



UNI EN ISO 9001:2008
Certificato n. 30.104.0945

PROSEZIONI GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE,
LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

GEORISORSE
ITALIA

**COMUNE DI CARCARE
PROVINCIA DI SAVONA
REGIONE LIGURIA**

**FSRU-ALTO TIRRENO
INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI
COLLEGAMENTO DALL'IMPIANTO PDE ALLA RETE
NAZIONALE GASDOTTI DN 750 (30"), DP 75 BAR
PIDI N°2**

MASW VL-A-M12

Committente:



SAIPEM

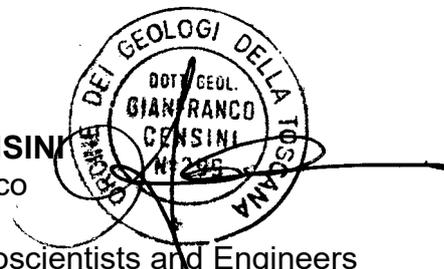


LAVORI INCLUSI NELLA CONVENZIONE GEORISORSE-SAIPEM N. 5000044722
ODL:31557708

Rapporto Tecnico
#2779/23

di:

GIANFRANCO CENSINI
Geologo / Geofisico



Associato a European Association of Geoscientists and Engineers
Geophysical Division al n.M1987-093

Ottobre 2023

GEORISORSE ITALIA di G. Censini & C. s.a.s
Prospezioni geofisiche per l'esplorazione, la caratterizzazione e lo studio del sottosuolo
Via E. Fermi, 8 – 53048 SINALUNGA (SI)
Tel. 0577.67.99.73

www.georisorse.it – info@georisorse.it– georisorse.italia@pec.it

1983 - 2023
GEORISORSE ITALIA
Quarant'anni di esplorazione geofisica del sottosuolo

Contenuto

1. PREMESSA	3
2. SCOPO DEL LAVORO E QUADRO GEOLOGICO	5
3. ATTIVITÀ SVOLTE.....	7
4. MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)	8
4.1 METODOLOGIA	8
4.2 SISTEMA D'ACQUISIZIONE.....	11
4.3 ELABORAZIONE DATI.....	12
5. PRESENTAZIONE E CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI.....	16

RAD (Responsabile Acquisizione Dati)	RED (Responsabile Elaborazione Dati)	QC (Responsabile Controllo Qualità)
Dr Matteo Censini	D.ssa Chiara Amerighi	D.ssa Giulia Censini

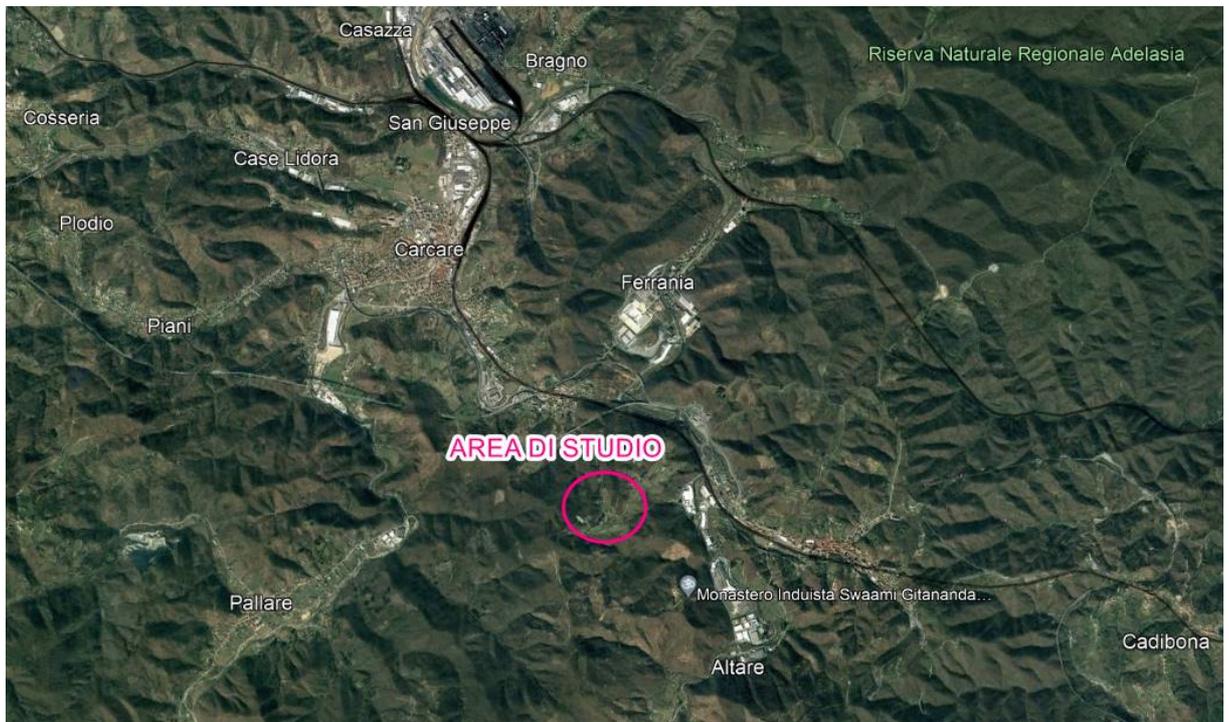
Committente: 	FSRU-ALTO TIRRENO INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI COLLEGAMENTO DALL'IMPIANTO PDE ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI DN 750 (30"), DP 75 BAR PIDI N°2	 Rapporto n. 2779/23 Pag. 3 / 17
---	---	--

1. PREMESSA

Nell'ambito della Convenzione SAIPEM SpA - INGEGNERIA FANO (Committente) e GEORISORSE ITALIA (Contrattista) - rif. Conv. N. 5000044772 e Ordine di Lavoro No. 31557708 dell'10/10/2023 – nel mese di Ottobre 2023 è stata eseguita un'indagine geofisica di tipo MASW per il progetto di collegamento dall'impianto PDE alla rete Nazionale gasdotti DN 750 (30"), DP 75 bar nel Comune di Carcare, dove è in programma il ricollegamento all'impianto di regolazione di Carcare (PIDI 2).

Nello specifico è stata eseguita una prova MASW denominata **VL-A-M12**.

La zona in esame è riportata nelle seguenti immagini aeree estratte da Google Earth, le quali, a diverso grado di dettaglio, permettono di identificare l'area in oggetto.



Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------



<p>Data Ottobre 2023</p>	<p>2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc</p>	<p>Approvato: gfc</p>	<p>Rev. 00</p>
-------------------------------	---	----------------------------	---------------------

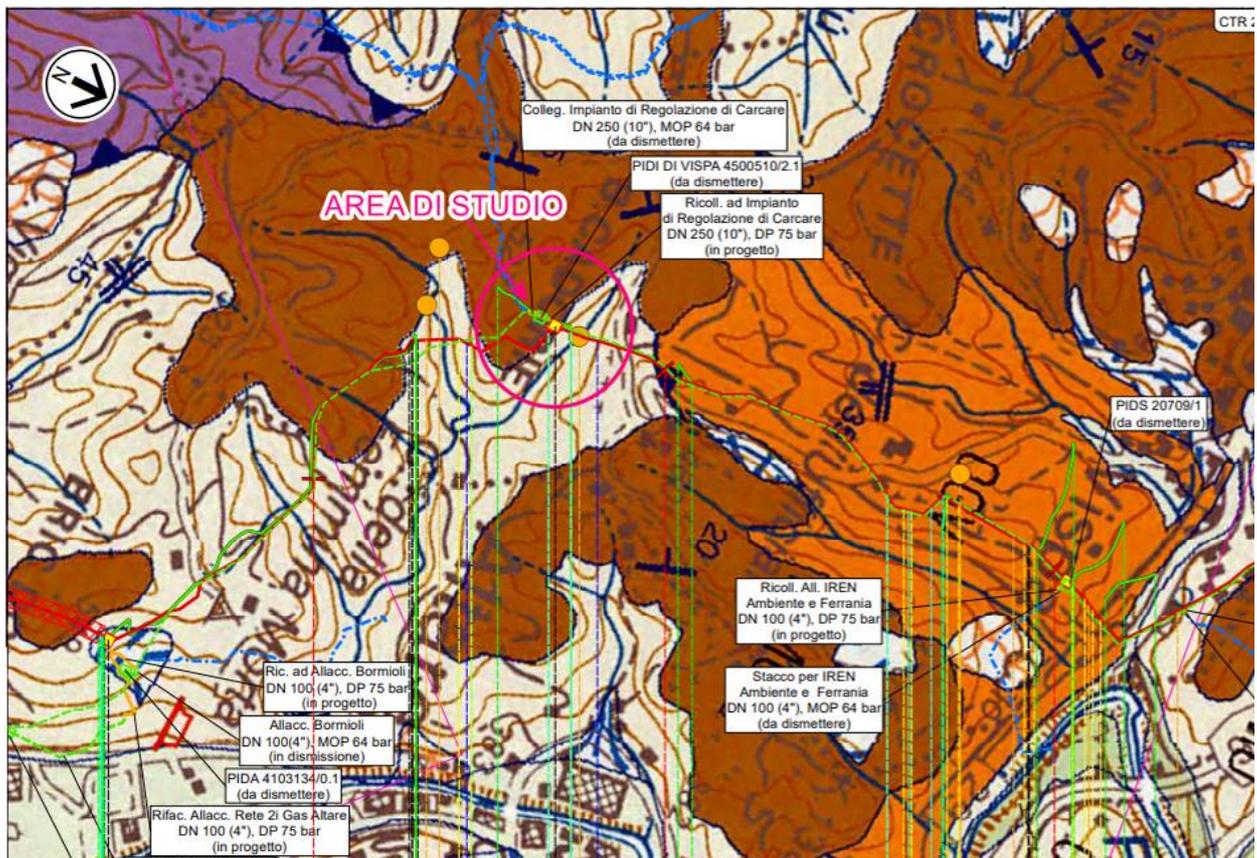
2. SCOPO DEL LAVORO E QUADRO GEOLOGICO

L'indagine geofisica è stata eseguita con lo scopo di caratterizzare simicamente il sottosuolo dell'area di studio ai sensi della vigente normativa, nonché evidenziare la possibile esistenza di situazioni anomale.

Dal punto di vista geologico l'area in oggetto è interessata dalla presenza dell'unità conglomeratica arenacea della *Formazione di Molare (MORb)* poggiate sul substrato pre-oligocenico, in contatto con il basamento cristallino, rappresentato dalla (FMU), appartenente al Dominio Brianzonese.

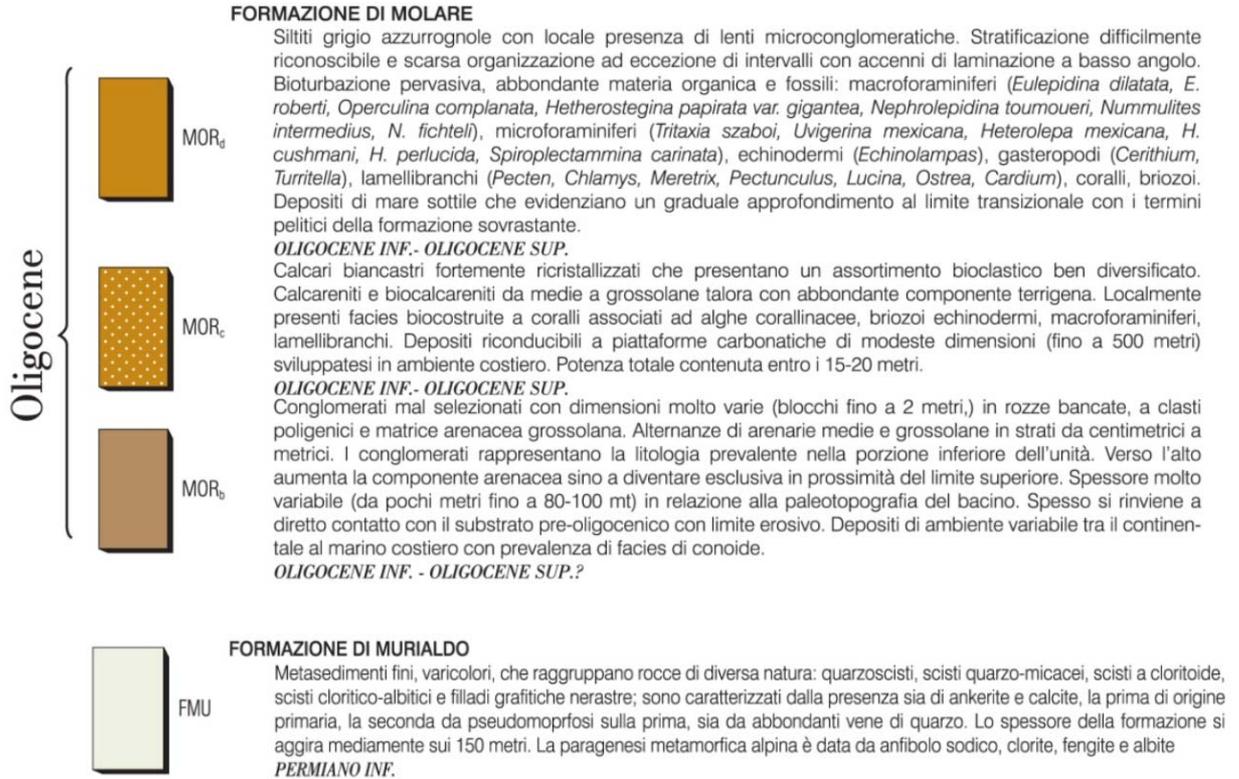
Di seguito la Carta Geologica Fornitaci dalla Committenza con indicate le suddette formazioni.

CARTA GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICA



Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------

Committente: 	FSRU-ALTO TIRRENO INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI COLLEGAMENTO DALL'IMPIANTO PDE ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI DN 750 (30"), DP 75 BAR PIDI N°2	 Rapporto n. 2779/23 Pag. 6 / 17
---	---	--



Il presente rapporto contiene, oltre all'indicazione delle attività svolte, la descrizione delle metodologie d'indagine, le tecniche di elaborazione, i criteri di interpretazione ed i risultati conseguiti anche in rapporto alle conoscenze geologiche della zona.

Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------

3. ATTIVITÀ SVOLTE

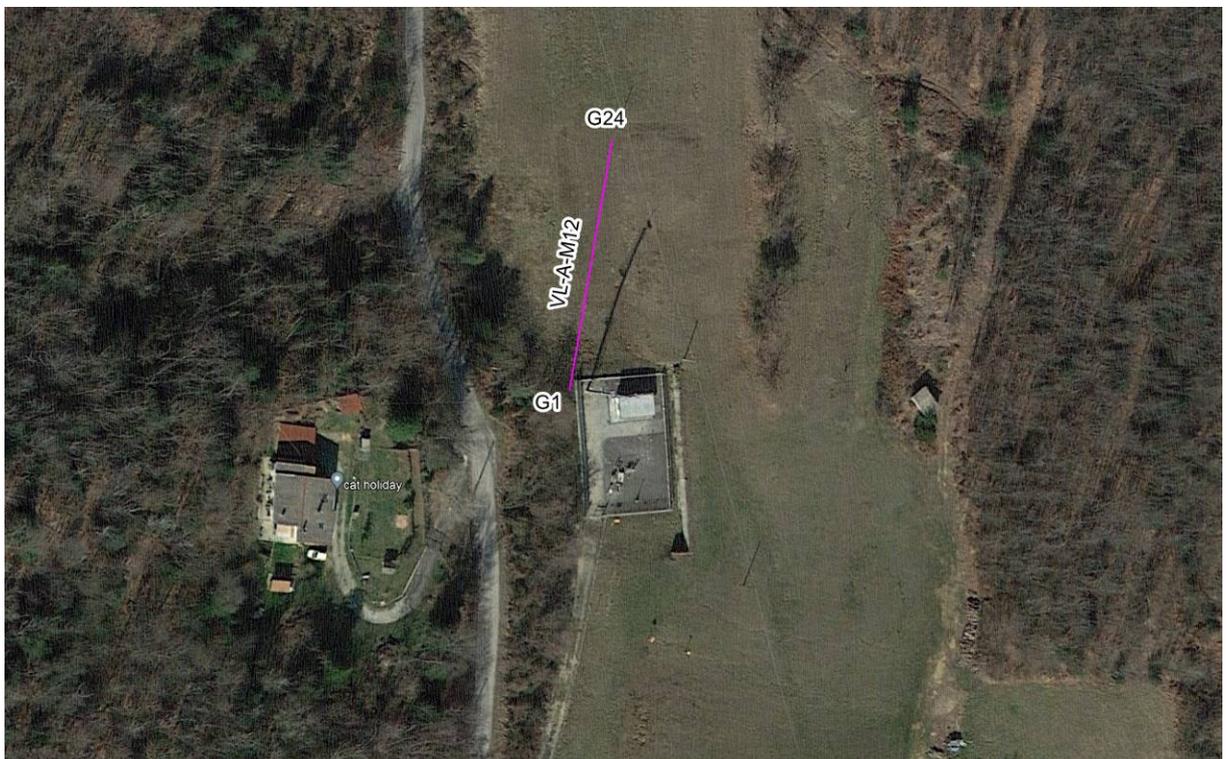
L'area oggetto di studio è stata indagata mediante l'esecuzione di n.1 prova MASW della lunghezza di 48m, e distanza dei geofoni pari a 2m; in tabella si riportano le informazioni relative alla prova eseguita.

FSRU ALTO TIRRENO - VISPA					
<i>Sigla Profilo</i>	<i>N° Geofoni</i>	<i>Lunghezza</i>	<i>Quantità da Contabilizzare</i>	<i>Orientamento profilo</i>	<i>Distanza Geofoni</i>
VL-A-M12	24	48m	n.1 Prova	Longitudianle	2 m
TOTALE		48m	n.1 Prove		

Nella tabella che segue si riportano le coordinate di inizio e fine, in UTM-WGS84, della MASW VL-A-M12.

#ID	UTM Coord Inizio	UTM Coord Fine
VL-A-M12	445202, 4909676	445210, 4909721

Nelle immagini che seguono si riporta il piano di posizione della prova in sovrapposizione alla foto aerea (Google Earth).



Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------

Committente: 	FSRU-ALTO TIRRENO INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI COLLEGAMENTO DALL'IMPIANTO PDE ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI DN 750 (30"), DP 75 BAR PIDI N°2	 Rapporto n. 2779/23 Pag. 8 / 17
---	---	--

4. MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

4.1 METODOLOGIA

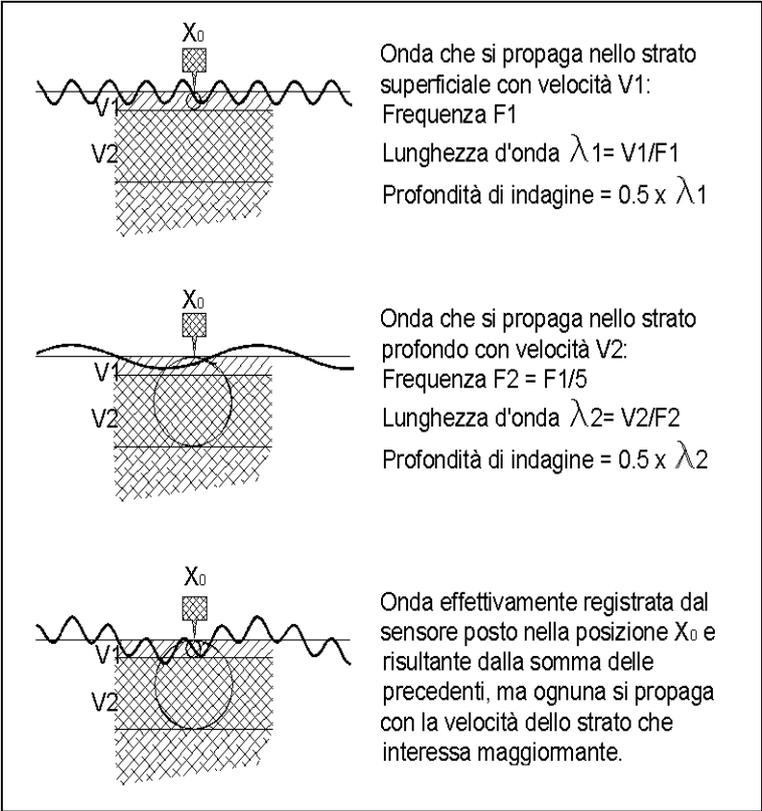
Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine sismica attiva di recente introduzione (Parker, Miller e Xia - 1999) che, attraverso l'analisi di onde superficiali di tipo Rayleigh registrate contemporaneamente da 12 o più sensori (geofoni o accelerometri), mira ad ottenere profili VSv-Z (velocità delle onde di taglio verticali – profondità) mono o bidimensionali. Nel dettaglio la perturbazione sismica viene generata da una massa battente, costituita da una mazza o da un grave in caduta libera, e registrata da uno stendimento lineare di sensori.

Nella prospezione MASW è particolarmente importante l'uso di una sorgente di energia idonea a generare onde a bassa frequenza con λ paragonabili alla lunghezza dello stendimento, ossia alla profondità massima che vogliamo investigare. E'fondamentale, inoltre, adottare una distanza intergeofonica piccola (preferibilmente inferiore o uguale ai 2.5m) in modo da avere informazioni anche sulle porzioni di terreno più superficiali. Ad esempio, un interspazio tra i geofoni di 5 metri non consentirebbe di avere adeguate informazioni sulla stratigrafia dei primi 5 metri di profondità. Inoltre, un'eccessiva distanza tra i geofoni (ossia un basso numero di geofoni per una certa distanza) ridurrebbe la "ridondanza", cioè quel fenomeno che permette di registrare la stessa frequenza da più stazioni e consente di avere un migliore rapporto segnale/rumore e quindi una migliore definizione della curva di dispersione ottimale.

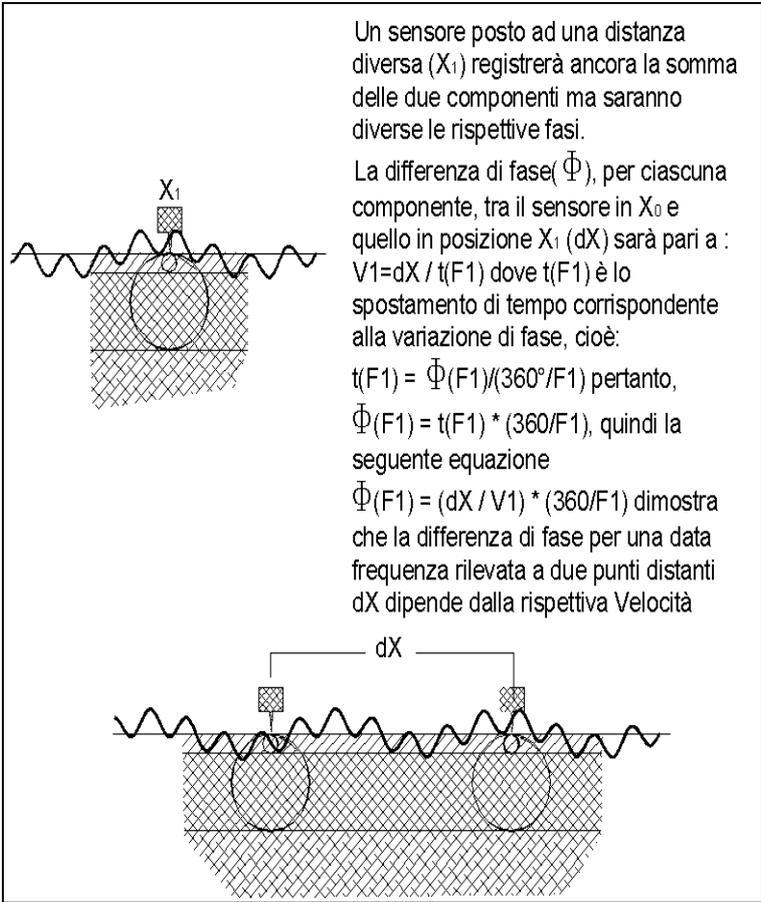
Questa metodologia di indagine geofisica si basa sulla constatazione che la velocità di propagazione delle onde superficiali non è costante al variare della frequenza delle onde stesse: questa osservazione trova giustificazione nel fatto che la sollecitazione su una parte infinitesima del terreno, durante la propagazione di un'onda superficiale, segue una traiettoria circolare con oscillazione ritmica rispetto ad un punto centrale che rimane fermo.

Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------

Appare evidente, quindi, che onde di lunghezza più grande interessano zone più profonde di quanto non accada per oscillazioni a lunghezza d'onda inferiore. Nelle figure seguenti si rappresenta graficamente questo fenomeno:



Sperimentalmente si osserva che i segnali registrati in un punto diverso non sono solo attenuati dalla distanza dal punto sorgente, ma hanno anche differenti sfasamenti delle varie componenti.



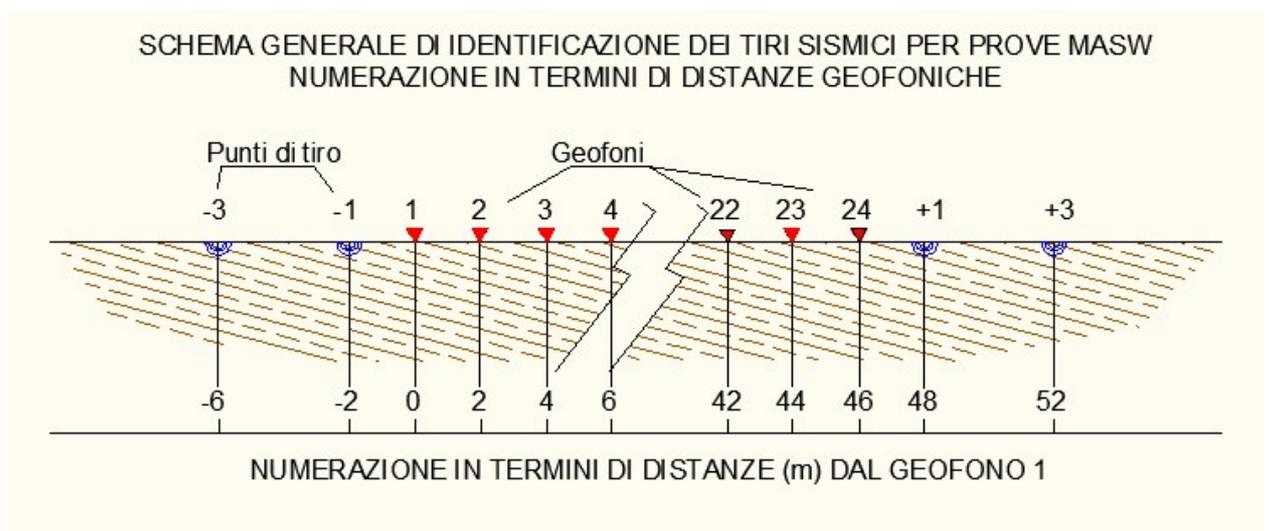
Tenendo conto che un segnale sismico generato artificialmente (mediante un colpo di un martello, ad esempio) ha un contenuto in frequenza ampio, un terreno stratificato con materiali di differenti caratteristiche, quindi, si comporterà come un filtro, separando le varie componenti che si propagheranno nei vari strati con le velocità caratteristiche, dipendenti essenzialmente dai parametri di elasticità degli stessi e dalla densità in situ del materiale.

4.2 SISTEMA D'ACQUISIZIONE

Le operazioni di acquisizione dati si sono svolte il giorno 4 Ottobre 2023, utilizzando un sismografo digitale DAQ-Link III della Seismic Source, 24 geofoni verticali Mark-Products a 4.5 Hz.

Come sorgente energizzante per le onde di Rayleigh è stata utilizzata una mazza da 11 kg con impatto su una lastra di gomma per ridurre la componente ad alta frequenza.

Le prove MASW sono state realizzate con distanza intergeofonica pari a 2 metri, per un totale di 48 metri di profilo. I dati sono stati acquisiti in 4 differenti configurazioni rispetto al dispositivo di geofoni suddetto come da schema seguente.

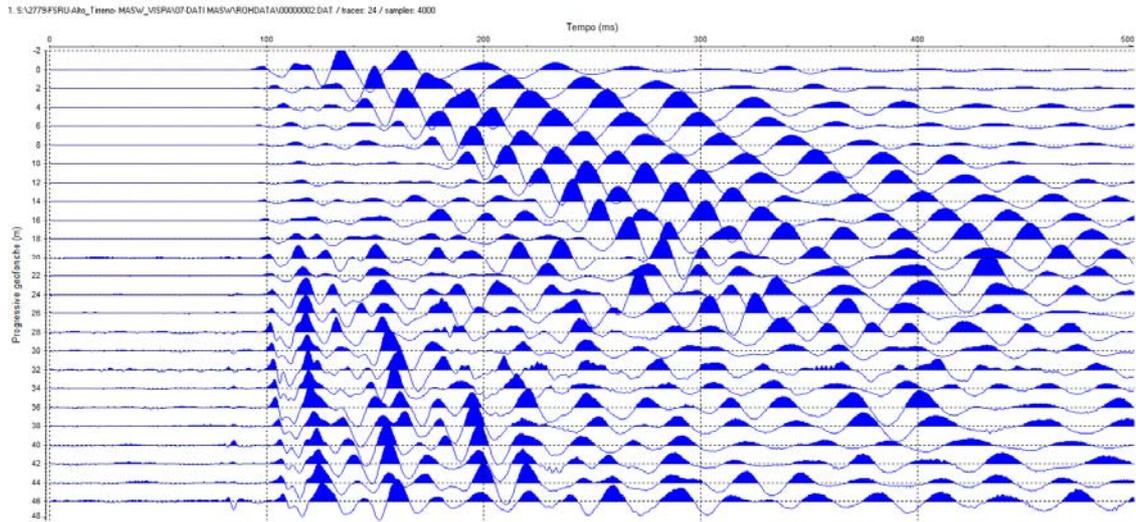


Nelle immagini seguenti, infine si riportano i sismogrammi dei primi 500 msec dei 2000 acquisiti ed analizzati per la caratterizzazione sismica ai sensi della vigente normativa, scelti come rappresentativi del sito.

Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------

VL-A-M12

Tiro a distanza -6m dal primo geofono



Il processing dei dati è stato eseguito con il programma “Geopsy Pack 2.5.0”, che consente l'estrazione delle curve di dispersione, dalla cui inversione si ottengono i profili di velocità delle onde SV.

4.3 ELABORAZIONE DATI

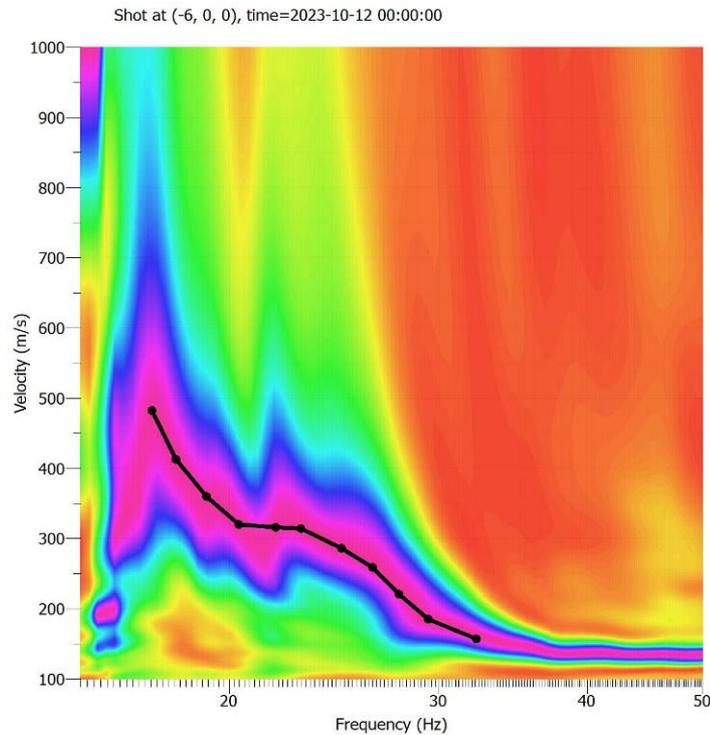
Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di file in formato SEG 2.

L'elaborazione MASW si effettua attraverso le seguenti fasi principali:

- Importazione dei dati.
- Generazione, utilizzando il modulo geopsy (Linear FK for active experiments), di un'immagine di dispersione nel dominio frequenza/velocità di fase.
- Picking della curva di dispersione rappresentante la variazione della velocità di fase in un range di frequenza scegliendo per le varie frequenze i punti indicativi delle velocità per le quali lo spettro presenta i massimi valori.

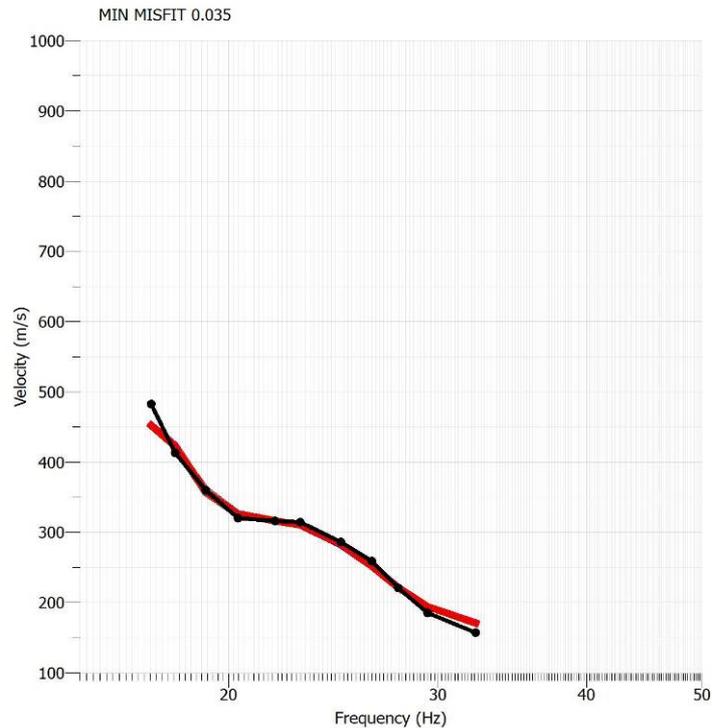
<p>Data Ottobre 2023</p>	<p>2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc</p>	<p>Approvato: gfc</p>	<p>Rev. 00</p>
-------------------------------	---	----------------------------	---------------------

Di seguito si riporta l'immagine relativa al picking della curva di dispersione ottenuta per la MASW VL-A-M12, nei ranges di frequenze in cui i segnali erano accettabili.



- Quindi, utilizzando il modulo “dinver” si imposta una stratigrafia consona con le caratteristiche geologiche della zona oggetto di studio.
- Infine si procede all’inversione ed ottimizzazione della stratigrafia fino ad ottenere il “best fit”. Si tratta, essenzialmente, di un metodo iterativo con il quale il programma compara le curve di dispersione estratte (sperimentali) con delle curve teoriche per la ricerca della curva di dispersione ottimale, usando il parametro “Misfit” come guida e constrain. In pratica le iterazioni continuano automaticamente fino a che non viene raggiunto il minimo Misfit, ovvero il “best fitting” tra curva sperimentale e curva teorica.

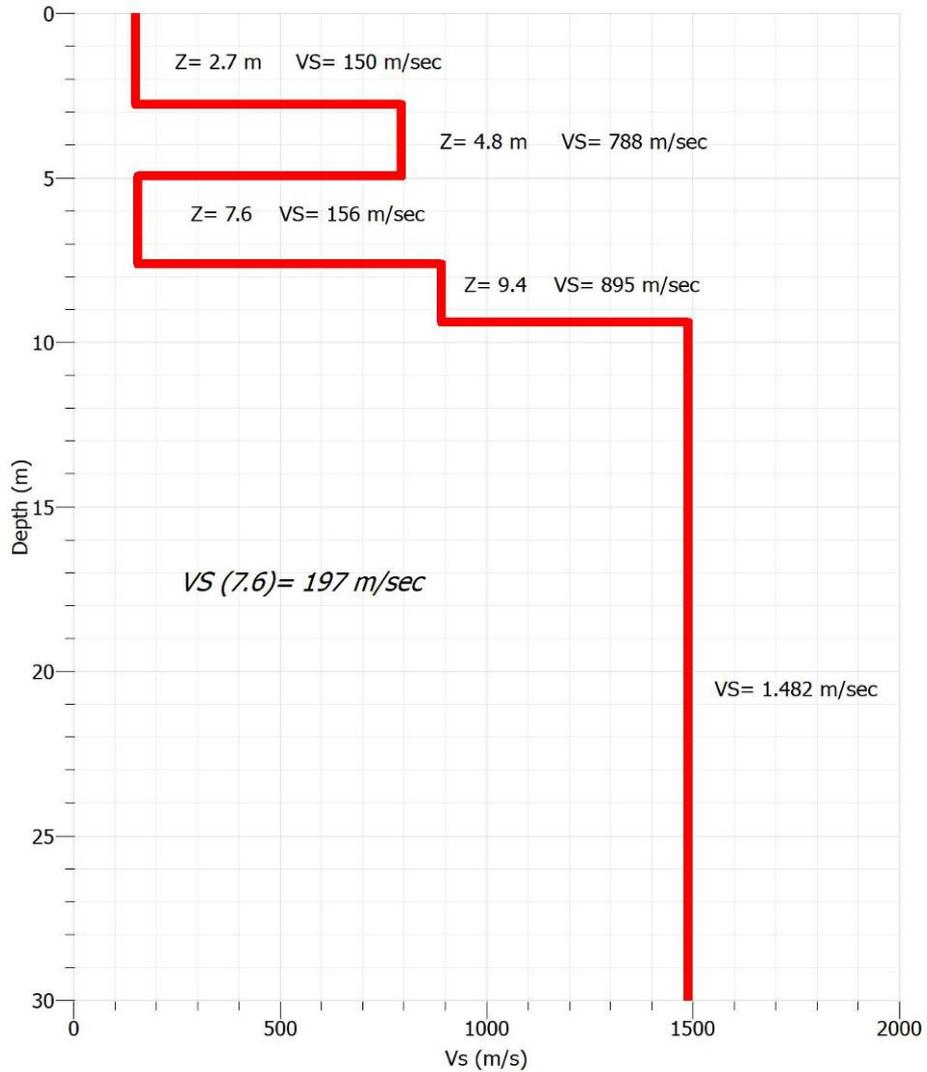
Di seguito si riporta l'immagine del grafico relativo al "best-fitting" della curva di dispersione sopra riportata con il modello stratigrafico ipotizzato sulla base delle informazioni ottenute dalle indagini sismiche e geoelettriche e dei sondaggi geognostici eseguiti nelle vicinanze.



Il risultato finale del processo di elaborazione è un profilo VSv-Z (velocità delle onde di taglio verticali – profondità). Di seguito si riporta il modello ottenuto dove la linea rossa indica il modello con il miglior Misfit (best-fit).

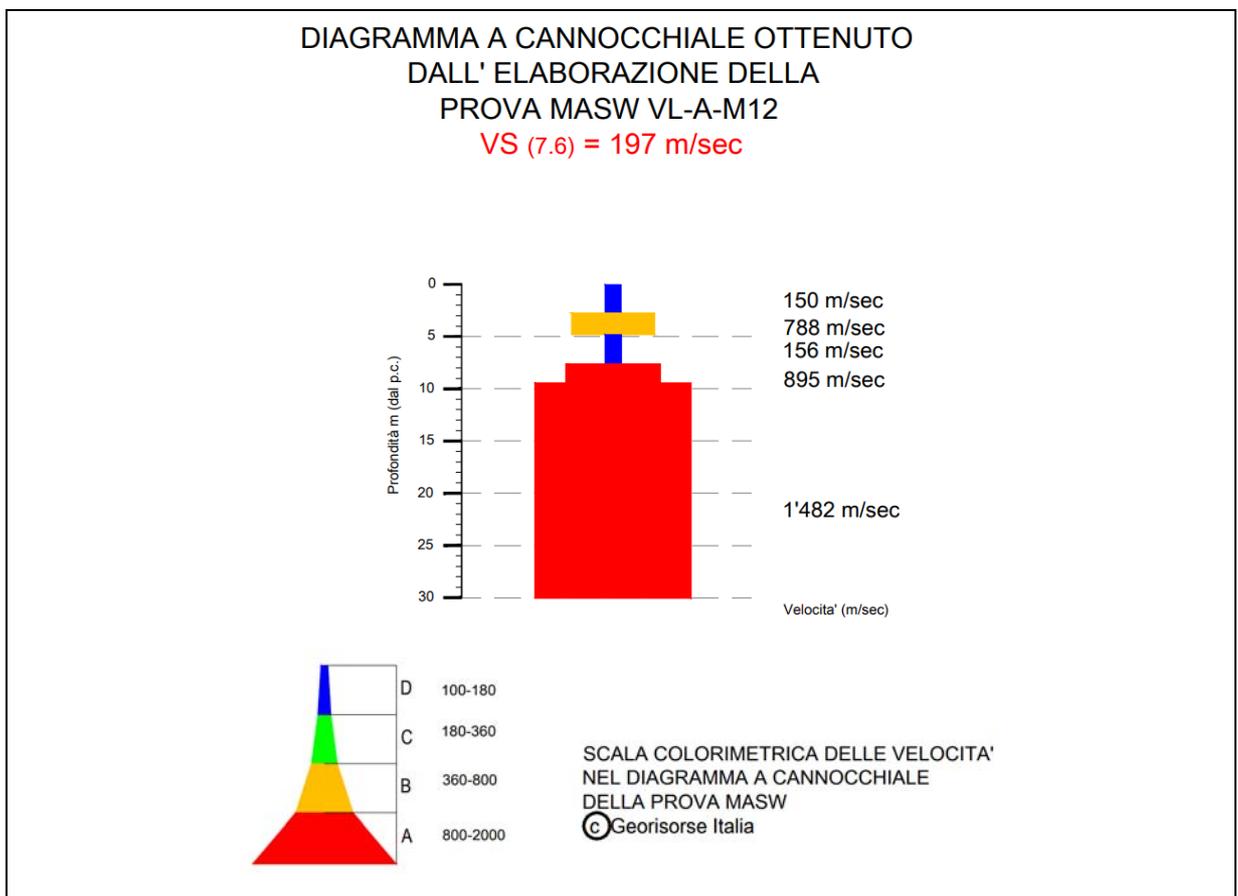
Il risultato finale del processo di elaborazione è un profilo VSv-Z (velocità delle onde di taglio verticali – profondità).

Di seguito si riporta il modello ottenuto dove la linea rossa indica il modello con il miglior Misfit (best-fit).



5. PRESENTAZIONE E CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'elaborazione della prova MASW è emersa la presenza di un substrato sismico alle profondità di 7.6m, come mostrato anche dal **"diagramma a cannocchiale"** redatto, in cui lo spessore della linea è direttamente proporzionale alla velocità dello strato e le colorazioni rispecchiano i range della normativa in vigore per la classificazione dei terreni, e la relativa scala cromatica.



Il processo di elaborazione della MASW ha portato ad una successione stratigrafica rappresentata da uno strato, spesso 7-7.5m, caratterizzato da VS generalmente inferiori a 200 m/sec, interrotto da uno strato molto più veloce, spesso circa 2m, probabilmente rappresentato da una bancata arenacea più competente.

Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------

Committente: 	FSRU-ALTO TIRRENO INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA PER IL PROGETTO DI COLLEGAMENTO DALL'IMPIANTO PDE ALLA RETE NAZIONALE GASDOTTI DN 750 (30"), DP 75 BAR PIDI N°2	 Rapporto n. 2779/23 Pag. 17 / 17
---	---	---

Il substrato sismico, caratterizzato da VS superiori o uguali a 800 m/sec è emerso alla profondità di 7.6m, e si ritiene possa essere rappresentato dalla formazione arenacea massiva compatta, in contatto con la formazione del basamento cristallino. Quest'ultimo potrebbe trovarsi ad una profondità di circa 10m dal p.c., caratterizzato da VS superiori a 1.000 m/sec.

Da quanto emerso si ritiene che il terreno di fondazione rientri in **Categoria E**, *“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”*, come mostrato dal valore di VS equivalente ottenuto e sotto riportato:

# ID	VSeq
VL-A-M12	VS _{7.6} = 197 m/sec

Dott. Geol. Gianfranco Censini
 Sinalunga, Ottobre 2023



Data Ottobre 2023	2779-FSRU-Alto Tirreno-Vispa MASW 2023.10.19_DM.doc	Approvato: gfc	Rev. 00
----------------------	--	-------------------	------------