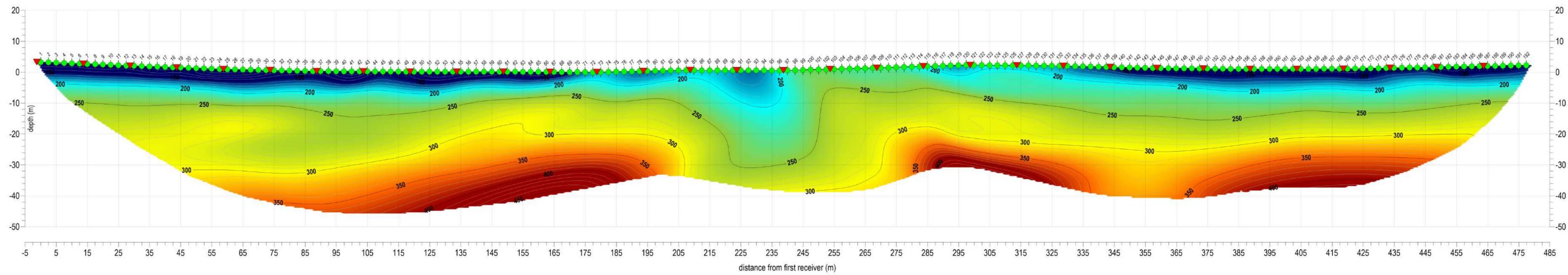
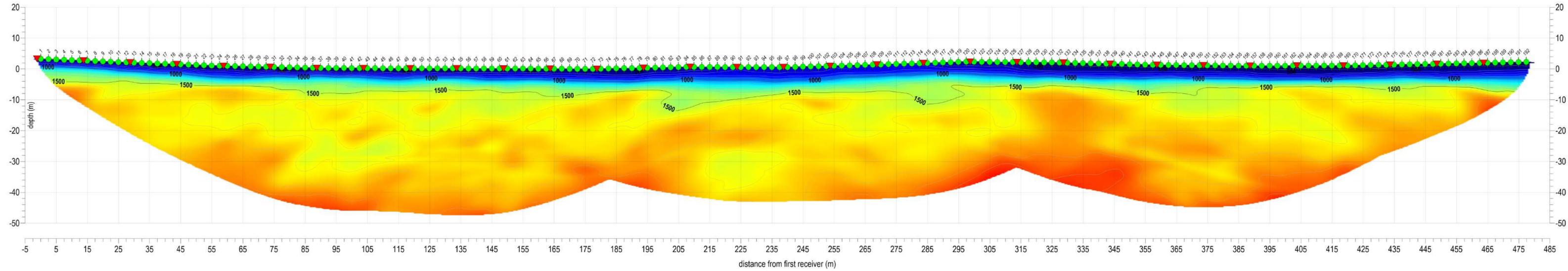
emissione
 11 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING

Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

PORTO AUGUSTA - LINE 4 - SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY (SRT) - P+S WAVES



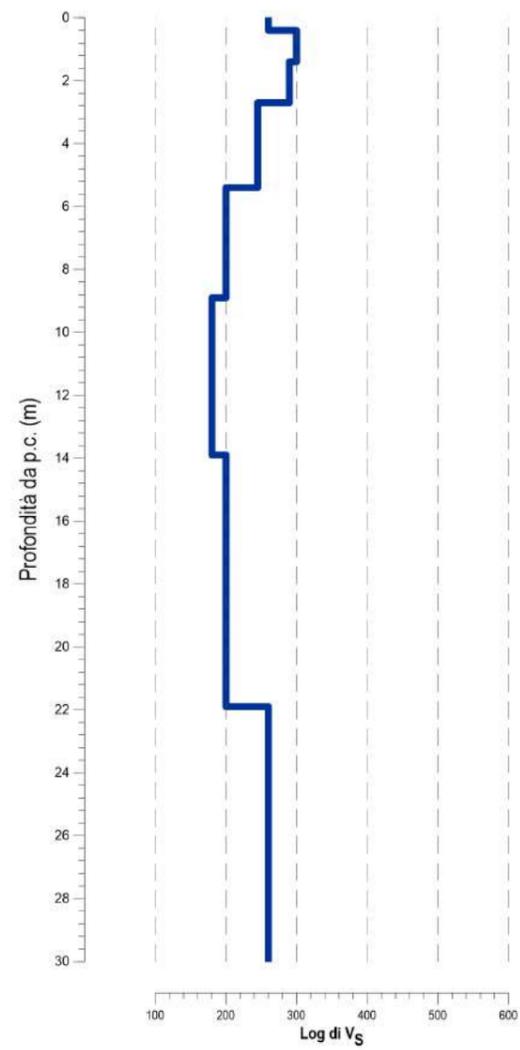
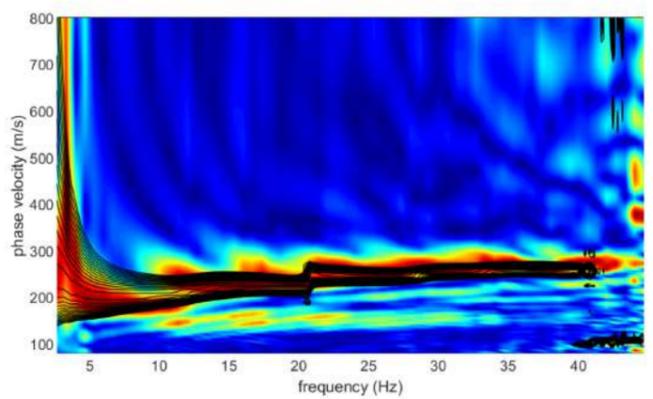
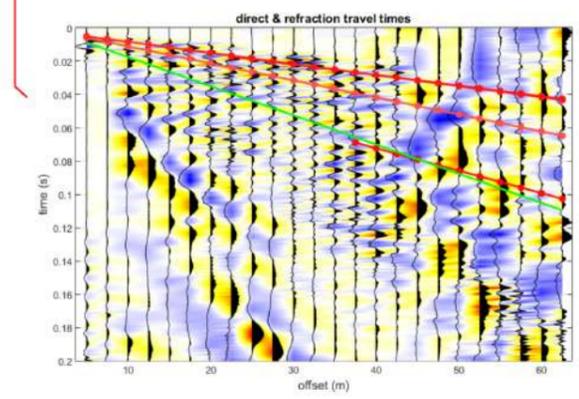
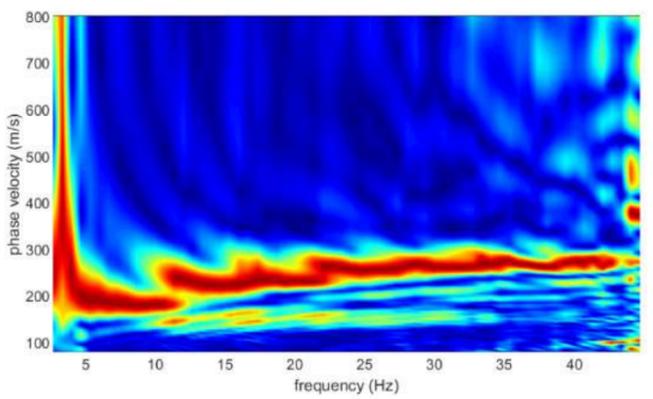
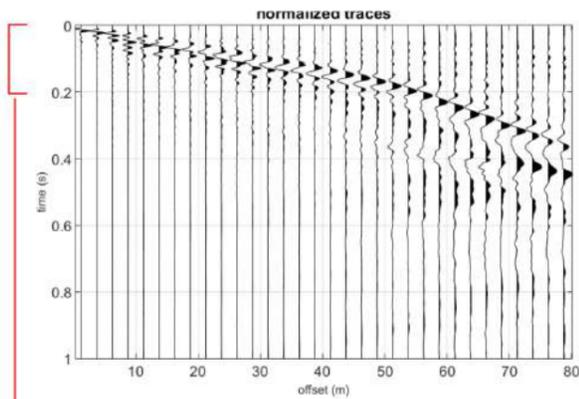
commessa
 CA10004687_Porto_Augusta
committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
richiedente
M. Scarpelli
 Dott. Geol.
oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Seismic Refraction Tomography (SRT)
 compression (P) and shear (S) waves
processing
 Dott. L. Allacorta
approvazione
 Dott. Geol. A. Reale
tavola
 Line4_SRT P+S_rev0
emissione
 14 ott 2022



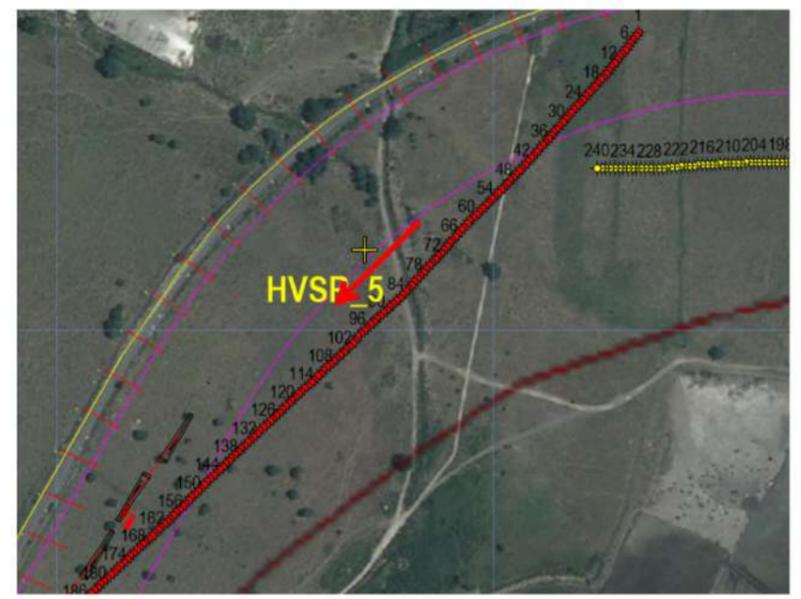
◆ Geofoni
 ▼ Altre linee sismiche
 ▼ Indagini dirette
 — limiti sismo-stratigrafici
 — probabili andamento di sistemi di fratturazione



SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0874 461868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, IT info@geotecspa.com



Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW03



(up) Ubicazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (dw) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dell'allineamento geofonico indicativamente da g1

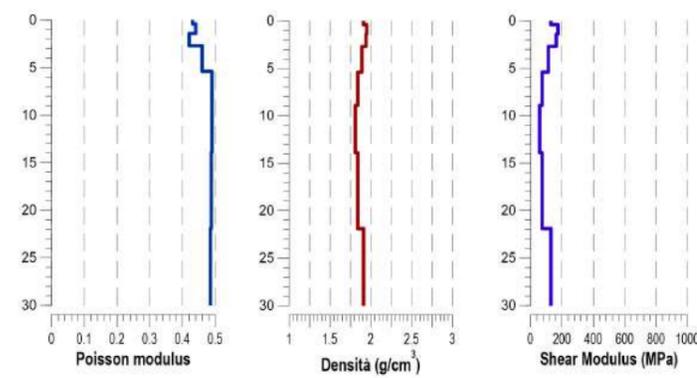
In alto: sismogramma **common shot gather** a 24 tracce (rappresentazione del dato acquisito nel dominio spazio-tempo): acquisizione finalizzata alla registrazione delle onde di Rayleigh (componente verticale o ZVF), ottenuta per *stack* verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su piastra in acciaio. In basso ingrandimento sui primi arrivi rifratti con proiezione delle dromocrona sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modulo di Poisson viene assegnato durante la modellazione in base alla tipologia di terreno, mentre per gli strati più superficiali viene calibrato per riprodurre i primi arrivi rifratti (quando visibili); in caso di terreni sciolti saturi, il modulo Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500 \text{ m/s}$.

In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale); In basso: confronto per sovrapposizione tra lo spettro sintetico (contouring nero) delle velocità di fase ottenuto per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum), e lo spettro sperimentale (in scala colori).

Configurazione di acquisizione
 strumento: DAQLink III intertraccia sensori: $x = 2.5\text{m}$
 canali: 24 posizioni di scoppio: -7.5; -5.0; 62.5; 65.0m
 sensori: vertical, 4.5Hz software di elaborazione: WinMasw Acd 2019

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.4	260	0.0	0.4	1.9	0.43
2	1.0	300	0.4	1.4	2.0	0.44
3	1.3	290	1.4	2.7	1.9	0.42
4	2.7	245	2.7	5.4	1.9	0.46
5	3.5	200	5.4	8.9	1.8	0.49
6	5.0	180	8.9	13.9	1.8	0.49
7	8.0	200	13.9	21.9	1.8	0.49
8		260	21.9		1.9	0.48

Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Gli strati profondi (prof. >30-35m) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolabili, tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geologicamente plausibili, escludendo quelle non compatibili con il contesto geologico. **Densità** secondo: Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap*. Geophysics 39, 770-780.



Log di velocità delle onde di taglio (profilo monodimensionale di velocità delle onde S), **Moduli di Poisson** assegnati al modello finale. **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³. **Modulo di taglio:** noti Vs e Densità è possibile calcolare il modulo di taglio (espresso in MPa). È implicito che il valore dei moduli dinamici così derivati è puramente indicativo.

V_{Seq} (m/s) -
 V_{S30} (m/s) 219
 Profondità equivalente (m) >30m

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Categoria di sottosuolo: ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.11 (NTC2018 - DM del 17-01-18), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s)



commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Multichannel Analysis of Surface Waves

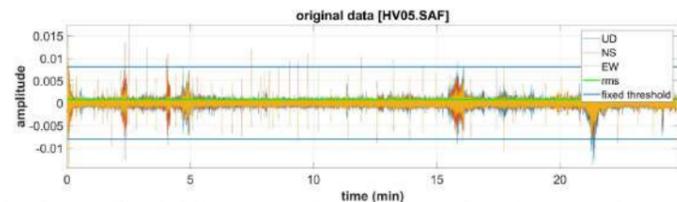
processing
Dott. L. Allacorta
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
masw3_rev0
emissione
14 ott 2022

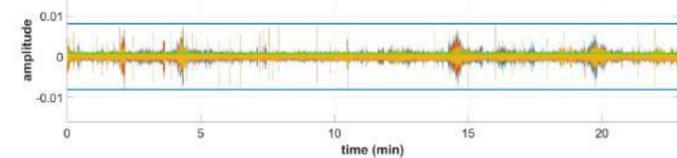
progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"



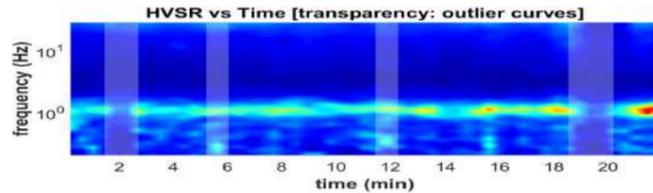
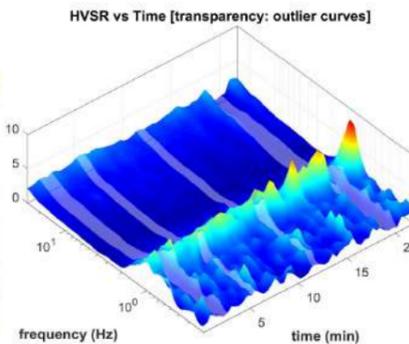
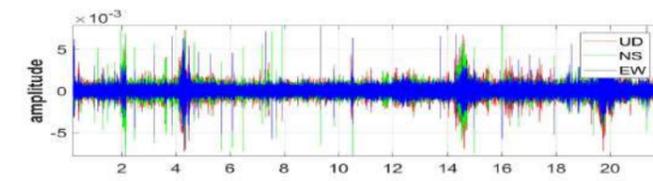
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com



selected data: 22.8664 min (92% of the original data) [to modify the amount of kept data, change the "amplitude threshold"]

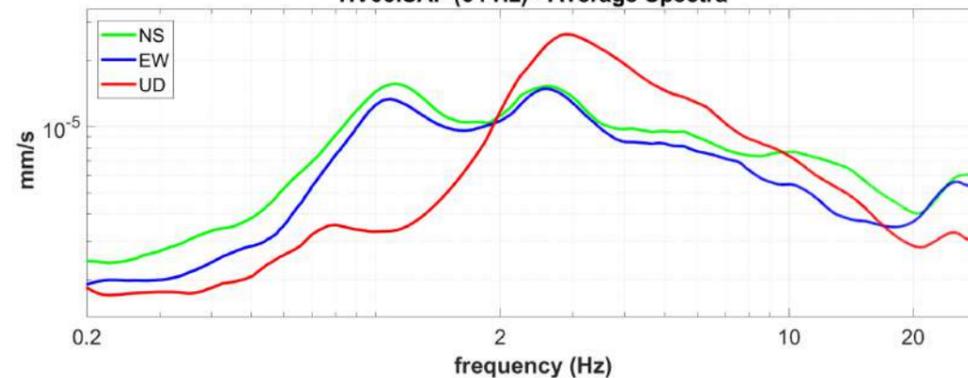


Data cleaning: rimozione di eventi caratterizzati da ampiezza anomala rispetto al segnale medio registrato, solitamente di origine antropica (traffico stradale; rumori industriale; passi in prossimità del sensore...). Nella figura superiore (dominio tempo-ampiezza), sono riportate le registrazioni per ciascuno dei tre canali attivi (UD; NS; EW), il valore medio ed i valori di soglia impostati; nella figura inferiore il segnale filtrato (in didascalia il totale del segnale residuo, in minuti e come % della durata iniziale).

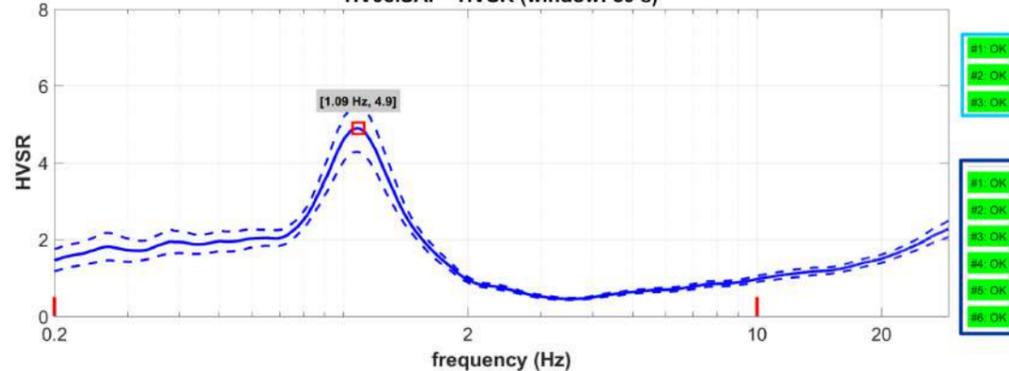


Persistenza: verifica della stazionarietà temporale del segnale, che per essere considerato di origine stratigrafica non può avere interruzioni temporali significative. In trasparenza gli intervalli le cui curve HV vengono considerate anomale in base ai parametri di filtraggio; dx) rappresentazione tridimensionale frequenza-finestra temporale-ampiezza.

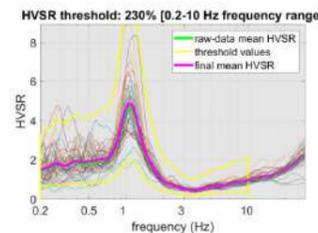
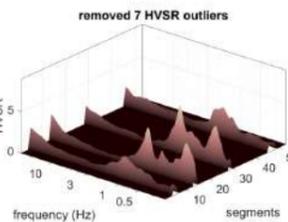
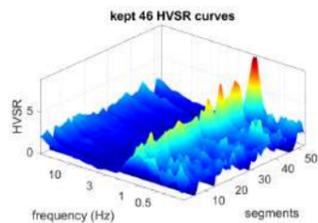
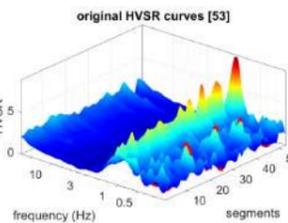
HV05.SAF (64 Hz) - Average Spectra



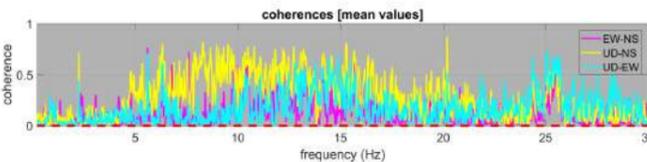
HV05.SAF - HVSR (window: 50 s)



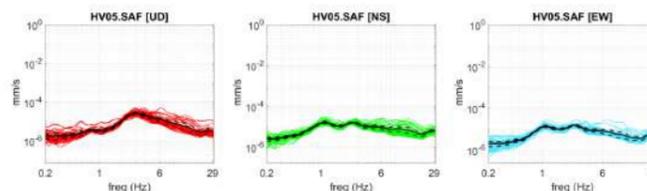
Segnale medio e curva HV: grafico superiore) grafico frequenza-ampiezza dei segnali medi per i tre canali attivi, calcolati secondo i parametri sotto indicati (HV computation); nel grafico inferiore curva HV (rapporto spettrale medio), le barre verticali rosse indicano l'intervallo di frequenze in cui sono calcolati i criteri "sesame" (box celeste: criteri di affidabilità della curva; box blu: criteri di affidabilità del picco; evidenziati in rosso quelli non soddisfatti). In mancanza di un picco significativo la valutazione dei criteri perde di significato.



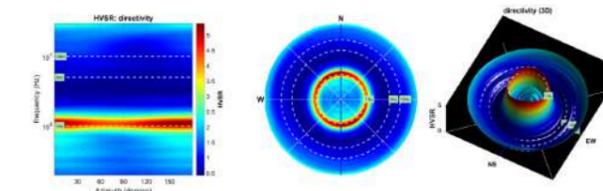
HVoutliers: il grafico stack di tutte le curve HV calcolate consente di individuare le curve anomale e di impostare una soglia di rigetto. L'intervallo di ascolto viene suddiviso in intervalli di ampiezza costante (segments), definita in funzione della frequenza del picco da analizzare (più bassa la frequenza, maggiore l'ampiezza della finestra, minore il numero di finestre a parità di tempo di registrazione).



Coerenza: funzione di coerenza calcolata per tutti i segmenti dell'intervallo di ascolto delle tre coppie UD-NS, UD-EW, EW-NS. Operazione propedeutica al riconoscimento di segnali di origine antropica in quanto un aumento delle ampiezze (funzione di coerenza tendente ad 1), su una o più coppie di canali, può generare un picco nella curva HV senza alcuna attinenza con la realtà geologica. I box viola evidenziano le componenti antropiche presenti nello spettro.



Singole componenti: spettro delle componenti UD, NS, EW, per ciascuna finestra considerata per il calcolo del rapporto HV

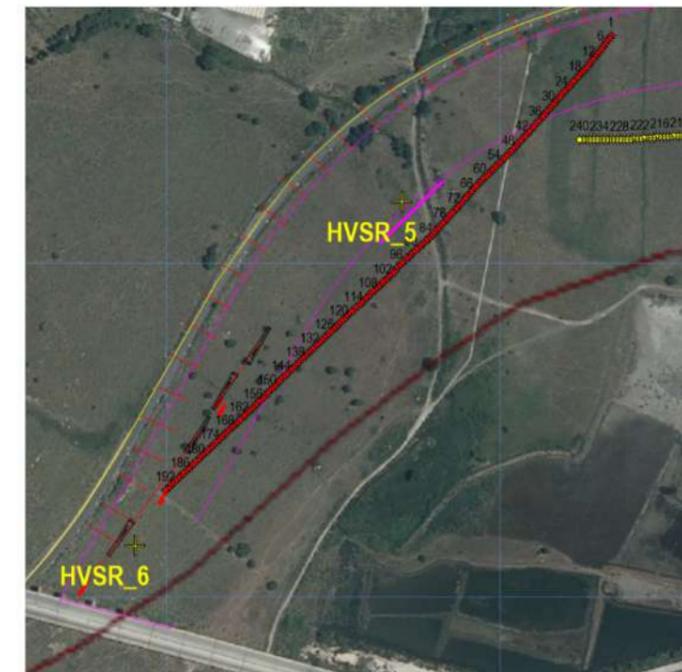


Direzionalità: verifica della direzionalità del segnale mediante rappresentazione grafica cartesiana e polare (2D e 3D). Nella rappresentazione polare gli assi NS ed EW coincidono con quelli strumentali (direzioni di oscillazione dei due sensori disposti nel piano orizzontale).

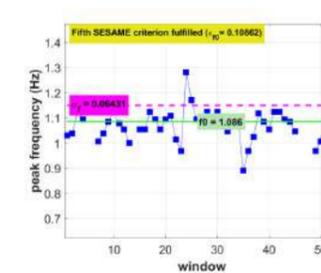
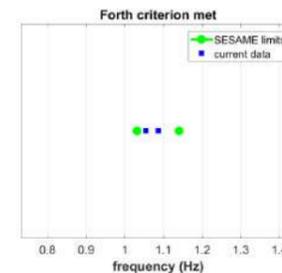
HV computation	
20	record length (min)
250	sampling (Hz)
84	downsampling (Hz)
50	window length (s)
5	tapering (%)
10	amplitude threshold
220	HVSR threshold
20%	spectral smoothing (triangular window)
6	detrending order

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

postazione_HV05



+ Sismica passiva (HVSR) / MASW



Criteri: verifica dei criteri SESAME n° 4 (sx) e 5 (dx): frequenza di picco di tutte le finestre considerate per il calcolo dell'HVSR). In caso di assenza di picco HV la verifica perde di significato.

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

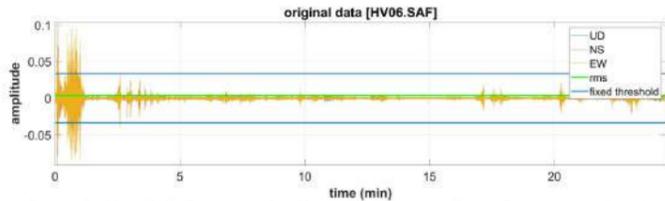
oggetto
INDAGINI SISMICHE
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

processing
L.A.
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

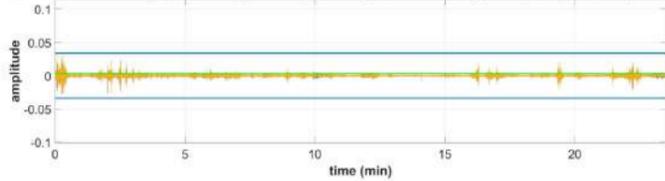
tavola
HVSR5_rev0
emissione
07 ott 2022

GEOTEC SPA

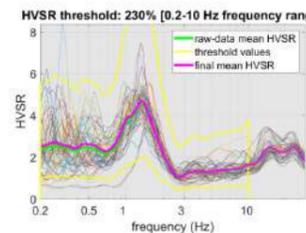
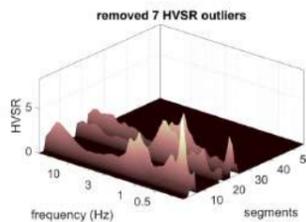
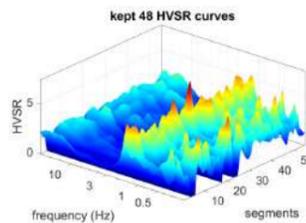
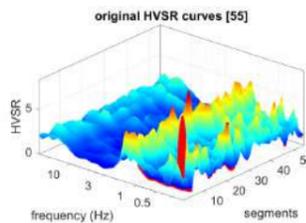
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com



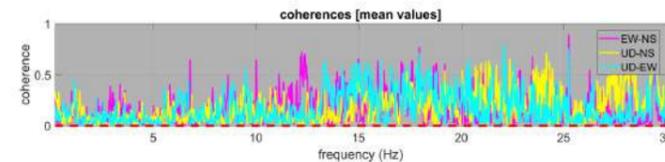
selected data: 23.5331 min (96% of the original data) [to modify the amount of kept data, change the "amplitude threshold"]



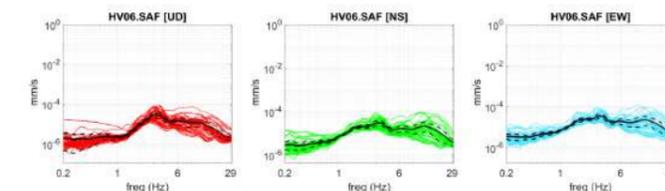
Data cleaning: rimozione di eventi caratterizzati da ampiezza anomala rispetto al segnale medio registrato, solitamente di origine antropica (traffico stradale; rumori industriale; passi in prossimità del sensore...). Nella figura superiore (dominio tempo-ampiezza), sono riportate le registrazioni per ciascuno dei tre canali attivi (UD; NS; EW), il valore medio ed i valori di soglia impostati; nella figura inferiore il segnale filtrato (in didascalia il totale del segnale residuo, in minuti e come % della durata iniziale).



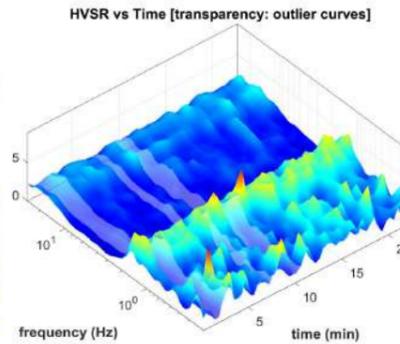
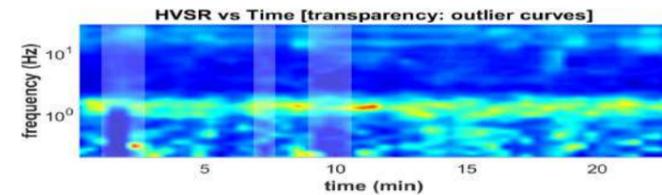
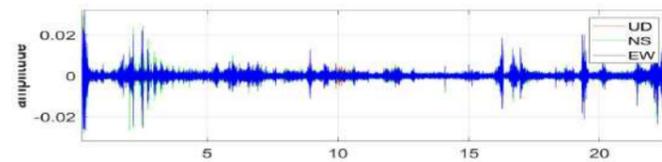
HVoutliers: il grafico *stack* di tutte le curve HV calcolate consente di individuare le curve anomale e di impostare una soglia di rigetto. L'intervallo di ascolto viene suddiviso in intervalli di ampiezza costante (*segments*), definita in funzione della frequenza del picco da analizzare (più bassa la frequenza, maggiore l'ampiezza della finestra, minore il numero di finestre a parità di tempo di registrazione).



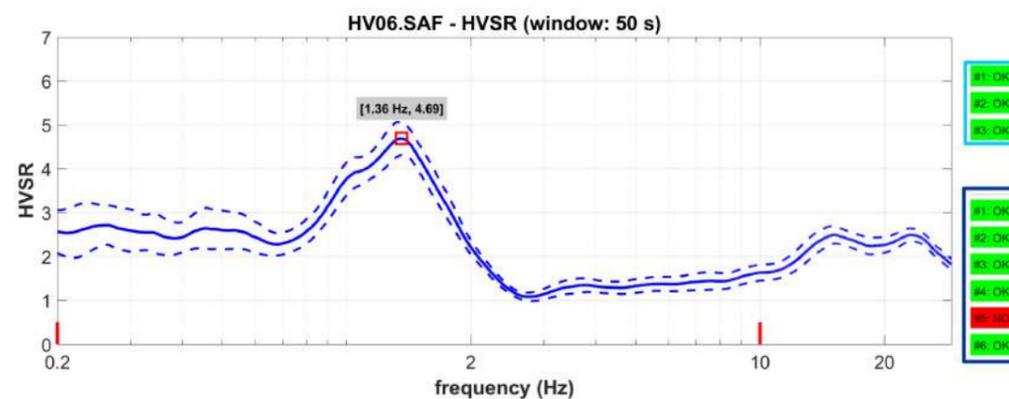
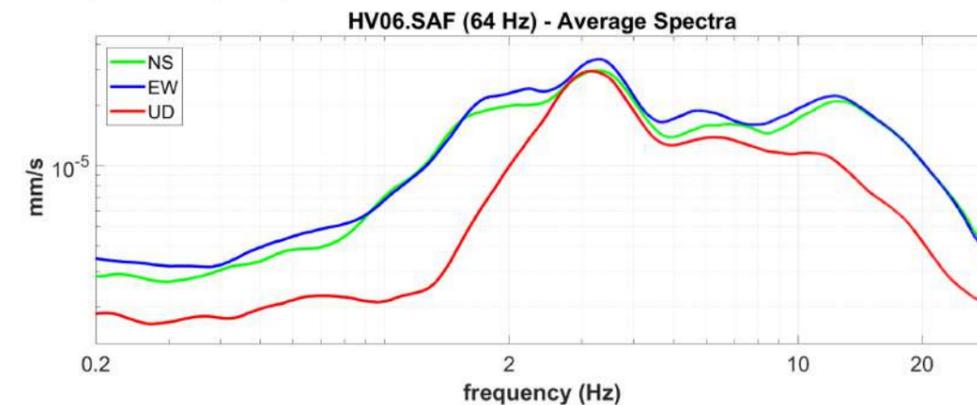
Coerenza: funzione di coerenza calcolata per tutti i segmenti dell'intervallo di ascolto delle tre coppie UD-NS, UD-EW, EW-NS. Operazione propedeutica al riconoscimento di segnali di origine antropica in quanto un aumento delle ampiezze (funzione di coerenza tendente ad 1), su una o più coppie di canali, può generare un picco nella curva HV senza alcuna attinenza con la realtà geologica. I box viola evidenziano le componenti antropiche presenti nello spettro.



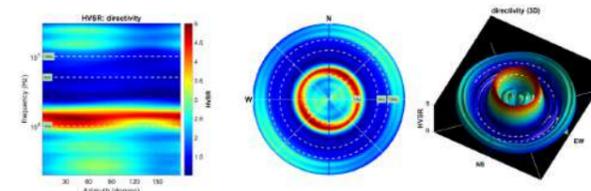
Singole componenti: spettro delle componenti UD, NS, EW, per ciascuna finestra considerata per il calcolo del rapporto HV



Persistenza: verifica della stazionarietà temporale del segnale, che per essere considerato di origine stratigrafica non può avere interruzioni temporali significative. In trasparenza gli intervalli le cui curve HV vengono considerate anomale in base ai parametri di filtraggio; dx) rappresentazione tridimensionale frequenza-finestra temporale-ampiezza.



Segnale medio e curva HV: grafico superiore) grafico frequenza-ampiezza dei segnali medi per i tre canali attivi, calcolati secondo i parametri sotto indicati (*HV computation*); nel grafico inferiore curva HV (rapporto spettrale medio), le barre verticali rosse indicano l'intervallo di frequenze in cui sono calcolati i criteri "sesame" (box celeste: criteri di affidabilità della curva; box blu: criteri di affidabilità del picco; evidenziati in rosso quelli non soddisfatti). In mancanza di un picco significativo la valutazione dei criteri perde di significato.

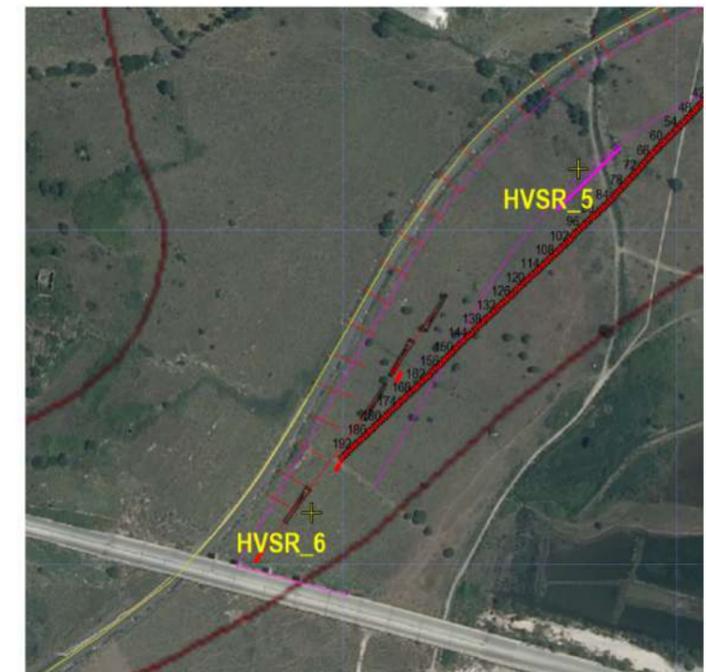


Direzionalità: verifica della direzionalità del segnale mediante rappresentazione grafica cartesiana e polare (2D e 3D). Nella rappresentazione polare gli assi NS ed EW coincidono con quelli strumentali (direzioni di oscillazione dei due sensori disposti nel piano orizzontale).

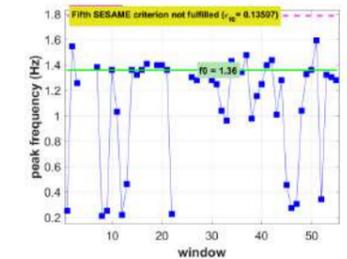
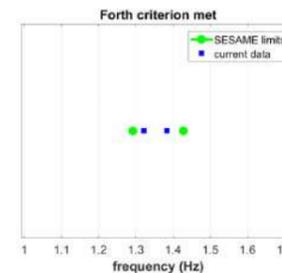
HV computation	
20	record length (min)
250	sampling (Hz)
84	downsampling (Hz)
50	window length (s)
5	tapering (%)
10	amplitude threshold
220	HVSR threshold
20%	spectral smoothing (triangular window)
6	detrending order

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

postazione_HV06



+ Sismica passiva (HVSR) / MASW



Criteri: verifica dei criteri SESAME n° 4 (sx) e 5 (dx): frequenza di picco di tutte le finestre considerate per il calcolo dell'HVSR). In caso di assenza di picco HV la verifica perde di significato.

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

processing
L.A.
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

tavola
HVSR6_rev0
emissione
07 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

7.5 SITO 5 - Down-Hole BH13, Down-Hole BH14

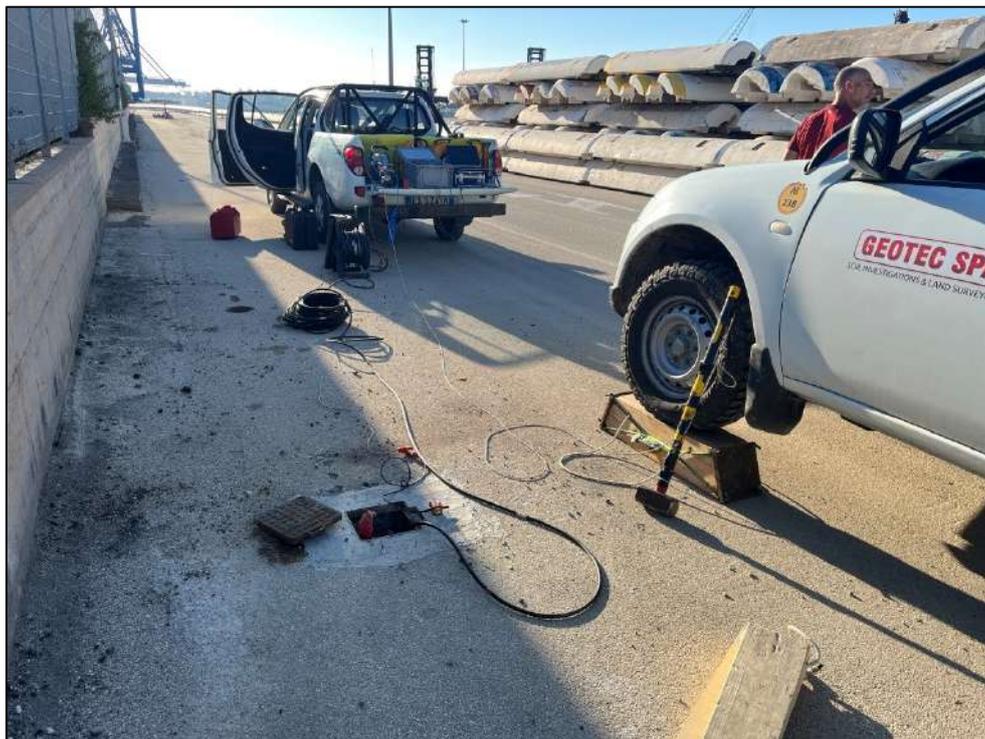


Foto 1: Esecuzione Indagini, Sopra DH-BH13 sotto DH-BH14

Indagini geofisiche

COMMESSA
RS62

LOTTO
00

CODIFICA
IG

DOCUMENTO
GE0001

REV.
A

FOGLIO
2 di 2



$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

V_{Seq} (m/s) -
V_{S30} (m/s) **178**
Profondità equivalente (m) **>30**

V_{S30} calcolato nell'intervallo di profondità 0-30m

(up) **Categoria di sottosuolo**, come definito nelle NTC2018 (DM del 17-01-18), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2 II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S.
La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s).

(dw) **Modello sismostratigrafico**: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Tabella delle velocità (onde P e onde S) e parametri elastici dei terreni. **Tp-Ts**: tempi di primo arrivo (picking). **Tp_corr-Ts_corr**: tempi corretti. **Vp.p.int-Vs.p.int**: velocità di pseudo-intervallo; **Vp.layer-Vs.layer**: velocità di strato; **Vp/Vs**: rapporto velocità onde P onde S. **Poisson**: rapporto di Poisson; **Density**: densità dei materiali; **Shear Young Bulk**: moduli dinamici. Densità secondo (*): Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap*. *Geophysics* 39, 770-780.
(dx) **Log** relazioni tra velocità sismiche e moduli elasto-dinamici.

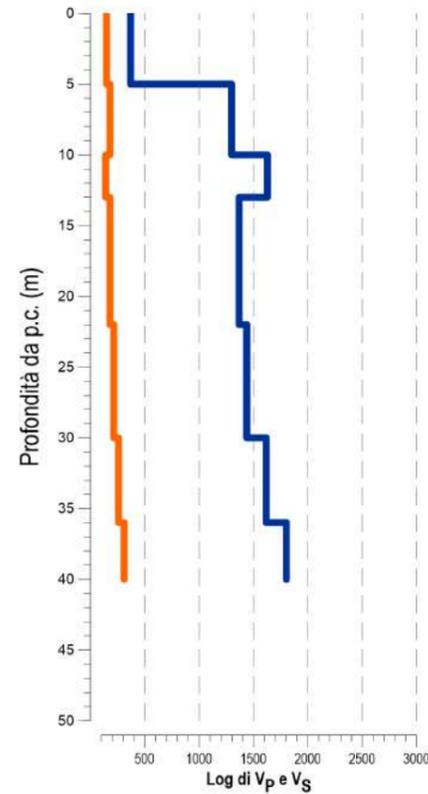
$$\text{Poisson Modulus } \nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$\text{Shear modulus } G = \rho V_s^2$$

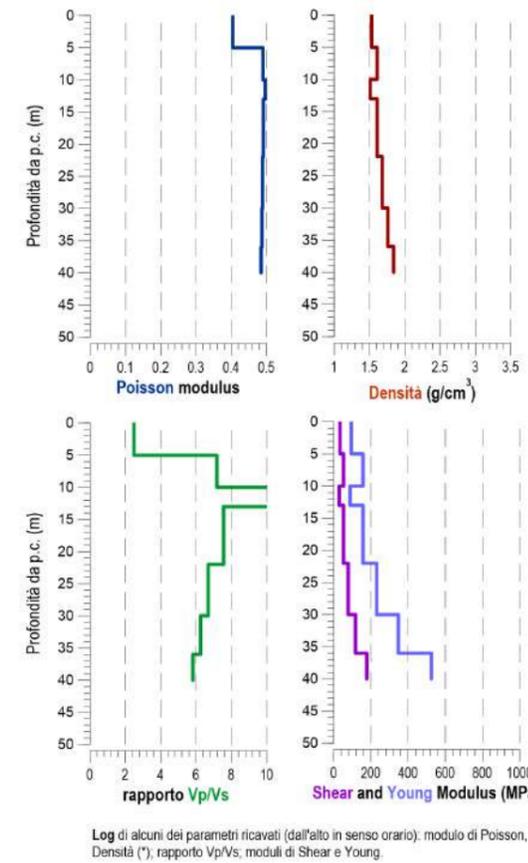
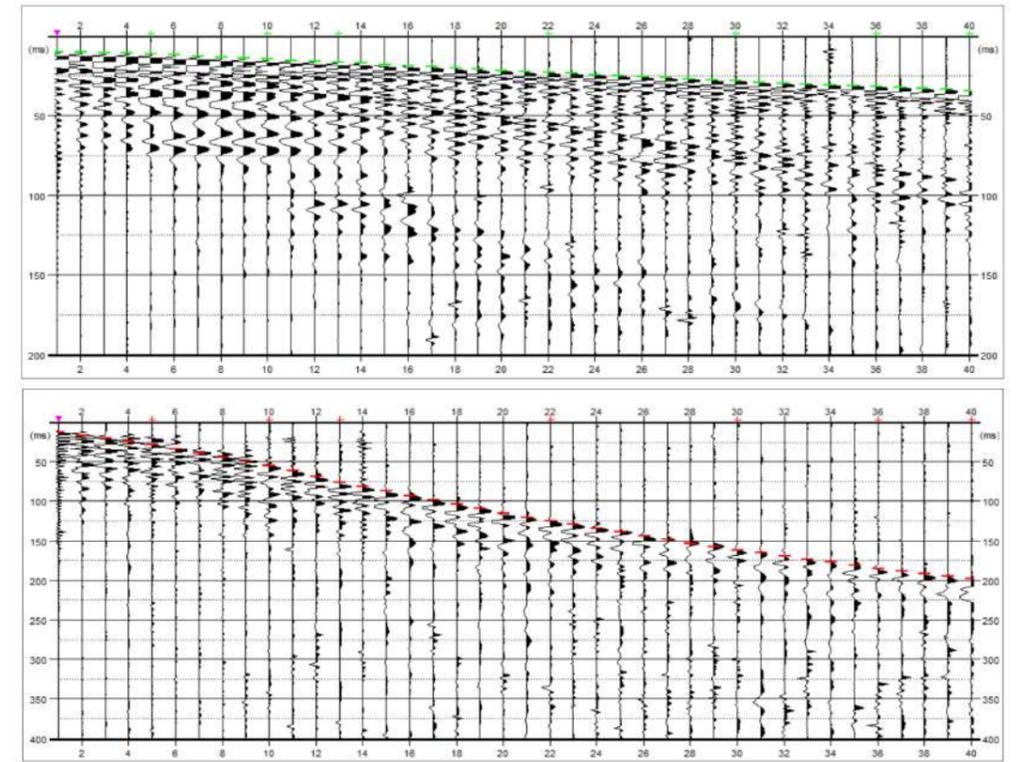
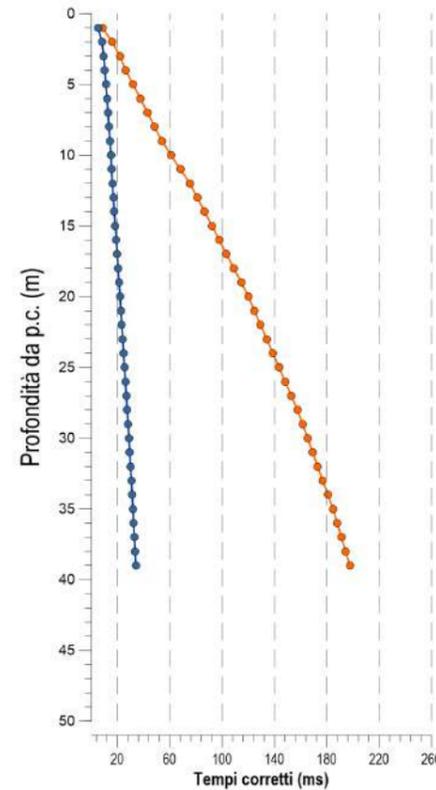
$$\text{Young Modulus } E = 2G(1 + \nu)$$

$$\text{Bulk Modulus } \kappa = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

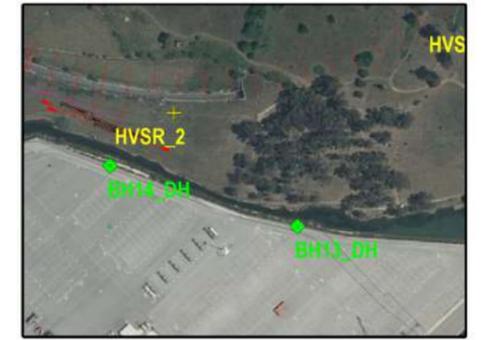
Depth (m)	Layer	Tempi (ms)				Vel (m/s)						Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm ³)	Shear M. G (Mpa)	Young M. E (Mpa)	Bulk M. k (Mpa)
		Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp.p.int	Vs.p.int	Vp.layer	Vs.layer	Vp	Vs						
0	1	9.82	12.24	0.0	0.0	288	103	369	148	369	148	2.5	0.404	1.53	34	94	164
1	1	10.16	16.43	5.4	8.7	288	103	369	148	369	148	2.5	0.404	1.53	34	94	164
2	1	10.49	20.61	8.2	16.1	356	135	369	148	369	148	2.5	0.404	1.53	34	94	164
3	1	10.83	24.80	9.6	21.9	735	173	369	148	369	148	2.5	0.404	1.53	34	94	164
4	1	11.19	28.34	10.4	26.3	1193	226	369	148	369	148	2.5	0.404	1.53	34	94	164
5	2	11.85	33.62	11.3	32.0	1115	175	1298	181	1298	181	7.2	0.490	1.61	53	157	2641
6	2	12.51	38.91	12.1	37.6	1247	180	1298	181	1298	181	7.2	0.490	1.61	53	157	2641
7	2	13.17	44.19	12.8	43.1	1332	182	1298	181	1298	181	7.2	0.490	1.61	53	157	2641
8	2	13.83	49.47	13.6	48.5	1383	184	1298	181	1298	181	7.2	0.490	1.61	53	157	2641
9	2	14.49	54.75	14.3	53.9	1418	185	1298	181	1298	181	7.2	0.490	1.61	53	157	2641
10	3	15.26	61.73	15.1	61.0	1255	142	1627	140	1627	140	11.6	0.496	1.51	30	89	3956
11	3	15.70	68.71	15.5	68.0	2123	142	1627	140	1627	140	11.6	0.496	1.51	30	89	3956
12	3	16.30	76.01	16.2	75.3	1603	136	1627	140	1627	140	11.6	0.496	1.51	30	89	3956
13	4	17.04	81.57	16.9	81.0	1335	178	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
14	4	17.77	87.13	17.7	86.6	1339	178	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
15	4	18.51	92.70	18.4	92.2	1344	178	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
16	4	19.24	98.26	19.1	97.8	1348	179	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
17	4	19.97	103.82	19.9	103.4	1350	179	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
18	4	20.71	109.38	20.6	109.0	1351	179	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
19	4	21.44	114.95	21.4	114.5	1351	179	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
20	4	22.17	120.51	22.1	120.1	1355	179	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
21	4	22.71	124.96	22.6	124.6	1859	224	1368	181	1368	181	7.6	0.491	1.61	53	157	2942
22	5	23.40	129.65	23.3	129.3	1439	212	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
23	5	24.09	134.34	24.0	134.0	1441	213	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
24	5	24.78	139.02	24.7	138.7	1439	213	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
25	5	25.47	143.71	25.4	143.4	1441	213	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
26	5	26.16	148.40	26.1	148.1	1443	213	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
27	5	26.85	153.09	26.8	152.8	1441	213	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
28	5	27.54	157.77	27.5	157.5	1443	213	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
29	5	28.26	161.67	28.2	161.4	1389	256	1437	215	1437	215	6.7	0.489	1.68	78	231	3366
30	6	28.88	165.54	28.8	165.3	1616	258	1616	258	1616	258	6.3	0.487	1.76	117	348	4436
31	6	29.50	169.40	29.5	169.2	1616	258	1616	258	1616	258	6.3	0.487	1.76	117	348	4436
32	6	30.11	173.27	30.1	173.1	1616	258	1616	258	1616	258	6.3	0.487	1.76	117	348	4436
33	6	30.73	177.13	30.7	176.9	1616	258	1616	258	1616	258	6.3	0.487	1.76	117	348	4436
34	6	31.35	181.00	31.3	180.8	1616	258	1616	258	1616	258	6.3	0.487	1.76	117	348	4436
35	6	31.96	184.86	31.9	184.7	1618	258	1616	258	1616	258	6.3	0.487	1.76	117	348	4436
36	7	32.35	188.08	32.3	187.9	2577	310	1802	310	1802	310	5.8	0.485	1.84	177	525	5743
37	7	32.95	191.30	32.9	191.1	1675	310	1802	310	1802	310	5.8	0.485	1.84	177	525	5743
38	7	33.54	194.52	33.5	194.4	1675	310	1802	310	1802	310	5.8	0.485	1.84	177	525	5743
39	7	34.14	197.75	34.1	197.6	1675	310	1802	310	1802	310	5.8	0.485	1.84	177	525	5743
40	7	34.73	200.97	34.7	200.8	1675	310	1802	310	1802	310	5.8	0.485	1.84	177	525	5743



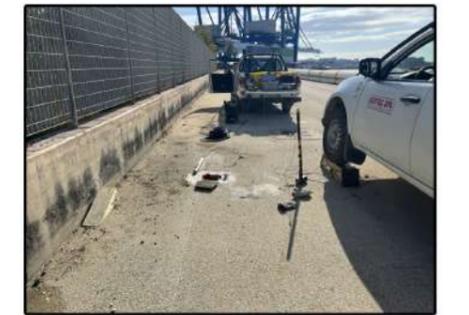
(up) **Log di velocità** delle onde di compressione e taglio (profili di velocità monodimensionali); (dw) **Traveltimes** dei tempi corretti (ms).



Log di alcuni dei parametri ricavati (dall'alto in senso orario): modulo di Poisson, Densità (*), rapporto Vp/Vs, moduli di Shear e Young.



Ubicazione: ubicazione del punto di indagine su ripresa aerea ortorettificata.



Postazione: ripresa fotografica della postazione allestita per l'acquisizione dati.

commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Seismic Down Hole (DH)

processing
Dott. L. Allacorta

tavola
BH13_rev0

approvazione
Dott. Geol. A. Reale

emissione
11 ott 2022

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING

Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

V_{Seq} (m/s) -
 V_{S30} (m/s) **229**
 Profondità equivalente (m) **>30**

V_{S30} calcolato nell'intervallo di profondità 0-30m

(up) **Categoria di sottosuolo**, come definito nelle NTC2018 (DM del 17-01-18), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2 II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s).

(dw) **Modello sismostratigrafico**: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismo-stratigrafica. Tabella delle velocità (onde P e onde S) e parametri elastici dei terreni. **Tp-Ts**: tempi di primo arrivo (picking). **Tp_corr-Ts_corr**: tempi corretti. **Vp_p.int-Vs_p.int**: velocità di pseudo-intervallo; **Vp_layer-Vs_layer**: velocità di strato; **Vp/Vs**: rapporto velocità onde P onde S. **Poisson**: rapporto di Poisson; **Density**: densità dei materiali; **Shear Young Bulk**: moduli dinamici. Densità secondo (*): Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., Gregory, A.R., 1974. *Formation velocity and density-the diagnostic basic for stratigraphic trap*. *Geophysics* 39, 770-780. (dx) **Log** relazioni tra velocità sismiche e moduli elasto-dinamici.

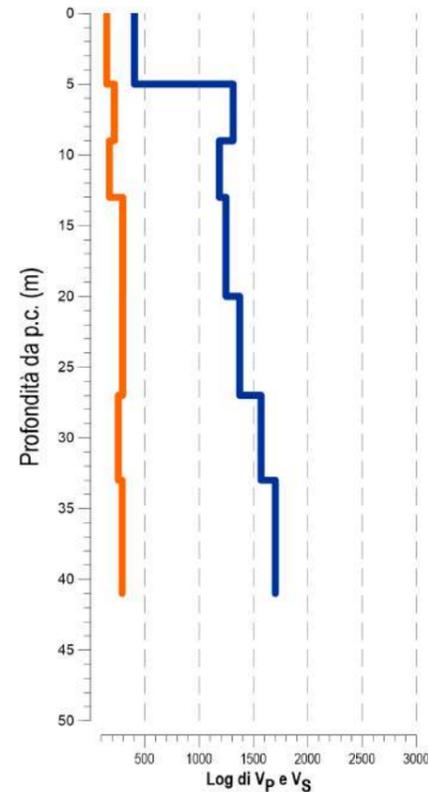
$$\text{Poisson Modulus } \nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$\text{Shear modulus } G = \rho V_s^2$$

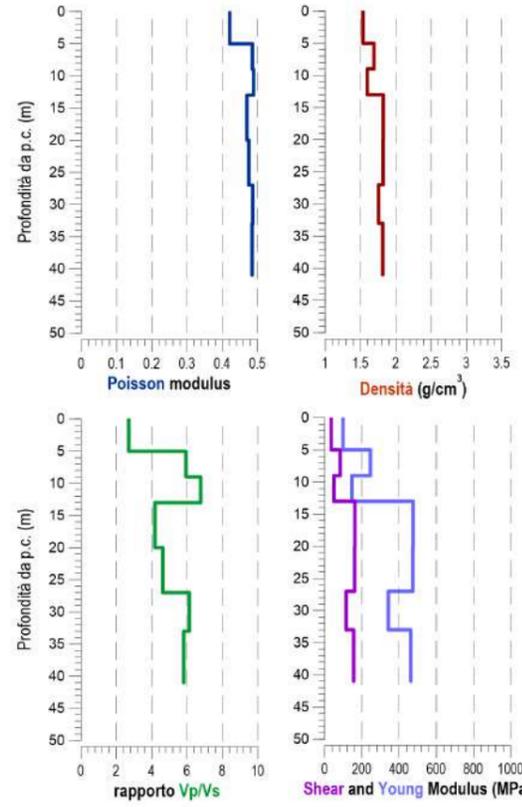
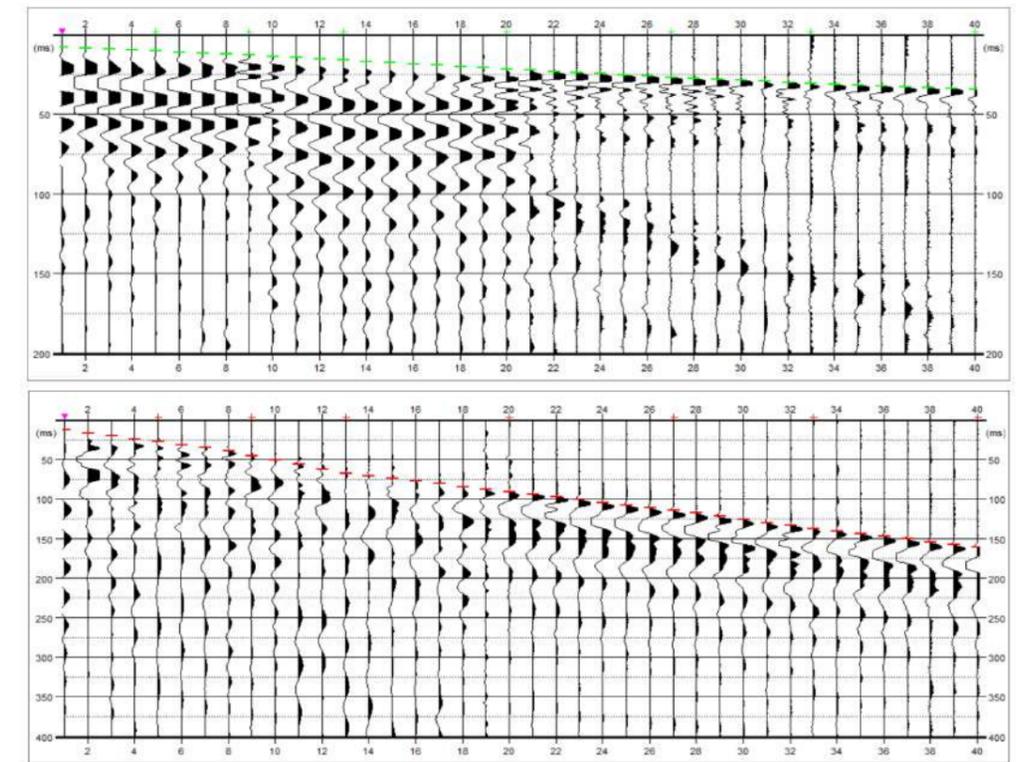
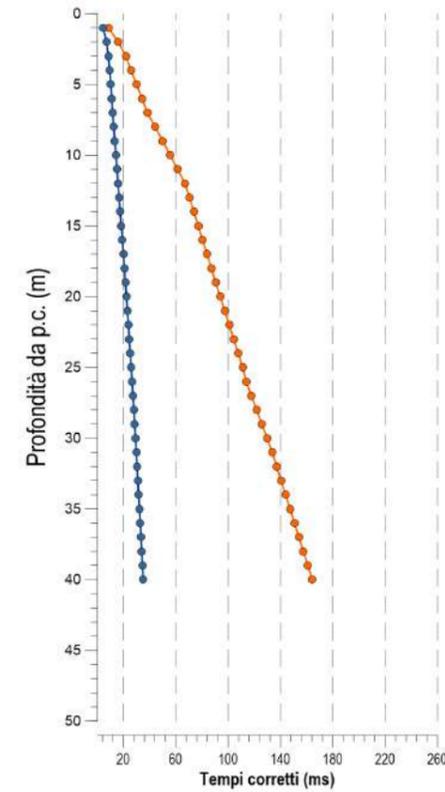
$$\text{Young Modulus } E = 2G(1 + \nu)$$

$$\text{Bulk Modulus } \kappa = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

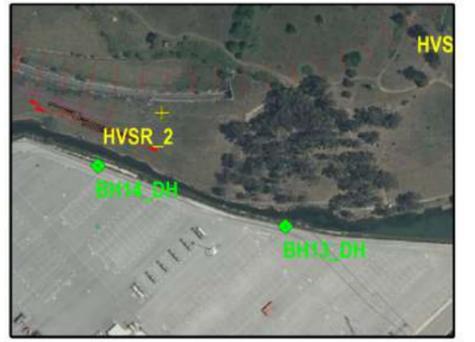
Depth (m)	Layer	Tempi (ms)				Vel (m/s)					Vp/Vs	Poisson n	Density (g/cm ³)	Shear M. G (Mpa)	Young M. E (Mpa)	Bulk M. k (Mpa)	
		Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_p.int	Vs_p.int	Vp_layer	Vs_layer	Vp							Vs
0	1	8.05	12.24	0.0	0.0	288	103	406	150	406	150	2.7	0.421	1.54	35	98	207
1	1	8.60	16.43	4.6	8.7	288	103	406	150	406	150	2.7	0.421	1.54	35	98	207
2	1	9.14	20.61	7.1	16.1	387	135	406	150	406	150	2.7	0.421	1.54	35	98	207
3	1	9.68	24.80	8.5	21.9	711	173	406	150	406	150	2.7	0.421	1.54	35	98	207
4	1	10.23	27.70	9.5	25.7	1052	261	406	150	406	150	2.7	0.421	1.54	35	98	207
5	2	10.87	31.56	10.4	30.1	1164	230	1313	221	1313	221	5.9	0.485	1.69	83	245	2806
6	2	11.51	35.43	11.1	34.2	1295	240	1313	221	1313	221	5.9	0.485	1.69	83	245	2806
7	2	12.16	39.29	11.9	38.3	1376	246	1313	221	1313	221	5.9	0.485	1.69	83	245	2806
8	2	12.80	45.09	12.6	44.2	1427	169	1313	221	1313	221	5.9	0.485	1.69	83	245	2806
9	3	13.67	50.73	13.5	49.9	1107	175	1185	175	1185	175	6.8	0.489	1.60	49	146	2176
10	3	14.45	56.36	14.3	55.7	1229	175	1185	175	1185	175	6.8	0.489	1.60	49	146	2176
11	3	15.24	62.00	15.1	61.4	1238	176	1185	175	1185	175	6.8	0.489	1.60	49	146	2176
12	3	16.10	67.63	16.0	67.0	1131	176	1185	175	1185	175	6.8	0.489	1.60	49	146	2176
13	4	16.90	70.95	16.8	70.4	1238	296	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
14	4	17.69	74.26	17.6	73.8	1241	297	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
15	4	18.48	77.57	18.4	77.1	1244	298	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
16	4	19.28	80.88	19.2	80.5	1247	299	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
17	4	20.07	84.20	20.0	83.8	1248	299	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
18	4	20.87	87.51	20.8	87.2	1250	299	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
19	4	21.66	90.82	21.6	90.5	1252	300	1246	298	1246	298	4.2	0.470	1.82	162	476	2614
20	5	22.38	94.23	22.3	93.9	1370	292	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
21	5	23.11	97.63	23.0	97.3	1372	292	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
22	5	23.83	101.04	23.8	100.8	1372	292	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
23	5	24.56	104.44	24.5	104.2	1374	292	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
24	5	25.28	107.84	25.2	107.6	1374	293	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
25	5	26.01	111.25	26.0	111.0	1376	293	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
26	5	26.73	114.01	26.7	113.8	1374	361	1373	297	1373	297	4.6	0.475	1.82	161	474	3220
27	6	27.38	117.98	27.3	117.8	1548	251	1569	256	1569	256	6.1	0.486	1.76	115	342	4167
28	6	28.02	121.95	28.0	121.8	1546	251	1569	256	1569	256	6.1	0.486	1.76	115	342	4167
29	6	28.66	125.93	28.6	125.7	1548	251	1569	256	1569	256	6.1	0.486	1.76	115	342	4167
30	6	29.31	129.90	29.3	129.7	1548	251	1569	256	1569	256	6.1	0.486	1.76	115	342	4167
31	6	29.95	133.87	29.9	133.7	1548	251	1569	256	1569	256	6.1	0.486	1.76	115	342	4167
32	6	30.52	137.20	30.5	137.0	1770	300	1569	256	1569	256	6.1	0.486	1.76	115	342	4167
33	7	31.10	140.60	31.1	140.4	1701	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
34	7	31.69	144.01	31.7	143.8	1701	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
35	7	32.28	147.41	32.2	147.3	1701	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
36	7	32.86	150.82	32.8	150.7	1701	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
37	7	33.45	154.22	33.4	154.1	1701	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
38	7	34.04	157.63	34.0	157.5	1701	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
39	7	34.62	161.03	34.6	160.9	1704	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045
40	7	35.21	164.43	35.2	164.3	1704	293	1701	293	1701	293	5.8	0.485	1.82	156	463	5045



(up) **Log di velocità** delle onde di compressione e taglio (profili di velocità monodimensionali); (dw) **Traveltimes** dei tempi corretti (ms).



Log di alcuni dei parametri ricavati (dall'alto in senso orario): modulo di Poisson, Densità (*), rapporto Vp/Vs, moduli di Shear e Young.



commessa
CA100044687_Porto_Augusta

committente
ITALFERR
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane

richiedente
Dott. M. Scarpelli
geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Seismic Down Hole (DH)

processing
Dott. L. Allacorta

tavola
BH14_rev0

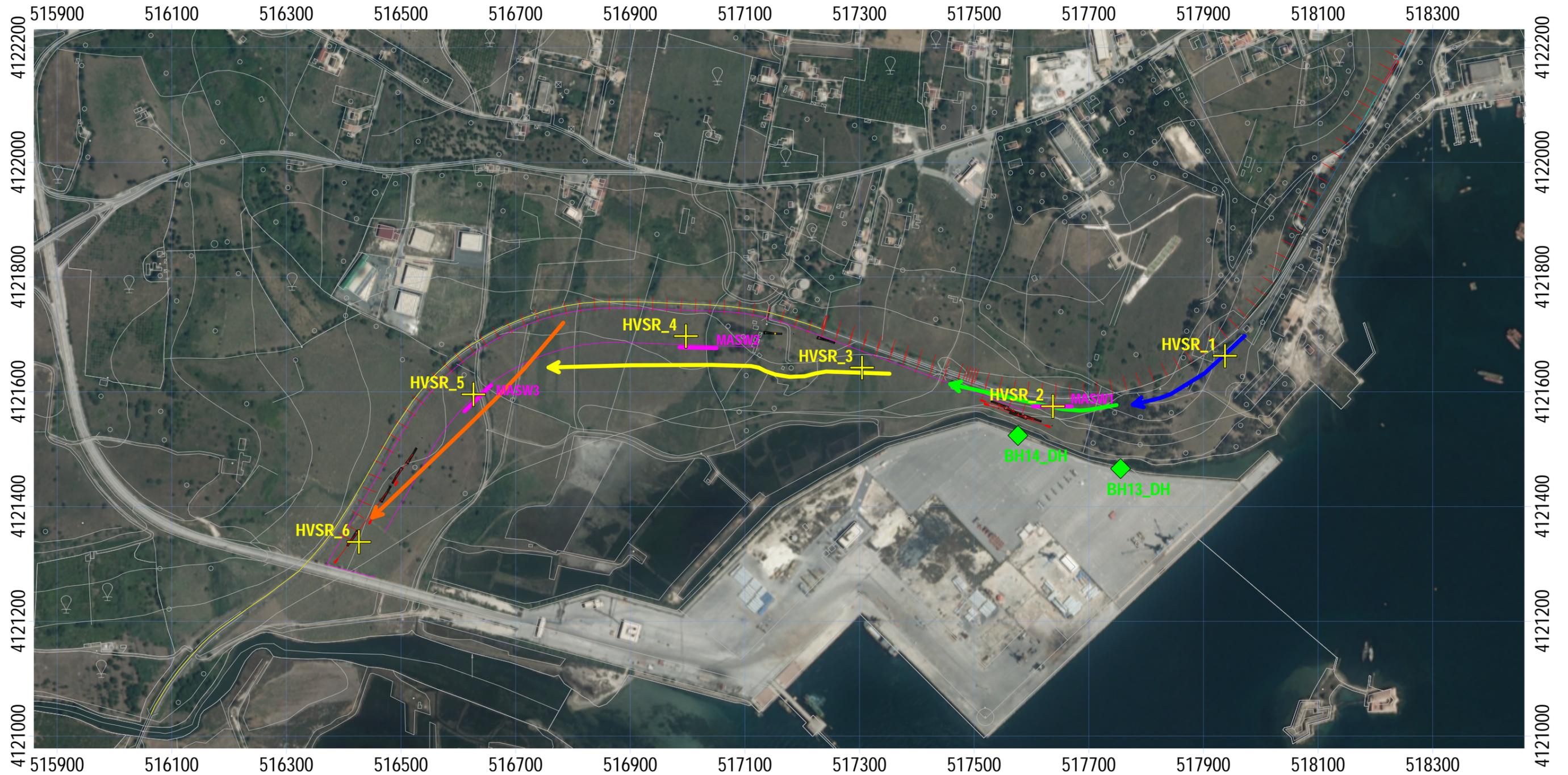
approvazione
Dott. Geol. A. Reale

emissione
11 ott 2022

progetto
"ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0874 481868
Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com



Sistema di coordinate:
 projection: UTM;
 datum: WGS84_zone 33N
 coordinates: m



Legenda

- Line 1 - 96ch, X=2.5m
- Line 2 - 144ch, X=2.5m
- Line 3 - 96ch, X=2.5m
- Line 4 - 144ch, X=2.5m
- HVS
- Seismic Down Hole
- MASW

commessa
 CA100044687_Porto_Augusta

committente
 ITALFERR
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiano

richiedente
 M. Scarpelli
 Dott. Geol.

progetto
 "ESECUZIONE DI INDAGINI GEOFISICHE PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA DEL PFTE DEL NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA (SR)"

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 SRT, MASW, HVS and DH

processing
 Dott. L. Allacorta

approvazione
 Dott. Geol. A. Reale

tavola
 Porto_Ubi_rev0

emissione
 24 ott 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING

Head office Tel. +39 0874 481868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com