

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	GENERALITÀ DELLE INDAGINI SVOLTE.....	4
2.1	Indagine MASW, Misure HVSR e indagini Downhole	4
3	INDAGINE MASW.....	5
3.1	STENDIMENTI SISMICI CON METODO "MASW" CENNI METODOLOGICI	6
3.2	METODI DI ANALISI	7
3.3	ANALISI MULTI-COMPONENTE.....	8
3.4	FVS INVERSION	9
3.5	STENDIMENTI SISMICI CON METODO "MASW" CENNI METODOLOGICI	10
3.6	ELABORAZIONE DATI E RISULTATI.....	11
4	INDAGINE DOWNHOLE	13
4.1	Processing dei Dati.....	15
4.2	Parametri dinamici del terreno	16
4.3	Strumentazione	18
4.3.1	Geofono da Foro.....	18
4.3.2	Sorgente delle onde sismiche	18
4.4	Risultati.....	19
5	ALLEGATI	21
5.1	Sito 1 Down-Hole S1 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA DH)	
5.2	Sito 2 MASW 01(REPORT FOTOGRAFICO, tavola MASW)	
5.3	Sito 3 MASW 02(REPORT FOTOGRAFICO, tavola MASW)	
5.4	Sito 4 MASW 03(REPORT FOTOGRAFICO, tavola MASW)	
5.5	Sito 5 MASW 04(REPORT FOTOGRAFICO, tavola MASW)	
5.6	Sito 6 Down-Hole S8 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA DH)	
5.7	Sito 2 Down-Hole S9 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA DH)	
5.8	Sito 2 MASW 05(REPORT FOTOGRAFICO, tavola MASW)	

INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	3 di 21

1 PREMESSA

Per incarico di ITALFERR SPA con Accordo Quadro n. 200001457 del 08/03/2021 e a seguito dell'Ordine n. 100044188, la GEOTEC SPA ha eseguito prospezioni geofisiche per OFTE e realizzazione di piazzali MATS-STES sulla linea Foggia – Potenza (Fig. 1).

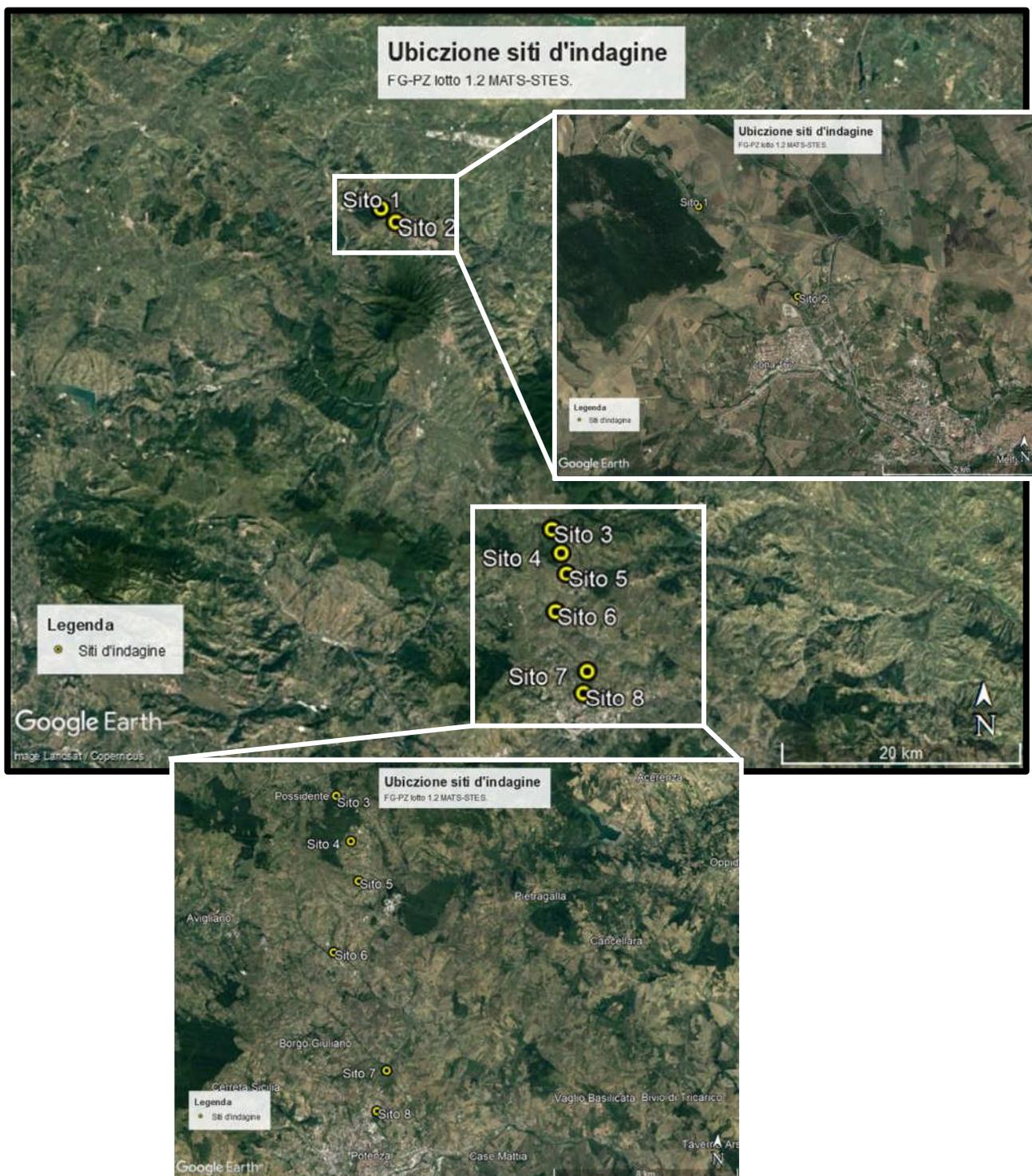


Fig. 1 Corografia con ubicazione delle indagini eseguite

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA- POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	4 di 21

Come richiesto dalla D.L., i siti d'indagine sono stati oggetto di prove MASW e DOWNHOLE e sono così sintetizzate:

SITI	MASW	DH
SITO_1		DH-S1
SITO_2	MASW01	
SITO_3	MASW02	
SITO_4	MASW03	
SITO_5	MASW04	
SITO_6		DH-S8
SITO_7		DH-S9
SITO_8	MASW05	

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	DH-S1		30.00 m.
SITO_2	MASW01	60.00 m	
SITO_3	MASW02	60.00 m	
SITO_4	MASW03	60.00 m	
SITO_5	MASW04	60.00 m	
SITO_6	DH-S8		30.00 m.
SITO_7	DH-S9		30.00 m.
SITO_8	MASW05	60.00 m.	

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

2 GENERALITÀ DELLE INDAGINI SVOLTE

2.1 INDAGINE MASW, MISURE HVSR E INDAGINI DOWNHOLE

- Lo stendimento MASW è finalizzato all'acquisizione e all'analisi delle onde superficiali di tipo attivo ai sensi delle NTC 2018; 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.
- 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA- POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IABH	LOTTO 00	CODIFICA F 69 IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

3 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.5 prove sismiche di tipo MASW, denominate con sigla identificativa "MASW $n+1$ ". 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. 3 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:

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

3.1 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.

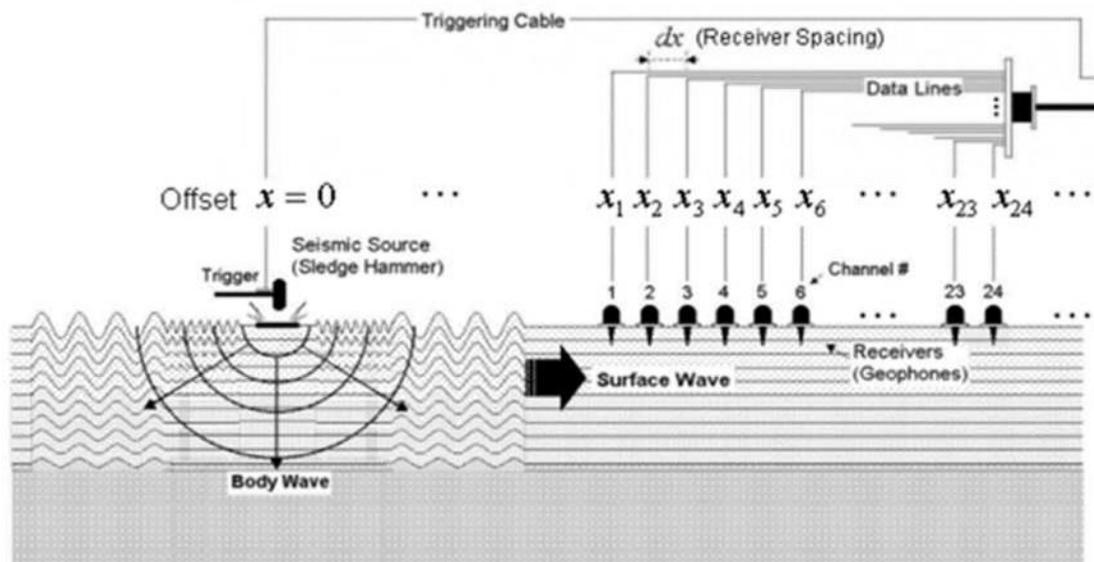


Fig. 2 schema della disposizione dei geofoni e del punto di energizzazione

3.2 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÷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 sismostratigrafico 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.

3.3 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

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	9 di 21

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.

3.4 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.

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	10 di 21

5

3.5 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. 4), 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. 4 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 isensori 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

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	11 di 21

5

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.

3.6 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	306 m/s	23.4	355 m/s	C
MASW.02	----	>30	429 m/s	B
MASW.03	----	>30	352 m/s	C
MASW.04	----	>30	430 m/s	B
MASW.05	----	>30	399 m/s	B

Tab. 5 risultati ottenuti dalle analisi MASW

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

- B. 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.
- C. Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da

INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	12 di 21

5

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.

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	13 di 21

5

4 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 quaterna 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. 3, 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).

INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	14 di 21

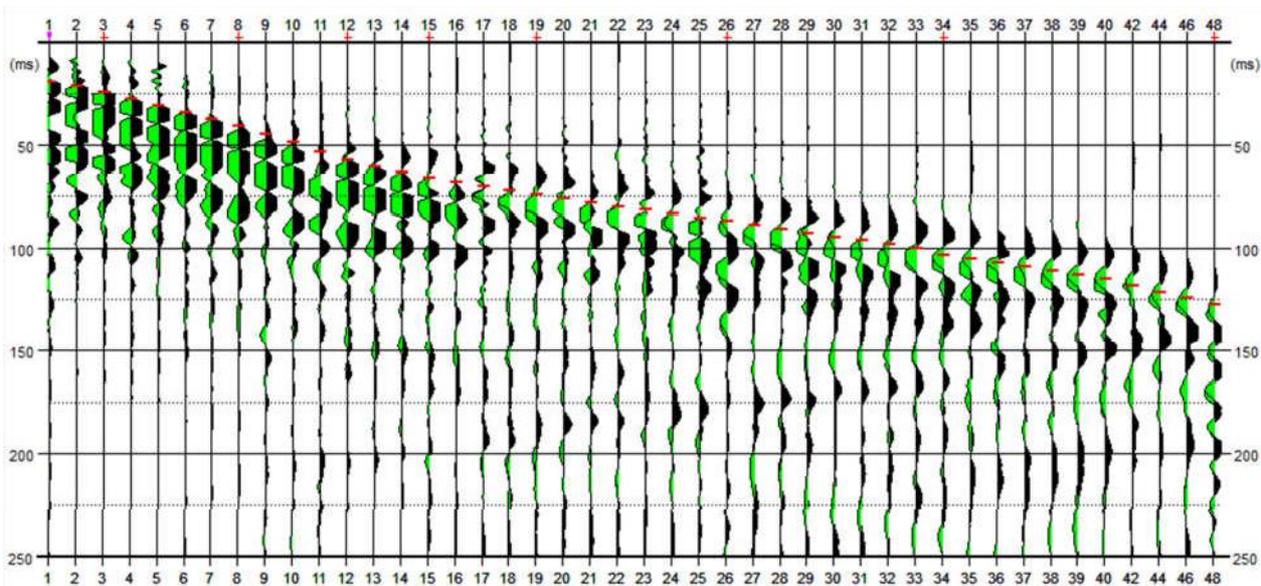


Fig. 3 Registrazione onde di taglio, confronto battuta destra (tracce nero) e battuta sinistra (tracce verde). Mentre il treno di onde compressive eccita allo stesso modo tutti i canali attivi, il primo arrivo delle onde di taglio è chiaramente marcato da un'inversione di fase

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.

INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	15 di 21

5

4.1 PROCESSING DEI DATI

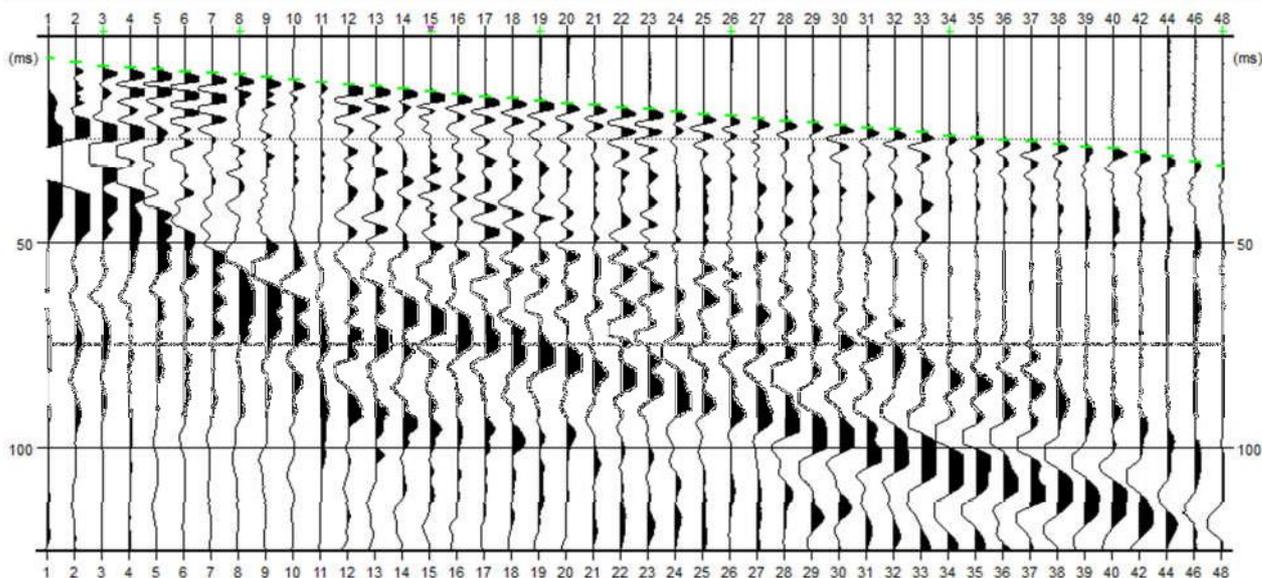


Fig. 4 Tracce relative al sensore verticale raggruppate in un unico sismogramma prima di procedere all'identificazione dei primi arrivi

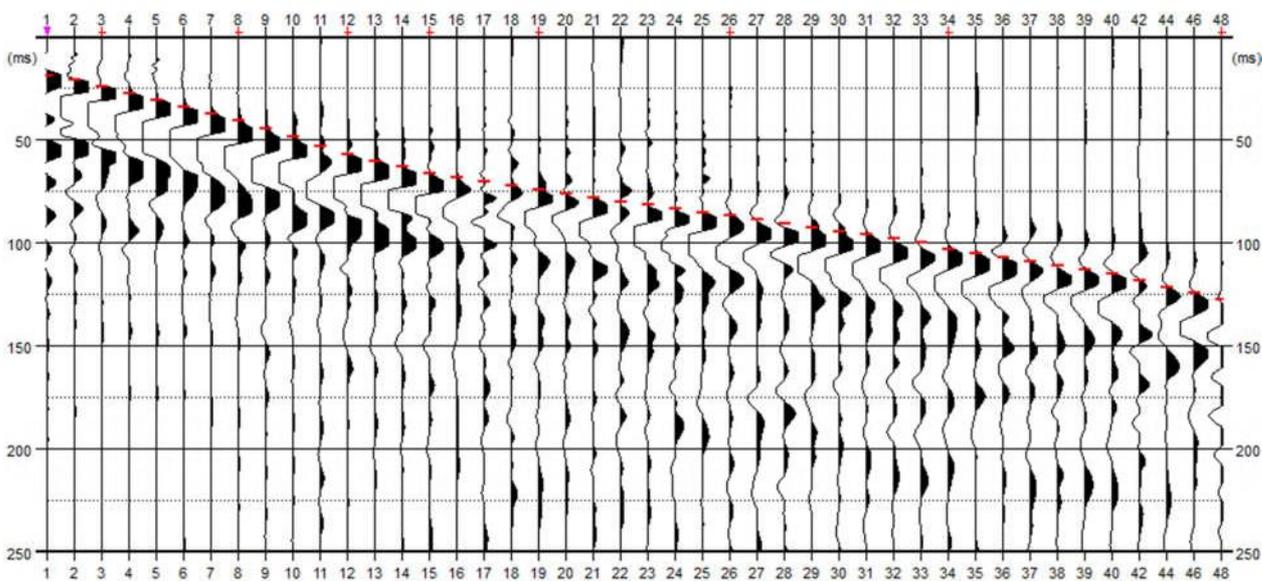


Fig. 5 Tracce relative al sensore orizzontale raggruppate in un unico sismogramma prima di procedere all'identificazione dei primi arrivi

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,

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	16 di 21

5

vengono raggruppate in sismogrammi separati le forme d'onda relative ai geofoni verticali (Fig. 4) e quelle relative ai geofoni orizzontali (Fig. 5).

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 riportate 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.

4.2 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:

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	17 di 21

5

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.

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

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

$$\text{Module de rigidité ou de cisaillement } G = \frac{dV^2}{5}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	18 di 21

5

4.3 STRUMENTAZIONE

L'apparecchiatura d'indagine, per l'esecuzione di indagini sismiche a rifrazione è costituita da: sismografo Seismic Source, Modello DAQLink III, 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.

4.3.1 Geofono da Foro

Per le indagini in foro viene impiegato il modello BGK5 prodotto da Geotomographie (Fig. 6) 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. 6 Geofono da foro BGK5 per prove fino a 50 m

4.3.2 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

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO					
	SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA-POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	19 di 21

5

enfaticamente 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.

4.4 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:

	LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO: LOTTO 1.2 - ELETTRIFICAZIONE ROCCHETTA- POTENZA ADEGUAMENTO ALLE STI SRT/ENE – POSIZIONAMENTO DELLE APPARECCHIATURE STES PER QUATTRO GALLERIE DI LUNGHEZZA MAGGIORE A 1.000 M					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IABH	LOTTO 00	CODIFICA F 69 IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

5

Sondaggio	Profondità	V _{seq} (m/s)	Prof. Eq. (m)	V _{s30} (m/s)	Categoria NTC 2018
DH_S1	30 m.	-----	>30	345	C
DH_S8	30 m.	453	12	-----	B
DH_S9	30 m.	-----	>30	481	B

Tab. 6 tabella riepilogativa dei risultati ottenuti nelle indagini Down-hole

I valori riportati ricadono nelle categorie “B e C”, riferimento normativo NTC 2018 (dm 17/01/2018):

B - 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.

C - Depositati 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 le elaborazioni e i report fotografici.

5 ALLEGATI

- 5.1 SITO 1 DOWN-HOLE S1 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA DH)
- 5.2 SITO 2 MASW 01(REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA MASW)
- 5.3 SITO 3 MASW 02(REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA MASW)
- 5.4 SITO 4 MASW 03(REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA MASW)
- 5.5 SITO 5 MASW 04(REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA MASW)
- 5.6 SITO 6 DOWN-HOLE S8 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA DH)
- 5.7 SITO 7 DOWN-HOLE S9 (REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA DH)
- 5.8 SITO 8 MASW 05(REPORT FOTOGRAFICO, TAVOLA MASW)

5.1 SITO 1 –DH-S1



Foto 1: Esecuzione indagine Down-hole,



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

VSeq (m/s) .
VS30 (m/s) 345
Profondità equivalente (m) >30

VS30 calcolato nell'intervallo di profondità 0-30m

1) **Categoria di sottosuolo** come definita nelle NTC2018 (DM del 7/01/18), in base alla definizione dell'azione sismica di progetto, quando le condizioni sismologiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 2.2.1), 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 .

2) la classificazione del sottosuolo in funzione delle condizioni stratigrafiche ed i valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s).

3) **Modello sismotomografico** (descrizione in termini di velocità e spessori delle coerenze sismo-stratigrafiche). Tabella delle velocità (onde P e onde S) e parametri elastici dei terreni: T_p - T_s tempi di primo arrivo (paragiri); $T_{p,cor}$ - $T_{s,cor}$ tempi corretti; $V_{p,pr}$ - $V_{s,pr}$ velocità di primo arrivo; $V_{p,lay}$ - $V_{s,lay}$ velocità di strato.

4) **Vp/Vs** rapporto velocità onde P' onde S; **Poisson** rapporto di Poisson; **Densità** 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 for geophysical base for stratigraphic trap. Geophysics 39, 770-780.

5) **Log** relazione tra velocità sismiche e moduli elastico-dinamici

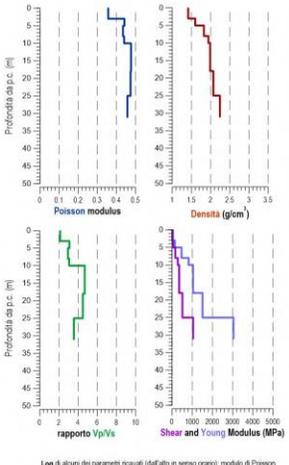
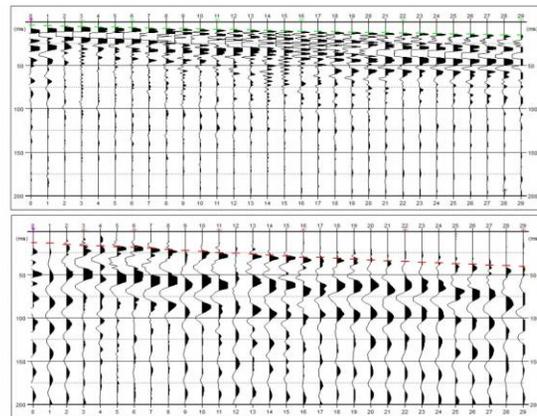
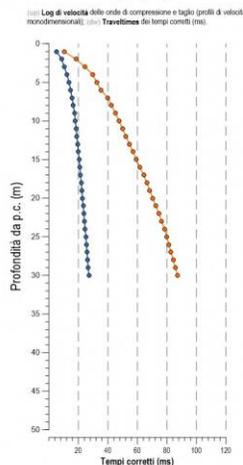
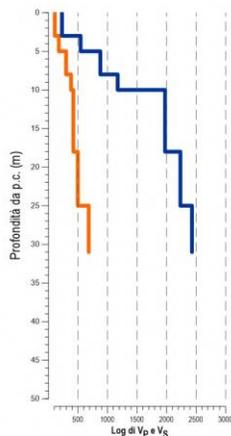
$$\text{Poisson Modulus } \nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

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

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

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

Depth Layer (m)	Tempi (ms)				Vel (m/s)				Vp/Vs	Poisson	Density (g/cm ³)	Shear G (MPa)	Young E (MPa)	Bulk M (MPa)			
	Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_pr	Vs_pr	Vp_layer	Vs_layer									
0	1	9.66	16.67	0.0	0.0	288	103	229	108	229	108	2.1	0.357	1.41	16	45	52
1	1	10.72	21.17	5.2	10.3	288	103	229	108	229	108	2.1	0.357	1.41	16	45	52
2	1	11.55	24.75	8.6	19.4	295	123	229	108	229	108	2.1	0.357	1.41	16	45	52
3	2	12.17	28.47	10.4	24.4	541	166	545	176	545	176	3.1	0.442	1.60	50	143	489
4	2	13.44	32.05	12.3	29.8	549	166	545	176	545	176	3.1	0.442	1.60	50	143	489
5	3	14.51	34.40	13.7	32.4	715	386	879	299	879	299	2.9	0.435	1.62	163	468	1192
6	3	15.42	36.88	14.8	35.3	897	338	879	299	879	299	2.9	0.435	1.62	163	468	1192
7	3	16.19	41.23	15.7	39.9	1100	217	879	299	879	299	2.9	0.435	1.62	163	468	1192
8	4	16.96	43.94	16.5	42.5	1150	393	1173	383	1173	383	3.1	0.440	1.94	285	820	2291
9	4	17.23	46.04	17.4	45.1	1190	374	1173	383	1173	383	3.1	0.440	1.94	285	820	2291
10	5	18.21	48.32	17.9	47.6	1866	415	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
11	5	18.69	50.61	18.4	49.9	1916	420	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
12	5	19.17	52.89	19.0	52.3	1949	424	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
13	5	19.65	55.17	19.5	54.6	1976	426	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
14	5	20.13	57.45	20.0	57.0	1986	428	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
15	5	20.61	59.73	20.5	59.3	2012	430	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
16	5	21.09	62.02	21.0	61.6	2024	431	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
17	5	21.57	64.70	21.4	64.2	2037	369	1975	421	1975	421	4.7	0.476	1.99	352	1040	7283
18	6	22.00	66.70	21.9	66.4	2247	492	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
19	6	22.43	68.70	22.3	68.4	2252	493	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
20	6	22.87	70.71	22.8	70.4	2257	494	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
21	6	23.30	72.71	23.2	72.4	2262	494	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
22	6	23.74	74.71	23.7	74.5	2273	495	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
23	6	24.17	76.72	24.1	76.5	2273	496	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
24	6	24.67	78.99	24.6	78.4	1976	531	2235	497	2235	497	4.5	0.474	2.07	512	1509	9666
25	7	25.08	80.04	25.0	79.8	2427	681	2431	682	2431	682	3.6	0.457	2.24	1043	3040	11861
26	7	25.49	81.50	25.4	81.3	2427	682	2431	682	2431	682	3.6	0.457	2.24	1043	3040	11861
27	7	25.90	82.96	25.8	82.0	2433	682	2431	682	2431	682	3.6	0.457	2.24	1043	3040	11861
28	7	26.31	84.41	26.3	84.2	2433	682	2431	682	2431	682	3.6	0.457	2.24	1043	3040	11861
29	7	26.71	85.86	26.7	85.7	2433	683	2431	682	2431	682	3.6	0.457	2.24	1043	3040	11861
30	7	27.12	87.32	27.1	87.2	2433	684	2431	682	2431	682	3.6	0.457	2.24	1043	3040	11861



commessa 22-16 CA100044188 FG-PZ Lott.1.2
progetto ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PER PFTE - REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES

committente ITALFERR gruppo ferrovie dello stato italiano

richiedente G. Garrati Dott. Geol.

oggetto INDAGINI SISMICHE Seismic Down Hole (DH)

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

favola DH01 rev0
emissione 12 ago 2022



SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0674 481868
Via G. Bartolo, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

5.2 SITO 2 –MASW 01

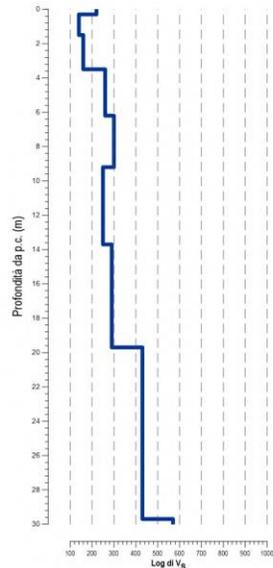
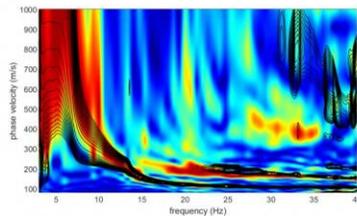
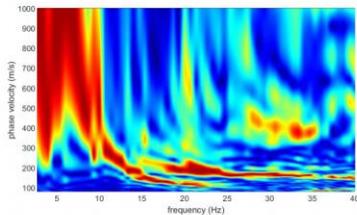
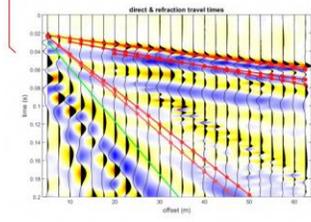
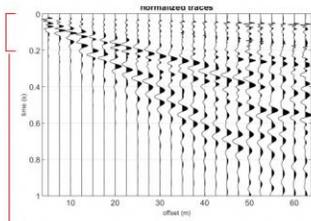


Foto 1: Esecuzione indagine MASW,

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	2 di 2





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 ZV), ottenuta per stack verticale di un numero minimo di 4 ingegnerizzazioni eseguite con maczo da 8kg, impatto verticale su piastrina in acciaio. In basso: ingrandimento sui primi anni ritardi con proiezione delle diacronie sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modello 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 anni ritardi (quando disponibili), in caso di terreni scolti saturi, il modello Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500v_s$

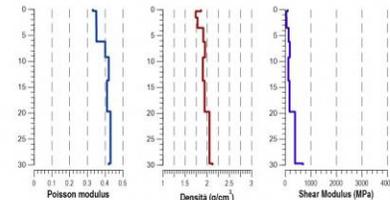
In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale). In basso: confronto per sovrapposizione tra lo spettro sintetico (contouring nero) delle velocità di fase ottenuto per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum), e lo spettro sperimentale (in scala colori).

Configurazione di acquisizione

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

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.3	80	0.0	0.3	1.6	0.36
2	0.6	100	0.3	0.9	1.7	0.39
3	1.4	110	0.9	2.3	1.7	0.39
4	2.1	135	2.3	4.4	1.7	0.50
5	2.0	230	4.4	6.4	1.9	0.49
6	2.0	440	6.4	8.4	2.1	0.47
7	6.0	490	8.4	14.4	2.1	0.44
8	9.0	700	14.4	23.4	2.2	0.36
9	800	23.4			2.2	0.30

Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismostratigrafica. Gli strati profondi (per $>30-35m$) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolati. Tuttavia risultano utili a guidare l'investizione verso un insieme di soluzioni geotecnologicamente 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** μ ; Vs e Densità di 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) 306
 V_{S30} (m/s) 355
 Profondità equivalente (m) 23.4

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

Categoria di sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno 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).

Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW01



(a) Utilizzazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (b) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dall'allineamento geofonico indicativamente da g1



commessa
22-16_CA100044188_FG-PZ_Lotto1.2

committente
ITALFERR
gruppo ferroviario dello stato italiano

richiedente
G. Guratti
Dott.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Multichannel Analysis of Surface Waves

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

tavola
masw1_rev0
emissione
12 ago 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0374 461988
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

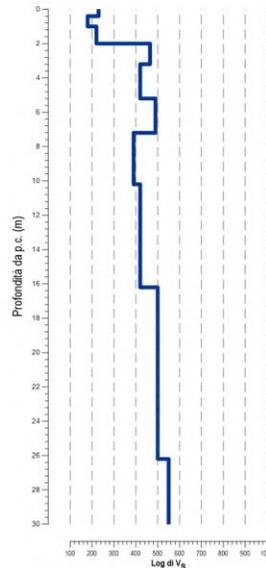
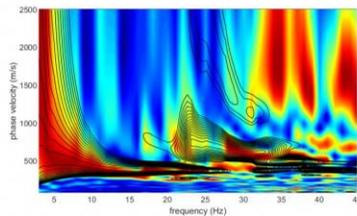
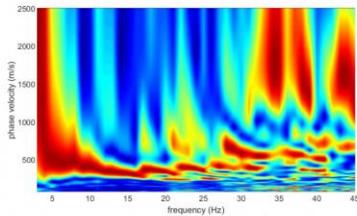
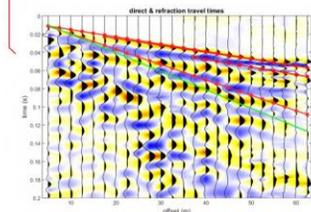
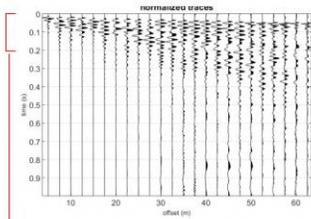
progetto
ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PER PFTE - REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES

5.3 SITO 3 –MASW 02



Foto 1: Esecuzione indagine MASW,





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 ZV), ottenuta per stack verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su piastrina in acciaio. In basso: ingrandimento sui primi metri di profondità con proiezione delle diacronie sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modello 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 metri riflettenti (quando visibili), in caso di terreni scogli saturi, il modello Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500 \text{ m/s}$

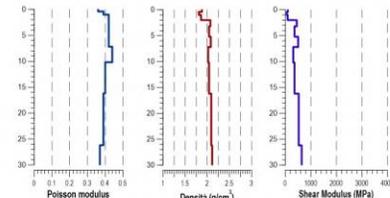
In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale). In basso: confronto per sovrapposizione tra lo spettro sinttico (contouring nero) delle velocità di fase ottenute per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum), e lo spettro sperimentale (in scala colori).

Configurazione di acquisizione

strumento: **DAQLink III** interfaccia sensori: **x = 2.5m**
 canali: **24** posizioni di scoppio: **-7.5; -0.0; 02.5; 65.0m**
 sensori: **vertical, 4.5Hz** software di elaborazione: **Winlaw Acad 2019**

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.4	230	0.0	0.4	1.9	0.36
2	0.6	180	0.4	1.0	1.8	0.39
3	1.0	220	1.0	2.0	1.9	0.42
4	1.2	465	2.0	3.2	2.1	0.42
5	2.0	420	3.2	5.2	2.0	0.42
6	2.0	490	5.2	7.2	2.1	0.42
7	3.0	390	7.2	10.2	2.0	0.44
8	6.0	420	10.2	16.2	2.0	0.40
9	10.0	500	16.2	26.2	2.1	0.39
10		550	26.2	2.1	0.37	

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 vincolati, tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geotecnologicamente 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 finito. **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³. **Modulo di taglio** nel Vs e **Densità** di 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) **429**
 V_{S30} (m/s) **429**
 Profondità equivalente (m) **>30**

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

Categoria di sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno 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, $V_{S,eq}$ (in m/s).

Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW02



(a) Utilizzazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (b) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dall'allineamento geofisico indicativamente da g1



commessa
22-16_CA100044188_FG-PZ Lott01.2
progetto
ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PER PFTE - REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES

committente
ITALFERR
gruppo ferroviario dello stato italiano

richiedente
G. Guratti
Dott. Geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Multichannel Analysis of Surface Waves

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

tavola
masw2_rev0
emissione
12 ago 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office: Tel. +39 0674 461868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

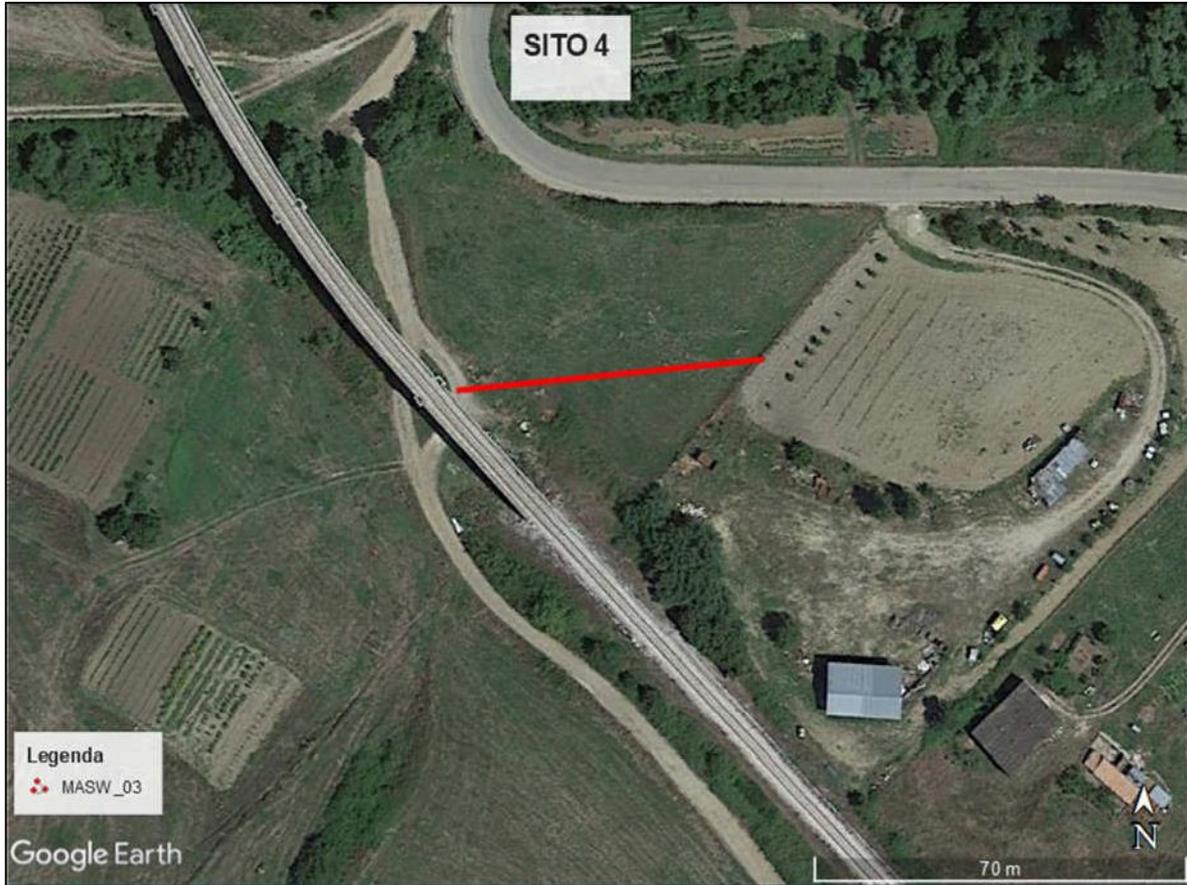
5.4 SITO 4 –MASW 03

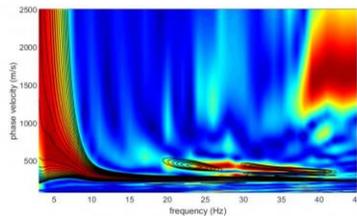
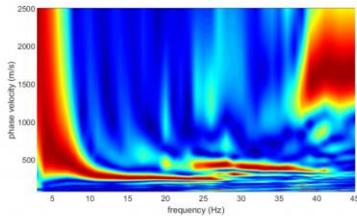
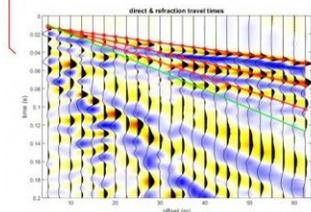
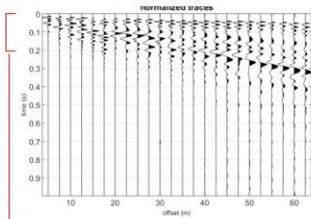


Foto 1: Esecuzione indagine MASW,

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	2 di 2





In alto: sismogramma **common shot gather** a 24 tracce (rappresentazioni del dato acquisito nel dominio spazio-tempo) acquisizione finalizzata alla registrazione delle onde di Rayleigh (componente verticale o ZV), ottenuta per stack verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con maczo da 8kg, impatto verticale su piastra in acciaio. In basso: ingrandimento sui primi arrivi riflett con proiezione delle diacroniche sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modello 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 riflett (quando visibili), in caso di terreni sciolti saturi, il modello Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500v_s$

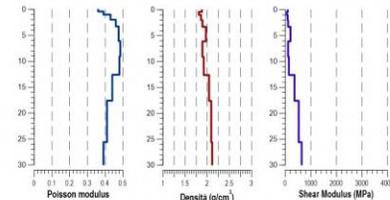
In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale). In basso: confronto per sovrapposizione tra lo spettro sintetico (contouring nero) delle velocità di fase ottenuto per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum) e lo spettro sperimentale (in scala colori).

Configurazione di acquisizione

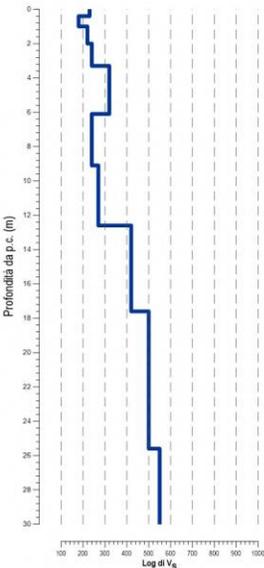
strumento: **DAQLink III** interfaccia sensori: **x = 2.5m**
 canali: **24** posizioni di scoppio: **-7.5; -5.0; 62.5; 65.0m**
 sensori: **vertical, 4.5Hz** software di elaborazione: **WinLaw Acq 2019**

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.4	230	0.0	0.4	1.9	0.36
2	0.6	180	0.4	1.0	1.8	0.39
3	1.0	220	1.0	2.0	1.9	0.43
4	1.3	240	2.0	3.3	1.9	0.46
5	2.8	320	3.3	6.1	2.0	0.48
6	3.0	240	6.1	9.1	1.9	0.48
7	3.5	270	9.1	12.6	1.9	0.48
8	5.0	420	12.6	17.6	2.0	0.44
9	8.0	500	17.6	25.6	2.1	0.41
10	550	25.6	2.1	0.39		

Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismostratigrafica. Gli strati profondi (prof >30-35m) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolati. 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 finito. **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³. **Modulo di taglio** μ : Vs e Densità di possibile calcolo e modulo di taglio (espresso in MPa). È implicito che il valore dei moduli dinamici così derivati è puramente indicativo.



V_{Seq} (m/s) 352
 V_{S30} (m/s) 352
 Profondità equivalente (m) >30

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

Categoria di sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno 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, $V_{S,eq}$ (in m/s).

Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW03



(a) Utilizzazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (b) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dall'allineamento geofonico indicativamente da g1



commessa
 22-16_CA100044188_FG-PZ_Lotto1.2
 progetto
 ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PER PFTE - REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES

committente
 ITALFERR
 gruppo ferroviario dello stato italiano

richiedente
 G. Guratti
 Dott. Geol.

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Multichannel Analysis of Surface Waves

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

tavola
 masw3_rev0
 emissione
 12 ago 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0374 481898
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

5.5 SITO 5 –MASW 04

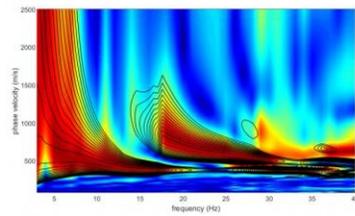
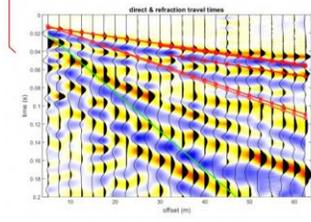
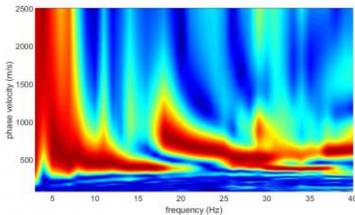
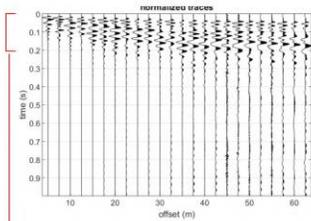


Foto 1: Esecuzione indagine MASW,

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	2 di 2





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 ZV), ottenuta per stack verticale di un numero minimo di 4 energizzazioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su pavita in acciaio. In basso: ingrandimento sui primi anni ritardi con proiezione delle diacronie sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modello 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 anni ritardi (quando visibili), in caso di terreni sciolti saturi, il modello Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500 \text{ m/s}$

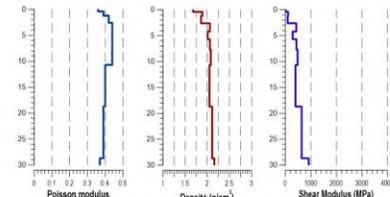
In alto: spettro delle velocità di fase (dato sperimentale). In basso: confronto per sovrapposizione tra lo spettro sismico (contouring nero) delle velocità di fase ottenute per modellazione diretta mediante analisi FVS (full velocity spectrum), e lo spettro sperimentale (in scala colori).

Configurazione di acquisizione

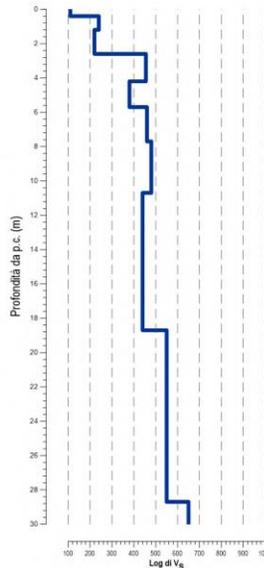
strumento: **DAQLink III** interfaccia sensori: **x = 2.5m**
 canali: **24** posizioni di scoppio: **-7.5; -5.0; 62.5; 65.0m**
 sensori: **vertical, 4.5Hz** software di elaborazione: **WinRaw Acq 2019**

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.4	110	0.0	0.4	1.7	0.36
2	0.8	240	0.4	1.2	1.9	0.39
3	1.4	220	1.2	2.6	1.9	0.42
4	1.6	455	2.6	4.2	2.1	0.44
5	1.5	380	4.2	5.7	2.0	0.44
6	2.0	460	5.7	7.7	2.1	0.44
7	3.0	480	7.7	10.7	2.1	0.44
8	8.0	440	10.7	18.7	2.1	0.40
9	10.0	550	18.7	28.7	2.1	0.39
10		650	28.7	2.2	0.37	

Modello sismostratigrafico: descrizione in termini di velocità e spessori della colonna sismostratigrafica. Gli strati profondi (per $>30-35\text{m}$) hanno valore puramente indicativo non essendo sufficientemente vincolati. Tuttavia risultano utili a guidare l'inversione verso un insieme di soluzioni geotecnologicamente 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 finito. **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³. **Modulo di taglio** nel Vs e Densità di possibili calcolare il modulo di taglio (espresso in MPa). È implicito che il valore dei moduli dinamici così derivati è puramente indicativo.

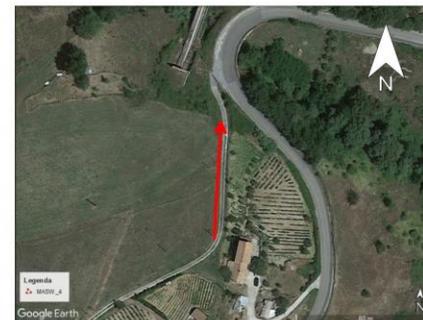


V_{Seq} (m/s) 430
 V_{S30} (m/s) 430
 Profondità equivalente (m) >30

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

Categoria di sottosuolo ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno 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, $V_{S,eq}$ (in m/s).

Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW04



(a) Utilizzazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (b) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dall'allineamento geofisico indicativamente da 1



commessa
 22-16_CA100044188_FG-PZ_Lotto1.2
 progetto
 ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PER PFTE - REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES

committente
 ITALFER
 gruppo ferrovie dello stato italiano

richiedente
 G. Guratti
 Dott. Geol.

oggetto
 INDAGINI SISMICHE
 Multichannel Analysis of Surface Waves

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

tavola
 masw4_rev0
 emissione
 12 ago 2022

GEOTEC SPA

SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office: Tel. +39 0374 451868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

5.6 SITO 6 –Down-Hole S8



Foto 1: Esecuzione indagine Down-Hole,

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	2 di 2



5.7 SITO 7 –Down-Hole S9

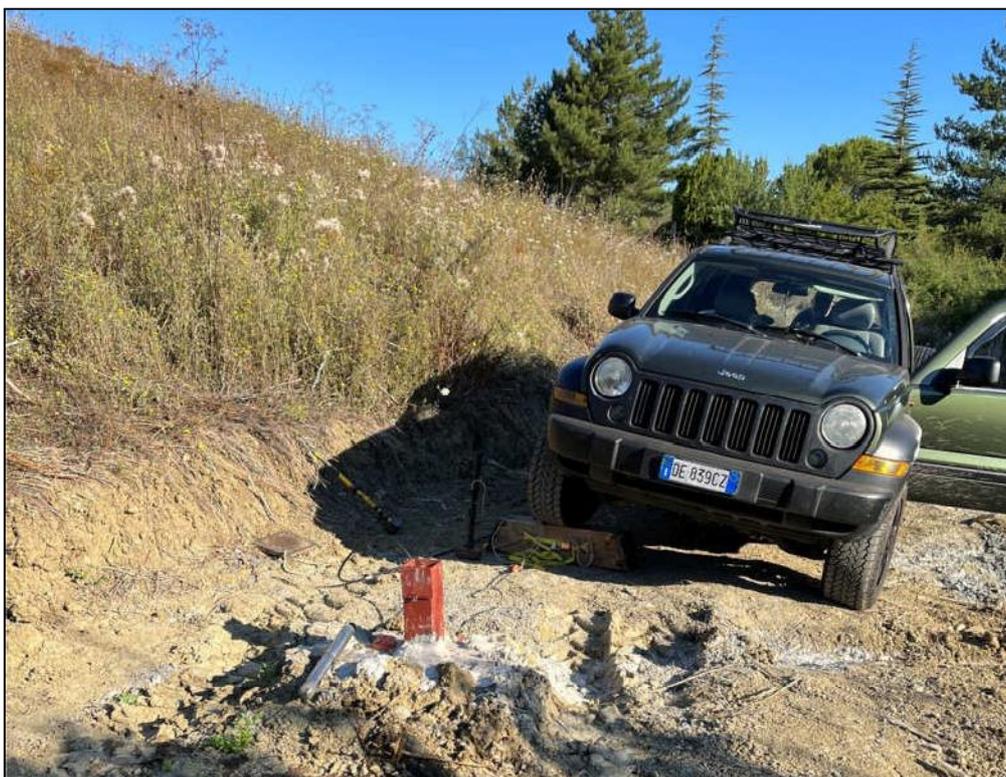


Foto 1: Esecuzione indagine Down-Hole,

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IABH	00	F 69 IG	GE0005 001	A	2 di 2



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

VSeq (m/s) .
VS30 (m/s) **481**
Profondità equivalente (m) **>30**

VS30 calcolato nell'intervallo
di profondità 0-30m

(10) **Categoria di sottosuolo** come definita nelle NTC2018 (DM del 17.01.18), in base alla definizione dell'azione sismica di progetto, questa è la condizione sismologica di progetto che, tenendo conto delle caratteristiche del sottosuolo, si può considerare come la condizione sismologica di progetto che si ha in base alla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

(11) **Modello sismotettonico** descrizione in termini di velocità e spessore della crosta sismotettonica. Tabella delle velocità (onde P e onde S) e parametri elastici dei terreni. T_p - T_s tempi di primo arrivo (parag. 7.9. *com-Ts* tempi correnti. V_p , V_s , $V_{p,eq}$, $V_{s,eq}$ velocità di propagazione delle onde di taglio, V_p , V_s , $V_{p,eq}$, $V_{s,eq}$ velocità di taglio).

(12) **Log** relazione tra velocità sismiche e moduli elastico-dinamico.

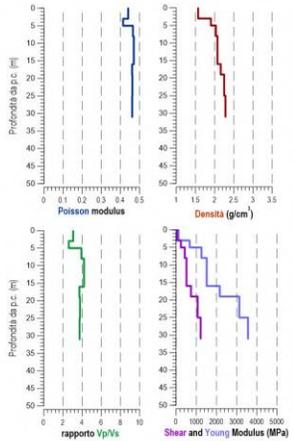
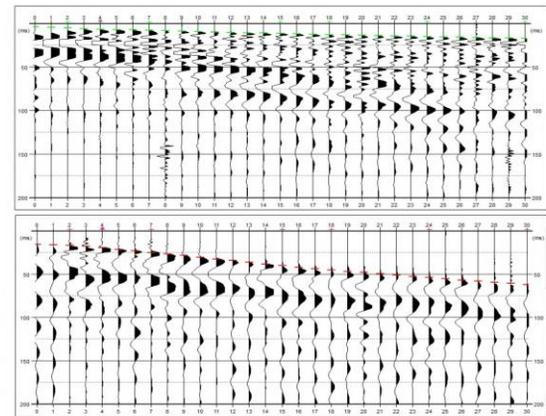
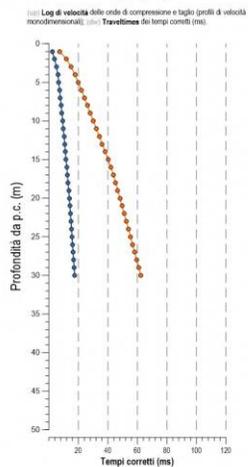
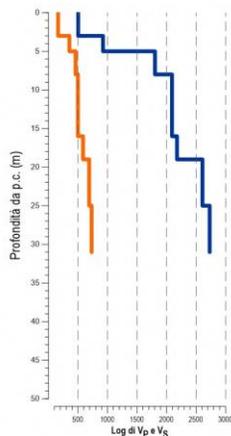
Poisson Modulus $\nu = \frac{(\frac{V_p}{V_s})^2 - 2}{2(\frac{V_p}{V_s})^2 - 1}$

Shear modulus $G = \rho V_s^2$

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

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

Depth Layer (m)	Tempi (ms)				Vel (m/s)				Vp/Vs	Poisson ν	Density ρ (g/cm ³)	Shear M. G (MPa)	Young M. E (MPa)	Bulk M. κ (MPa)			
	Tp	Ts	Tp_cor	Ts_cor	Vp_pnt	Vs_pnt	Vp_layer	Vs_layer									
0	1	4.10	15.61	0.0	0.0	288	103	503	164	503	164	3.1	0.441	1.57	42	122	341
1	1	4.56	16.27	2.2	7.3	288	103	503	164	503	164	3.1	0.441	1.57	42	122	341
2	1	5.56	16.93	3.9	12.0	585	213	503	164	503	164	3.1	0.441	1.57	42	122	341
3	2	6.09	17.99	5.1	15.0	881	334	924	354	924	354	2.6	0.414	1.90	239	674	1307
4	2	6.81	19.71	6.1	17.6	971	376	924	354	924	354	2.6	0.414	1.90	239	674	1307
5	3	7.23	21.92	6.7	20.0	1610	426	1805	460	1805	460	3.9	0.465	2.03	430	1260	6047
6	3	7.65	23.33	7.3	22.1	1838	465	1805	460	1805	460	3.9	0.465	2.03	430	1260	6047
7	3	8.07	25.14	7.8	24.2	1996	491	1805	460	1805	460	3.9	0.465	2.03	430	1260	6047
8	4	8.62	26.82	8.4	26.0	1869	540	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
9	4	9.06	28.78	8.8	28.1	2049	484	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
10	4	9.51	30.73	9.3	30.1	2096	490	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
11	4	9.96	32.68	9.8	32.2	2123	495	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
12	4	10.40	34.63	10.3	34.2	2146	498	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
13	4	10.85	36.58	10.7	36.2	2169	501	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
14	4	11.30	38.53	11.2	38.1	2174	503	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
15	4	11.74	40.48	11.6	40.1	2188	504	2093	499	2093	499	4.2	0.470	2.07	516	1518	6396
16	5	12.22	42.34	12.1	42.0	2070	532	2178	586	2178	586	3.7	0.461	2.16	741	2166	9252
17	5	12.66	44.06	12.6	44.1	2208	573	2178	586	2178	586	3.7	0.461	2.16	741	2166	9252
18	5	13.10	45.51	13.0	45.2	2257	676	2178	586	2178	586	3.7	0.461	2.16	741	2166	9252
19	6	13.48	46.94	13.4	46.7	2558	688	2609	690	2609	690	3.8	0.462	2.25	1071	3131	13880
20	6	13.87	48.36	13.8	48.1	2551	689	2609	690	2609	690	3.8	0.462	2.25	1071	3131	13880
21	6	14.26	49.81	14.2	49.6	2564	690	2609	690	2609	690	3.8	0.462	2.25	1071	3131	13880
22	6	14.64	51.24	14.6	51.0	2564	691	2609	690	2609	690	3.8	0.462	2.25	1071	3131	13880
23	6	15.03	52.68	15.0	52.5	2564	692	2609	690	2609	690	3.8	0.462	2.25	1071	3131	13880
24	6	15.36	54.11	15.3	53.9	3096	692	2609	690	2609	690	3.8	0.462	2.25	1071	3131	13880
25	7	15.71	55.59	15.7	55.4	2752	672	2731	731	2731	731	3.7	0.461	2.28	1219	3563	15391
26	7	16.07	56.93	16.0	56.8	2732	739	2731	731	2731	731	3.7	0.461	2.28	1219	3563	15391
27	7	16.44	58.26	16.4	58.1	2732	739	2731	731	2731	731	3.7	0.461	2.28	1219	3563	15391
28	7	16.80	59.62	16.8	59.5	2732	739	2731	731	2731	731	3.7	0.461	2.28	1219	3563	15391
29	7	17.17	60.97	17.1	60.8	2732	740	2731	731	2731	731	3.7	0.461	2.28	1219	3563	15391
30	7	17.53	62.31	17.5	62.2	2732	740	2731	731	2731	731	3.7	0.461	2.28	1219	3563	15391



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



commessa **22-16 CA100044188-FG-PZ Lott.1.2**
progetto **ESECUZIONE DI INDAGINI GEOTECNICHE PER PFTE + REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES**
committente **ITALFERR**
gruppo ferroviario dello stato italiano
richiedente **G. Garrati**
Dott. Geol.
oggetto **INDAGINI SISMICHE**
Seismic Down Hole (DH)
processing **Dott. L. Allacorta**
tavola **DH09_rv00**
approvazione **Dott. Geol. A. Reale**
emissione **12 ago 2022**

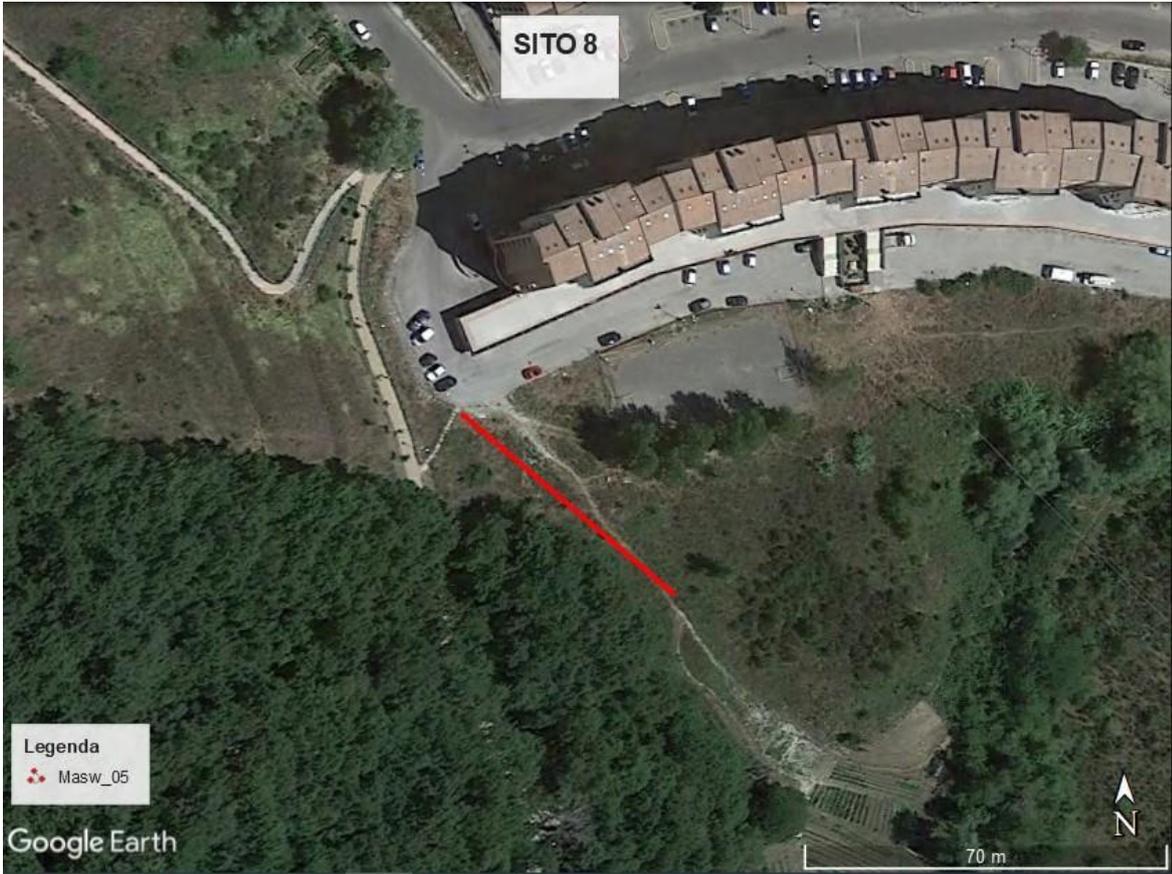


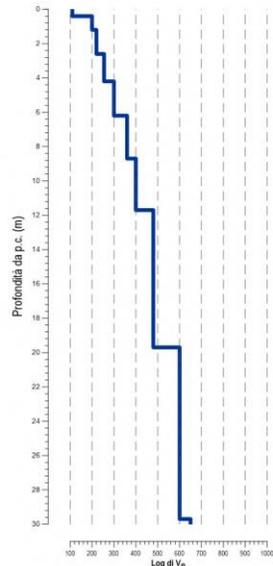
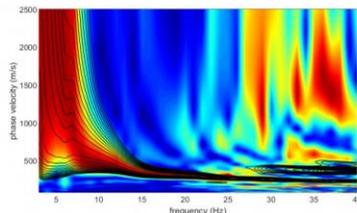
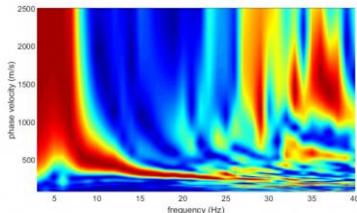
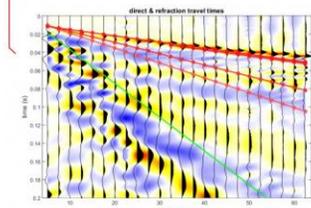
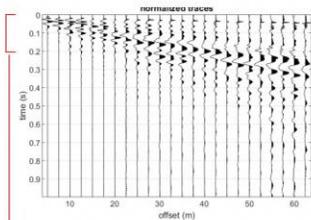
SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
Head office Tel. +39 0674 481868
Via G. Bartolotto, 20 www.geotecspa.com
86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com

5.8 SITO 8 –MASW 05



Foto 1: Esecuzione masw





Multichannel Analysis of Surface Waves postazione MASW05



(a) Utilizzazione delle indagini geofisiche; immagine satellitare da google earth; posizione indagini come da indicazioni della Committenza; (b) Fotografia della postazione di indagine, ripresa dall'allineamento geofonico indicativamente da 1'

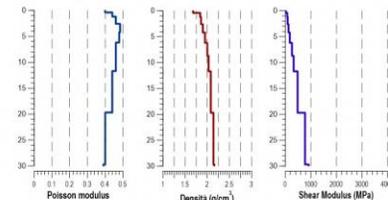
In alto: sismogramma **common shot gather** a 24 tracce (rappresentazione del dato acquisito nel dominio spazio-tempo) acquisizione finalizzata alla registrazione delle onde di Rayleigh (componente verticale o ZV), ottenuta per **stack** verticale di un numero minimo di 4 energie acquisizioni eseguite con mazza da 8kg, impatto verticale su piastra in acciaio. In basso ingrandimento sui primi arrivi riflett con proiezione delle diacronie sintetiche relative al modello sismo-stratigrafico ottenuto. Il modello 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 riflett (quando visibili), in caso di terreni sciolti saturi, il modello Poisson viene calcolato per soddisfare la condizione $V_p = 1500v_s$

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** interfaccia sensori: **x = 2.5m**
 canali: **24** posizioni di scoppio: **-7.5; -5.0; 62.5; 65.0m**
 sensori: **vertical, 4.5Hz** software di elaborazione: **WinIsaw And 2019**

Layer	h (m)	Vs (m/s)	top (m)	bottom (m)	Density (g/cm ³)	Poisson (adim.)
1	0.4	110	0.4	1.7	1.7	0.40
2	0.8	200	0.4	1.2	1.8	0.44
3	1.4	220	1.2	2.6	1.9	0.46
4	1.6	255	2.6	4.2	1.9	0.48
5	2.0	300	4.2	6.2	2.0	0.48
6	2.5	360	6.2	8.7	2.0	0.46
7	3.0	400	8.7	11.7	2.0	0.46
8	8.0	480	11.7	19.7	2.1	0.44
9	600	1197		2.1	0.40	

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 vincolati. 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 finito; **Densità** calcolata secondo Gardner et al. (1974), espressa in g/cm³; **Modulo di taglio** μ ; Vs e Densità di 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) **399**
 V_{S30} (m/s) **399**
 Profondità equivalente (m) **>30**

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

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, $V_{S,eq}$ (in m/s).



commessa
22-16_CA100044188_FG-PZ_Lotto1.2
progetto
ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PER PFTE - REALIZZAZIONE PIAZZALI MATS-STES

committente
ITALFERR
gruppo ferroviario dello stato italiano

richiedente
G. Guratti
Dott. Geol.

oggetto
INDAGINI SISMICHE
Multichannel Analysis of Surface Waves

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

tavola
masw5_rev0
emissione
12 ago 2022



SOIL INVESTIGATION & LAND SURVEYING
 Head office Tel. +39 0374 461868
 Via G. Barbato, 20 www.geotecspa.com
 86100 Campobasso, Italy info@geotecspa.com