

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 1 di 31	<b>Rev.</b> 0

## ALLEGATO 1

### REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE

INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS NELLA CENTRALE DI STOCCAGGIO GAS DI SERGNANO (CR)



	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 2 di 31	<b>Rev.</b> 0

## INDICE

<b>1. SCOPO DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ELABORATI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIZIONE DEL SITO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. CONTESTO GEOLITOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>5. CAMPAGNA INDAGINI .....</b>	<b>7</b>
<b>6. PROVE GEOTECNICHE IN SITO .....</b>	<b>8</b>
6.1 ISPEZIONE PRELIMINARE DEI SITI DA INVESTIGARE .....	8
6.2 SONDAGGI MECCANICI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	8
6.3 PROVE PENETROMETRICHE S.P.T. (STANDARD PENETRATION TEST).....	10
6.4 MISURE PIEZOMETRICHE .....	11
<b>7. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO .....</b>	<b>12</b>
<b>8. CAMPAGNA GEOFISICA .....</b>	<b>14</b>
8.1 INTRODUZIONE .....	14
8.2 INDAGINE GEOELETRICA .....	16
8.2.1 <b>Metodo della resistività</b> .....	16
8.2.2 <b>Processo di elaborazione dei modelli</b> .....	18
8.2.3 <b>Strumentazione utilizzata</b> .....	18
8.2.4 <b>Interpretazione</b> .....	21
8.3 INDAGINE SISMICA MASW .....	22

	<b>PROGETTISTA</b> 	COMMESSA	CODICE TECNICO
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 3 di 31	<b>Rev.</b> 0

## 1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha come scopo la caratterizzazione geolitologica e sismica a supporto del progetto ingegneria di base/feed e per enti per la progettazione di nuovi Clusters nella centrale di Stocaggio gas di Sergnano (CR).

Le indagini geognostiche e geofisiche sono state ubicate in quelle aree ritenute più significative sotto il profilo progettuale e sono state così di seguito articolate:

- sondaggi geognostici;
- prelievo di campioni del terreno di tipo indisturbato e rimaneggiati;
- Prove SPT
- analisi e prove di laboratorio
- indagine geoelettrica
- indagine sismica MASW

Le indagini e il presente lavoro sono stati condotti in conformità con quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 gennaio 2018) e circolari applicative emesse successivamente. Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018

## 2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Documenti di progetto:

- 0193-00-BASF-33147 Specifica per la fornitura delle indagini geotecniche
- 0193-00-BADG-33167 Planimetria Generale 1:5000
- 0193-00-BADG-33168 Planimetria Generale 1:5000 con PRG
- 0193-00-BTDG-12479 Planimetria Suddivisione Aree - Centrale di Stocaggio
- 0193-00-BTDG-12481 Planimetria Generale - Cluster "A"
- 0193-00-BTDG-12483 Planimetria Generale - Cluster "B-1"
- 0193-00-BTDG-12523 Planimetria Generale - Cluster "B-2"
- 0193-00-BTDG-12485 Planimetria Generale - Cluster "C"
- 0193-00-BTDG-12487 Planimetria Generale - Cluster "D"
- 0193-00-BTDG-12489 Planimetria Generale - Cluster "E"

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 4 di 31	<b>Rev.</b> 0

### 3. DESCRIZIONE DEL SITO

L'impianto di proprietà Stogit è ubicato nel comune di Sergnano (CR). In Figura 3.1 e Figura 3.2 sono riportate foto aeree delle aree di interesse. Il progetto prevede la realizzazione di n°6 nuovi clusters denominati A,B,C,D,E,F e delle nuove linee di collegamento tra clusters e centrale di trattamento gas.

Secondo la carta di pericolosità sismica locale, l'area in esame risulta classificata come Z3 (zona a sismicità bassa).



Figura 3.1:Foto aerea della ubicazione dei nuovi Clusters (Google Earth)

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 5 di 31	<b>Rev.</b> 0



Figura 3.2:Foto aerea della ubicazione dei nuovi Clusters (Google Earth)

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 6 di 31	<b>Rev.</b> 0

#### 4. CONTESTO GEOLITOLOGICO

L'area di progetto ricade nella media Pianura Padana, nel settore nord-occidentale della provincia di Cremona, appena a occidente dell'abitato di Sergnano, limitrofa al Campo di Stoccaggio Gas. Rientra nel Foglio C6b3 della Carta Tecnica della Regione Lombardia in scala 1:10.000. I terreni sono in parte adibiti a coltivazione agricola (campi di mais), in parte incolti, comunque a vocazione rurale.

La Piana pertinente al territorio di Sergnano è caratterizzata da superfici pianeggianti o a debole ondulazione, legate ai processi fluvio-glaciali e alluvionali recenti che hanno interessato l'area durante il quaternario. In particolare, il settore di interesse rientra nella Pianura Terrazzata (denominata anche "Livello Fondamentale della Pianura"), di genesi wurmiana, che rimane più sollevato rispetto ai livelli alluvionali recenti della valle del Fiume Serio, il cui alveo attuale decorre in direzione nord-sud a circa 1.2 km a est del sito di intervento. La valle attuale del Fiume Serio si raccorda con il Livello Fondamentale della Pianura mediante scarpate di erosione fluviale più o meno marcate.

Dal punto di vista genetico i terreni che costituiscono la Pianura Terrazzata sono ascrivibili ai processi di forte aggradazione prodottosi durante l'ultima glaciazione quaternaria. Nell'area di interesse sono costituiti da termini prevalentemente grossolani, quindi da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie, con locali intercalazioni di lenti e orizzonti limosi e limoso-argillosi, comunque tali depositi sono interessati da importanti variazioni laterali delle litologie.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area della media pianura del livello fondamentale, in cui è ascrivibile la zona di indagine, si colloca tra il livello superiore e quello inferiore dei "fontanili", quindi interessata da emergenze sorgentizie diffuse, governate da una fitta rete di canalizzazioni antropiche, utilizzate sia a scopo di bonifica che di irrigazione. In ogni caso la profondità del livello freatico è da considerarsi sub-superficiale, quindi ai fini delle indagini geoelettriche, tale condizione determina un effetto di stabilizzazione dei valori della resistività elettrica, soprattutto all'interno dei terreni grossolani.

Nell'area di interesse, i sondaggi a carotaggio continuo realizzati e spinti fino a 20 m di profondità, hanno messo in luce la presenza di un orizzonte di 3.5-4.0 m caratterizzato da litologie medio-fini (sabbie limose e argille limose) poggianti su termini prettamente psammitici, prevalentemente costituiti da sabbie ghiaiose, ghiaie sabbiose, localmente con matrice limosa.

Le stese elettrode per le indagini geoelettriche sono state eseguite da sud verso nord, per una lunghezza complessiva di 1000 m; avendo la piana una leggera pendenza verso sud, le quote tra la parte iniziale del profilo e quella terminale, sono comprese da 89.0 a 91.4 m.s.l.m.

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 7 di 31	<b>Rev.</b> 0

## 5. CAMPAGNA INDAGINI

In corrispondenza dell'area d'intervento sono stati eseguiti n° 2 sondaggi verticali a carotaggio continuo, rispettivamente denominati S1 e S2, in cui sono stati prelevati dei campioni di terreno indisturbati ed eseguite delle prove penetrometriche in foro del tipo S.P.T. (Standard Penetration Test).

Il sondaggio S2 inoltre è stato attrezzato, per eseguire misure in foro, con un piezometro a tubo aperto in PVC da 3". I sondaggi hanno permesso di evidenziare in modo dettagliato l'aspetto stratigrafico e le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti nell'area in esame.

In Tabella 5.1 è riportato il riepilogo delle indagini eseguite.

ID sondaggio	Tipo perforazione	profondità (m)	campioni n <sub>c</sub> indisturbati	campioni n <sub>c</sub> rimaneggiati	Prove in foro n. SPT	Misure piezometriche
S1	Carotaggio continuo	20	1	2	3	-
S2		20	1	2	3	Piezometro a tubo aperto

Tabella 5.1: Riepilogo delle indagini eseguite

ID	Profondità prelievo Campioni Indisturbati (m)	Profondità prelievo Campioni rimaneggiati (m)	Profondità prove S.P.T
S1	2,20-2,70	9,70-10,00 12,00-12,30	3,00-3,45 8,00-8,45 12,55-13,00
S2	1,50-1,95	7,70-8,00 10,00-10,30	1,95-2,40 6,00-6,45 14,55-15,00

Inoltre sono state eseguite delle prove geofisiche in superficie come di seguito indicate:

- n° 1 indagine geoelettrica;
- n° 1 stesa sismica attiva del tipo MASW.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 8 di 31	<b>Rev.</b> 0

## 6. PROVE GEOTECNICHE IN SITO

### 6.1 Ispezione preliminare dei siti da investigare

Prima di posizionare l'attrezzatura di perforazione in corrispondenza dei siti da investigare è stata eseguita una campagna di indagini preliminari con lo scopo di verificare l'eventuale presenza di sottoservizi. Le perforazioni denominate S1 ed S2 sono state precedute dalla realizzazione di un prescavo; il *prescavo è stato eseguito manualmente* adoperando la massima cura al fine di individuare e mettere allo scoperto le eventuali reti di servizio o i manufatti presenti nel sottosuolo.

### 6.2 Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

La finalità delle indagini in sito è stata quella di ricostruire le principali caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, con particolare riferimento alla natura litologica e geotecnica dei terreni attraversati. E' stato possibile avere utili informazioni circa lo spessore degli strati e le loro caratteristiche strutturali ed idrogeologiche.

Esse sono state eseguite con l'ausilio di una sonda oleodinamica (modello *Beretta T45*), il cui tiro e la cui spinta sono assicurati da un motore oleodinamico con trasmissione a catena; la morsa è di tipo doppio con sistema di controllo oleodinamico.

<b>Sonda oleodinamica BERETTA T45</b>	
<p><b>BERETTA T45</b>  <i>Velocità di Rotazione:</i> 0 ~ 100 rpm;  <i>Motore potenza:</i> 100 hp a 2600 rpm;  <i>Coppia Massima:</i> 600 kgm;  <i>Corsa Utile:</i> 3300 mm;  <i>Spinta sull'utensile:</i> 2600 Kg;  <i>Tiro:</i> 3800 kg;  <i>Pompe Acqua Bellini NG 500 L:</i> 120 lt a 20 bar;  <i>Scarotatrice:</i> 15 lt a 150 bar.</p>	

La perforazione a carotaggio continuo è stata eseguita al fine di conoscere, in modo completo, la stratigrafia del sottosuolo prelevando, senza soluzione di continuità, campioni litologicamente rappresentativi del terreno (carote) lungo le verticali investigate. Il materiale prelevato durante le perforazioni è stato depositato, in modo continuo ed ordinato, in apposite cassette catalogatrici in PVC. Ogni singola cassetta catalogatrice avente 5 scomparti, ciascuno di lunghezza pari ad 1 m, è stata siglata temporaneamente con

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 9 di 31	<b>Rev.</b> 0

l'identificativo del sondaggio, la profondità di prelievo di riferimento, la profondità di esecuzione delle prove geotecniche in situ e la quota di prelievo dei campioni di terreno.

Per l'avanzamento della perforazione e per il prelievo dei campioni di terreno, sono stati utilizzati dei carotieri di tipo semplice costituiti da un tubo metallico cilindrico aventi diametri esterni di 101 mm e lunghezza pari a 3,00 m, aventi all'estremità inferiore una corona con inserti in Carburo di Tungsteno e provvisti, nella parte sommitale, di un dispositivo (valvola di ritenzione, estrattore e molla) che impediscono la perdita dei campioni (carote) di terreno prelevati durante le operazioni di risalita della batteria di aste (prolunghe). Alternativamente all'approfondimento del carotiere, è stato necessario porre in opera una colonna di tubi di rivestimento allo scopo di contenere la spinta laterale delle pareti del foro. Tali rivestimenti sono costituiti da tubi metallici cilindrici aventi diametro esterno di 127 mm e lunghezza pari a 1,50 m, muniti anch'essi all'estremità inferiore di un scarpa con inserti al Carburo di Tungsteno.

Nei terreni ove il carotaggio non ha determinato particolari problematiche le perforazioni sono state condotte a rotazione e carotaggio utilizzando il carotiere semplice Ø 101 mm con corona widia, prevalentemente "a secco" o con l'ausilio di minime quantità di fluido di circolazione. Nel corso dei sondaggi sono stati inoltre prelevati, a diverse profondità campioni di terreno indisturbati e rimaneggiati.

- Il prelievo dei *campioni indisturbati* è stato effettuato in modo da preservarne l'originaria struttura e consistenza del terreno. Per il prelievo dei campioni indisturbati è stato utilizzato un campionatore SHELBY con pareti sottili in acciaio, (fustella diametro: 88,9 mm). Il campionatore viene infisso a pressione nel terreno, l'acqua presente nel foro fuoriesce attraverso la valvola a sfera, mentre durante l'estrazione la valvola si chiude contribuendo a trattenere il campione prelevato. Estratta la fustella si provvede alla sigillatura della stessa, mediante copertura delle superfici esposte del campione con paraffina e successiva nastratura, per mantenere invariati il contenuto d'acqua e la struttura del terreno; immediatamente dopo il prelievo, essi sono stati posti in appositi sacchetti plastificati ove è stata indicata la denominazione del punto di indagine, la quota di prelievo, e la numerazione progressiva con prefisso CI
- Il prelievo dei *campioni rimaneggiati* è stato effettuato direttamente dalla cassetta catalogatrice avendo cura di prelevare una quantità rappresentativa così come previsto dalle raccomandazioni AGI; immediatamente dopo il prelievo, essi sono stati posti in appositi sacchetti plastificati ove è stata indicata la denominazione del punto di indagine, la quota di prelievo, e la numerazione progressiva con prefisso CR

Tutti i campioni sono stati opportunamente sigillati e successivamente, sono stati trasportati in laboratorio per l'esecuzione delle prove geotecniche previste.

I risultati delle prove e delle analisi eseguite sono riportate nell'Annesso 4 del presente report.

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 10 di 31	<b>Rev.</b> 0

### 6.3 Prove penetrometriche S.P.T. (Standard Penetration Test)

Le prove S.P.T. sono state eseguite seguendo le modalità standard suggerite dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) ed hanno fornito i dati necessari per determinare le caratteristiche meccaniche dei terreni. Si tratta di prove che vengono eseguite in avanzamento, durante il carotaggio continuo, sul fondo del foro di sondaggio adeguatamente pulito da eventuale materiale franato dalle pareti dello stesso. Tramite queste prove si ottengono dei valori quantitativi sulla resistenza del suolo alla penetrazione.

La resistenza alla penetrazione viene stimata in funzione del numero di colpi necessari ad infiggere nel terreno un particolare campionatore per due tratti consecutivi di lunghezza complessiva pari a 30 cm, tralasciando nella stima il primo tratto di penetrazione pari a 15 cm di lunghezza.

La prova consiste nel far cadere una massa (maglio a sganciamento a caduta libera), di peso pari a 63.50 Kg, da un'altezza standard di 76,2 cm su una batteria di aste di collegamento a sezione circolare ( $L = 3.00$  m,  $\varnothing = 50$  mm) che possiedono nella parte terminale un campionatore cilindrico. Si tratta di un apposito campionatore tipo Raymond a punta aperta che, penetrando nel terreno per mezzo della massa battente, consente di valutare la resistenza meccanica alla penetrazione (numero di colpi  $N$  necessario ad attraversare tre tratti da 15 cm ognuno, per una lunghezza totale di 45 cm).

L'esecuzione avviene secondo le modalità contenute nella normativa ASTM n° D 1586/68 e compresa nelle "Raccomandazioni ISSMFE" per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (1976).

Il numero di colpi  $N_{SPT}$  è la somma dei valori relativi agli ultimi due tratti di prova (30 cm) e consente la definizione, con buon grado di precisione, dei principali parametri meccanici del terreno; i valori riferiti ai primi 15 cm, generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione.

Per i terreni in cui si è registrato il rifiuto della prova non esistono in letteratura correlazioni con l'angolo di attrito  $e/o$  con la coesione. Indicativamente è possibile individuare un valore di massima ponendo in tale caso  $N_{SPT} = 50$ .

In Tabella 6.1 sono riportati i risultati delle prove SPTeffettuate.

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 11 di 31	<b>Rev.</b> 0

ID	Prof Sondaggio (m da p. c.)	Profondità prove S.P.T	N° colpi SPT PA Punta Aperta PC Punta Chiusa
S1	20	4,30-4,75 8,00-8,45 12,55-13,00	PA – 4-6-10 PA – 4-11-8 PA – 8-14-30
S2	20	1,95-2,40 6,00-6,45 14,55-15,00	PA – 4-7-8 PA – 7-10-10 PA – 10-15-32

Tabella 6.1: Risultati numero di colpi da prova SPT.

#### 6.4 Misure piezometriche

Nel foro di sondaggio S2 è stato installato un piezometro a tubo aperto per il monitoraggio e la misura periodica del livello della falda acquifera. Si tratta di una colonna di tubi in PVC rigido, microfessurati per il tratto in falda e ciechi per il rimanente tratto.

Durante la perforazione, il foro di sondaggio è stato rivestito con una tubazione provvisoria, di diametro utile pari al doppio del diametro dei tubi di misura adottati. Una volta eseguita la pulizia del foro, è stata inserita la colonna di tubi fino a fondo foro. L'intercapedine parete foro/colonna tubazione è stata riempita di materiale granulare (ghiaietto) in modo da realizzare un filtro poroso attorno al tratto della colonna finestrata. Il riempimento è stato eseguito ritirando la tubazione provvisoria mano a mano che dall'alto è stato inserito il ghiaietto di riempimento. Al termine della formazione del filtro è stato messo in opera un tappo impermeabile, formato da palline di bentonite e/o argilla opportunamente pestellata, allo scopo di separare la zona filtrante dal tratto di foro superficiale che è stato cementato. Il tubo piezometrico è stato protetto in superficie con un pozzetto metallico con coperchio a cerniera provvisto di lucchetto.

Nella Tabella 6.2 sono riportate le caratteristiche del piezometro.

ID	Profondità del sondaggio (m dal p.c.)	Profondità d'installazione (m)	Tratto cieco (m)	Tratto microfessurato (m)	Diametro	
					cm	Pollici
S2	20	20	0-8 17-20	8-17	7,62	3"

Tabella 6.2: Caratteristiche piezometro

La misura piezometrica eseguita in data 14.09.2021, mediante l'utilizzo di sonda freaticometrica dotato di segnalatore ottico ed acustico e con precisione del centimetro, ha rilevato la falda a 8.52 m da p.c.

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 12 di 31	<b>Rev.</b> 0

## 7. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

I campioni, prelevati durante la fase di perforazione, sono stati trasportati in laboratorio per essere sottoposti a prove geotecniche atte a definire le principali caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione.

Le prove hanno permesso di ricavare le caratteristiche fisiche, granulometriche e di consistenza dei terreni indagati. Sono state altresì programmate in laboratorio delle prove al fine di determinare i parametri meccanici e le resistenze al taglio in termini di tensioni efficaci ( $c', \phi'$ ) e in termini di tensioni totali ( $c_u, \phi_u$ ). Tutte le prove sono state eseguite adottando le procedure e le normative tecniche più ricorrenti (EN-UNI, ASTM, AGI 1977). I certificati di prova sono allegati al presente lavoro. Vengono di seguito riportata una tabella riepilogativa con i principali valori geotecnici dei terreni analizzati (Tabella 7.1).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 13 di 31	<b>Rev.</b> 0

Verbale accettazione N. 4527 del 28/09/2021

Committente: Technip Italy Direzione Lavori S.p.A.

Progetto / Lavoro: Progetto di fattibilità dei nuovi cluster della centrale Stogit di Sergnano

Località Prelievo Campione : Sergnano (CR)

Sond.	Camp.	prof. (m)	W	$\gamma$	$\gamma_s$	eo	n	Sr	granulometria				limiti			Taglio		Descrizione visiva	
			(%)	( $t/m^3$ )				(%)	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL	LP	Ic	CLASS. UNI 10006	c'		$\phi'$
																KN/m <sup>2</sup>	(°)		
S 1	C 1	2,20 - 2,70	27,48	1,92	2,73	0,81	0,45	92,29	0,42	5,59	46,17	47,82	38	21	0,61	A 6	--	--	Argilla limosa carbonatica a consistenza medio-plastica, di colore beige
S 1	CR 1	9,70 - 10,00	15,64	1,83	2,69	0,70	0,41	60,15	4,69	87,14	--	--	--	--	--	--	13	34	Sabbia poco limosa carbonatica di colore grigio - beige, a basso addensamento
S 1	CR 2	12,00 - 12,30	7,74	1,89	2,67	0,52	0,34	39,76	51,71	44,48	--	--	--	--	--	--	--	--	Sabbia con inclusi ciottoli di colore grigio - bruno a medio addensamento
S2	C 1	1,50 - 1,95	25,59	2,01	2,73	0,71	0,41	98,92	0,00	1,00	59,63	39,37	32	20	0,52	A 6	35	22	Argilla limosa di colore beige a bande grigie a media consistenza, a composizione carbonatica
S 2	CR 1	7,70 - 8,00	6,62	1,78	2,70	0,62	0,38	29,05	56,04	37,10	--	--	--	--	--	--	10	33	Sabbia poco limosa umida, carbonatica, a medio addensamento con inclusi ciottoli da millimetrici a centimetrici

Tabella 7.1: Risultati prove di laboratorio

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 14 di 31	<b>Rev.</b> 0

## 8. CAMPAGNA GEOFISICA

### 8.1 Introduzione

Oltre alle indagini di tipo diretto, quali i sondaggi geognostici a carotaggio continuo e le prove geotecniche di laboratorio menzionate nei paragrafi precedenti, sono stata eseguite indagini di tipo indiretto, attraverso una campagna di prospezioni geofisiche.

E' stata eseguita una indagine geofisica con metodo geoelettrico di resistività (Figura 8.1), finalizzata a ricostruire l'assetto litostratigrafico dei terreni nell'area in cui è prevista la realizzazione dell'intervento in progetto. L'indagine ha avuto come obiettivo principale quello di definire i caratteri litologici dei terreni fino a profondità di circa 80 m dal piano di campagna, definendo anche le condizioni idrauliche locali, in relazione alla presenza di condizioni di saturazione, rilevabili all'interno di terreni granulari (falda). A tale scopo sono state realizzate due stese multielettrodiche con lunghezze di 395 e 600 m, tra loro contigue, separate dalla sede stradale della SP55. Le linee elettrodiche sono state realizzate da elettrodi intervallati di 5.0 m, in maniera da coprire una lunghezza complessiva di 1000 m (Figura 8.2).

Una ulteriore indagine geofisica è stata eseguita con metodo sismico MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), al fine di avere indicazioni sui valori delle velocità delle onde di taglio dei terreni fino ad una profondità di circa 34 m e quindi, indirettamente, avere indicazioni sui caratteri di addensamento/consistenza dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area di progetto.



Figura 8.1:Acquisizione dei dati geoelettrici con georesistivimetro Abem LS2 – zona centrale -

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 15 di 31	<b>Rev.</b> 0

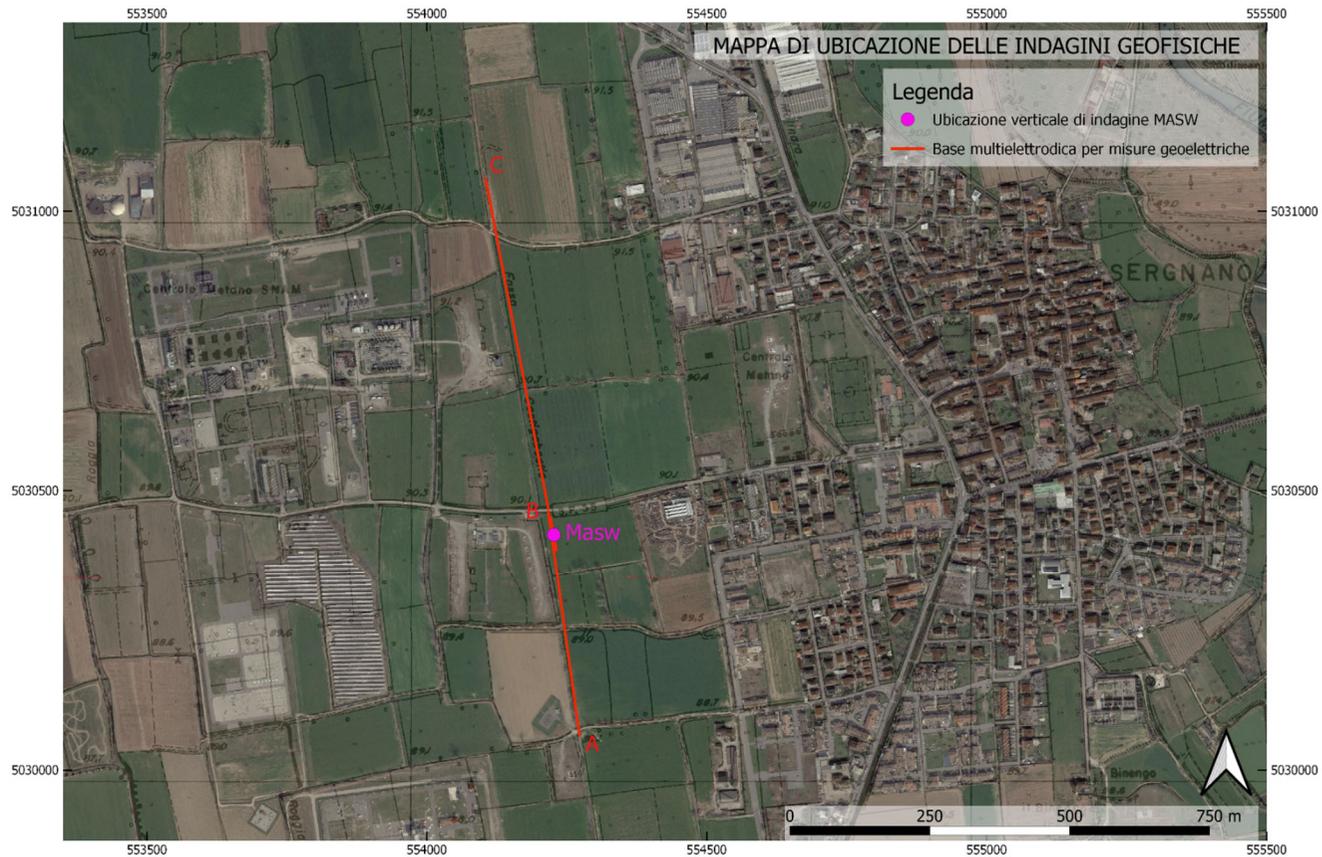


Figura 8.2: Ubicazione della stesa multielettroica per le misure di resistività e dell'indagine Masw

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 16 di 31	<b>Rev.</b> 0

## 8.2 INDAGINE GEOELETRICA

### 8.2.1 Metodo della resistività

Il metodo geoelettrico con misura della resistività si basa sulla misura della resistenza elettrica opposta dal terreno al passaggio di una corrente elettrica appositamente prodotta mediante l'ausilio di un apparato energizzante. Questo invia corrente con una certa potenza ad appositi elettrodi infissi nel terreno. Il potenziale elettrico generato dal campo così prodotto, viene misurato utilizzando altre coppie di elettrodi mediante l'uso di un potenziometro di alta precisione. Conoscendo la posizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli in cui viene misurata la differenza di potenziale (elettrodi di potenziale) sarà possibile calcolare la resistività apparente del terreno. Nel metodo multielettrodo si dispone di un adeguato numero di elettrodi che vengono alternativamente utilizzati sia come elettrodi di corrente che come elettrodi di potenziale, in maniera da ottenere un elevato numero di misure di resistività disposte lungo un allineamento in varie posizioni e profondità, in maniera da ottenere dei profili bidimensionali di resistività apparenti.

Per entrambe le stese elettrodoiche realizzate sono stati utilizzati otto canali di acquisizione simultanea dei valori di potenziale, energizzando su due elettrodi di corrente ed effettuando ogni lettura di potenziale generato su otto coppie di elettrodi con dispositivo di tipo multiple-gradient, dove le coppie di elettrodi di potenziale sono interni e non necessariamente simmetrici rispetto a quelli di corrente. Questo dispositivo è buon compromesso riguardo alla sensibilità al rilievo delle variazioni verticali e laterali di resistività.

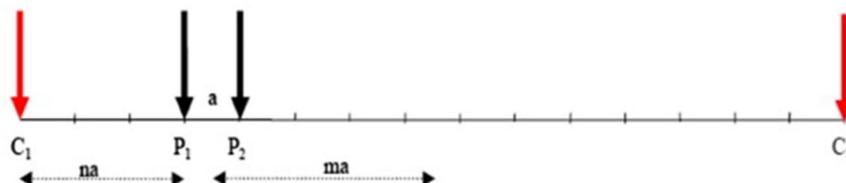


Figura 8.3: Dispositivo di misura Multiple Gradient

Le misure di campagna sono state realizzate in maniera automatica, ma con il costante controllo dei dati che venivano acquisiti. Il valore della corrente immessa è variato tra i 200 e 500 mA, solo localmente, la corrente immessa non ha superato i 100 mA.

La disposizione multielettrodoica utilizzata ha permesso, in fase di elaborazione, di operare a software al fine del calcolo delle resistività reali (inversione 2D), tale da fornire informazioni sulle resistività reali dei terreni per modelli bi-dimensionali (tomografie di resistività).

Nel contesto litologico in esame i valori di resistività saranno fortemente legati alla presenza di sedimenti fini all'interno del terreno. In particolare la presenza dell'argilla determina una rapida diminuzione della resistività, causata dalla conduzione delle cariche elettriche sulle superfici dei fillosilicati. In misura minore si riscontra anche per i limi, mentre in corrispondenza dei sedimenti grossolani (sabbie e ghiaie) c'è da aspettarsi valori di

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 17 di 31	<b>Rev.</b> 0

resistenza elettrica specificamente nettamente più elevate, in genere superiori ai 400  $\Omega\text{m}$ , quando anidre; mentre le condizioni di totale saturazione del terreno, come avviene a breve profondità nell'area di indagine, determinano una drastica riduzione delle resistività nei depositi più grossolani, portandosi in genere tra 100 e 250  $\Omega\text{m}$ .

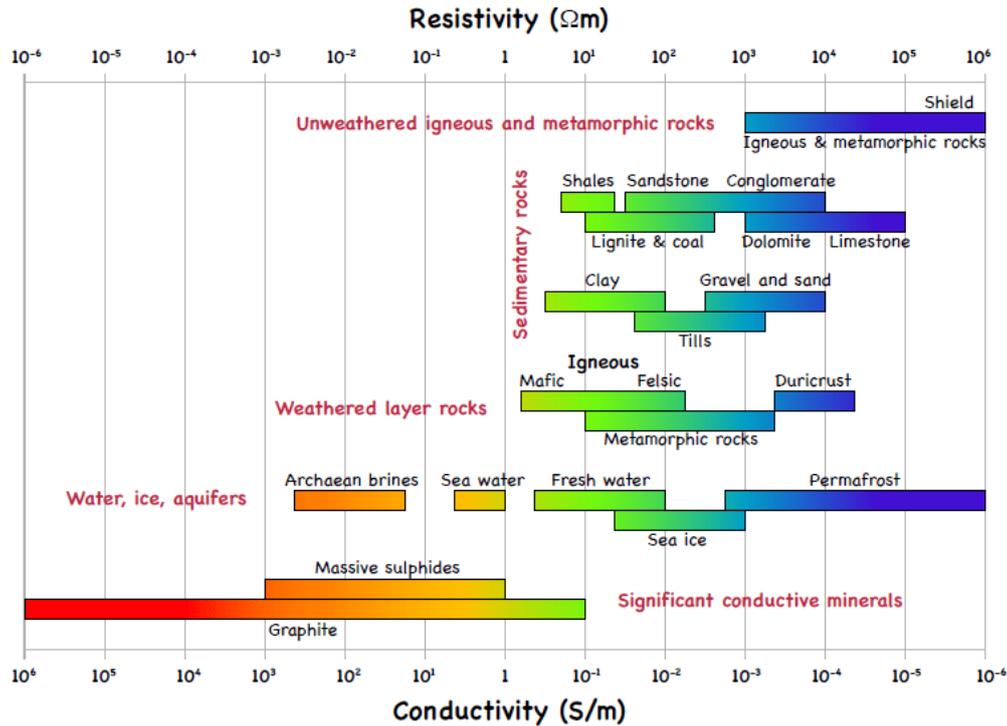


Figura 8.4: Valori indicativi della resistività e conduttività elettrica per vari tipi di terreno e acquiferi

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 18 di 31	<b>Rev.</b> 0

### 8.2.2 Processo di elaborazione dei modelli

Il passaggio dai valori di resistività apparente, misurati in campagna, a modelli bi-dimensionali di resistività reale del terreno, è stato eseguito tramite l'inversione dei dati utilizzando un apposito software (RES2Dinv). L'inversione consiste nel produrre dei modelli di resistività reale ipotetici, su cui vengono calcolati dei valori sintetici di resistività apparenti in relazione al tipo di array utilizzato. I valori calcolati sono confrontati, in cicli iterativi, con quelli misurati, fino a che l'errore (scarto quadratico) può essere considerato minimo. Quindi, i modelli finali di resistività reale, saranno quelli che producono valori apparenti calcolati che più si avvicinano a quelli misurati. Più le sezioni apparenti calcolate si avvicinano a quelle misurate, migliore sarà l'attendibilità dei modelli di resistività reali finali. Il processo di inversione non ha comunque soluzioni univoche. Al fine di migliorarne il risultato è opportuno tenere conto del contesto di indagine, adottando dei vincoli che l'algoritmo può supportare al fine di ridurre l'incertezza del processo di elaborazione.

Nel nostro caso, si è scelto di adottare processi di inversione che prevedano variazioni graduali di resistività, in maniera da tenere conto e rilevare le variazioni litologiche nei terreni che, come visto, sono caratterizzati da una certa variazione sia laterale che verticale, soprattutto nella presenza della componente pelitica, che influisce molto sui caratteri di conducibilità elettrica. Tale soluzione è scaturita da alcuni tentativi di elaborazione, che in prima analisi sono stati effettuati con un metodo di inversione "rubust" (passaggi di resistività netti), ma i modelli risultanti erano caratterizzati da una eccessiva omogeneità. Per cui si è preferito elaborare i modelli 2D, attraverso l'ausilio di algoritmi che prevedano passaggi graduali di resistività (I2 norm).

### 8.2.3 Strumentazione utilizzata

Le misure di resistività apparenti in campagna sono state realizzate mediante un georesistivimetro, a otto canali di acquisizione simultanea dei valori di potenziale, con isolamento galvanico, di costruzione ABEM modello Terrameter LS2 (Figura 8.5), per misure di resistività, polarizzazione indotta e potenziale spontaneo, con le seguenti caratteristiche:

- Selezione automatica o manuale della corrente immessa: da 0.20 fino a 2500 mA;
- Energizzazione con tensione max: 600 V (1200 V peak-peak);
- Potenza max: 250 W;
- Accuratezza della trasmissione di corrente: 0.4 %;
- Lunghezza dell'impulso di corrente: 0.1 %;
- Impedenza: 30 MΩ, min;
- Risoluzione: 3 nV;
- Accuratezza dV/I: 0.2 %;

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 19 di 31	<b>Rev.</b> 0

- Precisione dV/I: 0.1 %.

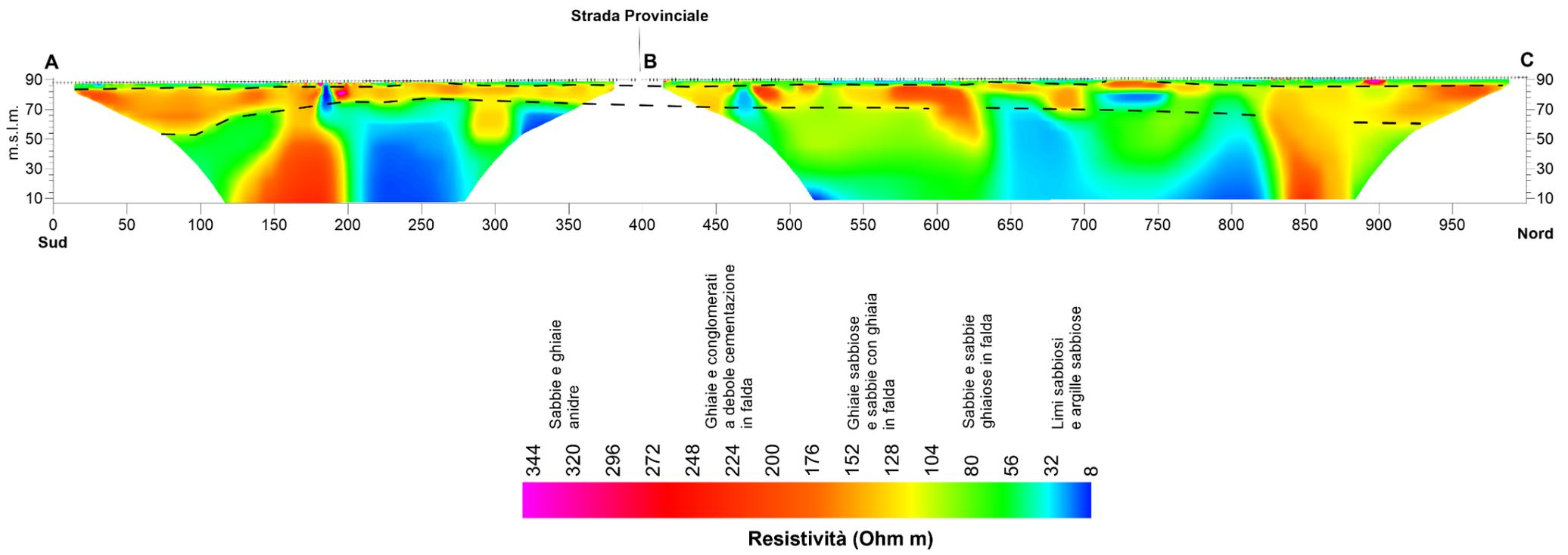
Per eseguire le misure in configurazione multielettrodo il sistema è fornito di un selettore automatico, capace della gestione contemporanea di 81 elettrodi. Gli elettrodi infissi nel terreno, in acciaio inox, sono stati connessi al selettore tramite cavi multicore.



*Figura 8.5: Acquisizione dei dati geoelettrici con georesistivimetro Abem LS2– tratto sud-*

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 20 di 31	<b>Rev.</b> 0

**MODELLO DI RESISTIVITA' ELETTRICA - ERT1-2 -**



*Figura 8.6: Modello di resistività elettrica - ERT 1-2-*

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 21 di 31	<b>Rev.</b> 0

#### 8.2.4 Interpretazione

I due modelli di resistività reale sono stati accorpati e presentati in un unico profilo di resistività con lunghezza complessiva pari a 1000 m (Figura 8.6). I valori di resistività elettrica sono compresi tra 8  $\Omega$ m e oltre i 300  $\Omega$ m. Il range di variazione non è molto ampio a causa delle condizioni di saturazione dei terreni, essendo il livello di falda molto superficiale (2.0-3.0 m dal piano campagna), determina l'attenuazione e stabilizzazione dei valori della resistenza elettrica specifica all'interno dei terreni più grossolani (ghiaie e ghiaie sabbiose), i quali in condizioni anidre, come avviene in piccoli lenti e nuclei superficiali, avrebbero valori di resistività ben più elevata.

Per quanto concerne la distribuzione lungo il profilo di indagine, si può osservare come vi sia una buona continuità laterale della porzione più superficiale del profilo, dove si riconosce un primo orizzonte elettrico, con resistività comprese tra 50 e 70  $\Omega$ m, riconducibili a limi sabbiosi e sabbie limose prevalenti, con spessore compreso tra 3.5 e 4.5 m. All'interno di questo primo orizzonte superficiale si riconoscono lenti più conduttive, soprattutto nella parte più superficiali, dove il valore di resistività si riduce a 10-20  $\Omega$ m, evidentemente da ricondurre alla presenza di una componente argillosa. Sempre questo orizzonte superficiale sembra interrompersi tra le progressive 715 e 750 m, dove l'aumento della resistività a oltre 150  $\Omega$ m, indica la presenza di termini più grossolani, probabilmente sabbioso-ghiaiosi.

Al di sotto del primo orizzonte elettrico descritto, i valori di resistività aumentano in maniera significativa, portandosi tra 90 e 170  $\Omega$ m; condizione attribuibile alla presenza di depositi prevalentemente grossolani, costituiti da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose (nei valori più elevati), come del resto rinvenuto nei carotaggi realizzati. La base di questo secondo orizzonte elettrico si attesta tra 18 e 20 m dal piano campagna, tendendo ad approfondirsi nella parte iniziale, dove passa a 36 m circa, come nell'estremità terminale del modello.

La parte più profonda del profilo mostra maggiore variabilità laterale. Il contesto è caratterizzato da valori di resistività elettrica in gran parte compresi tra 50 e 90  $\Omega$ m, associabili sempre a sabbie e sabbie debolmente limose o a ghiaie in abbondante matrice sabbioso-limosa in falda. Lateralmente, su ampi settori, si osservano valori più bassi, generalmente compresi tra 20 e 35  $\Omega$ m, in cui si può prevedere la presenza di una importante componente limosa o limoso-argillosa nella compagine, che determina la riduzione di resistività. Per contro, in altri ampi nuclei, si osservano valori di resistività più elevati, compresi tra 130 e 200  $\Omega$ m, da attribuire a terreni più grossolani in falda, con scarsa matrice medio-fine (ghiaie prevalenti).

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 22 di 31	<b>Rev.</b> 0

### 8.3 INDAGINE SISMICA MASW

Nella porzione centrale dell'area investigata con l'indagine geoelettrica, è stata eseguita una prospezione con metodo sismico MASW.

La tecnica MASW si basa sullo studio della dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di tipo *Rayleigh (R)*, nota in letteratura come *Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)*. Considerando che le onde di Rayleigh campionano uno spessore di sottosuolo proporzionale alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , è ragionevole ritenere di poter risalire alla rigidità dei terreni dalla legge di variazione della  $V_r$  con  $\lambda$  (curva di dispersione). Dal punto di vista sperimentale l'acquisizione MASW viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica sismica a rifrazione. La differenza sostanziale viene dalla configurazione geometrica dei ricevitori, in genere i geofoni (minimo 12- 24) vengono spazati di 1, 2 o 3 metri, aventi una frequenza di campionamento pari a 4.5 Hz.

Essendo una tecnica attiva in presenza di una sorgente polarizzata, l'acquisizione MASW risulta comunque possibile, essendo un metodo che utilizza una generazione energetica attiva per creare le onde sismiche, applicando le migliori metodologie di acquisizione sismica (filtri ecc.) che i moderni sismografi consentono.

L'elaborazione delle misure sismiche acquisite hanno consentito di definire i caratteri sismo-stratigrafici e, con le opportune correlazioni, valutare lo stato di addensamento delle compagini presenti nel sottosuolo per profondità di oltre 30 m. I segnali sismici sono stati digitalizzati mediante un Sismografo modulare Geometrics Geode a 24 x 2 = 48 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, avente le seguenti caratteristiche principali:

- Range dinamico: 144 dB di sistema.
- Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.
- Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.
- Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.
- Impedenza: 20 Kohm.
- Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.
- Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.
- Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.
- Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.
- Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.

Per il rilievo della velocità del moto del suolo sono stati utilizzati geofoni Geospace, con frequenza di oscillazione di 4.5 Hz. L'energizzazione è stata realizzata mediante una mazza battente del peso di 8.0 kg, battente su un piattello metallico per la produzione delle onde di compressione e superficiali.

La prospezione sismica MASW è stata realizzata a 24 canali d'acquisizione, adottando una spaziatura tra i geofoni di 2.0 metri. Le elaborazioni sono state eseguite sui sismogrammi

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 23 di 31	<b>Rev.</b> 0

ottenuti da punti di energizzazione posti a distanza variabile dai primi geofoni. I sismogrammi sono stati oggetto di filtraggio per l'eliminazione delle alte frequenze e "depurati" dalle onde di volume, al fine di ottenere dei picchi d'ampiezza nelle oscillazioni relative alle onde di superficie. Successivamente si è passati alla rappresentazione delle tracce sismiche su un diagramma che mette in relazione le frequenze con le velocità di fase. Su di esso s'individuano, come zone di massima ampiezza, gli allineamenti attribuibili alle onde di *Rayleigh*, da cui si ottiene la variazione delle velocità di queste ultime con il variare della loro frequenza, o lunghezza d'onda.

Essendo la profondità di propagazione di questo tipo di onde dipendente dalla frequenza, sarà possibile correlare le velocità alle varie frequenze con le profondità. Quest'ultimo passo, successivo alla definizione della curva di dispersione, si ottiene mediante un processo d'inversione, che porta al risultato finale, costituito da un profilo verticale delle velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ), posto al centro della stesa di geofoni.

Le velocità di fase delle onde di *Rayleigh* ( $V_r$ ), in un mezzo omogeneo, sono legate a quelle di volume dalla seguente relazione:

$$V_r^6 - 8V_s^2 V_r^4 + (24 - 16 V_s^2 / V_p^2) V_s^4 V_r^2 + (16 V_s^6 / V_p^6 - 1) V_s^6 = 0$$

In un mezzo non omogeneo le velocità delle onde di volume ( $V_p$  e  $V_s$ ) variano con la profondità. Le velocità di fase delle onde di *Rayleigh* mostrano velocità differenti per differenti valori di frequenza e sono fortemente legate ai valori delle velocità delle onde trasversali. Ciò consente di passare da modelli frequenza/velocità di fase delle onde di *Rayleigh* a modelli monodimensionali  $V_s$ /profondità.

Gli elaborati forniti per ogni punto di indagine contengono:

- la curva di dispersione della velocità di fase delle onde R in relazione alla frequenza;
- il profilo delle  $V_s$  al centro dello stendimento fino alla massima profondità di indagine;
- la tabella dei valori di  $V_s$  per orizzonti omogenei di velocità;
- la velocità equivalente delle onde di taglio ( $V_{seq}$ ) fino a 30 metri di profondità.

L'istogramma di velocità delle onde S (Figura 8.9) elaborato dall'inversione della curva di dispersione (Figura 8.7 e Figura 8.8) è caratterizzato da un primo orizzonte sismico con velocità delle onde di taglio pari a 177 m/sec, attribuibile ad una compagine sabbioso-limosa di scarso addensamento, almeno fino a 2.35 m di profondità. Quindi si passa a valori di  $V_s$  pari a 273 m/sec nell'orizzonte sottostante, la cui base è posta a 8.6 m di profondità dal p.c.; questi valori di velocità sono associabili ad una compagine granulare a medio addensamento. La velocità delle onde di taglio aumenta leggermente nell'orizzonte sottostante, fino alla profondità di 11.8 m, passando a 318 m/sec (compagine da mediamente addensata ad addensata). A maggiore profondità si rilevano valori di velocità delle onde di taglio superiori a 400 m/sec, riconducibili a termini molto addensati/consistenti (Tabella 8.2).

I moduli elastici dinamici, per il sito investigato, sono stati calcolati partendo dai valori medi delle velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ) definite nel profilo MASW. I valori dei pesi di volume ( $\gamma$ ) e del coefficiente di poisson sono indicativi (Tabella 8.1).

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 24 di 31	<b>Rev.</b> 0

MASW 1	Sabbie limose e limi sabbiosi sciolti	Ghiaie sabbiose a medio addensamento	Ghiaie e sabbie addensate	Ghiaie e sabbie molto addensate
Coefficiente di Poisson $\mu$	0.41	0.32	0.32	0.32
Velocità onde longitudinali Vp (m/sec)	453	531	618	789
Velocità onde trasversali Vs (m/sec)	177	273	318	406
Peso di volume $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.80	2.00	2.20	2.20
Modulo di Young Edin (Mpa)	162.1	401.1	598.7	975.9
Modulo di Rigidità G (Mpa)	57.5	151.9	226.8	369.7

Tabella 8.1: Moduli elastici dinamici medi

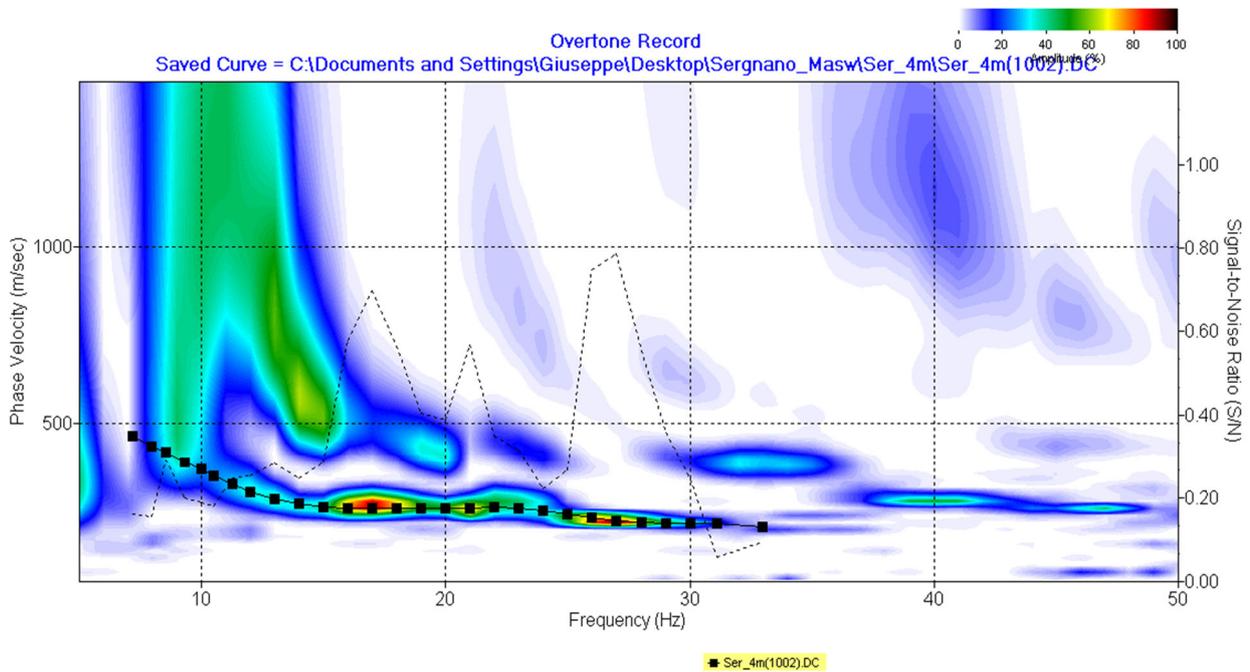


Figura 8.7: Curva di dispersione

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 25 di 31	<b>Rev.</b> 0

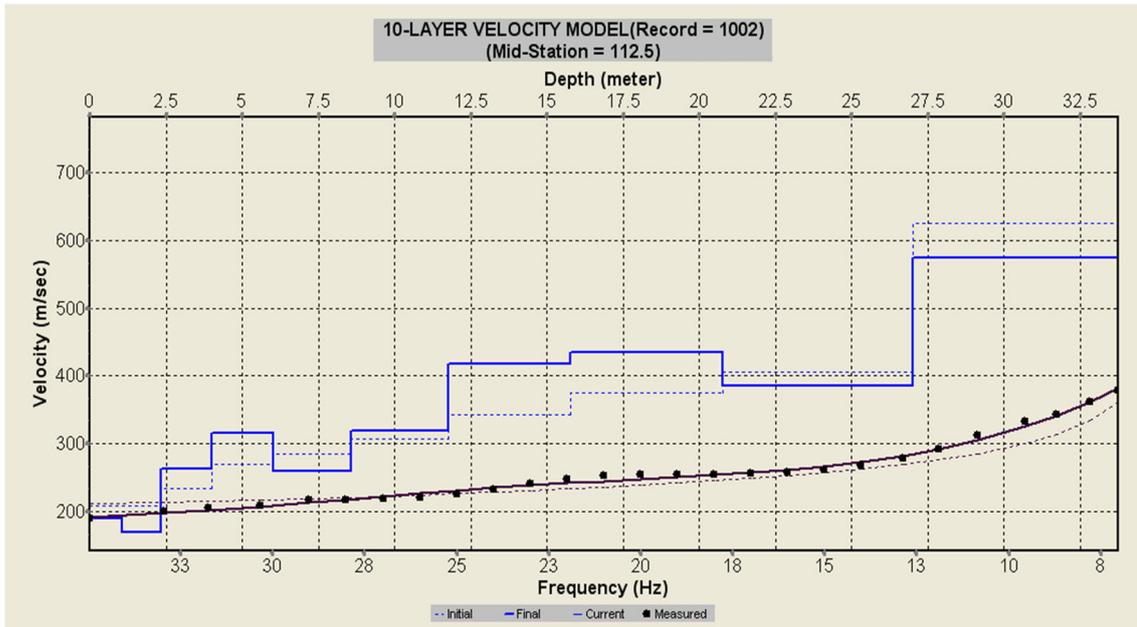


Figura 8.8: Curve di inversione

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 26 di 31	<b>Rev.</b> 0

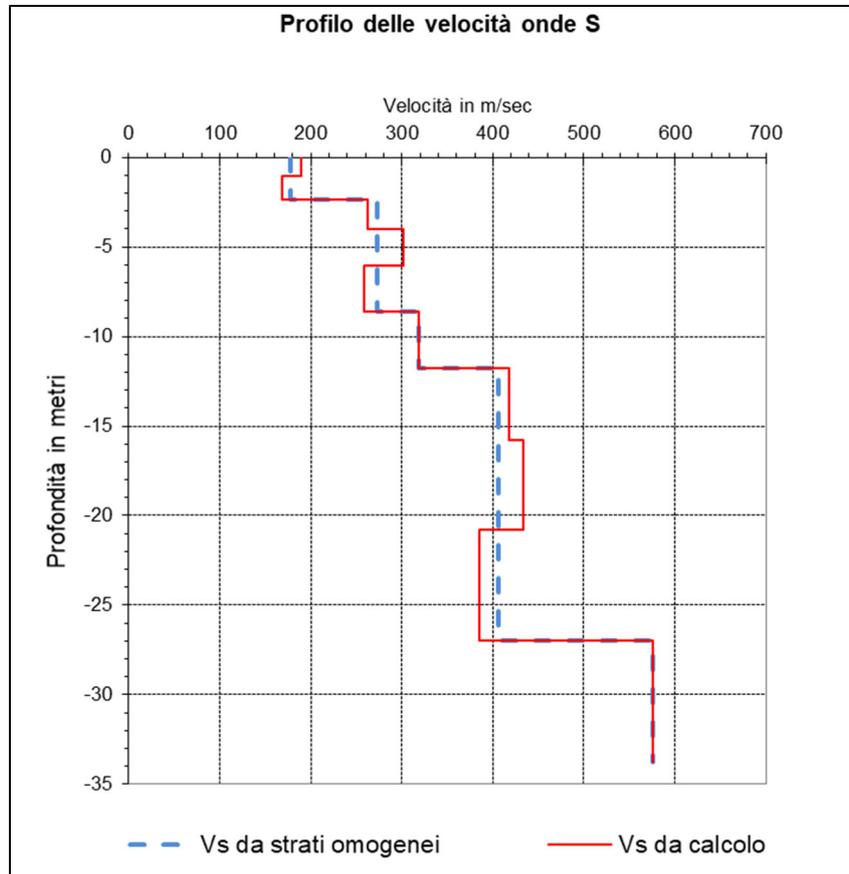


Figura 8.9: Profilo di velocità onde S

Profondità dal p.c. (metri)	Velocità delle onde S (m/sec)	Profondità della base degli orizzonti omogenei (metri)	Spessore dei sismostrati omogenei (metri)	Velocità delle onde S per orizzonti omogenei (m/sec)	Litologia prevalente
-1.05	190	2.35	2.35	177	Sabbie limose e limi sabbiosi sciolti
-2.35	168				
-3.99	262	8.59	6.23	273	Ghiaie sabbiose a medio addensamento
-6.03	296				
-8.59	259				
-11.78	318	11.78	3.19	318	Ghiaie e sabbie addensate
-15.77	418	27.00	15.22	406	Ghiaie e sabbie molto addensate
-20.76	434				
-27.00	385				
-33.75	575	33.75	6.75	575	

Tabella 8.2: Risultati indagine MASW

	<b>PROGETTISTA</b>  <b>TECHNIP ENERGIES</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>Pag.</b> 27 di 31	<b>Rev.</b> 0

In conclusione, considerando la posizione verticale di indagine 45.42520° N-09.693171°E, si ottiene una velocità equivalente con riferimento al piano campagna ( $V_{s,eq}$ ) = 339 m/sec, calcolata come segue:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

A cui corrisponde una categoria sismica di sottosuolo C, ricavata in funzione della classificazione riportata in Tabella 8.3 di seguito.

Categoria	Tipologia suolo
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<b><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></b>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 8.3: "Range"  $V_sEQ$  da normativa NTC 2018 – Approccio semplificato

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO-00001</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>ANNESSO 1</b>	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL:

## ANNESSO 1

### Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO-00001</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>ANNESSO 2</b>	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL:

## ANNESSO 2

### Stratigrafie sondaggi

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO-00001</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>ANNESSO 3</b>	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL:

## ANNESSO 3

### Report fotografico

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b>	<b>CODICE TECNICO</b>
	<b>LOCALITA'</b> CENTR. DI STOCCAGGIO GAS - SERGNANO (CR)	<b>REL-GEO-00001</b>	
	<b>PROGETTO / IMPIANTO</b> INGEGNERIA DI BASE/FEED E PER ENTI PER LA PROGETTAZIONE DI NUOVI CLUSTERS	<b>ANNESSO 5</b>	<b>Rev.</b> 0

Rif. TPIDL

## ANNESSO 4

### Prove di laboratorio