



**REGIONE SARDEGNA**  
**COMUNE di**  
**SASSARI**



*(Provincia di SASSARI)*

**REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO.  
PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI  
MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA  
CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI  
CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc  
(Immissione in rete 39MWac)**

**Committenza:** ECAP SOLUTIONS

**RELAZIONE GEOLOGICA**



Il Geologo:

**Dott. Geol. Vincenzo Cortese**



**DATA:** SETTEMBRE 2021

Rev. 0



**SOMMARIO**

**1. PREMESSA.....Pag. 02**

**2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO..... Pag. 04**

**3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO.....Pag. 09**

**4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME.....Pag. 13**

**5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO**

**DELL'AREA..... Pag. 20**

5.1 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO.....Pag. 22

5.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO.....Pag. 26

**6. MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO..... Pag. 28**

**7. MODELLAZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO..... Pag. 32**

**8. CONCLUSIONI.....Pag. 43**



## 1. PREMESSA

Il sottoscritto:

- Geologo Vincenzo CORTESE, nato a Mugnano di Napoli (NA) il 28/12/1983 (C.F. **CRTVCN83T28F799C**) e residente in Bojano (CB) alla Via Gino di Biase n° 32, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "**Geologi Specialisti**",

con STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA avente sede in BOJANO (CB) alla Via Barcellona n° 20, ha eseguito uno studio di carattere geologico nel tenimento del Comune di **SASSARI (SS)**, a corredo del Progetto denominato: "**REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO. PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc (Immissione in rete 39MWac)**", su incarico di **ECAP SOLUTIONS**.

E' stato effettuato un primo sopralluogo per constatare lo stato di fatto della zona di studio.

In seguito, sono stati compiuti ulteriori sopralluoghi, sia sull'area interessata dall'intervento che nelle aree adiacenti, allo scopo di ottenere una visione globale del territorio in cui si trova la zona interessata.

Il lavoro, nel rispetto delle **N.T.C. 2018**, ha avuto lo scopo di:

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare l'assetto litostratigrafico di dettaglio dell'area;*
- *definire la categoria sismica del sottosuolo secondo le Norme del D.M. 17 Gennaio 2018.*

**PAGINA 2 di 49**



Il lavoro stesso è altresì stato compilato in due fasi distinte e successive:

- nella prima fase è stata effettuata una analisi geomorfologica, idrogeologica, geologica e tettonica della zona in cui ricade l'area oggetto di studio;
- nella seconda fase è stato realizzato un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed è stata presenziata, diretta ed interpretata una campagna di indagini geotecniche e geofisiche in situ.

Tutti i risultati desunti dalle indagini effettuate e le relative elaborazioni grafiche, si riportano nel presente fascicolo.

Di seguito si espongono le risultanze di cui trattasi e le considerazioni emerse dallo studio effettuato.



**Fig. 1: Immagine aerea dell'area allo studio.**



## **2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DEL TERRITORIO E DELLA ZONA INTERESSATA DALL'INTERVENTO**

L'area interessata dalla presente indagine geologico-tecnica, trovasi nel territorio comunale di Sassari a quote comprese tra i 59 m e gli 80 m s.l.m. Tale area risulta cartografata nel F.° 179 "PORTO TORRES" della Carta Geologica D'Italia in scala 1:100.000.

Lo studio geomorfologico, oltre che all'area direttamente interessata dall'opera in oggetto è stato esteso, in modo particolarmente accurato, ad un'ampia area ritenuta significativa ai fini della valutazione dei caratteri geomorfologici rilevanti per la stabilità dell'area stessa.

A scala regionale il sito in esame è ubicato ad est del centro abitato di Sassari. L'area è caratterizzata da rilievi dalle forme generalmente dolci ed arrotondate, fortemente incise da un fitto reticolo idrografico.

Alla meso-scala, dal punto di vista morfologico il sito in esame è caratterizzato da forme dolci sub pianeggianti.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area ben si inquadra in un contesto dove prevalgono i fenomeni deposizionali.

Dal Punto di vista litologico, si registra la presenza di Calcari micritici e micriti argillose di piattaforma (Cretacico-Giurassico superiore).

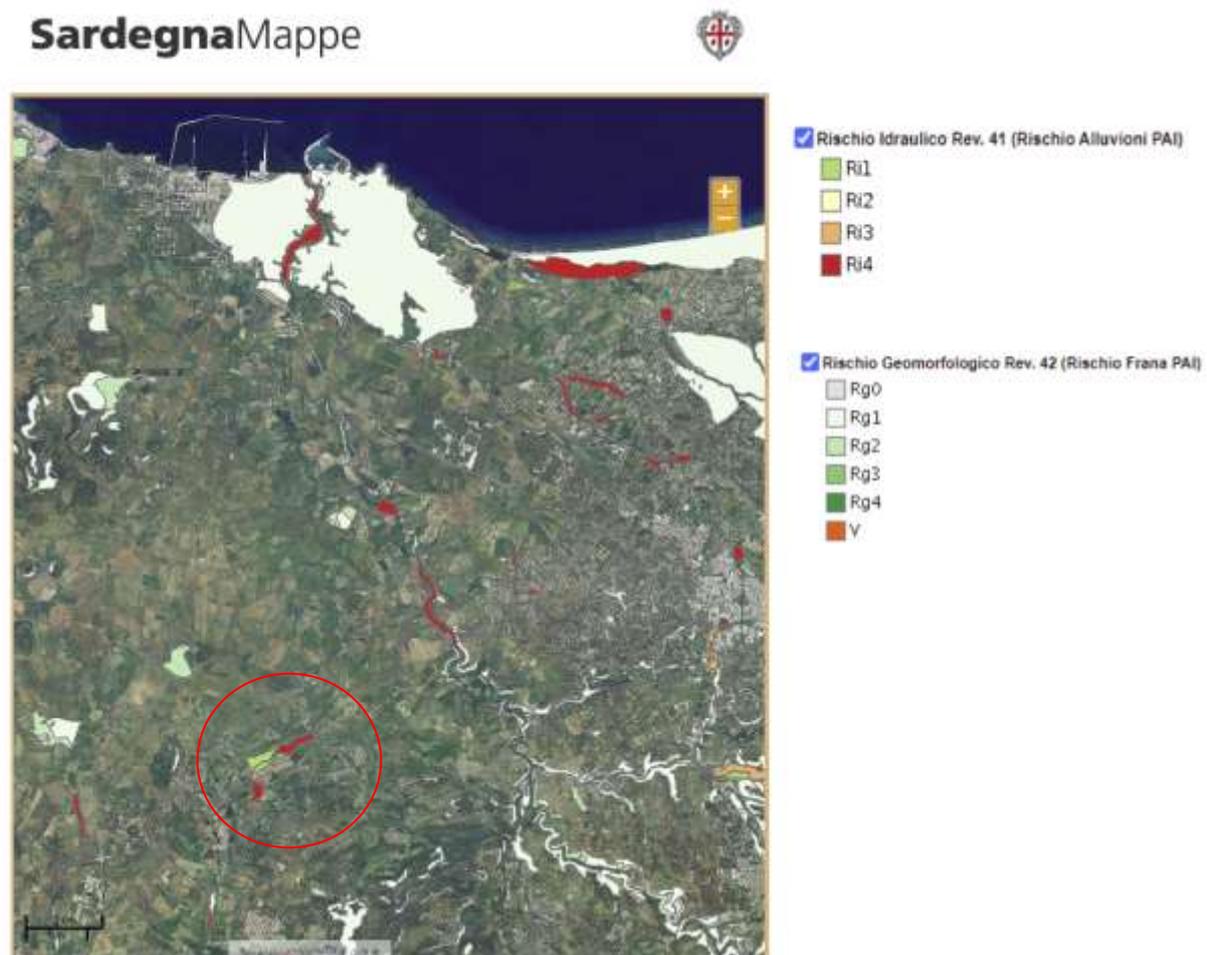


Per quel che concerne la **caratterizzazione geomorfologica di dettaglio** del lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che l'area stessa sia collocata in una zona sub-pianeggiante, caratterizzata dall'assenza di aree a rischio geomorfologico.

L'area oggetto di intervento, infine, rientra nelle competenze dell'**Autorità Di Bacino della Regione SARDEGNA**.

Detta area rientra risulta esclusa da qualsiasi perimetrazione di Rischio Frana e Alluvione definita dai Piani di Bacino.

**Si riporta in seguito la cartografia:**



*Fig. 2: Stralcio del P.S.A.I.- Rischio da Frana e Alluvione*



**Il terreno interessato dal Progetto di cui in oggetto risulta quindi stabile, essendo privo di qualunque indizio di disequilibrio passato, in atto o potenziale in seno ai terreni oggetto di intervento.**

**Si riportano nel dettaglio stralcio della carta geomorfologica dell'area d'intervento in scala 1:5.000:**







*Fig. 3: Stralcio della carta geomorfologica dell'area d'intervento*



### **3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DEL TERRITORIO**

Lo schema generale della circolazione idrica sotterranea dell'area di studio risulta strettamente controllato dall'assetto strutturale, ereditato dai complessi eventi tettonici che si sono verificati nel corso di milioni di anni.

L'area oggetto di studio è interessata dai Bacini Idrografici Barca e Mannu di Porto Torres.

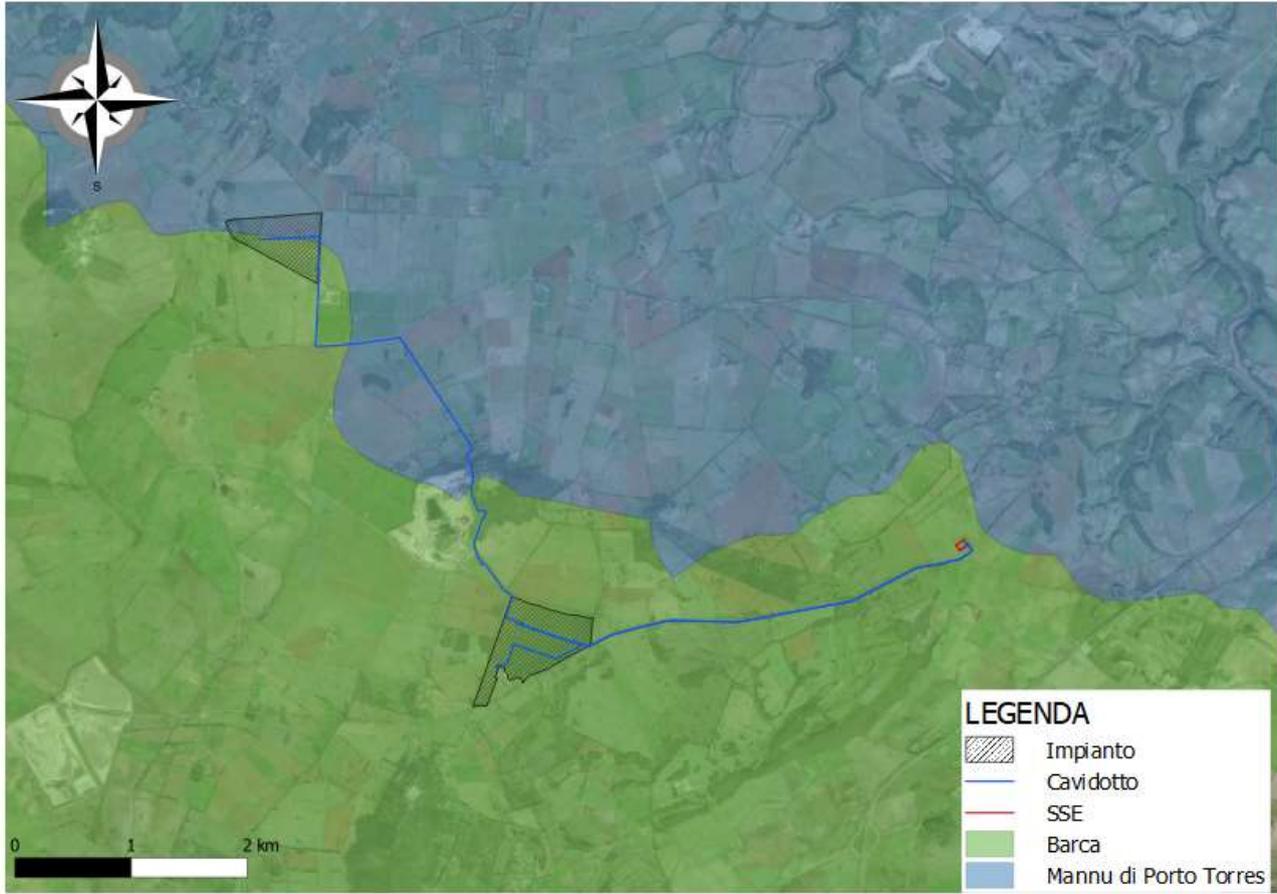
Per quanto riguarda le caratteristiche idrologiche dell'area oggetto di intervento, l'area d'intervento è collocata ad est rispetto al Mannu di Porto Torres, principale corso d'acqua dell'area. Lo stesso è interessato da piccoli affluenti minori.

Da un punto di vista idrogeologico, il complesso idrogeologico a cui fare riferimento è quello che comprende le litologie calcareo-marnose della Formazione di Borutta, che presenta un tipo di permeabilità misto, con una porosità primaria di grado medio-basso e una permeabilità per fessurazione di grado sempre medio-basso. Tuttavia il grado di permeabilità è funzione della presenza dei minerali argillosi che si producono a seguito dell'alterazione meteorica soprattutto nei livelli marnosi; in caso di alterazione molto spinta si può arrivare anche all'impermeabilità.

Dalle prove penetrometriche eseguite in sito non è stata rilevata la presenza di una falda superficiale.

Detta area di intervento risulta esclusa da qualsiasi perimetrazione da **RISCHIO ALLUVIONE** definita dai Piani di Bacino.

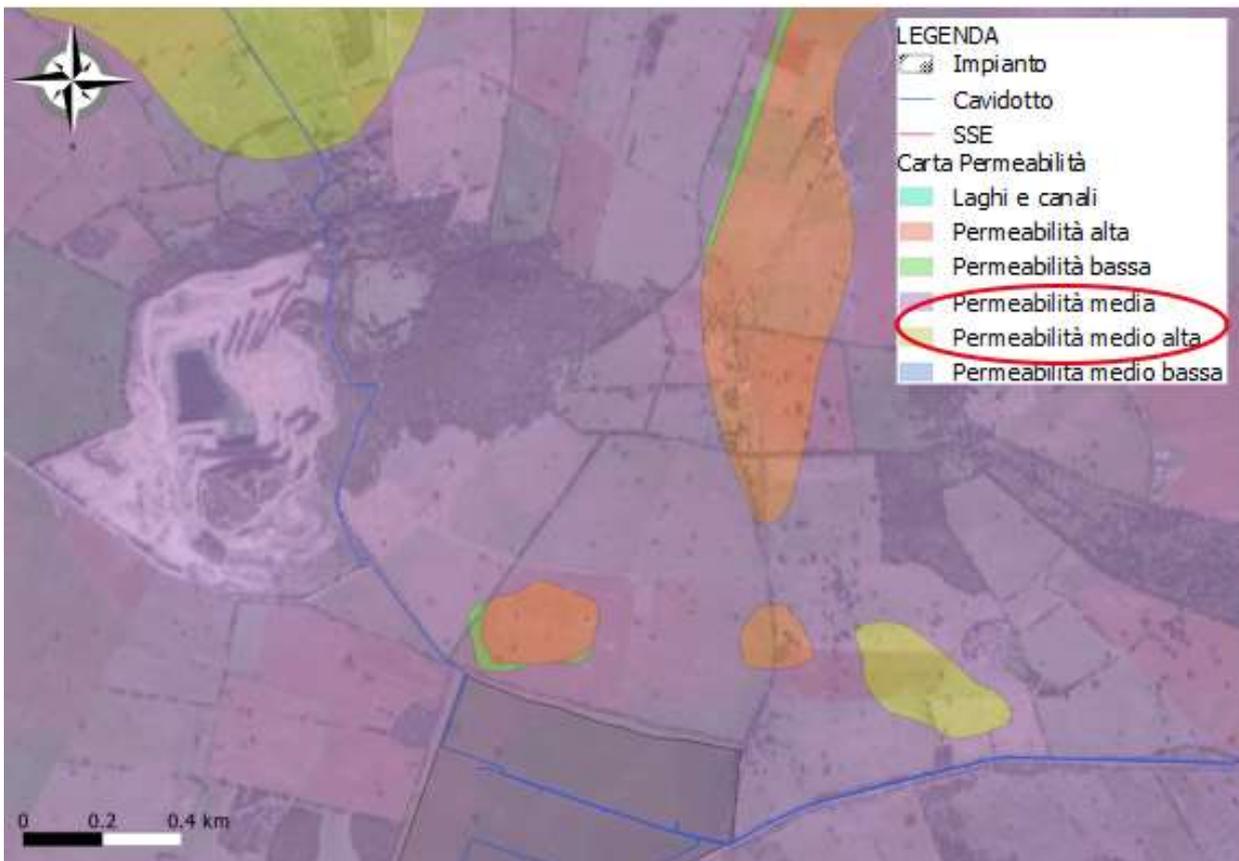
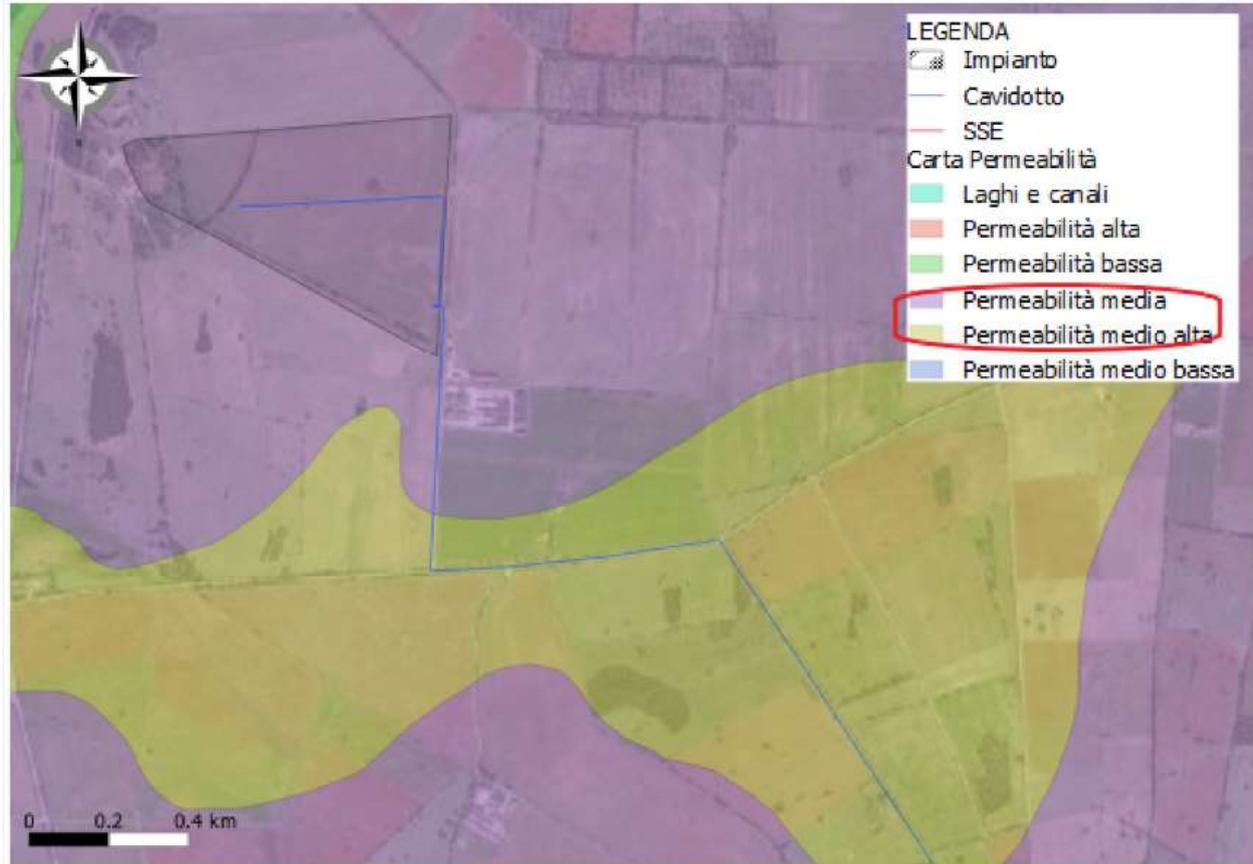
Si riporta di seguito la corografia dei bacini dell'area d'interesse in scala 1:25.000:

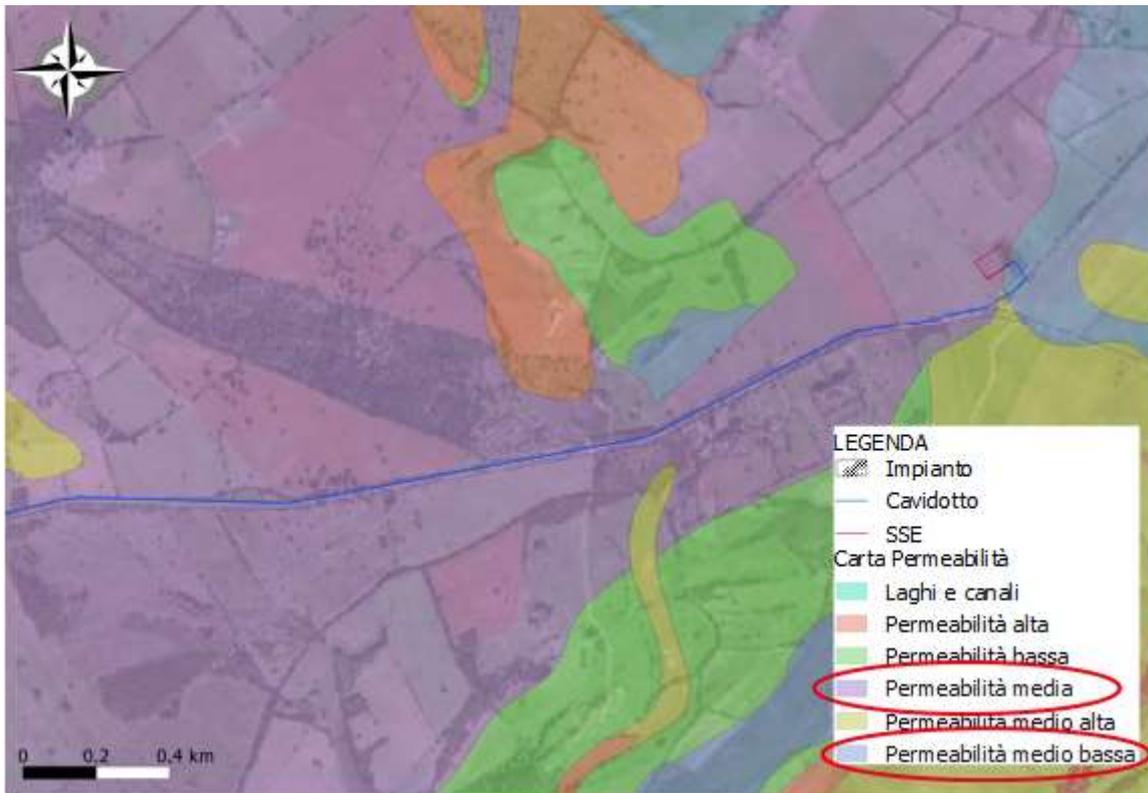
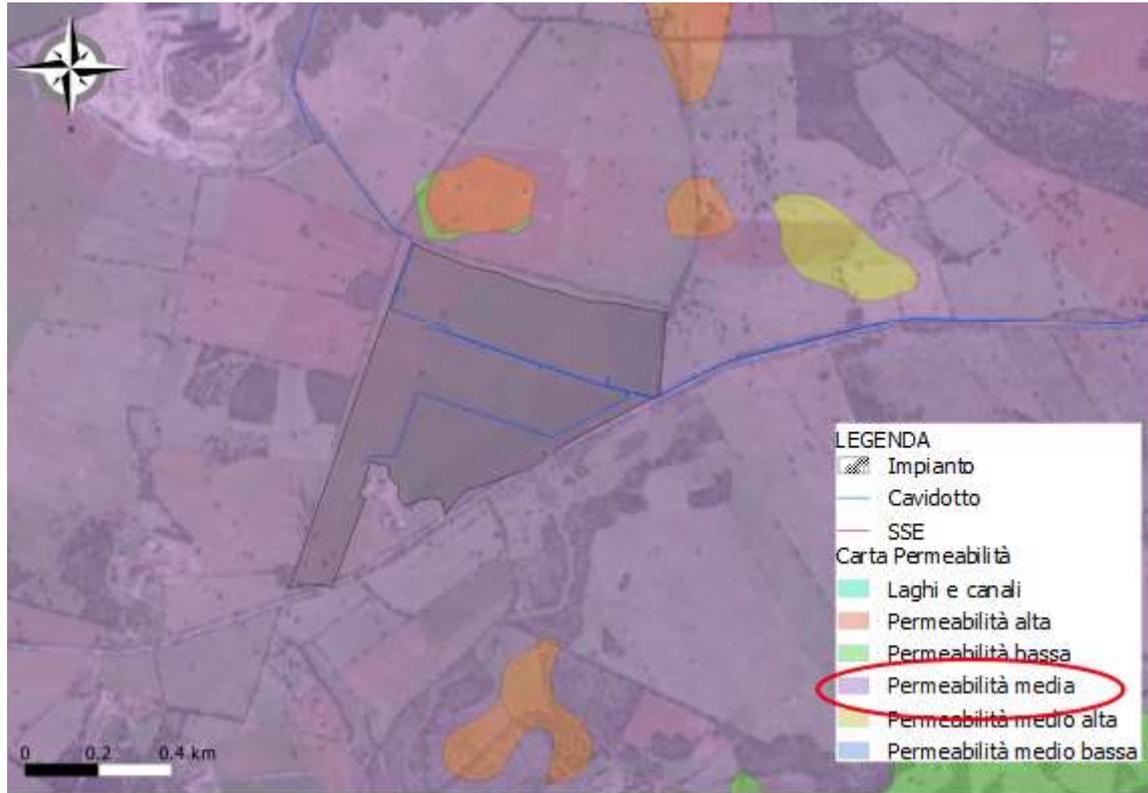


*Fig. 4: Corografia dei bacini dell'area d'interesse in scala 1:25.000*

Si riporta di seguito stralcio della carta idrogeologica di dettaglio dell'area di studio in scala 1:5.000

([sardegnageoportale.it/index.php?xsl=2420&s=40&v=9&c=94083&es=6603&na=1&n=100&e sp=1&tb=14401](http://sardegnageoportale.it/index.php?xsl=2420&s=40&v=9&c=94083&es=6603&na=1&n=100&e sp=1&tb=14401)):





*Fig. 5: Carta idrogeologica di dettaglio dell'area di studio*



## **4. GEOLOGIA E TETTONICA DEL TERRITORIO IN ESAME**

L'area oggetto di indagine è ubicata nella parte settentrionale della Fossa Sarda, l'importante struttura regionale associata ad un sistema di rift impostato nei terreni del basamento metamorfico e plutonico ercinico, che attraversa l'intera isola in senso meridiano.

La formazione del rift è associata alla fase tettonica distensiva collegata alla rotazione del Blocco Sardo Corso e la sua apertura è legata a due importanti fenomeni della geologia sarda oligo-miocenica: un'intensa attività vulcanica che ha messo in posto potenti spessori di prodotti lavici e piroclastici, e varie ingressioni marine che hanno portato alla formazione di importanti coltri sedimentarie e vulcano sedimentarie.

I sedimenti correlati a questa fase tettonica comprendono due cicli sedimentari principali. Il primo ciclo ha un'età che va dal Burdigaliano superiore al Langhiano e comprende sabbie alla base, seguite da calcari litorali e da marne di ambiente marino più profondo; tale sequenza poggia con contatto trasgressivo sulle vulcaniti sottostanti ed è interrotta superiormente da una superficie di erosione. Il secondo ciclo sedimentario, che arriva fino al Tortonian-Messiniano, inizia anch'esso con sabbie di ambiente fluvio-marino e prosegue con calcari bioclastici di piattaforma interna.

L'evoluzione sedimentaria nella Sardegna Settentrionale è caratterizzata da numerosi cicli trasgressivo-regressivi, fra loro alternati. Durante il Burdigaliano superiore – Langhiano l'innalzamento del livello del mare porta alla deposizione della Sequenza 1, dove, in successione verticale, ai depositi continentali, prevalentemente sabbiosi, seguono depositi marini di piattaforma prossimale (calcari algali) e distale (marne).

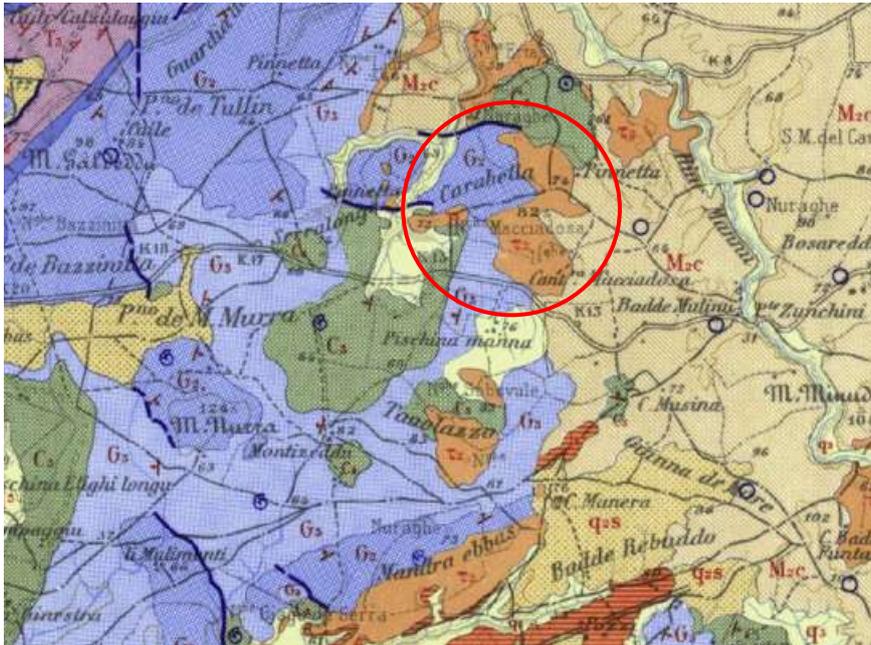
Nel Serravalliano inferiore, a seguito di un'ulteriore trasgressione, si forma una vasta piattaforma carbonatica. Nel Messiniano la caduta del livello del mare porta alla formazione, lungo tutto il margine della piattaforma, di numerosi valli incise.

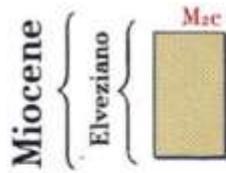


**In dettaglio** i depositi presenti nell'area di studio sono rappresentati da rocce metamorfiche costituite da Filladi, porfiroidi, marmi e scisti verdi (metamorfiti prealpine di basso grado).

**Si riporta in seguito cartografia.**

La situazione geologica descritta è mostrata, di seguito, in **Figura 6**:

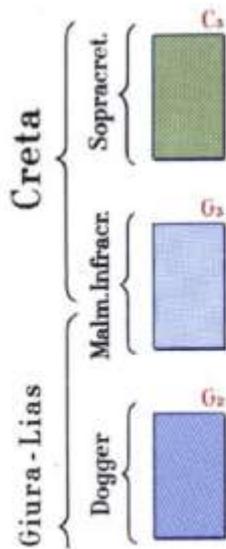




Calcari grossolani di detrito organico e calcari sabbiosi a molluschi, echinodermi, ecc.. Conglomerati, anche grossolani, della trasgressione mediomiocenica.



Vulcaniti del ciclo vulcanico preelveziano: trachiandesiti vitrofiriche nerastre (rossastre per alterazione) e trachidaciti pure vitrofiriche (  $t_2$  ) in colate alternanti con tufi per lo più pomicei di color grigio-chiaro (  $t_2$  ). (Le vulcaniti (  $t_2$  ) sono comprensivi dei termini (  $t_2$  ) e (  $t_2$  ) della serie vulcanica del foglio 180 - Sassari).



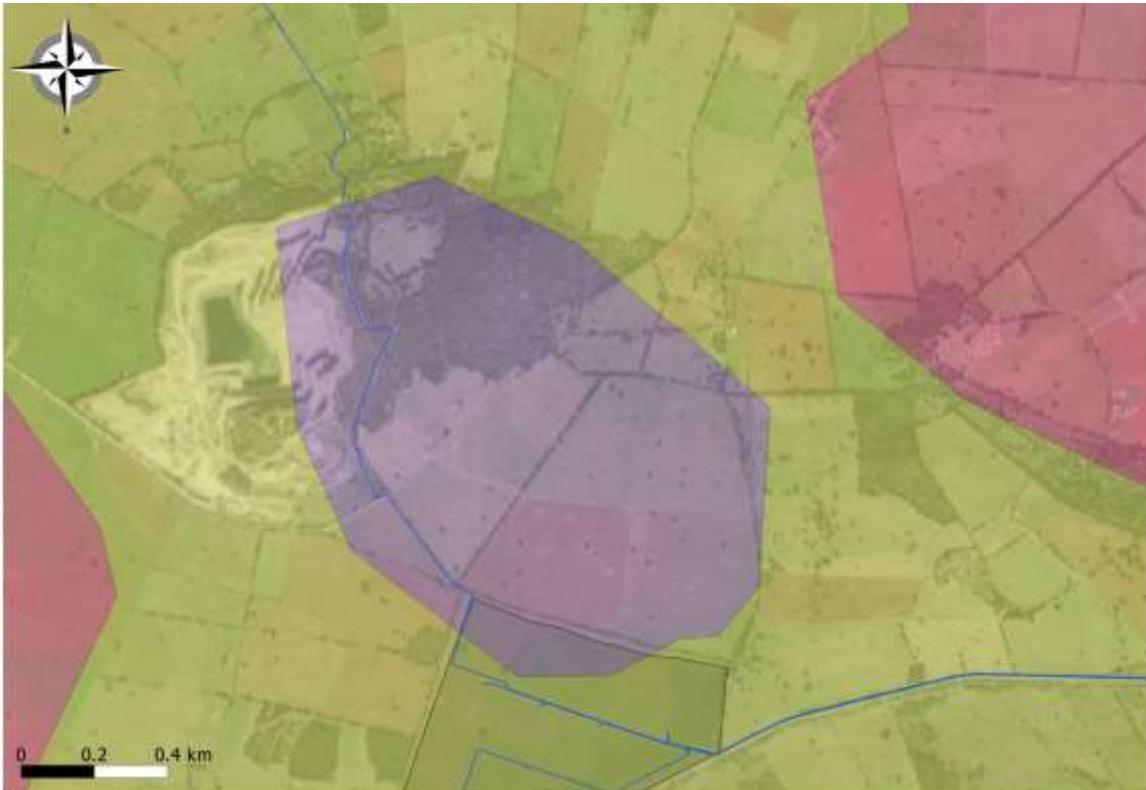
Calcari compatti, prevalentemente ceroidi, chiari, fossiliferi (specialmente a Milionidi e a Rudistei), a luoghi bauxitiferi.

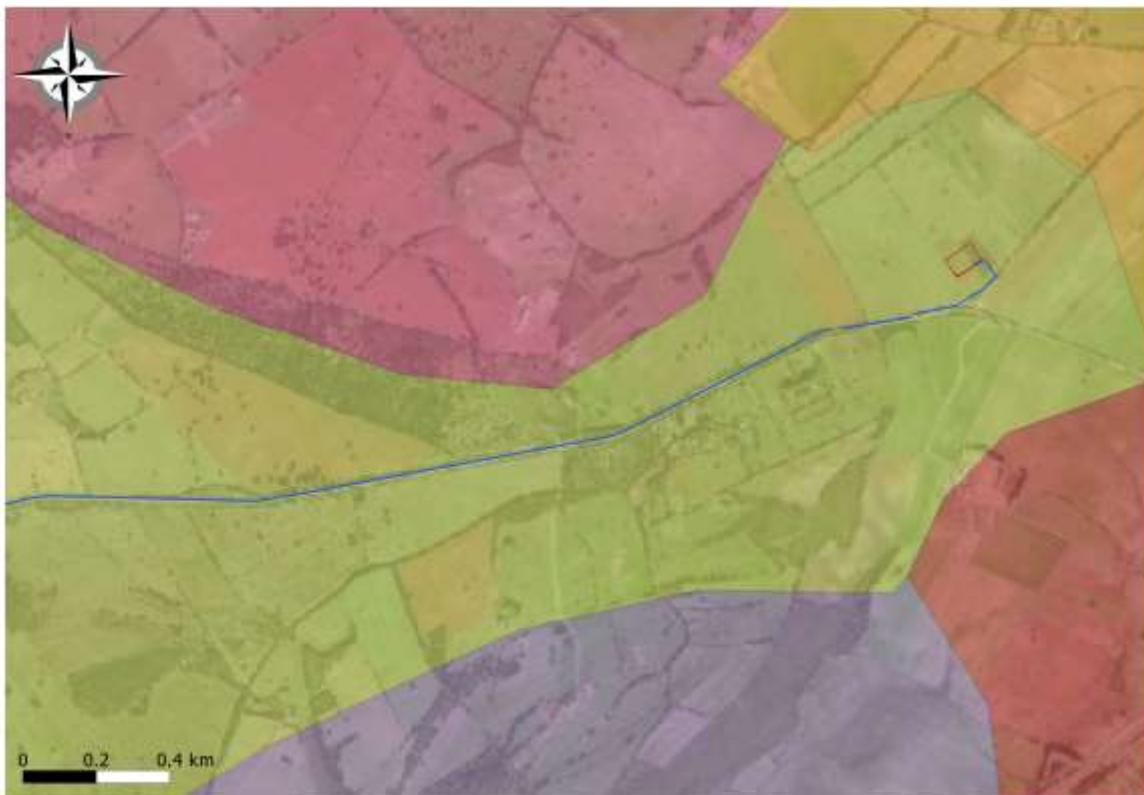
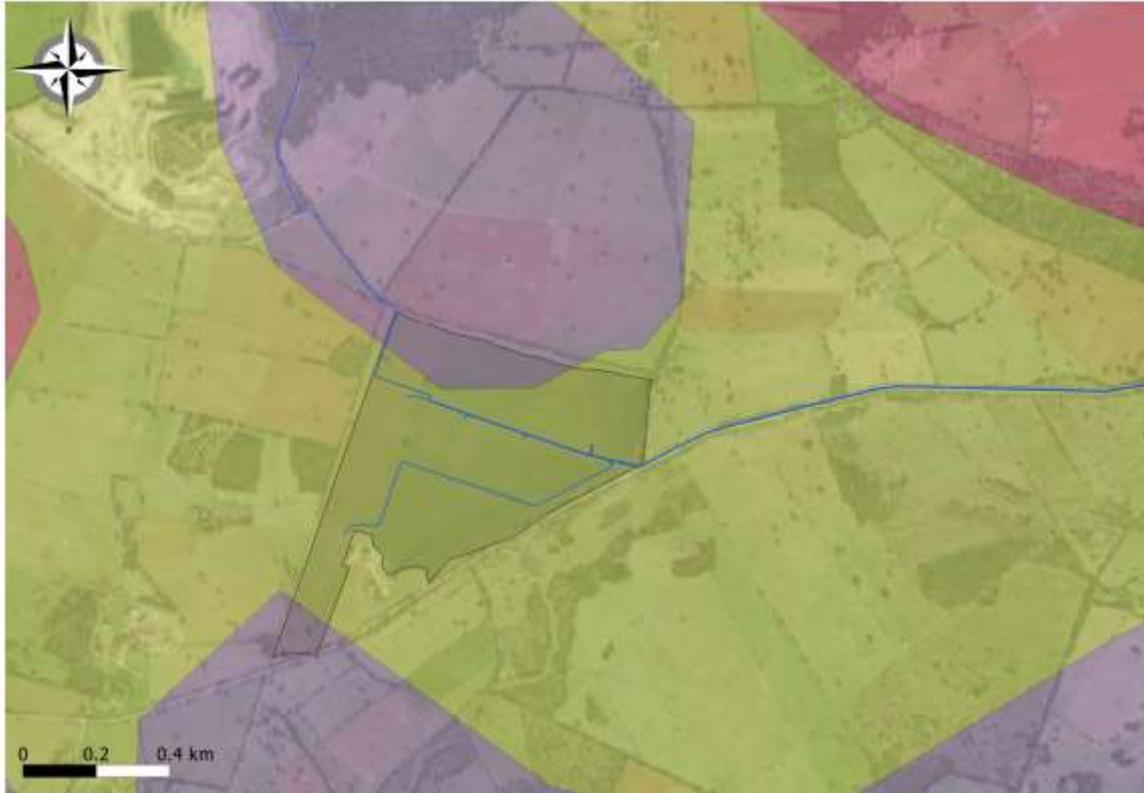
Calcari anche dolomitici grigi, con vene calcitiche; calcari cavernosi; calcari massicci oolitici e pseudoolitici; calcari a foraminiferi (Lagenidi).

Calcari compatti oolitico-pisolitici grigi, azzurrognoli, giallastri e rossastri passanti a breccie organogene e lumachelle con resti di echinidi, molluschi e brachiopodi di tipo mesogiurassico.

**Fig. 6: Stralcio del F.° 179 "PORTO TORRES" della Carta Geologica D'Italia in scala 1:100.000.**

Si riporta di seguito la carta litologica di dettaglio del sito d'interesse in scala 1:5.000:





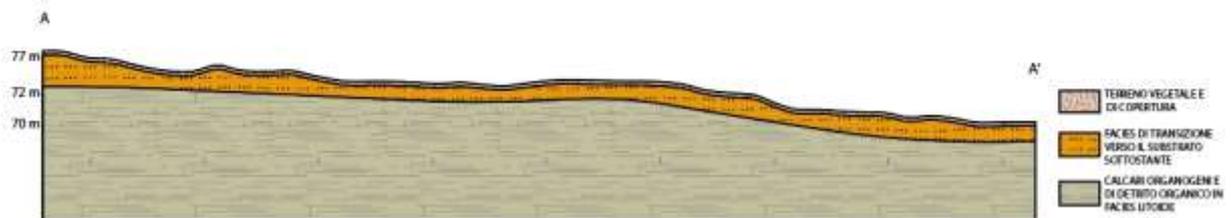


## LEGENDA

-  Impianto
-  Cavidotto
-  SSE
-  Calcari e tavolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico)
-  Calcari micritici e micriti argillose di piattaforma (Cretacico-Giurassico super)
-  Evaporiti spesso con mame (Triassico superiore)
-  Calcari organogeni e biodetritici neritici e di piattaforma (Cretacico superiore)
-  Calcari organogeni, calcareniti (Miocene medio-inferiore)
-  Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali (Pleistocene)

*Fig. 7: Stralcio della carta litologica dell'area d'intervento*

Si riportano di seguito le sezioni di dettaglio dell'area in esame:



*Fig. 8: Sezione A-A'*

**PAGINA 18 di 49**

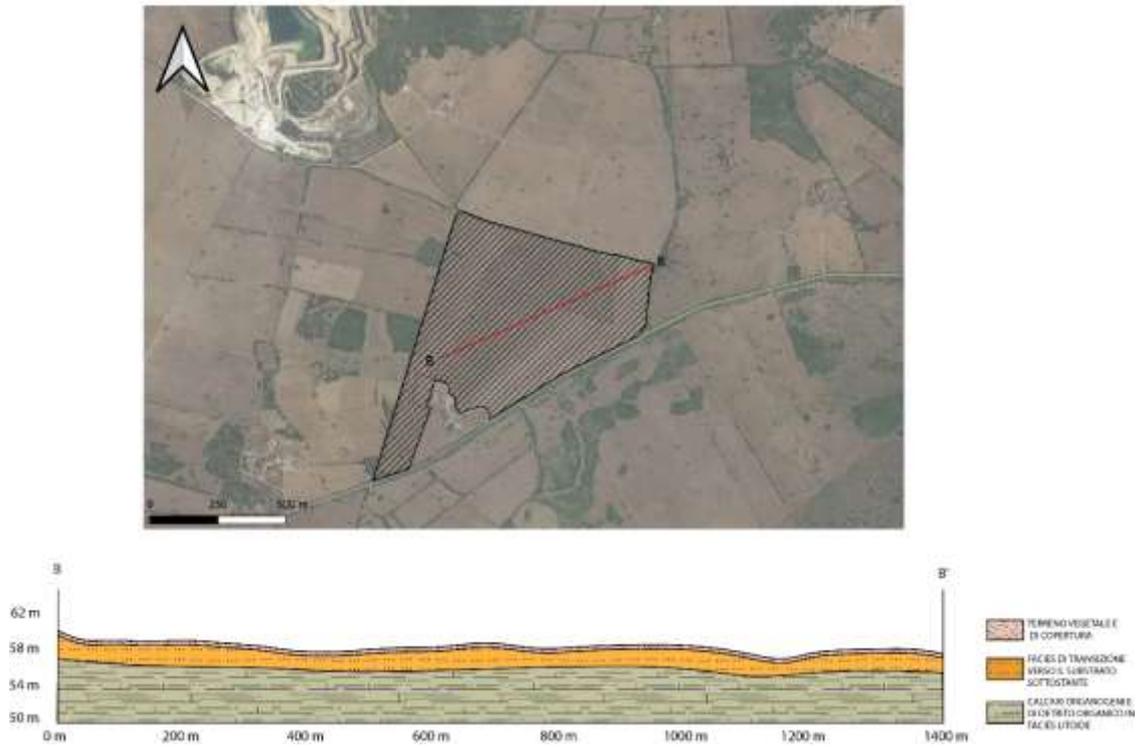
**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



**Fig. 9: Sezione B-B'**



## **5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO DELL'AREA**

Per la ricostruzione delle caratteristiche **geologiche, geotecniche e geofisiche** di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una campagna di indagini geognostiche in sito, geotecniche (in sito e in laboratorio) e geofisiche *in situ*.

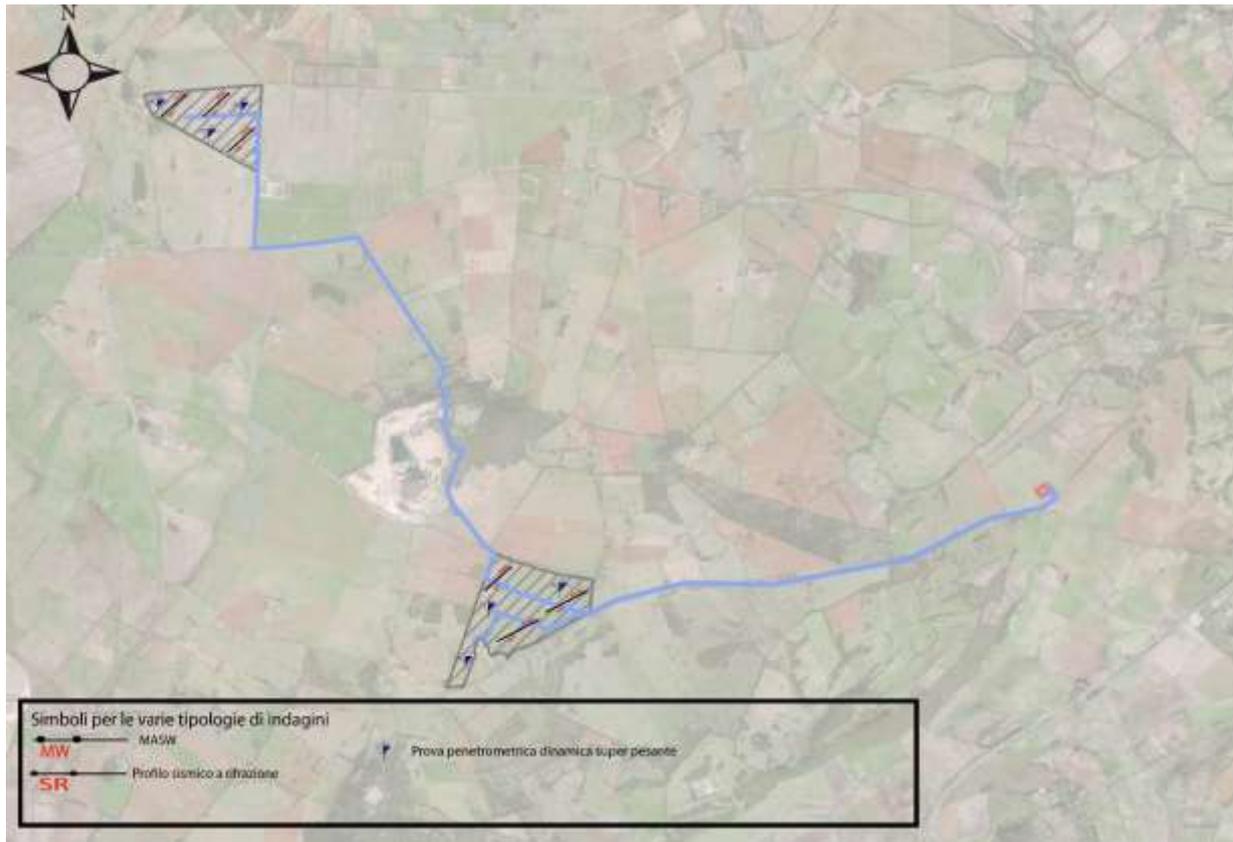
Le **indagini geotecniche in sito** sono consistite in:

- **n. 6 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH).**

Le **indagini geofisiche in sito** sono infine consistite in:

- **n. 6 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **n. 6 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;

Una **corretta ubicazione delle indagini eseguite** è riportata, di seguito, in **Figura 11**.



*Fig. 11: Ubicazione delle indagini geotecniche, geognostiche e geofisiche eseguite.*



## **5.1 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO**

In questo paragrafo sono descritte le **indagini geotecniche in sito** effettuate nell'area di studio, consistite precisamente in:

- **N° 6 Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH**, denominate **DPSH1, DPSH2, DPSH3, DPSH4, DPSH5 e DPSH6** spinte rispettivamente fino ad una profondità di 4,20 – 3,40 – 3,00 – 4,00 – 3,80 e 4,00 metri dal p.c.

Le *indagini geotecniche in sito* sono state eseguite, nel mese di **MARZO 2021**.

La **prova penetrometrica dinamica DPSH** (Dynamic Probing Super Heavy) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione ogni 20 cm di affondamento.

L'attrezzatura è composta da una batteria di aste lunghe 1 metro con diametro di 32 mm, alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica avente angolo di apertura di 60°, e da un maglio battente di 63.5 kg che viene fatto cadere da un'altezza di 75 cm.

La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano campagna, ma in alcuni casi può essere anche condotta come proseguimento di una prova statica interrotta a causa di un livello ad elevata resistenza. Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.



## METODOLOGIA

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (pertratti consecutivi) misurando il numero di colpi  $N$  necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- *peso massa battente  $M$*
- *altezza libera caduta  $H$*
- *punta conica: diametro base cono  $D$ , area base  $A$  (angolo di apertura  $\alpha$ )*
- *avanzamento (penetrazione)  $d$*
- *presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).*



Con riferimento alla classificazione **ISSMFE** (1988) dei diversi tipi di **penetrometri dinamici** (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente).

- tipo **LEGGERO (DPL)**

- tipo **MEDIO (DPM)**

- tipo **PESANTE (DPH)**

- tipo **SUPERPESANTE (DPSH)**

### Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25 m
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25 m

**In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici** (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30)** (MEDIO secondo la classifica ISSMFE) massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $a = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.
- **DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20)** (MEDIO secondo la classifica ISSMFE) massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $a = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

**PAGINA 24 di 49**

**STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA**

GEOLOGO VINCENZO CORTESE

INDIRIZZO: VIA BARCELLONA N° 20 - 86021 BOJANO (CB)

TELEFONO: 0874/783120 FAX: 0874/773186 MOBILE: 328.6429991

E-MAIL: vincenzocortese@live.it



- **DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)**  
*massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A = 20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni.*
- **DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Tipo EMILIA)**  
*massa battente  $M = 63.5$  kg, altezza caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 20-30$  cm, punta conica ( $\alpha = 90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5 - 51,0$  mm, area base cono  $A = 20,0 - 20,43$  cm<sup>2</sup>, rivestimento/fango bentonitico : talora previsto.*

## PENETROMETRO DINAMICO IN USO PER LA SEGUENTE INDAGINE

### TG 63-200 EML .C Pagani

#### CARATTERISTICHE TECNICHE

Rif. Norme	DIN 4094
PESO MASSA BATTENTE : M	63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA : H	0,75m
PESO SISTEMA BATTUTA : Ms	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA: D	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA : A	20,43 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA: $\alpha$	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA: PI	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : $\delta$	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA: N= N(20)	Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO $Q = (MH) / (A \delta) = 11,65565$ kg/cm <sup>2</sup> ( prova SPT: $Q_{spt} = 7.83$ kg/cm <sup>2</sup> )	
COEFF.TEORICO DI ENERGIA $\beta t = Q/Q_{spt} = 1,489$	(teoricamente: $N_{spt} = \beta t N$ )

*Specifiche tecniche del Penetrometro utilizzato in situ.*

In ALLEGATO N. 1 sono riportati i certificati relativi alle INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO.



## 5.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO

E' stata eseguita, nell'area allo studio, una **campagna di indagini geofisiche in sito** costituita, nello specifico, da:

- **n. 6 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **n. 6 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle  $V_{seq}$** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;

Le **indagini geofisiche** sono state eseguite dalla **Ditta GEOSECURE SRL**, con sede in Bojano (CB), nel mese di MARZO 2021: nell'**ALLEGATO SISMICO (Allegato N. 3)** sono riportati gli elaborati relativi alle indagini geofisiche eseguite e la corretta ubicazione delle indagini stesse.

I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione delle prospezioni con metodologia di indagine "MASW" hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame.

Nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- **$V_s$  Equivalente  $M1$  pari a  $625 \text{ m/s}$  per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a  $-32,00 \text{ mt} = \text{suolo categoria B}$** ,
- **$V_s$  Equivalente  $M2$  pari a  $613 \text{ m/s}$  per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a  $-32,00 \text{ mt} = \text{suolo categoria B}$** ,
- **$V_s$  Equivalente  $M3$  pari a  $618 \text{ m/s}$  per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a  $-32,00 \text{ mt} = \text{suolo categoria B}$** ,
- **$V_s$  Equivalente  $M4$  pari a  $617 \text{ m/s}$  per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a  $-32,00 \text{ mt} = \text{suolo categoria B}$** ,
- **$V_s$  Equivalente  $M5$  pari a  $634 \text{ m/s}$  per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a  $-32,00 \text{ mt} = \text{suolo categoria B}$** ,



- Vs Equivalente  $M6$  pari a **635 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B.**

Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche i valori di  $V_{seq}$  validi per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come " *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 fra 360 m/s e 800 m/s.*", secondo il **D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.**

In ALLEGATO N. 2 sono riportati i certificati relativi alle prove stesse.



## 6 MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO

La consultazione dei **dati di letteratura** disponibili per l'area di studio, la **diretta osservazione di campo** ottenuta durante il **rilevamento geologico di dettaglio** effettuato sia direttamente nell'area di intervento che nelle zone adiacenti (al fine di ampliare la visione dei terreni affioranti e delle strutture geologiche presenti) e le **ricostruzioni lito-stratigrafiche** derivanti dalla consultazione dei sondaggi geognostici esistenti nelle immediate vicinanze del sito di intervento, opportunamente verificati mediante le informazioni acquisite dalla lettura dei risultati provenienti dall'esecuzione della **campagna di indagini geotecniche e geofisiche in sito**, hanno consentito il raggiungimento di una sufficiente definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame.

Per il sito di specifico interesse è pertanto possibile definire il seguente **modello geologico**:

PROFONDITA'	STRATIGRAFIA
DA 0,00 A 1,20 MT	TERRENO VEGETALE E DI COPERTURA
DA 1,20 A 4,20 MT	FACIES DI TRANSIZIONE VERSO IL SUBSTRATO SOTTOSTANTE
DA 4,20 A 30,00 MT	CALCARI ORGANOGENI E DI DETRITO ORGANICO IN FACIES LITOIDE



## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Dall'esecuzione delle prospezioni geotecniche in sito di tipo **DPSH** eseguite nell'area è stato possibile produrre le seguenti tabelle mostranti una sintesi dei parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione e dei parametri sismici ed elastici ricavati dall'esecuzione delle prospezioni geofisiche:

### Parametri geotecnici dedotti dalle prove geotecniche eseguite in situ.

#### PROVA N.1

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesion e non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Mod. Edometrico $E_{ed}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young $E_{el}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 2,00	8	COESIVO	0,96	1,89	1,90	6-12	95,88	76,70	15,34
2	DA METRI 2,00 A METRI 4,20	39	COESIVO	4,84	2,45	2,50	27-30	387,00	387,00	77,40

#### PROVA N.2

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesion e non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Mod. Edometrico $E_{ed}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young $E_{el}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenza alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,60	5	COESIVO	0,68	1,78	1,88	6-12	68,00	54,40	10,88
2	DA METRI 1,60 A METRI 3,40	32	COESIVO	3,95	2,19	2,42	27-30	315,80	315,80	63,16



## PROVA N.3

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesion e non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Mod. Edometri co E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>el</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenz a alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,60	6	COESIVO	0,73	1,80	1,89	6-12	73,00	58,40	11,68
2	DA METRI 1,60 A METRI 3,00	36	COESIVO	4,49	2,32	2,50	27-30	358,90	358,90	71,78

## PROVA N.4

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesion e non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Mod. Edometri co E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>el</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenz a alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,80	2	COESIVO	0,25	1,56	1,85	6-12	25,00	20,00	4,00
2	DA METRI 1,80 A METRI 4,00	36	COESIVO	4,48	2,32	2,50	27-30	358,30	358,30	71,66



## PROVA N.5

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesion e non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Mod. Edometri co E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>el</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenz a alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,60	3	COESIVO	0,42	1,66	1,86	6-12	42,25	33,80	6,76
2	DA METRI 1,60 A METRI 3,80	35	COESIVO	4,32	2,27	2,50	27-30	345,90	345,90	69,18

## PROVA N.6

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesion e non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Angolo $\phi$	Mod. Edometri co E <sub>ed</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Mod. Elastico di Young E <sub>el</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Qc Resistenz a alla punta (kg/cm <sup>2</sup> )
1	DA METRI 0,00 A METRI 1,80	4	COESIVO	0,56	1,73	1,87	6-12	56,38	45,10	9,02
2	DA METRI 1,80 A METRI 4,00	31	COESIVO	3,88	2,18	2,41	27-30	310,40	310,40	62,08



## 7 MODELLOZIONE SISMICA DEL LOTTO INVESTIGATO

Definire i modelli di comportamento dei materiali superficiali (che possono costituire possibili piani di posa di sistemi fondali), in chiave sismica, significa trattare di una problematica di notevole interesse nell'ambito di ricerche di carattere geologico-tecnico e geofisico applicate all'Ingegneria.

Determinare il comportamento di un litotipo, vale a dire la risposta a sollecitazioni costanti o variabili nel tempo, significa definire la o le relazioni sforzo-deformazioni sue caratteristiche, tramite i Moduli Elastici.

In particolare, in un contesto di **prevenzione da rischio sismico**, di notevole importanza è la valutazione della “**Risposta sismica locale**”, che consiste nel definire come i terreni più superficiali d'interesse ingegneristico, rispondono alle sollecitazioni prodotte da un evento sismico, modificandone le caratteristiche spettrali, nel senso di amplificazioni e/o attenuazioni in termini di ampiezze delle onde.

Da tali modifiche, è noto, dipendono i maggiori danni alle strutture durante una scossa di terremoto, poiché la vulnerabilità di un edificio è funzione oltre che della durata e dell'intensità della sollecitazione, principalmente dall'ampiezza delle onde di taglio.

L'assetto litostratigrafico locale del sito investigato, e comunque di gran parte dell'intero territorio comunale, rappresenta, da questo punto di vista, una tipica “situazione geologica a Rischio”, per la notevole possibilità che si verifichino fenomeni di amplificazioni o risonanze dei sistemi terreno-strutture.

La ricostruzione della successione litostratigrafica dedotta dai sondaggi effettuati su tutto il territorio comunale, prevede la presenza di calcari.

Una tale situazione geolitologica nonché geomeccanica, fa sì che uno sciame sismico che percorre lo strato litoide (basamento con  $V_s > 800$  m/sec), presenta delle velocità delle onde sismiche di



taglio abbastanza elevate, ma tutte le onde vengono attenuate secondo una ben determinata legge di attenuazione (resta sempre valida la regola generale che i danni prodotti e quindi la distribuzione degli effetti, sono funzione inversa alla distanza dalla sorgente e dal meccanismo di liberazione dell'energia).

## **RIFERIMENTI VALIDI PER L'AREA ALLO STUDIO**

Il sito in esame, sulla base della **Riclassificazione Sismica del Territorio Italiano** secondo l'**Ordinanza n° 3234** del 29 luglio 2003 emanata dal **Presidente del Consiglio dei Ministri**, successivamente ripresa dal **D.M. 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”**, è compreso in **ZONA SISMICA 4**.

E' quindi necessario comunicare ai Progettisti che in fase di calcolo delle strutture in progetto sarà necessario tener conto di un incremento di spinta legato ad azioni sismiche agenti di taglio.



## VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE

Il fenomeno della liquefazione dinamica assume una particolare pericolosità in presenza di materiali granulari poco addensati saturi; il meccanismo di tale fenomeno dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geotecnici. Come riportato nel par.7.11.3.4.2 del DM 14-01-2008 e modificata nelle N.T.C. 2018 la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(Nl)_{60} > 30$  oppure  $q_{clN} > 180$  dove  $(Nl)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e  $q_{clN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

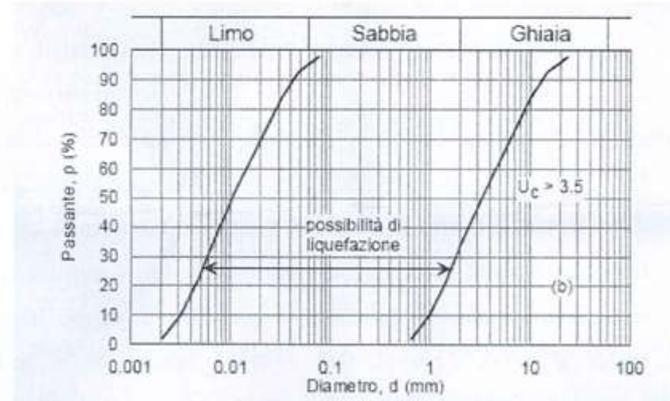
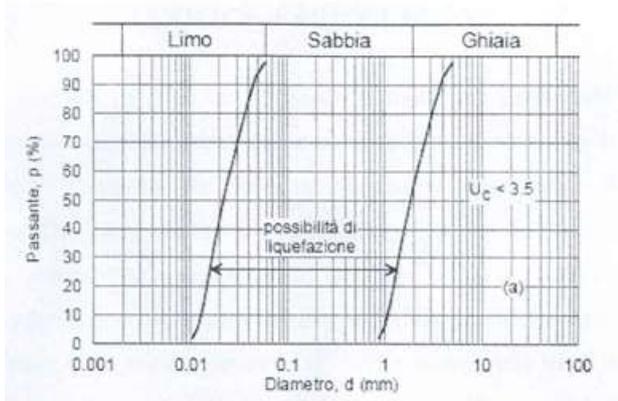


Figura 7.11.1(b) DM 14-01-2008

Nel caso specifico, dato l'assortimento granulometrico, le verifiche a liquefazione possono essere omesse.



## CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), vengono identificate n° 5 classi (denominate rispettivamente A, B, C, D e E) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

CAT.	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valore 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>B</b>	<u>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</u>
<b>C</b>	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 <b>180 m/s</b> e <b>360 m/s</b>
<b>D</b>	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 <b>100m/s</b> e <b>180 m/s</b>
<b>E</b>	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



Per  $V_{seq}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Per il suolo di fondazione della zona di studio le  $V_{seq}$  mostrano i seguenti valori:

- $V_s$  Equivalente  $M1$  pari a **625 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- $V_s$  Equivalente  $M2$  pari a **613 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- $V_s$  Equivalente  $M3$  pari a **618 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- $V_s$  Equivalente  $M4$  pari a **617 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- $V_s$  Equivalente  $M5$  pari a **634 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- $V_s$  Equivalente  $M6$  pari a **635 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B.**

Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche i valori di  $V_{seq}$  validi per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo 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 fra 360 m/s e 800 m/s.”* secondo il **D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.**



## STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Il **D.M. 17 gennaio 2018** (*Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche*) decreta che le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "**pericolosità sismica di base**" del sito di costruzione.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La **pericolosità sismica** è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa **ag** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se (T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza **PVR**, nel periodo di riferimento **VR**.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag**= accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.



- **Tc\***= periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella presente relazione, per il sito considerato, sono forniti valori di **ag**, **Fo** e **Tc\*** necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il "**range**" dei valori calcolati mette in evidenza che, il sottosuolo del sito in oggetto, risulta caratterizzato da valori della **V<sub>seq</sub>** riconducibili alla **Categoria di Suolo di tipo B**.

Come anzi detto, il livello di sismicità di una specifica area viene caratterizzato attraverso lo spettro di risposta elastico.

Una volta individuate le coordinate del sito in oggetto sono state inserite nel programma che, riferendosi ad una griglia di parametri spettrali di riferimento che copre tutto il territorio nazionale con passo di circa 15 km per nodo, ha ricavato i valori di **Ag**, **Fo** e **Tc\*** riferiti al punto indicativo del sito in oggetto, in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), ossia in assenza di effetti locali.

Questi parametri degli spettri di risposta come detto in precedenza sono relativi ad un sito privo di effetti al suolo, ossia senza effetti locali stratigrafici e topografici.

Per quanto riguarda l'amplificazione stratigrafica la norma individua due fattori di incremento **Ss** e **Cc** in funzione della **categoria di sottosuolo** di fondazione calcolata nel sito di realizzazione, mentre per quanto riguarda l'amplificazione topografica la norma individua quattro classi di variabilità assegnando a ciascuna un valore del coefficiente stratigrafico **Ts**.



Nelle *tabelle* successive vengono riportati i **range di variabilità** dei **coefficienti di amplificazione**:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
→ T1		1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

*Tabella 2: Valori del Coefficiente di Amplificazione Topografica  $S_T$  per le diverse categorie topografiche.*

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1.00	1.00
→ B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

*Tabella 3: Espressioni di calcolo dei coefficienti di Amplificazione Stratigrafica  $S_s$  e  $C_c$  per le diverse categorie di suolo.*



Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
→ T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i \geq 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $\geq 30^\circ$

**Tabella 4: Categorie di amplificazione topografica.**

Dalle analisi geologiche, geomorfologiche, geognostiche e geotecniche effettuate, si evince che, per il sito in oggetto, può essere ragionevolmente assegnata una categoria di amplificazione topografica di **tipo T1** ossia assimilabile a ***Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$*** .

Il passo successivo consiste nella valutazione dell'**accelerazione massima attesa al sito (amax)**, che viene riportata di seguito nella seguente espressione:

$$\mathbf{amax} = \mathbf{ag} * \mathbf{Ss} * \mathbf{St}$$

L'accelerazione massima attesa **amax** è fornita in  $\text{m/s}^2$  (dal valore nominale di **ag(g)**), accelerazione massima attesa al sito, si passa ad **ag** ( $\text{m/s}^2$ ) moltiplicando per 9.81.

Infine, si passa alla determinazione del **Coefficiente Sismico orizzontale (Kh)** e **Coefficiente Sismico verticale (Kv)**, seguendo le seguenti relazioni:

- **Coefficiente sismico orizzontale  $K_h = \beta S * amax / g$**  (per fondazioni)
- **Coefficiente sismico verticale  $K_v = 0.5 K_h$**  (per fondazioni)

In definitiva l'analisi degli spettri di risposta è completata in funzione dell'incremento relativo alla **Classe d'uso della struttura in oggetto** e alla **Vita Nominale dell'opera**,



ulteriormente incrementata con i **Coefficienti Stratigrafici e Topografici** di cui sopra e verificata agli **Stati Limiti** così come previsto da norma.

Nella **tabella 5** sono riportati i valori dell'accelerazione del suolo orizzontale di picco  $a_g$  espressi in percentuale di g, riferiti ad ogni zona omogenea di riferimento, tali valori sono riferiti alle accelerazioni attese in seguito ad un evento sismico in siti su roccia o suolo molto rigido (*bedrock*) con  $V_s > 800$  m/s, validi per il territorio nazionale.

<b>Zona sismica (livello di pericolosità)</b>	<b>Accelerazione orizzontale massima con prob. di superamento pari al 10% in 50 anni (<math>a_g/g</math>)</b>
1 (alto)	> 0,25
2 (medio)	0,15 – 0,25
3 (basso)	0,05 – 0,15
<b><u>4 (minimo)</u></b>	<b><u>&lt; 0,05</u></b>

**Tabella 5: Zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido.**



## 8. CONCLUSIONI

Il sottoscritto:

- Geologo Vincenzo CORTESE, nato a Mugnano di Napoli (NA) il 28/12/1983 (C.F. **CRTVCN83T28F799C**) e residente in Bojano (CB) alla Via Gino di Biase n° 32, iscritto all'Albo Professionale dell'*Ordine dei Geologi della Regione Molise* al n° **155** - sez. A "Geologi Specialisti",

con STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA avente sede in BOJANO (CB) alla Via Barcellona n° 20, ha eseguito uno studio di carattere geologico nel tenimento del Comune di **SASSARI (SS)**, a corredo del Progetto denominato: **“REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO. PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc (Immissione in rete 39MWac)”**, su incarico di **ECAP SOLUTIONS**.

E' stato effettuato un primo sopralluogo per constatare lo stato di fatto della zona di studio.

In seguito, sono stati compiuti ulteriori sopralluoghi, sia sull'area interessata dall'intervento che nelle aree adiacenti, allo scopo di ottenere una visione globale del territorio in cui si trova la zona interessata.



Il lavoro, nel rispetto delle **N.T.C. 2018**, ha avuto lo scopo di:

- *definire le condizioni morfologiche, idrogeologiche e tettoniche dell'area;*
- *valutare l'assetto litostratigrafico dell'area;*
- *definire la categoria sismica del sottosuolo secondo le Norme del D.M. 17 Gennaio 2018.*

Il lavoro stesso è altresì stato compilato in due fasi distinte e successive:

- nella prima fase è stata effettuata una analisi geomorfologica, idrogeologica, geologica e tettonica della zona in cui ricade l'area oggetto di studio;
- nella seconda fase è stato realizzato un rilevamento geologico di superficie esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed è stata presenziata, diretta ed interpretata una campagna di indagini geotecniche e geofisiche in situ.

**L'area interessata dalla presente indagine geologico-tecnica**, trovasi nel territorio comunale di **Sassari** a quote comprese tra i 59 m e gli 80 m s.l.m. Tale area risulta cartografata nel **F.° 179 “PORTO TORRES”** della Carta Geologica D'Italia in scala 1:100.000.

Per quel che concerne la **caratterizzazione geomorfologica di dettaglio** del lotto oggetto del presente studio geologico-tecnico, è possibile affermare che l'area stessa risulta esclusa da qualsiasi perimetrazione di **RISCHIO ALLUVIONE** definita dai Piani di Bacino, e rientra parzialmente nella perimetrazione di **RISCHIO FRANA Rg1**.

Per la ricostruzione delle caratteristiche geologiche, geotecniche e geofisiche di dettaglio del lotto interessato dal Progetto di cui in oggetto è stato eseguito un rilevamento geologico esteso anche ad aree limitrofe a quella d'interesse ed una campagna di indagini geotecniche e geofisiche *in situ*.



Le **indagini geotecniche in sito** sono consistite in:

- **n. 6 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH).**

Le **indagini geofisiche in sito** sono infine consistite in:

- **n. 6** prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di **sismica a rifrazione** classica e tomografica, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **N. 6** prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine **MASW**, necessarie per la misurazione del valore delle  $V_{seq}$ , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle N.T. vigenti;

I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area ed in particolar modo quelli provenienti dall'esecuzione delle prospezioni con metodologia di indagine "MASW" hanno permesso di classificare il suolo di fondazione del sito in esame: nel caso specifico si è ottenuto tale risultato:

- **Vs Equivalente M1 pari a 625 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **Vs Equivalente M2 pari a 613 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **Vs Equivalente M3 pari a 618 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **Vs Equivalente M4 pari a 617 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **Vs Equivalente M5 pari a 634 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **Vs Equivalente M6 pari a 635 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B.**



Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche **MASW** i valori di  $V_{seq}$  validi per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come *“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 fra 360 m/s e 800 m/s.”*, secondo il **D.M. 17 Gennaio 2018, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni**.

Dall'esecuzione delle prospezioni geotecniche in sito di tipo **DPSH** eseguite nell'area è stato possibile, inoltre, produrre le tabelle mostranti i **parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione**.

E' stata effettuata, infine, la **modellazione sismica** dell'area di studio.

Definire i modelli di comportamento dei materiali superficiali (che possono costituire possibili piani di posa di sistemi fondali), in chiave sismica, significa trattare di una problematica di notevole interesse nell'ambito di ricerche di carattere geologico-tecnico e geofisico applicate all'Ingegneria.

Il sito in esame, sulla base della **Riclassificazione Sismica del Territorio Italiano** secondo l'**Ordinanza n° 3234** del 29 luglio 2003 emanata dal **Presidente del Consiglio dei Ministri**, successivamente ripresa dal **D.M. 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”**, è compreso in **ZONA SISMICA 4**.

E' quindi necessario comunicare ai Progettisti che in fase di calcolo delle strutture in progetto sarà necessario tener conto di un incremento di spinta legato ad azioni sismiche agenti di taglio.



I dati di letteratura mostrano, inoltre, che la zona di studio ed è situata in un'area caratterizzata da spessori della coltre di copertura inferiori a 30,00 metri e quindi potrebbe essere interessata da **possibili fenomeni di amplificazione di sito per frequenze inferiori ad 1 Hz.**

**Pertanto, per il dimensionamento delle opere d'arte previste per gli interventi di natura edile è prevista l'adozione, con le relative prescrizioni, delle norme tecniche emanate con D.M. 17.1.2018 ai sensi delle Leggi 1086 del 1971 e 64 del 1974, poi diventate D.P.R. 380 del 2001.**

## IL GEOLOGO

Dott. Geol. Vincenzo CORTESE





## **ALLEGATO N. 1**

### **PROVE GEOTECNICHE IN SITU**



## **ALLEGATO N. 2**

### **PROVE GEOFISICHE IN SITU**

# CERTIFICATI PROVE IN SITO

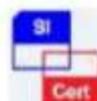


Available versions		
DP Only	CPT Only	DP + CPT
■ DPSH	■ 200kN	■ DPSH + 200 kN
= DPH		= DPH + 200 kN
= DPM		= DPM + 200 kN
Rotary head		

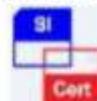
Legend	
■	Standard
=	Optional



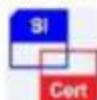
ATT. N. 7918/63/01



NUMERO PC: 0151-GEO-Q



NUMERO PC: 0151-GEO-E



NUMERO PC: 0151-GEO-H



**GEOSECURE S.R.L.**  
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES



SEDE LEGALE: VIA DEI MONTI PARIOLI, 40 - ROMA (RM)

SEDE OPERATIVA: VIA BARCELLONA N.18 – BOJANO

TEL:0874/783120 CELL.3286429991 FAX:0874/773188

MAIL: [info@geosecure.it](mailto:info@geosecure.it) SITO: [www.geosecure.it](http://www.geosecure.it)

COMMITTENTE : ECAP SOLUTIONS

OGGETTO :

REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO. PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc (Immissione in rete 39MWac)

SITO: SASSARI

CODICE DOCUMENTO : CPS 111/21 DPSH

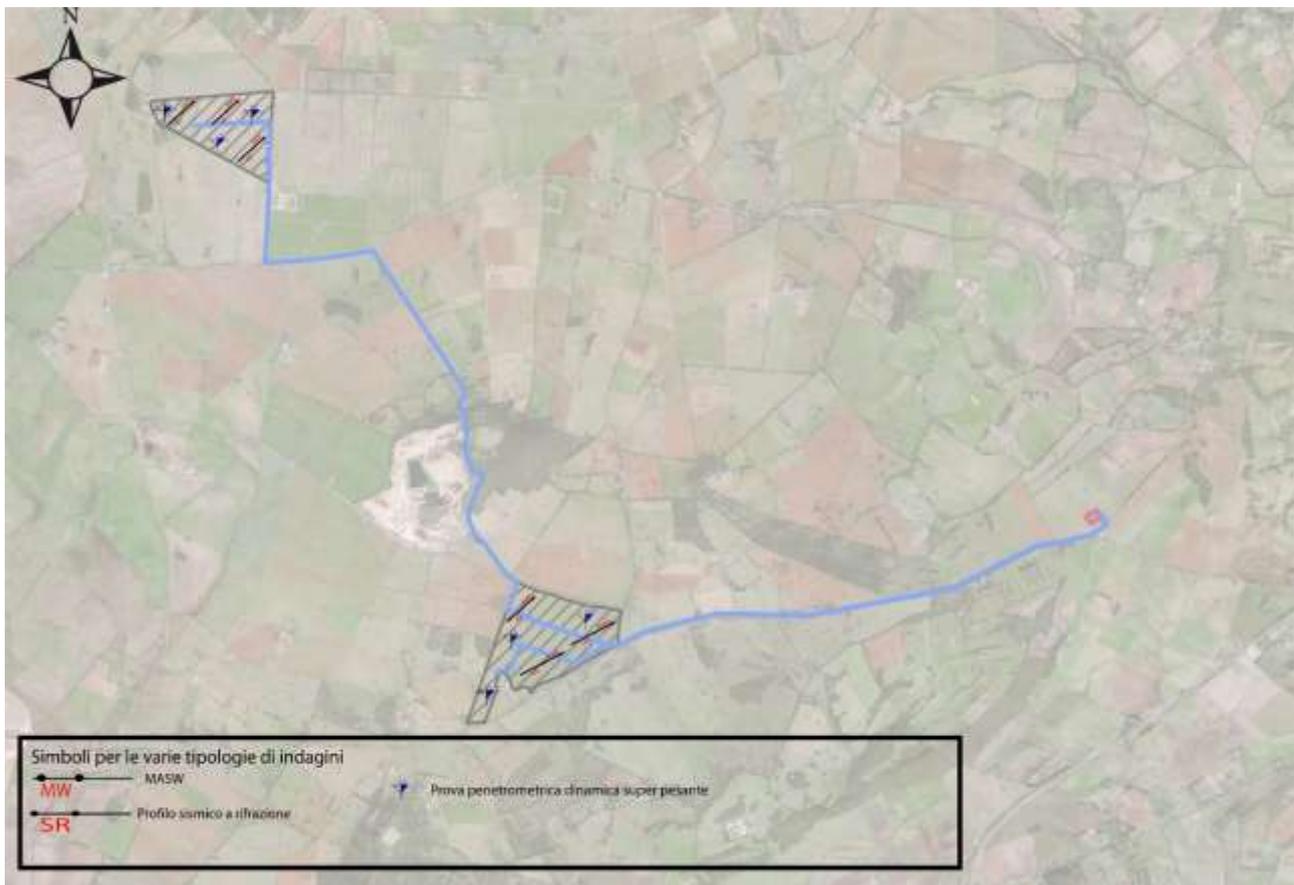
SPERIMENTATORE	DIRETTORE TECNICO	REV. 0
DOTT. ANTONINO CARUSO	DOTT. CARLO CORTESE	DATA MARZO 2021

## NUMERO E TIPOLOGIE DI PROVE IN SITU:

N. 6 PROVE PENETROMETRICHE DI TIPO DPSH A PUNTA CHIUSA

NEL MESE DI **MARZO 2021** LA GEOSECURE SRL HA ESEGUITO NEL TENIMENTO DI **SASSARI** SEI PROSPEZIONI GEOTECNICHE IN SITU DI TIPO DPSH, SU INCARICO DI **ECAP SOLUTIONS**, IN RELAZIONE ALLA PRATICA DENOMINATA “**REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO. PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc (Immissione in rete 39MWac)**”.

IL FASCICOLO, COSTITUITO DA N. PAG. 22, E' RILASCIATO IN TRIPLICE COPIA IN ORIGINALE.



**PROVA N.1**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

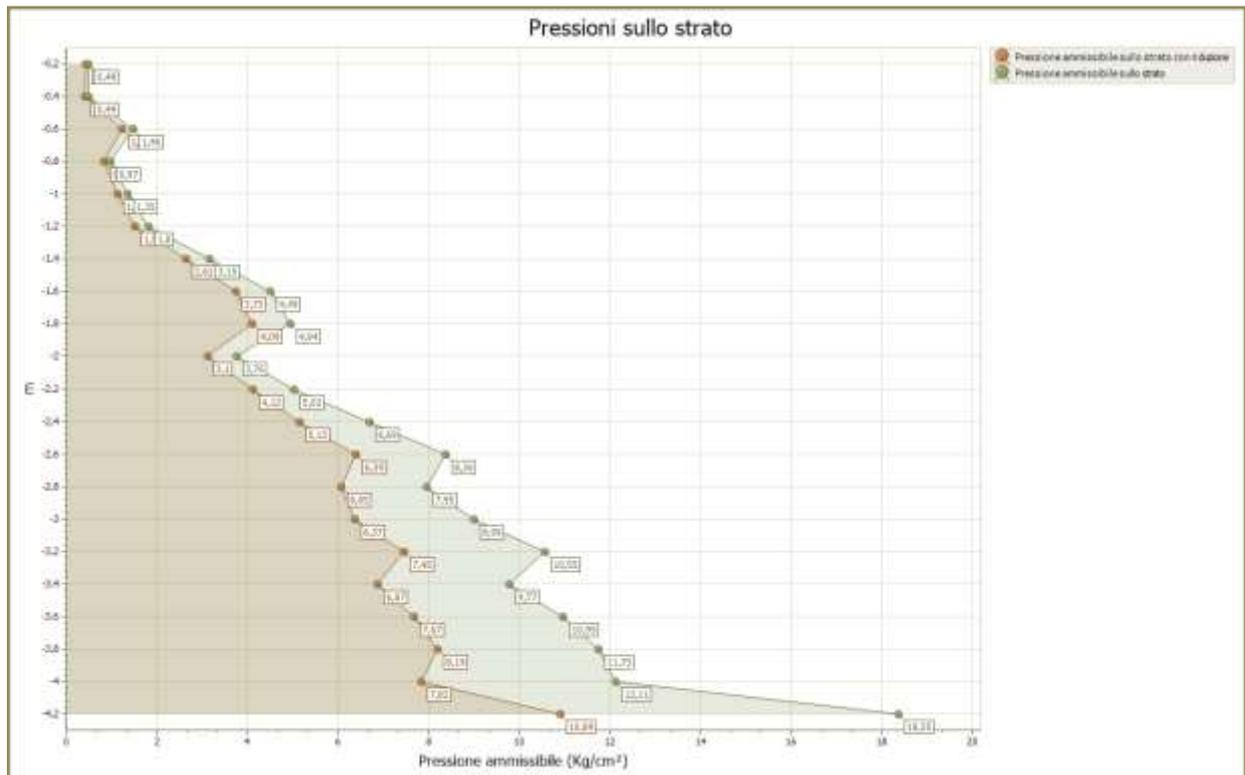
Profondità prova

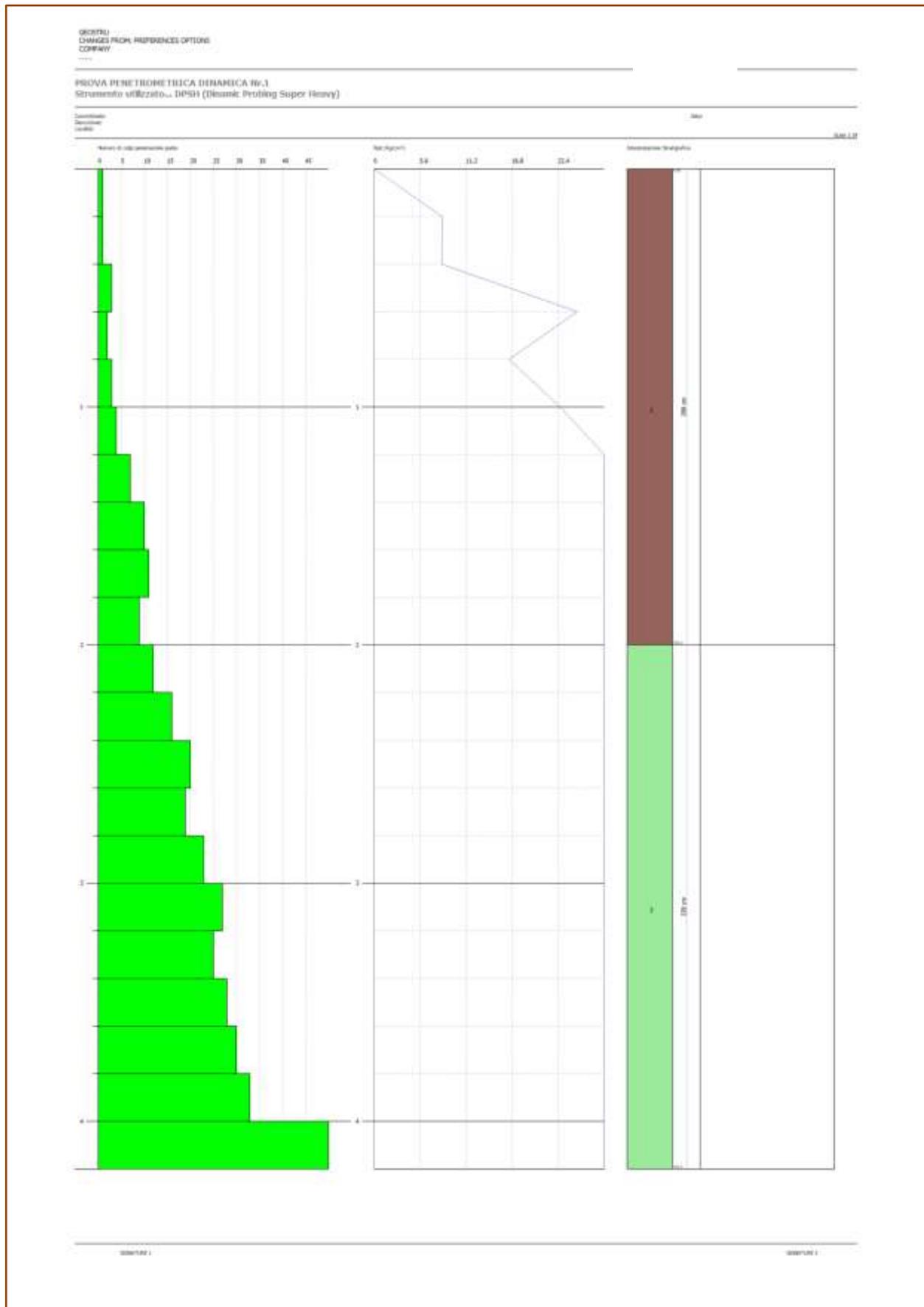
4,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	3	0,847	24,69	29,15	1,23	1,46
0,80	2	0,843	16,39	19,44	0,82	0,97
1,00	3	0,840	22,65	26,97	1,13	1,35
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	7	0,833	52,41	62,93	2,62	3,15
1,60	10	0,830	74,58	89,90	3,73	4,49
1,80	11	0,826	81,71	98,89	4,09	4,94
2,00	9	0,823	61,96	75,27	3,10	3,76
2,20	12	0,820	82,31	100,36	4,12	5,02
2,40	16	0,767	102,65	133,81	5,13	6,69
2,60	20	0,764	127,83	167,27	6,39	8,36
2,80	19	0,761	120,99	158,90	6,05	7,95
3,00	23	0,709	127,44	179,83	6,37	8,99
3,20	27	0,706	149,04	211,10	7,45	10,55
3,40	25	0,703	137,49	195,46	6,87	9,77
3,60	28	0,701	153,43	218,92	7,67	10,95
3,80	30	0,698	163,82	234,55	8,19	11,73
4,00	33	0,646	156,49	242,23	7,82	12,11
4,20	50	0,594	217,89	367,01	10,89	18,35





**PROVA N.2**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

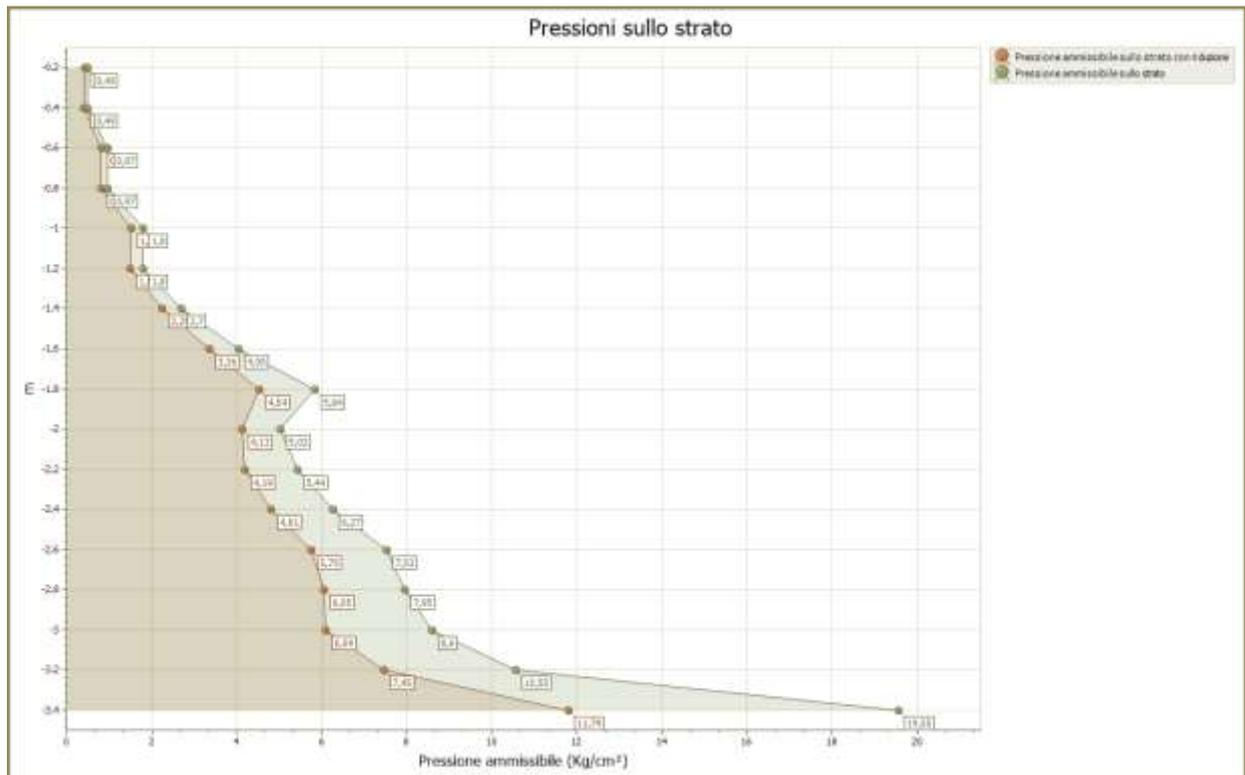
Profondità prova

3,40 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	2	0,847	16,46	19,44	0,82	0,97
0,80	2	0,843	16,39	19,44	0,82	0,97
1,00	4	0,840	30,20	35,96	1,51	1,80
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	6	0,833	44,92	53,94	2,25	2,70
1,60	9	0,830	67,12	80,91	3,36	4,05
1,80	13	0,776	90,73	116,87	4,54	5,84
2,00	12	0,823	82,61	100,36	4,13	5,02
2,20	13	0,770	83,73	108,72	4,19	5,44
2,40	15	0,767	96,24	125,45	4,81	6,27
2,60	18	0,764	115,05	150,54	5,75	7,53
2,80	19	0,761	120,99	158,90	6,05	7,95
3,00	22	0,709	121,90	172,01	6,09	8,60
3,20	27	0,706	149,04	211,10	7,45	10,55
3,40	50	0,603	235,88	390,92	11,79	19,55



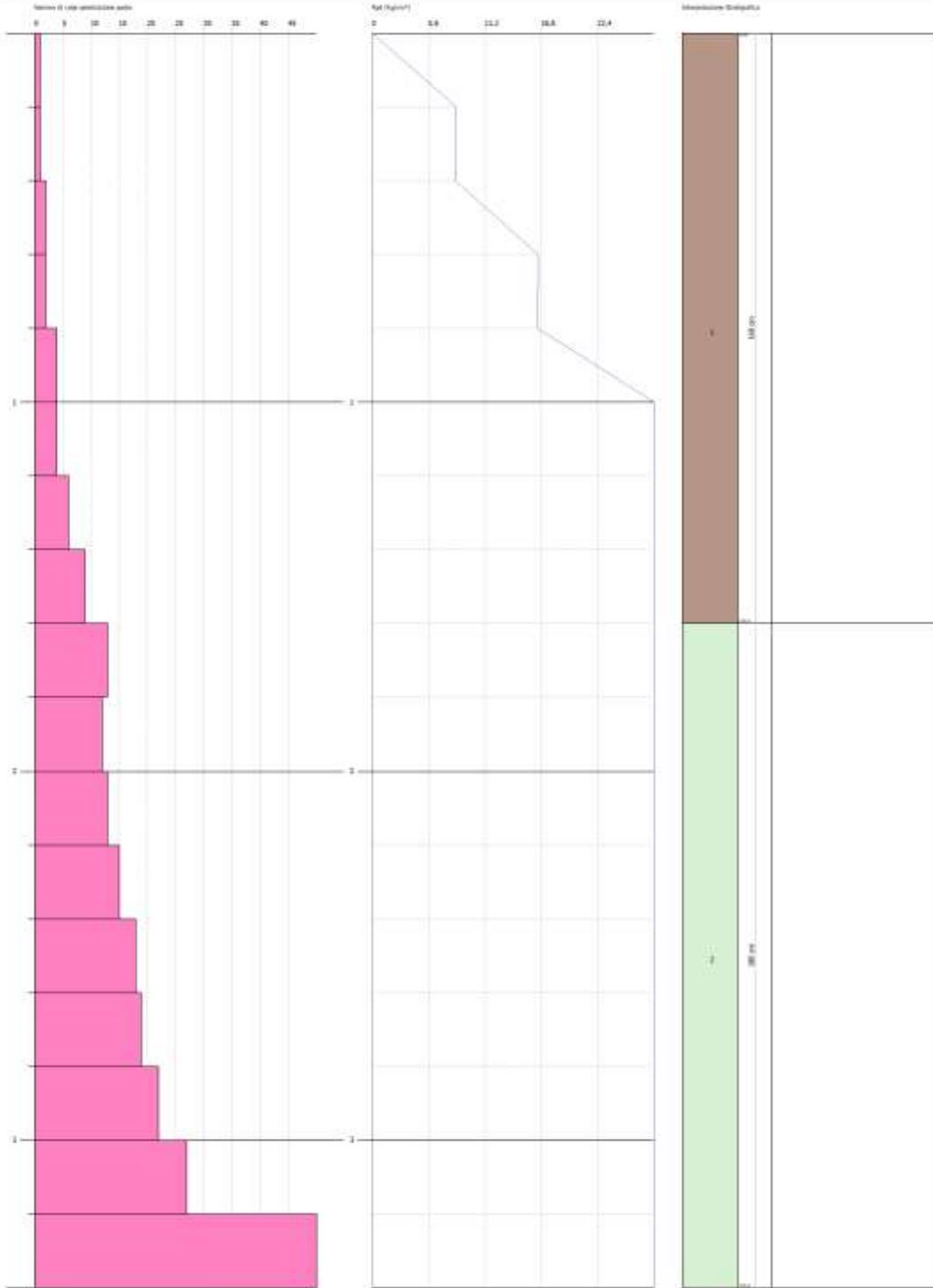
GESTORI  
CHARGES PESH PREFERENCES OPTIENS  
COMPANY

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPNH (Dynamic Probing Super Heavy)

Caratteristiche  
Descrizione  
Luogo

Data

Scala 1:20



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

### PROVA N.3

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

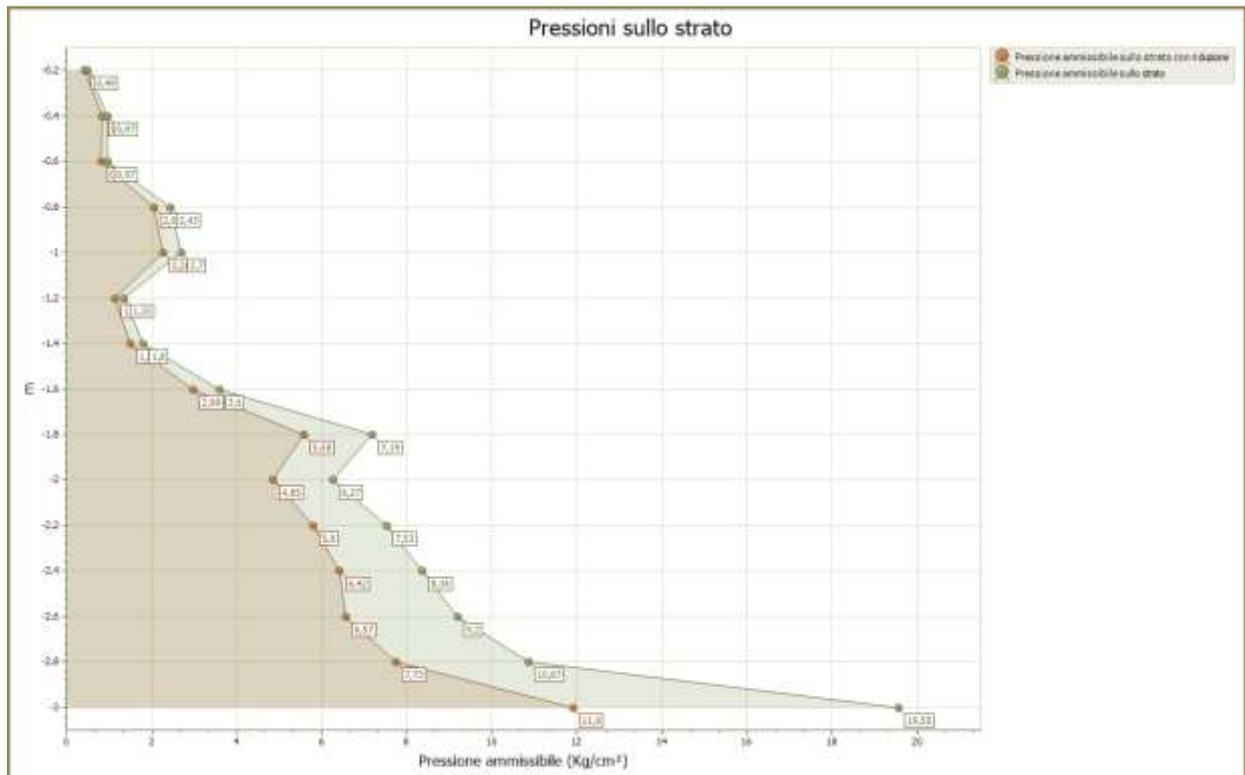
Prova eseguita in data

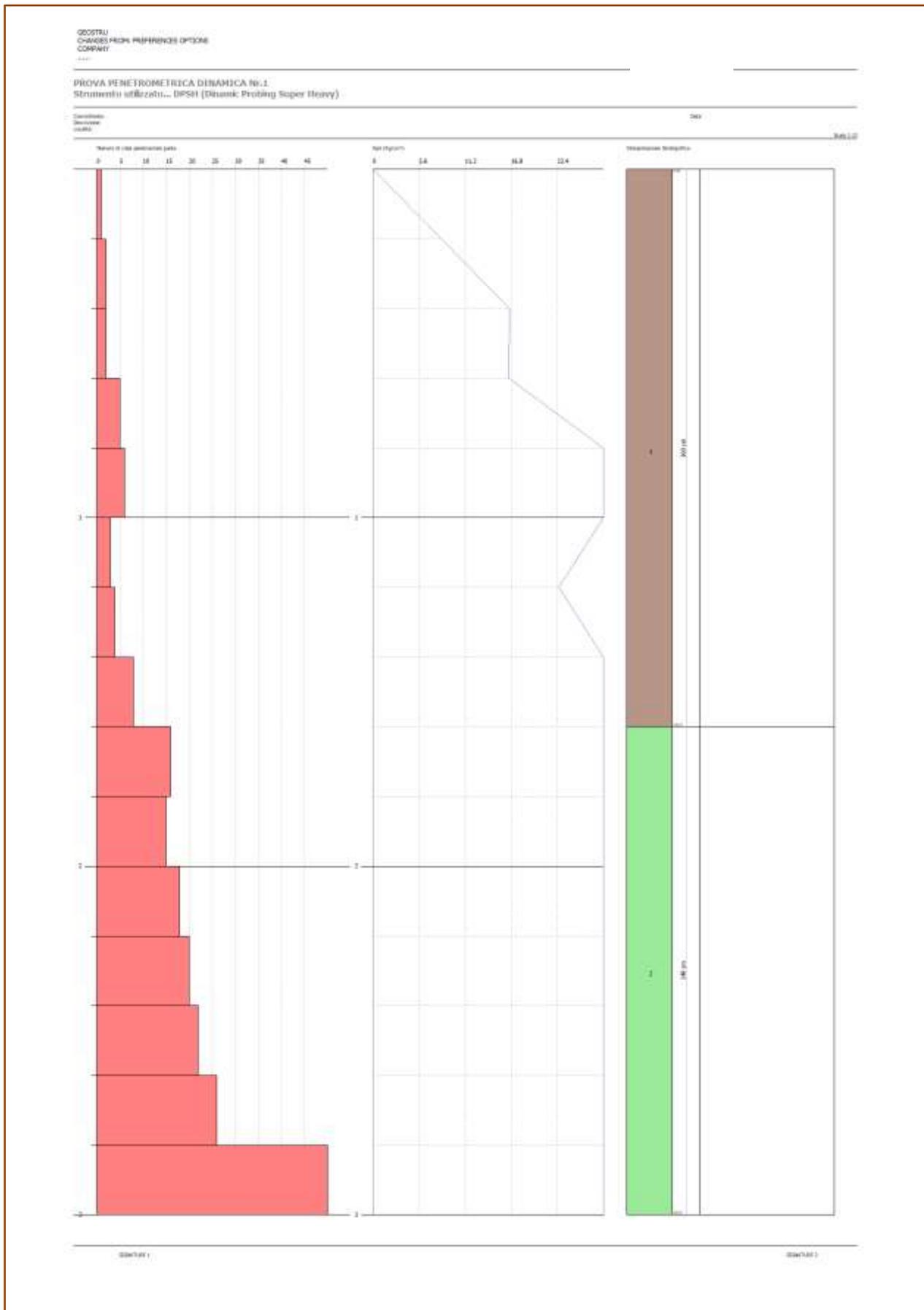
Profondità prova 3,00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	2	0,851	16,54	19,44	0,83	0,97
0,60	2	0,847	16,46	19,44	0,82	0,97
0,80	5	0,843	40,98	48,59	2,05	2,43
1,00	6	0,840	45,30	53,94	2,26	2,70
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	4	0,833	29,95	35,96	1,50	1,80
1,60	8	0,830	59,66	71,92	2,98	3,60
1,80	16	0,776	111,67	143,84	5,58	7,19
2,00	15	0,773	97,00	125,45	4,85	6,27
2,20	18	0,770	115,93	150,54	5,80	7,53
2,40	20	0,767	128,32	167,27	6,42	8,36
2,60	22	0,714	131,42	183,99	6,57	9,20
2,80	26	0,711	154,70	217,45	7,73	10,87
3,00	50	0,609	237,95	390,92	11,90	19,55





**PROVA N.4**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

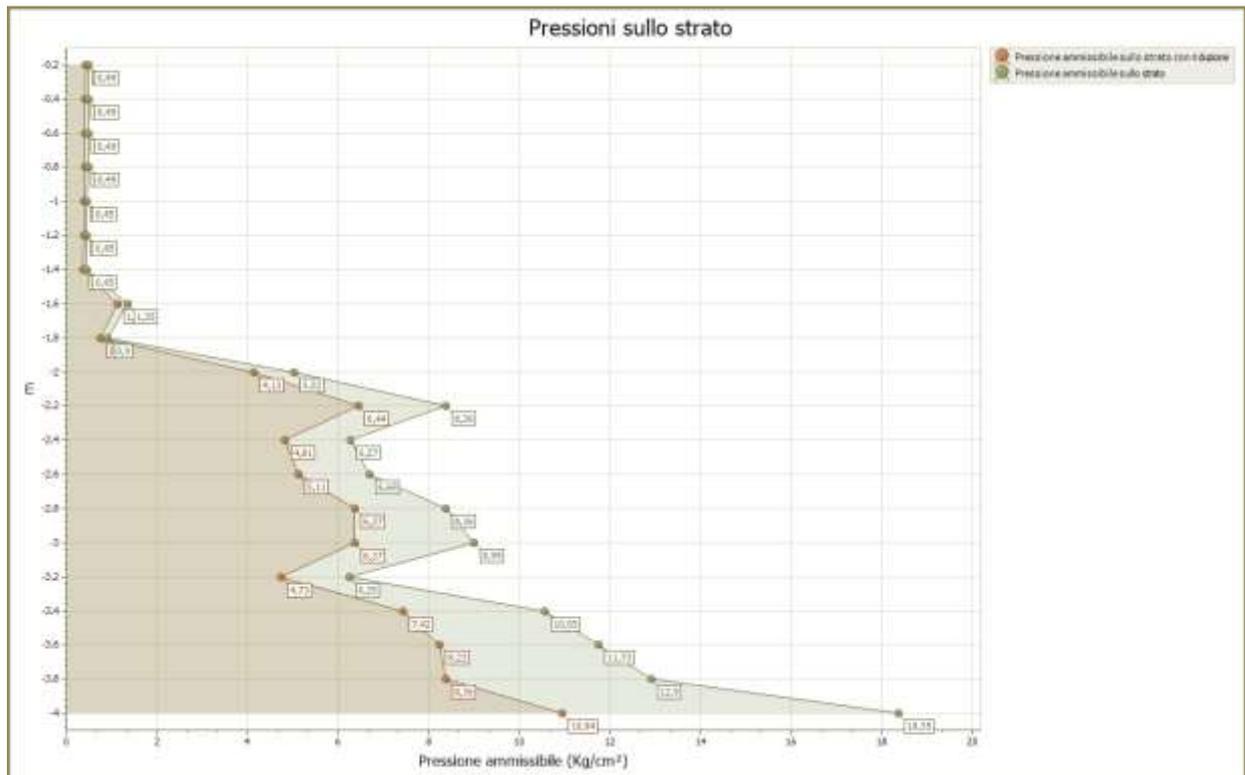
Profondità prova

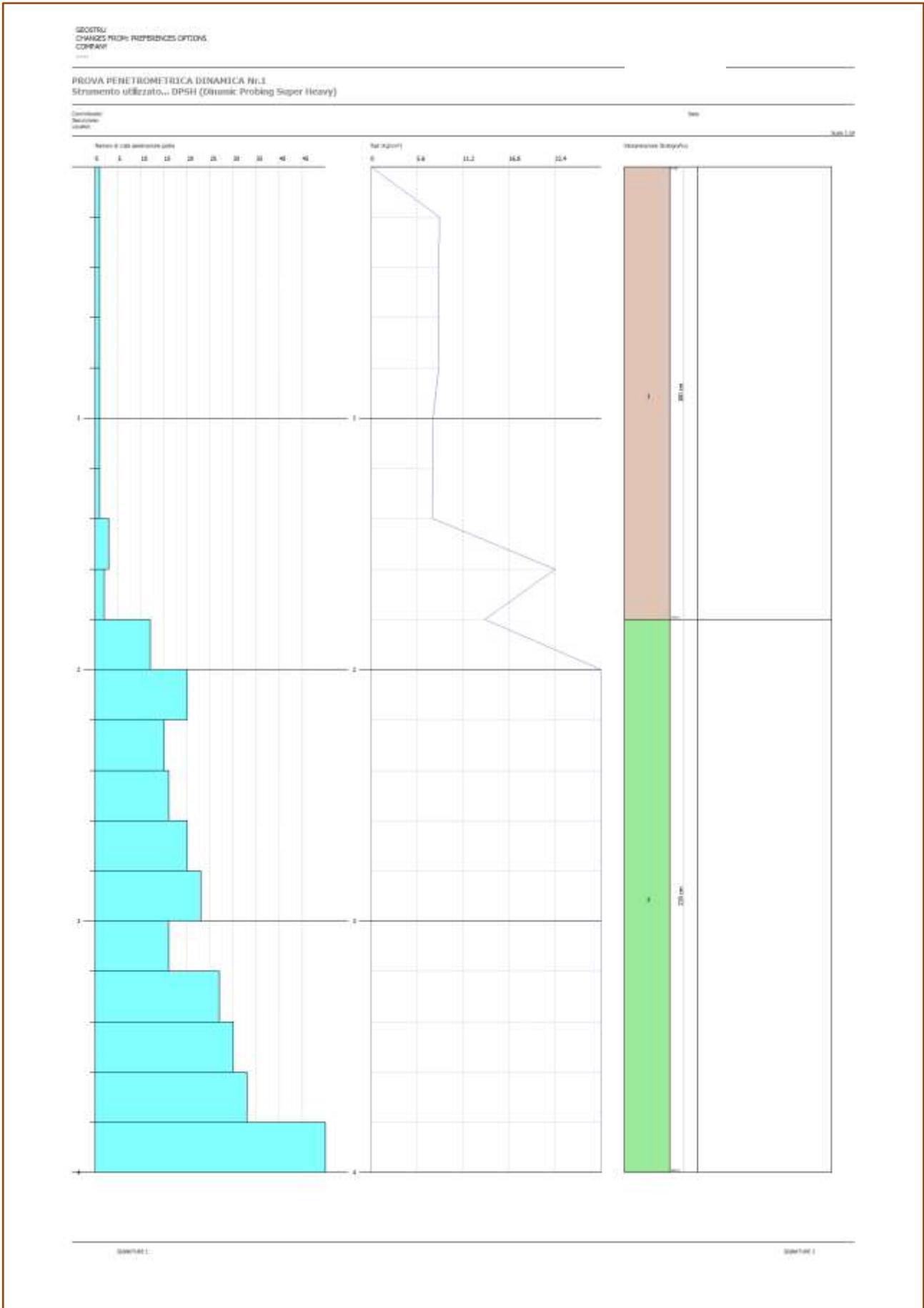
4,00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	1	0,843	8,20	9,72	0,41	0,49
1,00	1	0,840	7,55	8,99	0,38	0,45
1,20	1	0,836	7,52	8,99	0,38	0,45
1,40	1	0,833	7,49	8,99	0,37	0,45
1,60	3	0,830	22,37	26,97	1,12	1,35
1,80	2	0,826	14,86	17,98	0,74	0,90
2,00	12	0,823	82,61	100,36	4,13	5,02
2,20	20	0,770	128,82	167,27	6,44	8,36
2,40	15	0,767	96,24	125,45	4,81	6,27
2,60	16	0,764	102,27	133,81	5,11	6,69
2,80	20	0,761	127,36	167,27	6,37	8,36
3,00	23	0,709	127,44	179,83	6,37	8,99
3,20	16	0,756	94,57	125,10	4,73	6,25
3,40	27	0,703	148,49	211,10	7,42	10,55
3,60	30	0,701	164,39	234,55	8,22	11,73
3,80	33	0,648	167,30	258,01	8,36	12,90
4,00	50	0,596	218,75	367,01	10,94	18,35





**PROVA N.5**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

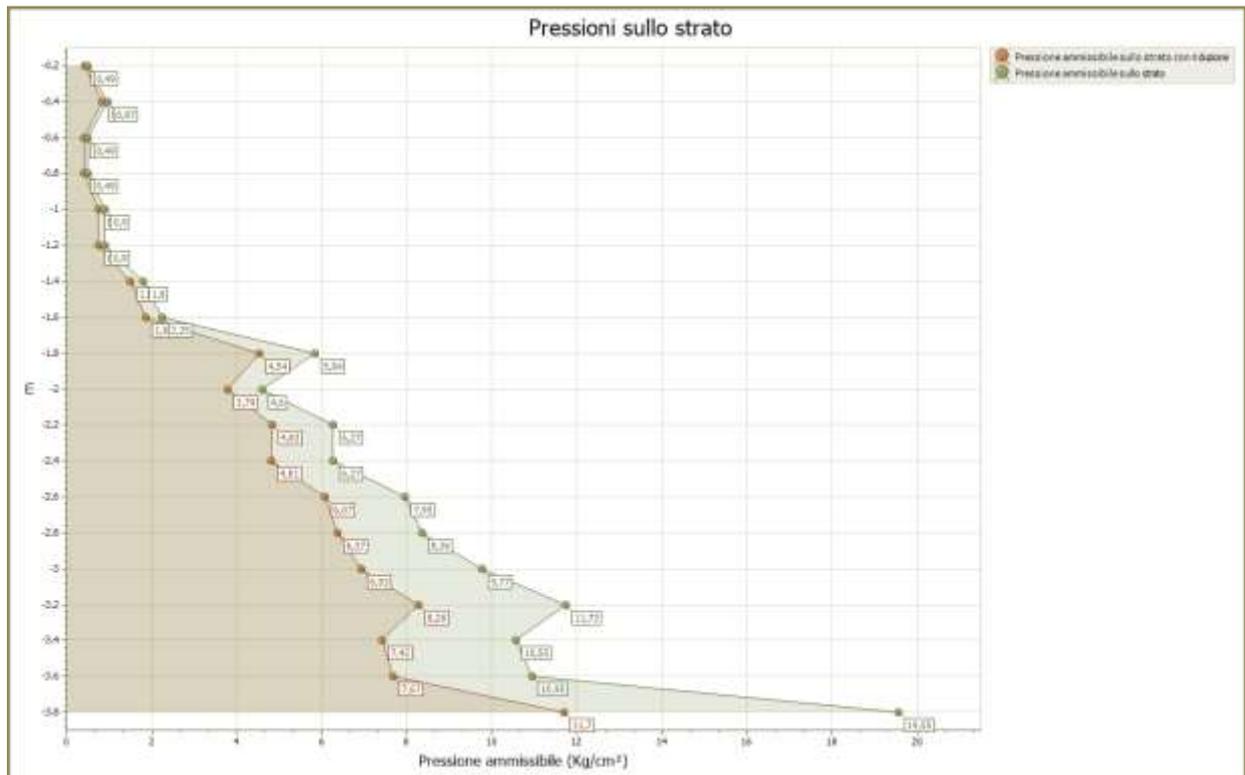
Profondità prova

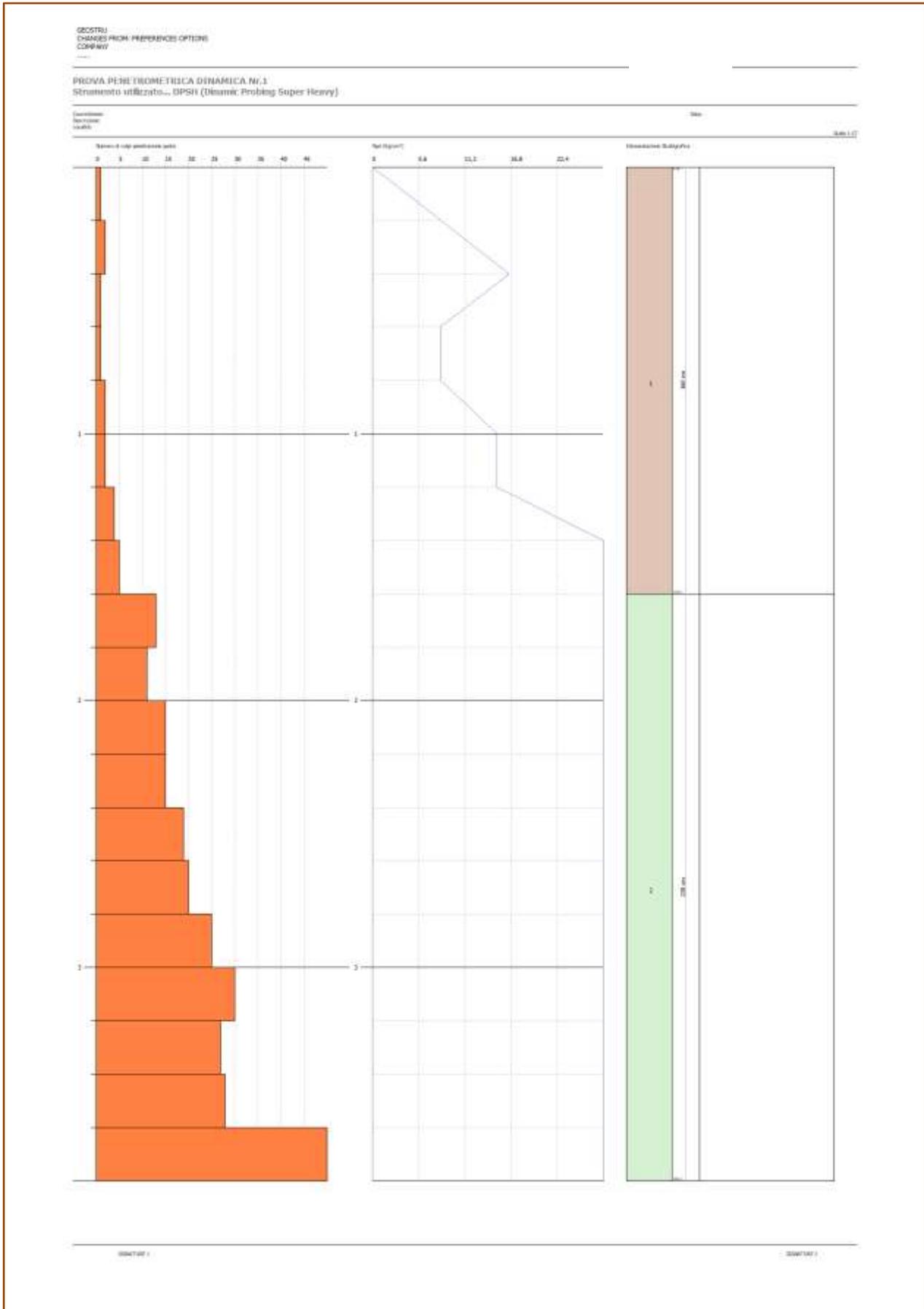
3,80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	2	0,851	16,54	19,44	0,83	0,97
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	1	0,843	8,20	9,72	0,41	0,49
1,00	2	0,840	15,10	17,98	0,75	0,90
1,20	2	0,836	15,04	17,98	0,75	0,90
1,40	4	0,833	29,95	35,96	1,50	1,80
1,60	5	0,830	37,29	44,95	1,86	2,25
1,80	13	0,776	90,73	116,87	4,54	5,84
2,00	11	0,823	75,73	92,00	3,79	4,60
2,20	15	0,770	96,61	125,45	4,83	6,27
2,40	15	0,767	96,24	125,45	4,81	6,27
2,60	19	0,764	121,44	158,90	6,07	7,95
2,80	20	0,761	127,36	167,27	6,37	8,36
3,00	25	0,709	138,52	195,46	6,93	9,77
3,20	30	0,706	165,60	234,55	8,28	11,73
3,40	27	0,703	148,49	211,10	7,42	10,55
3,60	28	0,701	153,43	218,92	7,67	10,95
3,80	50	0,598	233,93	390,92	11,70	19,55





**PROVA N.6**

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data

Profondità prova

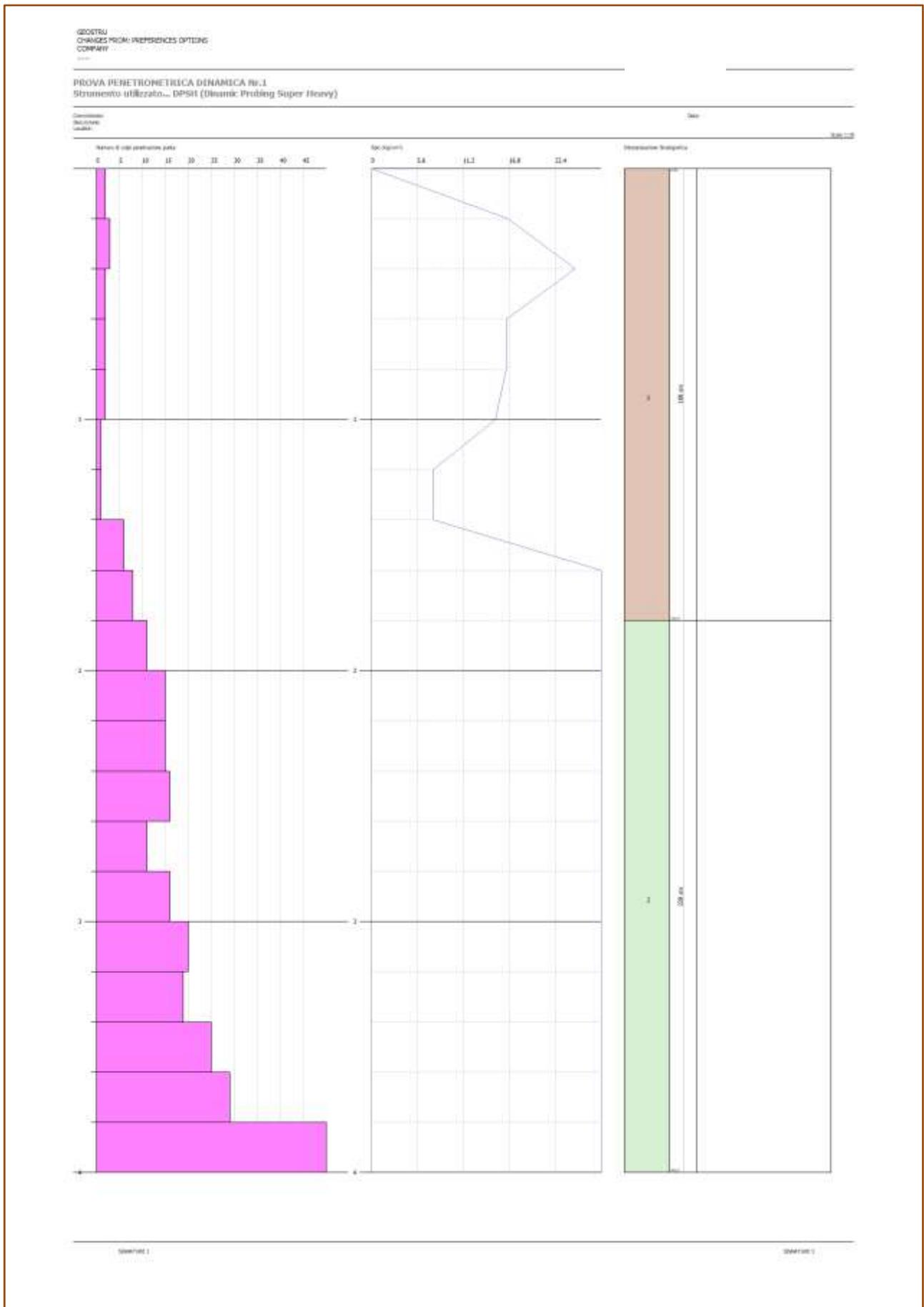
4,00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	3	0,851	24,80	29,15	1,24	1,46
0,60	2	0,847	16,46	19,44	0,82	0,97
0,80	2	0,843	16,39	19,44	0,82	0,97
1,00	2	0,840	15,10	17,98	0,75	0,90
1,20	1	0,836	7,52	8,99	0,38	0,45
1,40	1	0,833	7,49	8,99	0,37	0,45
1,60	6	0,830	44,75	53,94	2,24	2,70
1,80	8	0,826	59,43	71,92	2,97	3,60
2,00	11	0,823	75,73	92,00	3,79	4,60
2,20	15	0,770	96,61	125,45	4,83	6,27
2,40	15	0,767	96,24	125,45	4,81	6,27
2,60	16	0,764	102,27	133,81	5,11	6,69
2,80	11	0,811	74,65	92,00	3,73	4,60
3,00	16	0,759	94,91	125,10	4,75	6,25
3,20	20	0,756	118,22	156,37	5,91	7,82
3,40	19	0,753	111,92	148,55	5,60	7,43
3,60	25	0,701	136,99	195,46	6,85	9,77
3,80	29	0,698	158,36	226,74	7,92	11,34
4,00	50	0,596	218,75	367,01	10,94	18,35





**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Prova n.1*



*Prova n.2*



*Prova n.3*



*Prova n.4*



*Prova n.5*



*Prova n.6*



**REGIONE SARDEGNA**  
**COMUNE di**  
**SASSARI**



*(Provincia di SASSARI)*

**REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO.  
PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI  
MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA  
CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI  
CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc  
(Immissione in rete 39MWac)**

**Committenza:** ECAP SOLUTIONS

**ALLEGATO SISMICO**



Il Direttore Tecnico:

**Dott. Carlo Cortese**

**GEOSECURE SRL**  
Via dei Monti Parioli, 40  
00197 ROMA  
Part IVA 01650420704

*Carlo Cortese*

**DATA:** MARZO 2021

Rev. 0

## INDICE

1	<b>INTRODUZIONE GENERALE</b>	PAG. 02
2	<b>INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE</b>	PAG. 03
	2.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 03
	2.2 MASW	PAG. 06
3	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO</b>	PAG. 09
	3.1 TOMOGRAFIA SISMICA SS1-SS6	PAG. 09
	3.2 MASW M1-M6	PAG. 28
4	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE</b>	PAG. 47

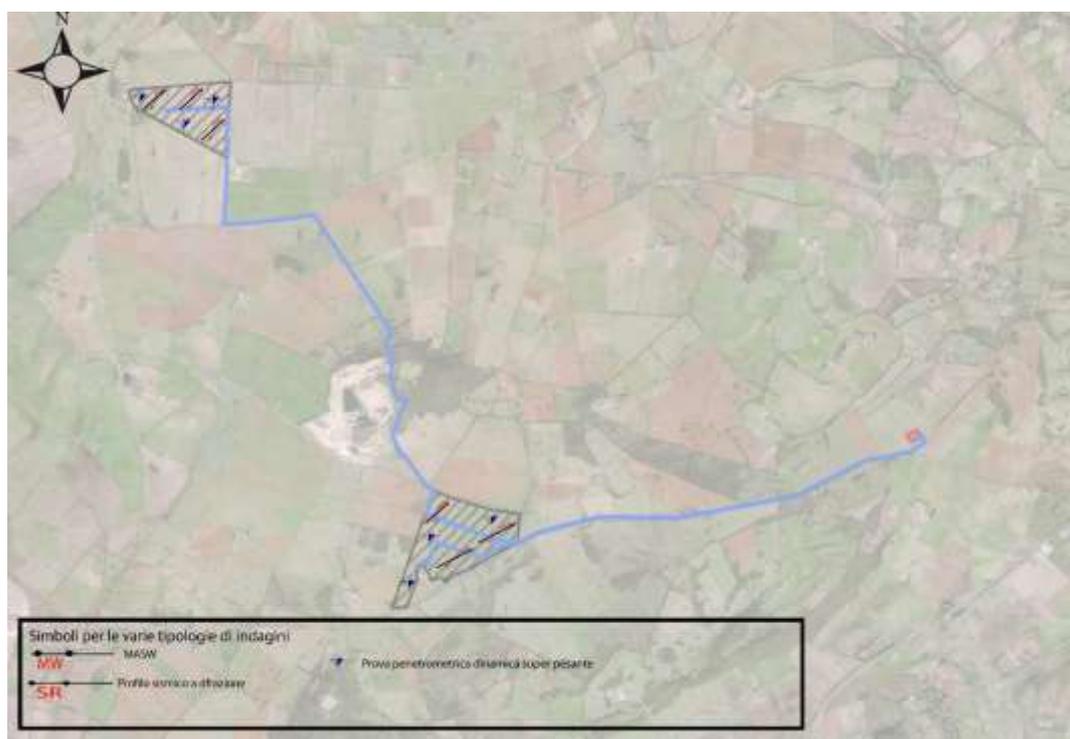
## 1. INTRODUZIONE

In questo **ALLEGATO SISMICO** si descrivono i risultati provenienti dalla **campagna di indagini geofisiche** effettuata nel comune di Sassari (SS), dalla ditta “GEOSECURE s.r.l.”, nel mese di MARZO 2021, eseguita a servizio della pratica denominata “**REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO. PRODUZIONE AGRICOLA DA IMPIANTO INTENSIVO DI MELOGRANI E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA CONVERSIONE SOLARE FOTOVOLTAICA E OPERE DI CONNESSIONE SITO IN SASSARI – POTENZA 46.175 MWdc (Immissione in rete 39MWac)**” per conto di ECAP SOLUTIONS.

Nel dettaglio, la **campagna di indagini geofisiche** eseguite nell’area è consistita in:

- N° 6 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE DENOMINATA “SISMICA A RIFRAZIONE” E “TOMOGRAFIA SISMICA” ESEGUITE MEDIANTE INSTALLAZIONE DI N° 6 STENDIMENTI SISMICI DENOMINATI PROGRESSIVAMENTE DA SS1 a SS6 (di lunghezza pari a 92,00 MT ciascuna);
- N° 6 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE “MASW” DENOMINATI PROGRESSIVAMENTE DA M1 a M6 (di lunghezza pari a 92,00 MT ciascuna);

La corretta ubicazione delle indagini eseguite nell’area allo studio è riportata di seguito in **Figura 1**:



**Fig. 1: ubicazione delle indagini geofisiche eseguite nel comune di Sassari (SS).**

## 2. INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

### 2.1 TOMOGRAFIA SISMICA

L'obiettivo delle prospezioni geofisiche effettuate con metodologia di indagine TOMOGRAFICA SISMICA è stato quello di investigare attraverso metodologie geofisiche specifiche il sottosuolo allo scopo di creare un profilo sismo-stratigrafico di riferimento per ciascuna prova effettuata.

#### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:

La strumentazione utilizzata nell'area è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S (Figura 2), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;*
- *sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);*
- *filtri High Pass e Band Reject;*
- *"Automatic Gain Control";*
- *convertitore A/D a 24 bit;*
- *16 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;*
- *massa battente pesante di 10 Kg.*



**Fig. 2: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.**

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta "GEOSECURE S.r.l." si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- **n. 1 geofisico prospettore;**
- **n. 2 assistenti al geofisico prospettore.**

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta "GEOSECURE S.r.l." sono tarati presso il laboratorio della "M.A.E. s.r.l." di Frosolone (IS).

## PRINCIPI DI BASE:

La metodologia **sismica a rifrazione** utilizza la stima delle **velocità di propagazione** delle onde sismiche nel sottosuolo che sono generate quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali o naturali (sisma).

La determinazione delle velocità viene ricavata misurando i **tempi di primo arrivo** delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica, considerando i seguenti *principi di base*:

- *le onde sismiche si propagano con velocità diverse in mezzi con caratteristiche meccaniche diverse*
- *quando il raggio sismico attraversa una discontinuità di velocità (passa da un mezzo più lento ad uno più veloce, o viceversa) cambia direzione come descritto dalla **Legge di Snell**.*

## I CASI DI APPLICAZIONE DELLA SISMICA A RIFRAZIONE:

I metodi di interpretazione della **sismica a rifrazione di superficie** si basano sull'analisi delle **onde P** o in alternativa **onde S** e trovano numerosi campi di applicazione:

- **Studi di carattere geotecnico (individuazioni delle proprietà fisiche dei mezzi investigati);**
- **Studi di carattere geologico (successioni stratigrafiche, individuazione di faglie, strutture sepolte, ecc.);**
- **Determinazione della profondità del substrato roccioso;**
- **Studi per la pianificazione del territorio (microzonazione sismica);**
- **Studi in campo ambientale (discariche).**

La tabella di seguito riportata illustra i casi di applicazione per ogni metodologia d'indagine.

<u>Metodi di interpretazione</u>	<u>Caso di applicazione</u>
<b>Delle intercette (o convenzionale)</b>	Strati paralleli e sub-orizzontali
Reciproco generalizzato (GRM)	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
Reciproco di Hawkins o Delay time	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
<b>Tomografico</b>	Morfologie complesse

Considerate le caratteristiche geologiche dell'area di studio, i metodi d'indagine sismica utilizzati sono stati il **metodo delle intercette** (o metodo convenzionale) ed il **metodo tomografico**.

Operativamente, ciò che è stato eseguito in campagna è una disposizione lungo una retta di **trasduttori velocimetrici (geofoni)** lungo la sezione specifica che si desiderava investigare; quindi, in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate, si sono adeguatamente disposti i punti di produzione dell'energia elastica; leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si sono ricostruite le **dromocrone** che permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e le velocità reali dei diversi sismostrati.

Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali **P** e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (**interspazio geofonico** e **offset di scoppio**) è stato possibile, inoltre, dimensionare gli spessori dei sismo-strati attraversati dalla radiazione elastica e quindi ottenere una **dettagliata perizia sismica** della porzione di sottosuolo sottoposta ad indagine.

Per ciò che concerne la campagna di indagine del lavoro in oggetto, sono stati sviluppati in situ:

- **n° 6 stendimenti sismici** – DENOMINATI SS1-SS6 con l'utilizzo di n° 24 **geofoni** distanziati tra di loro su linea retta con distanza intergeofonica pari a 2,00 metro (LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO = 92,00 MT);

## 2.2 MASW

### INTRODUZIONE:

Il metodo **MASW** (**Multichannel Analysis or Surface Waves**) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della **misura delle onde superficiali** eseguita in corrispondenza di diversi sensori (**geofoni** nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle **onde di Rayleigh**, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde; in un mezzo stratificato le **onde di Rayleigh** sono dispersive (**fenomeno della dispersione geometrica**), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (**Achenbach, IO., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980**) o detto in maniera equivalente **la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.**

La **natura dispersiva** delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine **MASW** utilizzato è, inoltre, di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite **energizzazione** con mazza battente parallelamente all'*array*) e misurate da uno stendimento lineare di sensori (*geofoni*).

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel **range di frequenze** compreso tra **5-10Hz** e **70-100Hz**, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30,00-50,00 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

### METODOLOGIA UTILIZZATA:

Il metodo prevede lo svolgimento di **n° 4 fasi** successive e propedeutiche:

- 1) calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;*

- 2) calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo **Roma (2001)**;
- 3) calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo **Lai-Rix (1998)**;
- 4) individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_{sv}$ , modificando opportunamente lo **spessore  $h$** , le **velocità delle onde di taglio  $V_{sv}$**  e di **compressione  $V_p$**  (o in alternativa il **coefficiente di Poisson  $\nu$** ), la **densità di massa  $\rho$**  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'**affidabilità del profilo di velocità  $V_s$**  trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

### **STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:**

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta "GEOSECURE S.r.l." si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- n. 1 geofisico prospettore;
- n. 2 assistenti al geofisico prospettore.

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta "GEOSECURE S.r.l." sono tarati presso il laboratorio della "M.A.E. s.r.l." di Frosolone (IS).

**L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata** nella zona di indagine è stata costituita da:

- un sistema di energizzazione: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa (peso della massa 12.2 gr) con frequenza propria di 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;

- un sistema di acquisizione dati con memoria dinamica a 24 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali ciascuno per un totale di 24 canali, cavo sismico telemetrico di 130 m, MOM power con interfaccia USB 1.1 24 V, notebook PC Windows XP con software Pane I Acquisition a 24 canali; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Nello specifico, la **strumentazione utilizzata nell'area** è costituita da un sismografo multicanale **M.A.E. modello A 6000 S (Figura 3)**, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (**time break**);
- filtri High Pass e Band Reject;
- "Automatic Gain Control";
- convertitore A/D a 24 bit;
- 24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;
- massa battente pesante di 10 Kg.



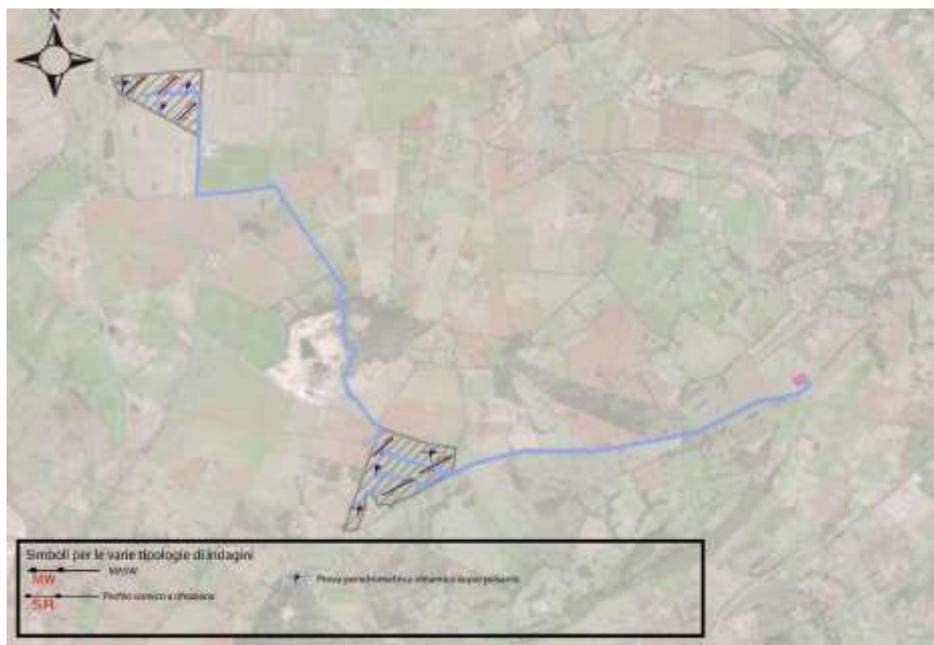
**Fig. 3: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.**

### 3. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO SS1

#### 3.1 TOMOGRAFIA SISMICA

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 92,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 2,00 Mt**

I profili sismici in oggetto sono stati ubicati come mostrato, di seguito, in **Figura 4**:



**Fig. 4: ubicazione dei profili sismici.**

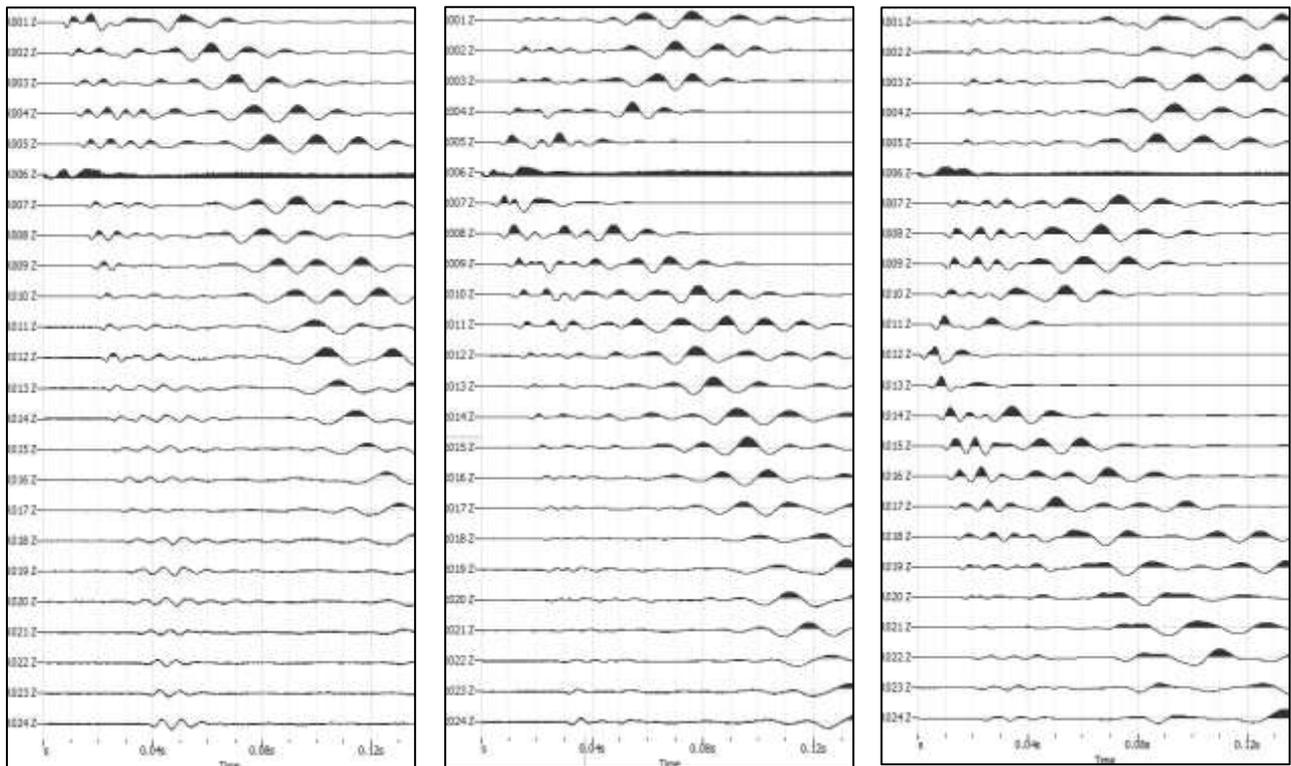
Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza **battente di massa pari a 10.00 kg** effettuando scoppi specifici ubicati in punti ben precisi lungo ciascuno stendimento stesso:

- *due scoppi simmetrici (**off-shots**) esterni allo stendimento ad una distanza di 8,00 metri dal geofono più vicino;*
- *uno scoppio (**mid-shot**) al centro dello stendimento stesso.*
- *due scoppi intermedi allo stendimento, il primo tra il 6° e il 7° geofono e il secondo tra l' 8° e 19° geofono.*

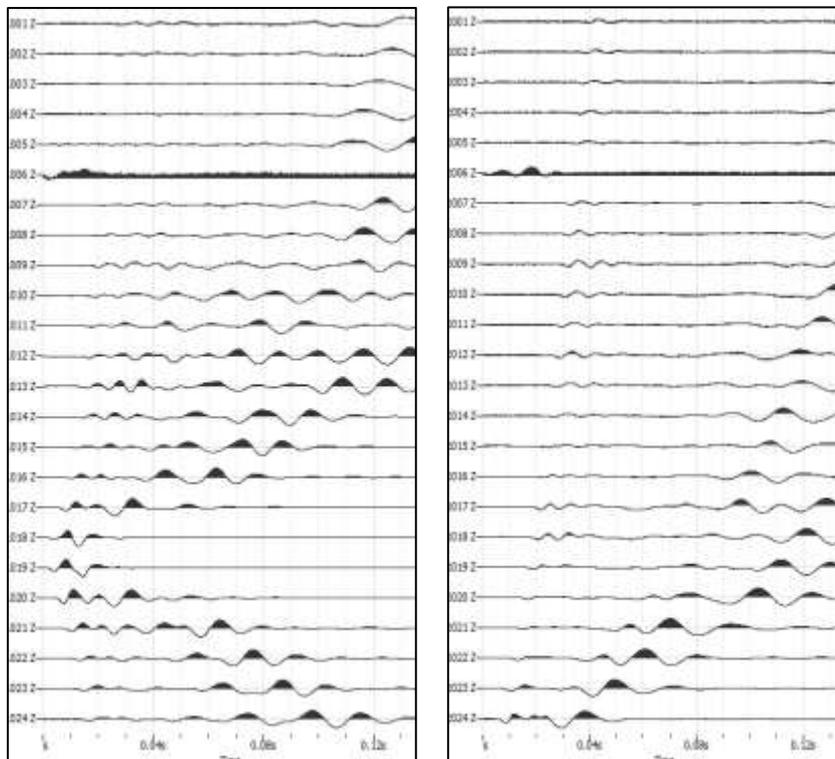
I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 15.000 campioni al secondo per un totale di 0.13 secondi di acquisizione.

Sono riportati le forme d'onda e i dati di picking che sono stati elaborati con il software "**Rayfract 3.36**" della **Intelligent Resources** (Copyright 1996-2019), relativi ai risultati dell'indagine sismica

effettuata.

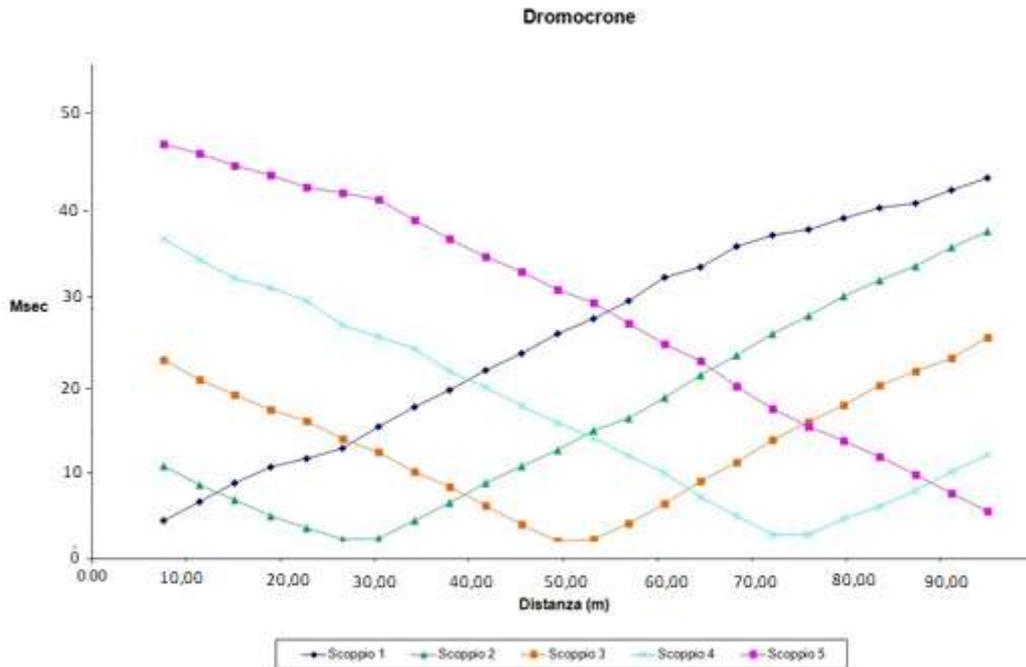


**Fig. 5: sismogrammi dello Scoppio 1 ,2 e 3. – SS1**



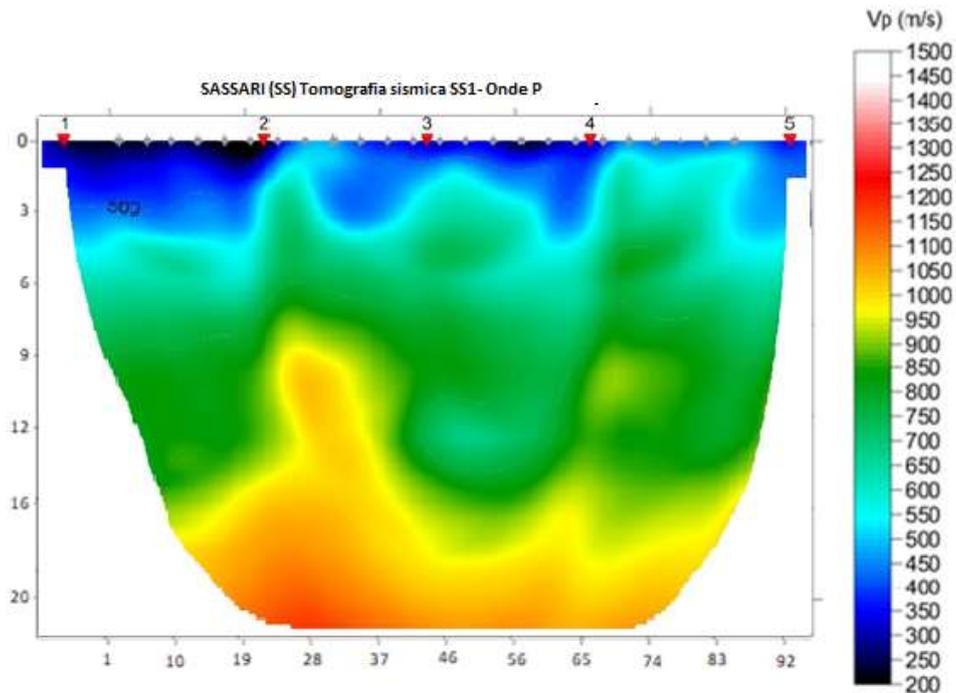
**Fig. 6: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS1**

Nella **Figura 7** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.



**Fig. 7: dromocrone dei primi arrivi.**

Nella figura seguente viene riportata la tomografia sismica relativa al sito di indagine, calcolata tramite software **Rayfract 3.36** con restituzione grafica ottenuta tramite software **Surfer 9.0**.



**Fig. 8: tomografia sismica. SS1**

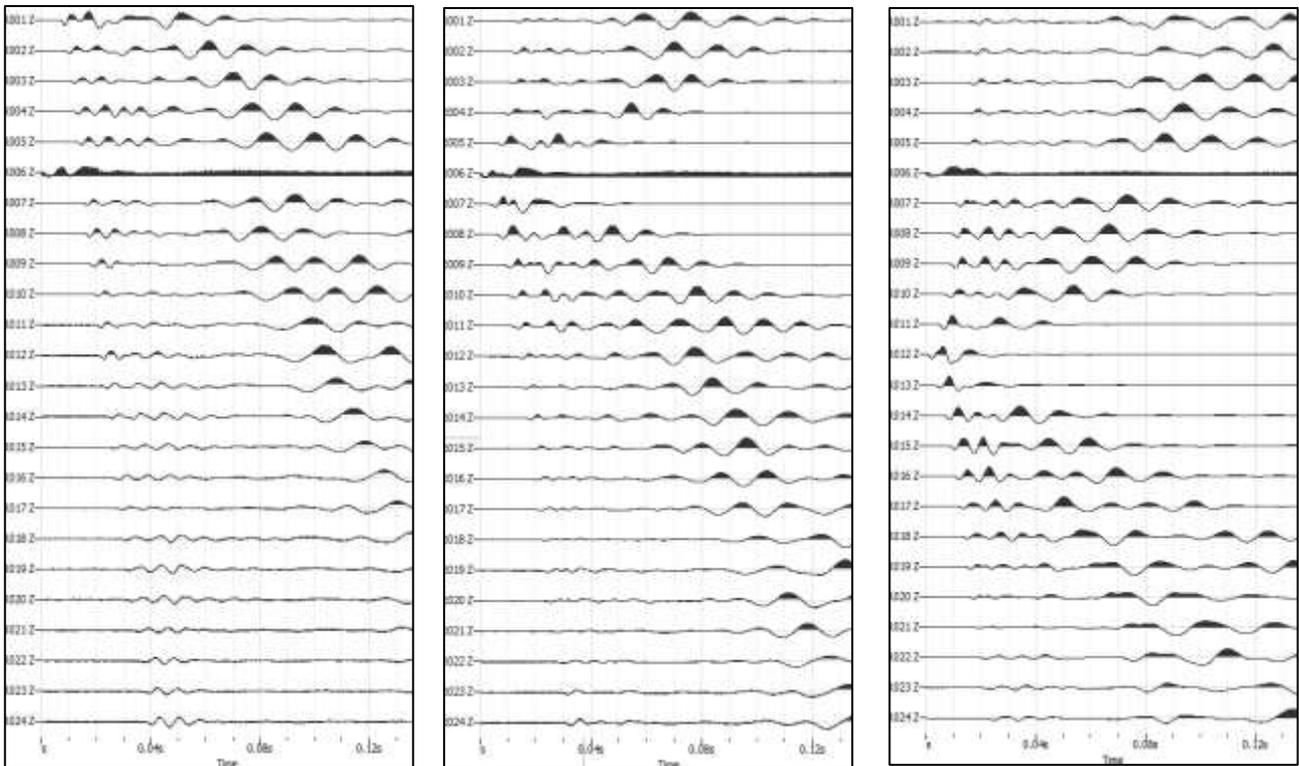
**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



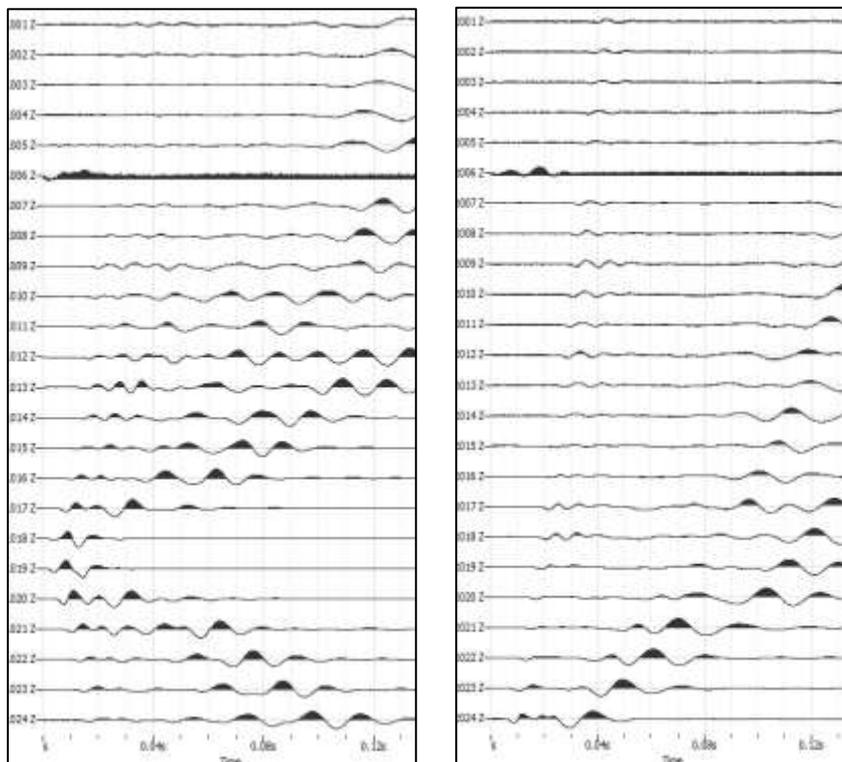
***FOTO 1: dettaglio dello stendimento SS1***

**STENDIMENTO SISMICO SS2**

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 92,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 2,00 Mt**

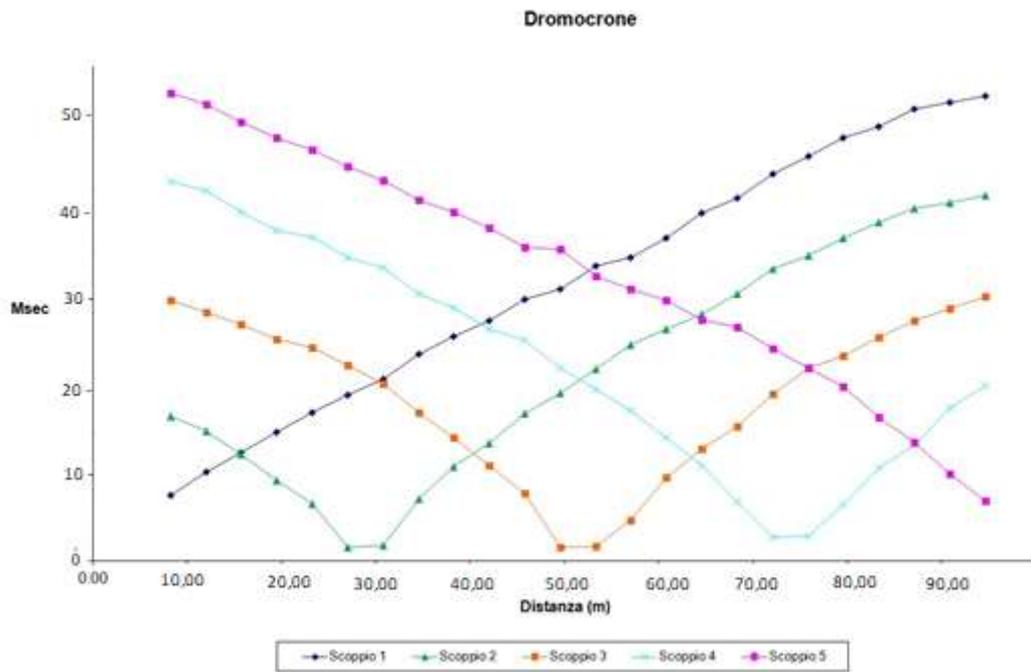


**Fig. 9: sismogrammi dello Scoppio 1, 2 e 3. – SS2**

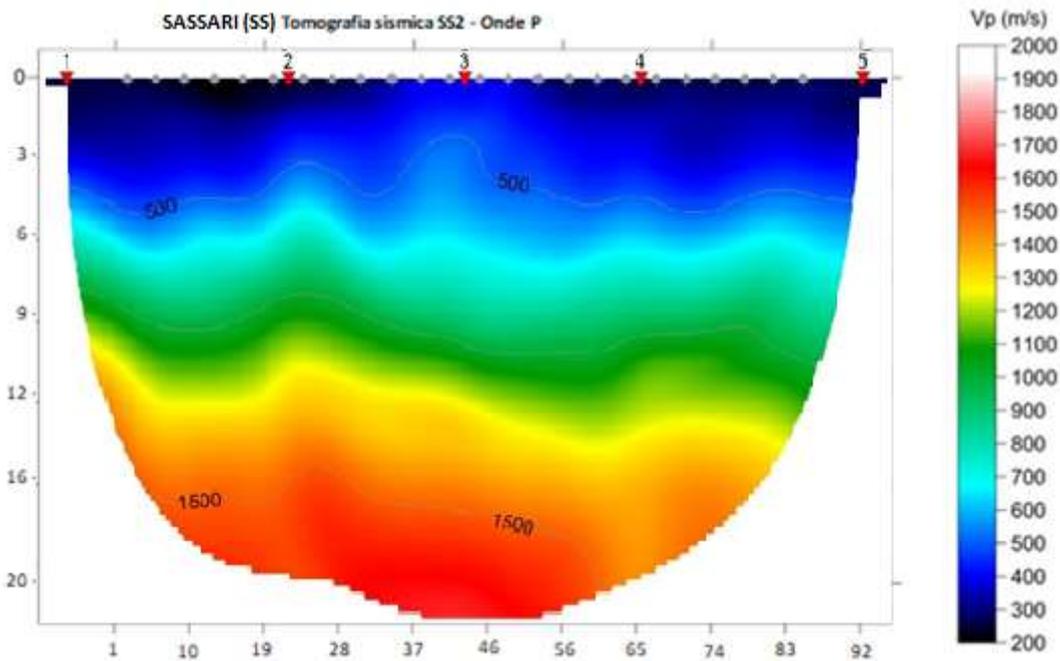


**Fig. 10: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS2**

Nella **Figura 11** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.



**Fig. 11: dromocrone dei primi arrivi. SS2**



**Fig. 12: tomografia sismica. SS2**

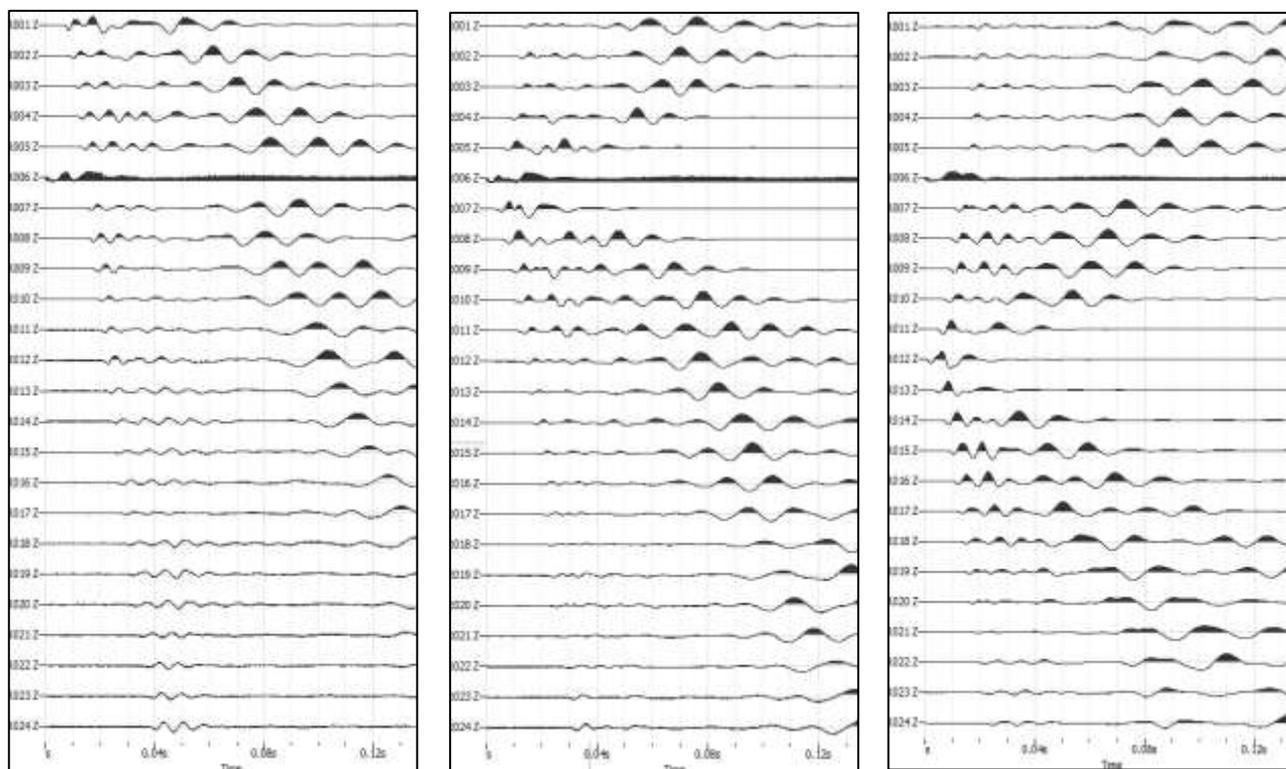
**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



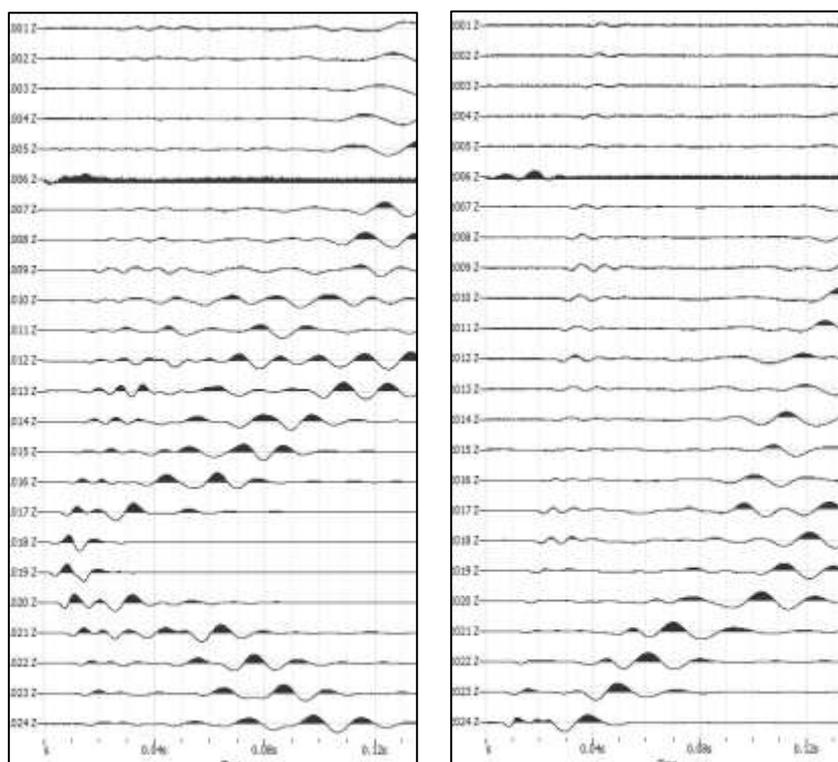
***FOTO 2: panoramica dello stendimento SS2***

## STENDIMENTO SISMICO SS3

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 92,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 2,00 Mt**

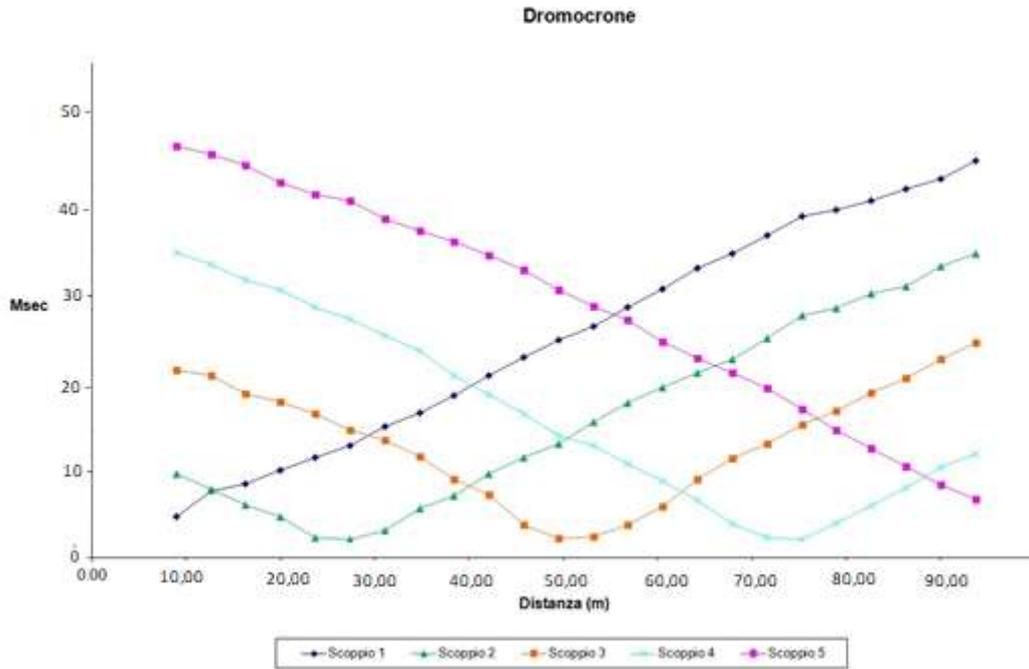


**Fig. 13: sismogrammi dello Scoppio 1,2 e 3. – SS3**

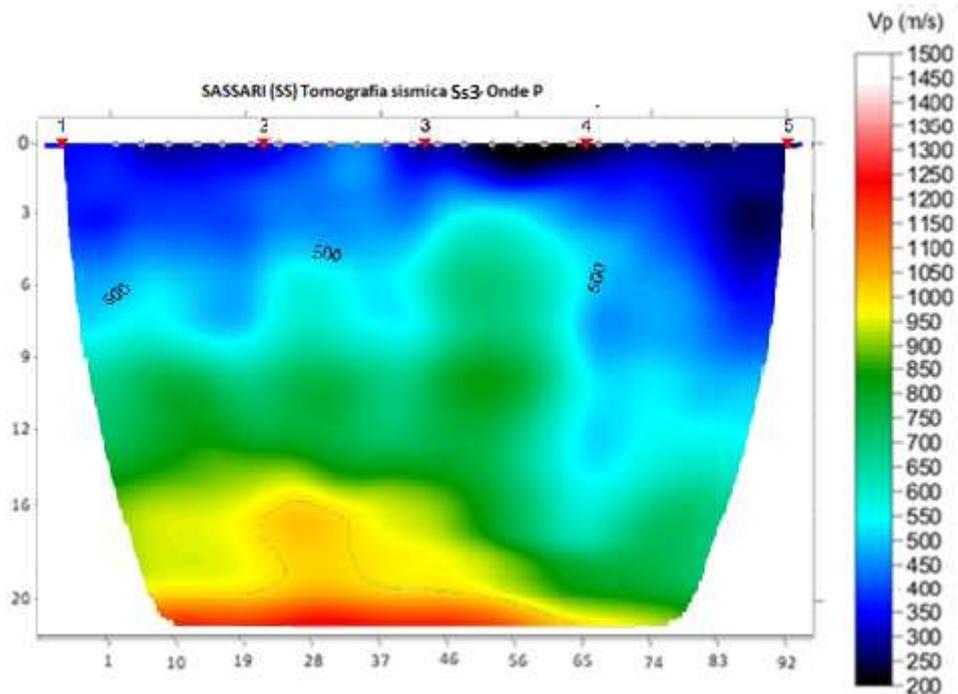


**Fig. 14: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS3**

Nella **Figura 15** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.



**Fig. 15: dromocrone dei primi arrivi. SS3**



**Fig. 16: tomografia sismica. SS3**

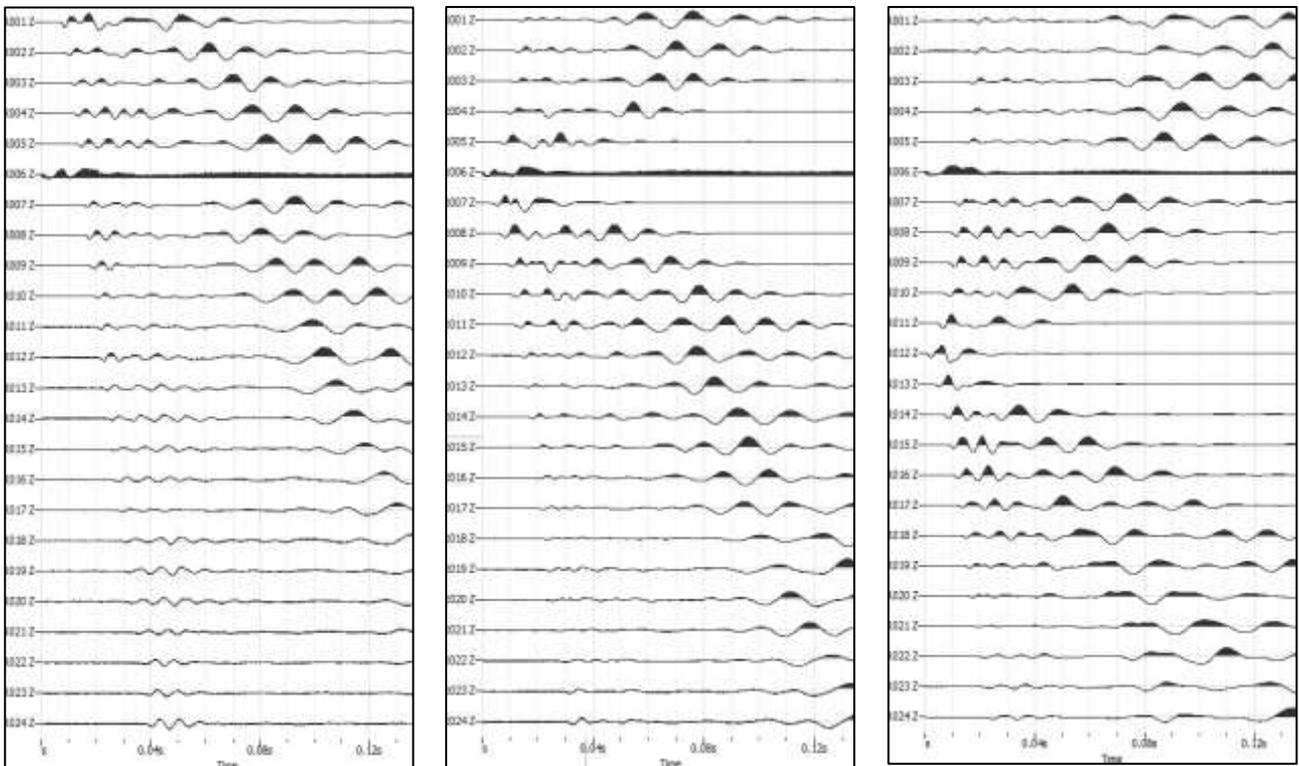
**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



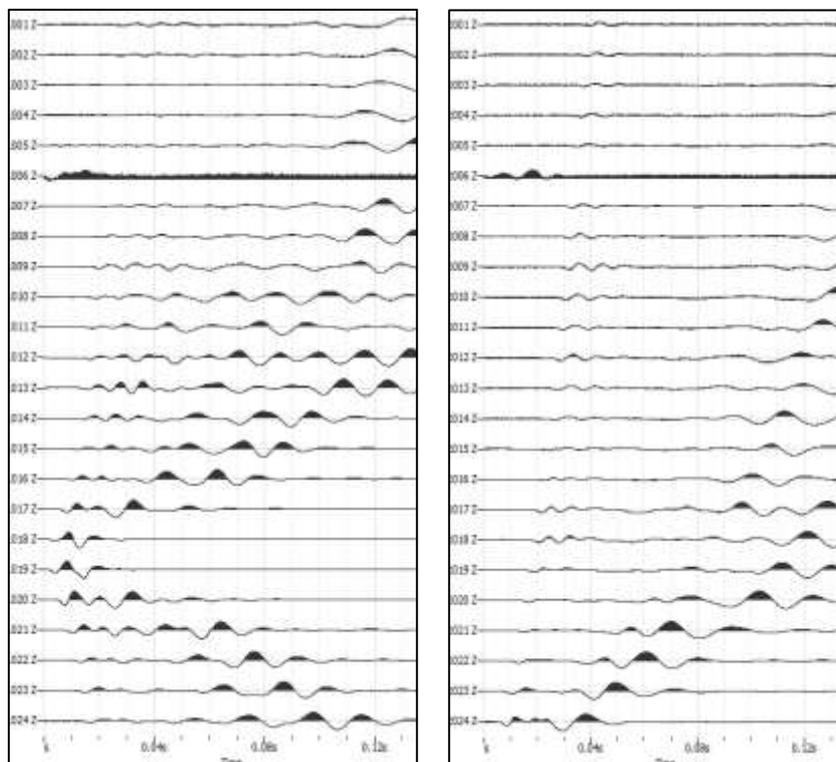
***FOTO 3: panoramica dello stendimento SS3***

**STENDIMENTO SISMICO SS4**

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 92,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 2,00 Mt**

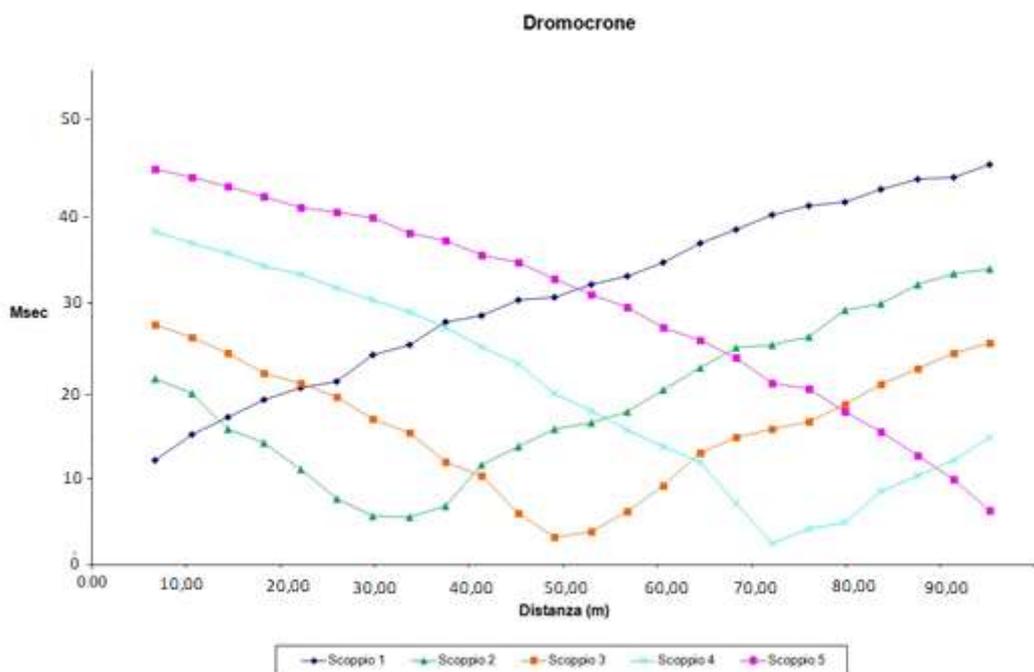


**Fig. 17: sismogrammi dello Scoppio 1, 2 e 3. – SS4**

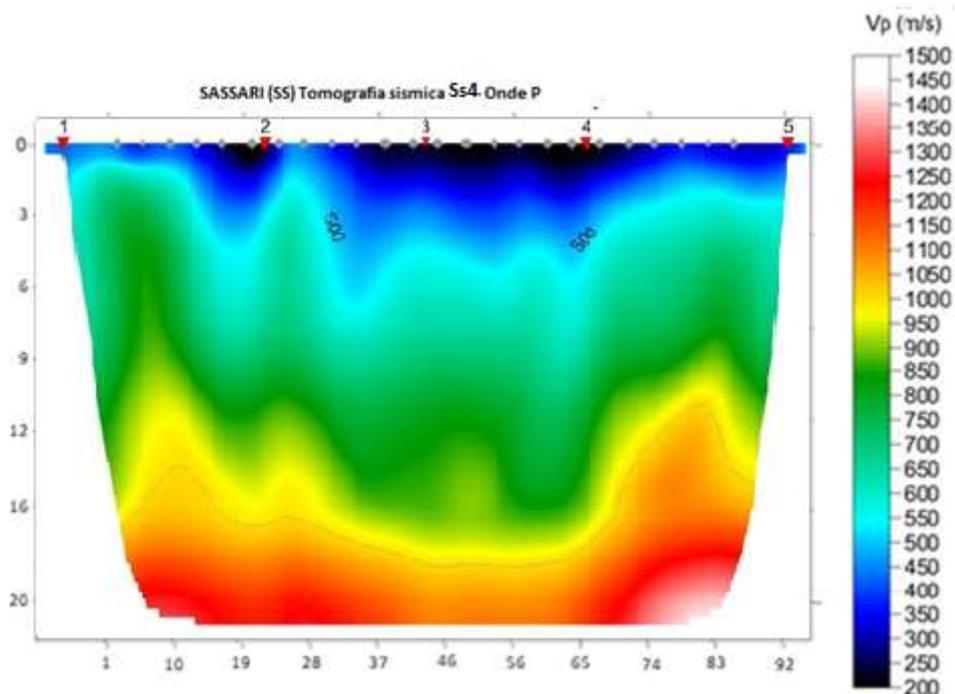


**Fig. 18: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS4**

Nella **Figura 19** sono riportate le dromocrone dei primi arrivi.



**Fig. 19: dromocrone dei primi arrivi. SS4**



**Fig. 20: tomografia sismica. SS4**

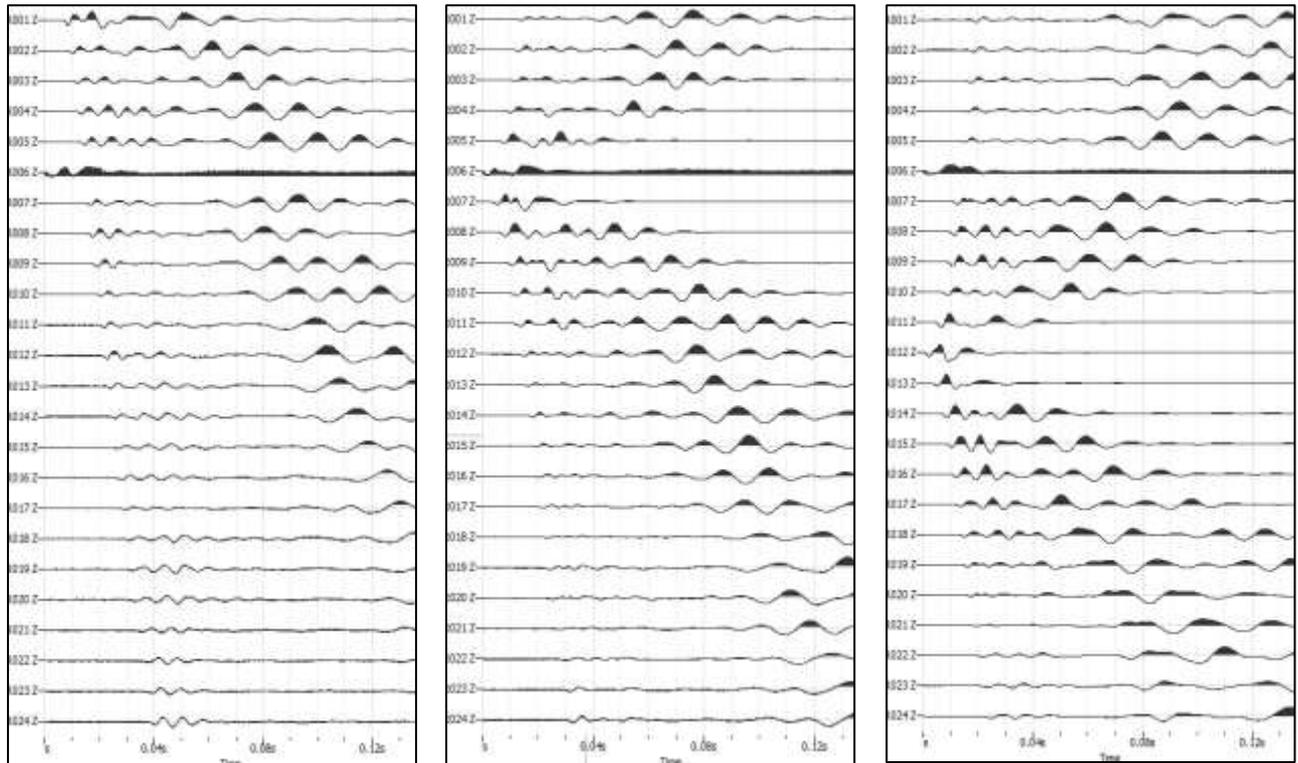
**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



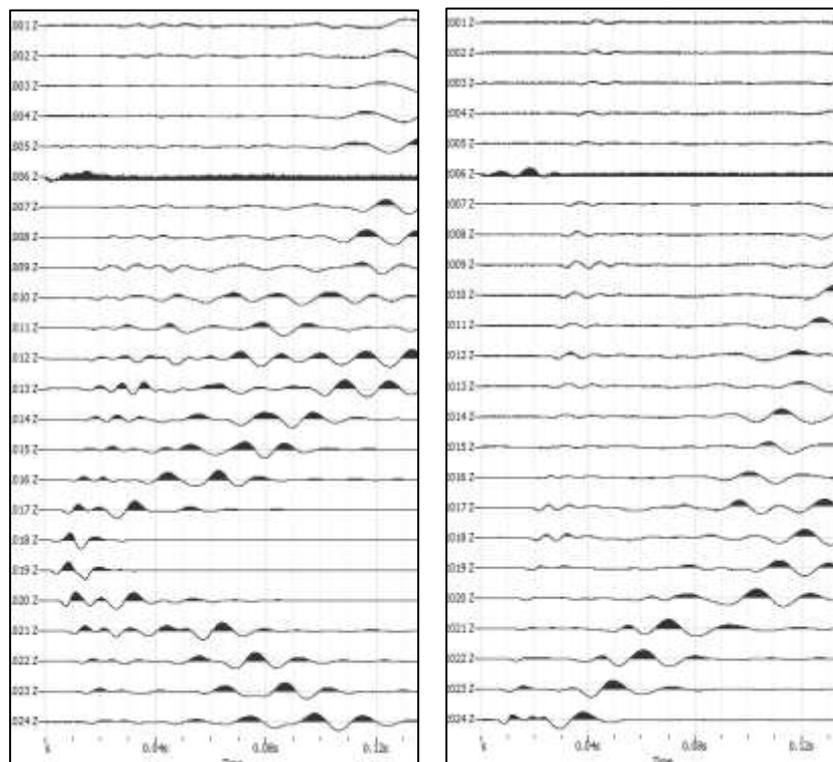
**FOTO 4: panoramica dello stendimento SS4**

## STENDIMENTO SISMICO SS5

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 92,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 2,00 Mt**

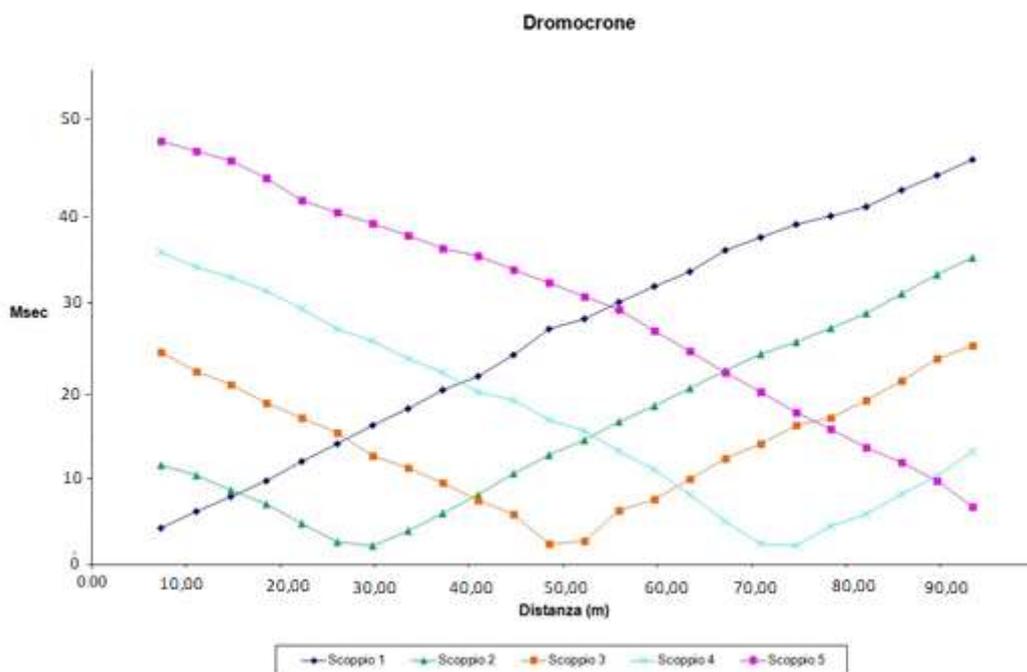


**Fig. 21: sismogrammi dello Scoppio 1,2 e 3. – SS5**

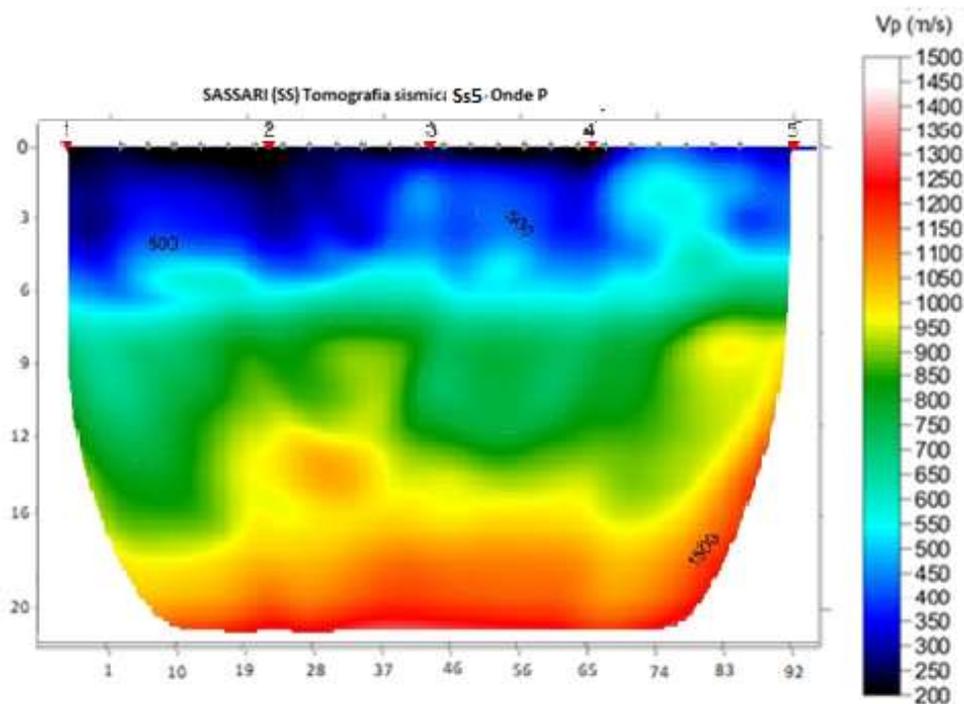


**Fig. 22: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS5**

Nella **Figura 23** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.



**Fig. 23: dromocrone dei primi arrivi. SS5**



**Fig. 24: tomografia sismica. SS5**

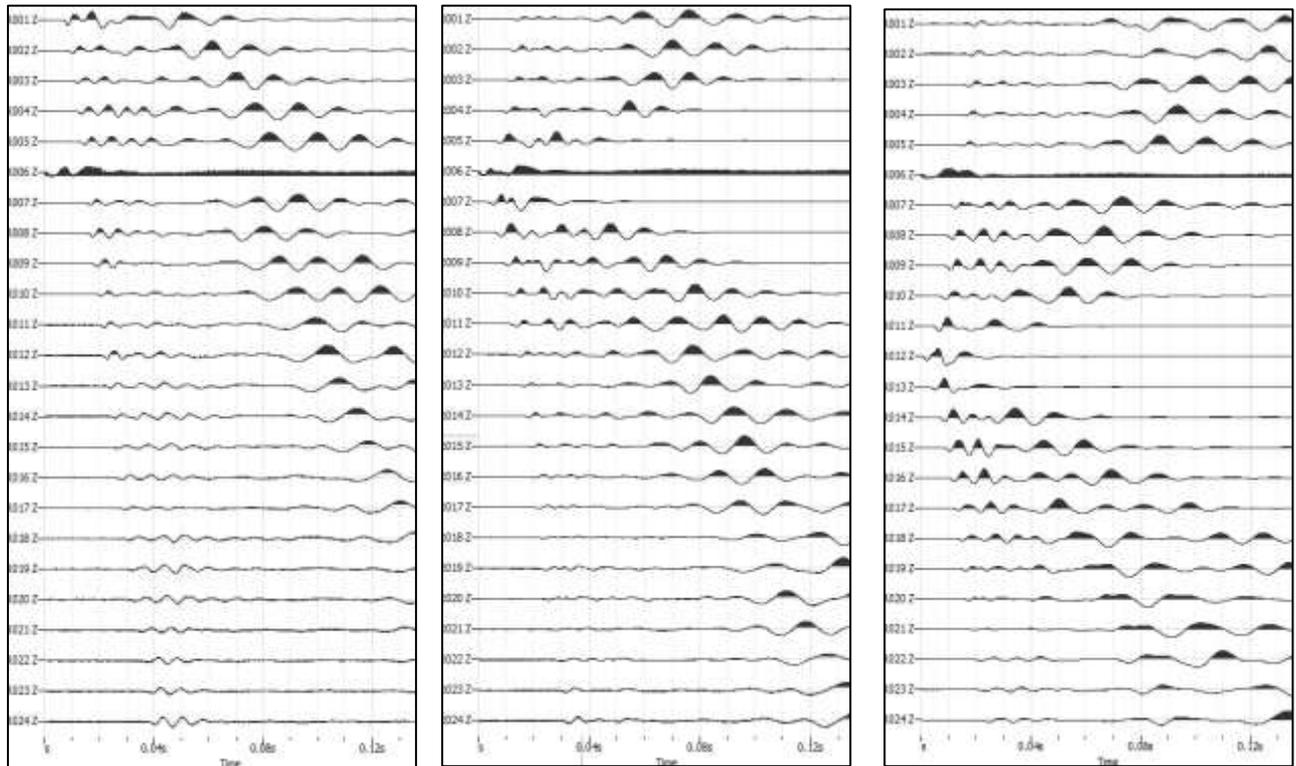
**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



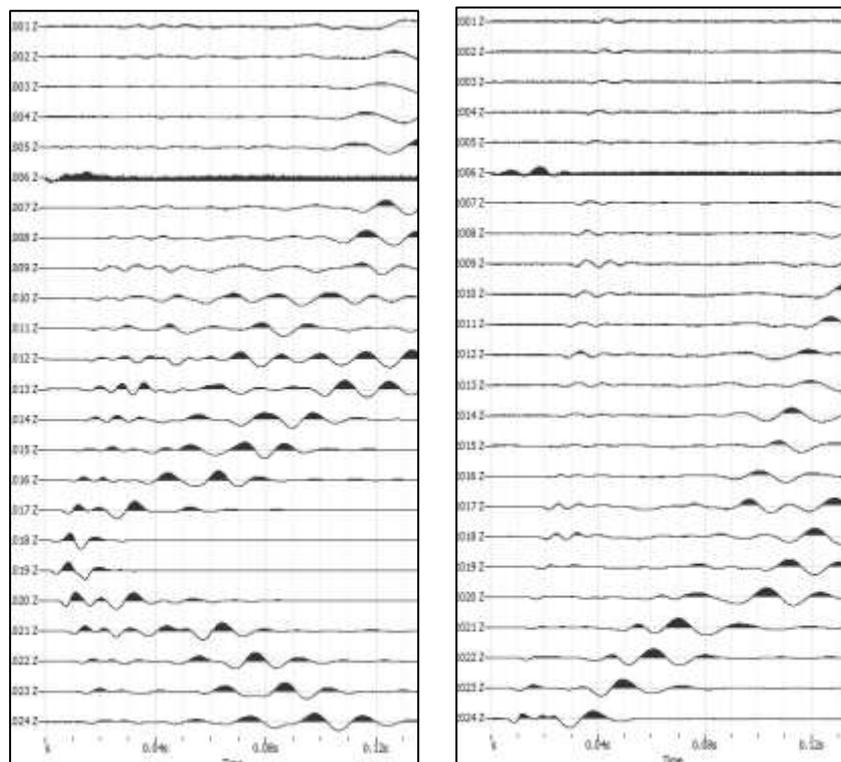
***FOTO 5: panoramica dello stendimento SS5***

## STENDIMENTO SISMICO SS6

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 92,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 2,00 Mt**

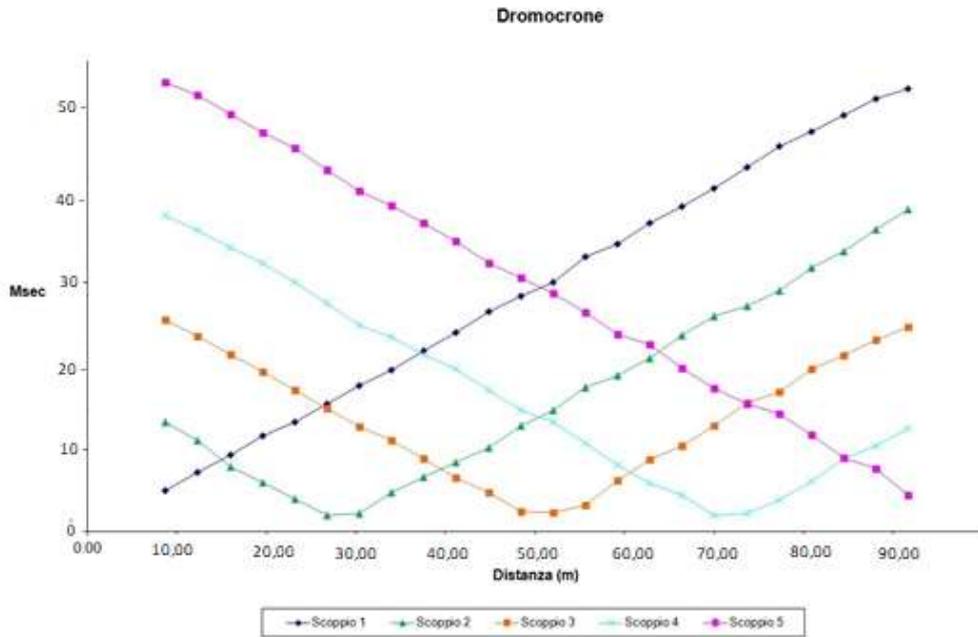


**Fig. 25: sismogrammi dello Scoppio 1,2 e 3. – SS6**

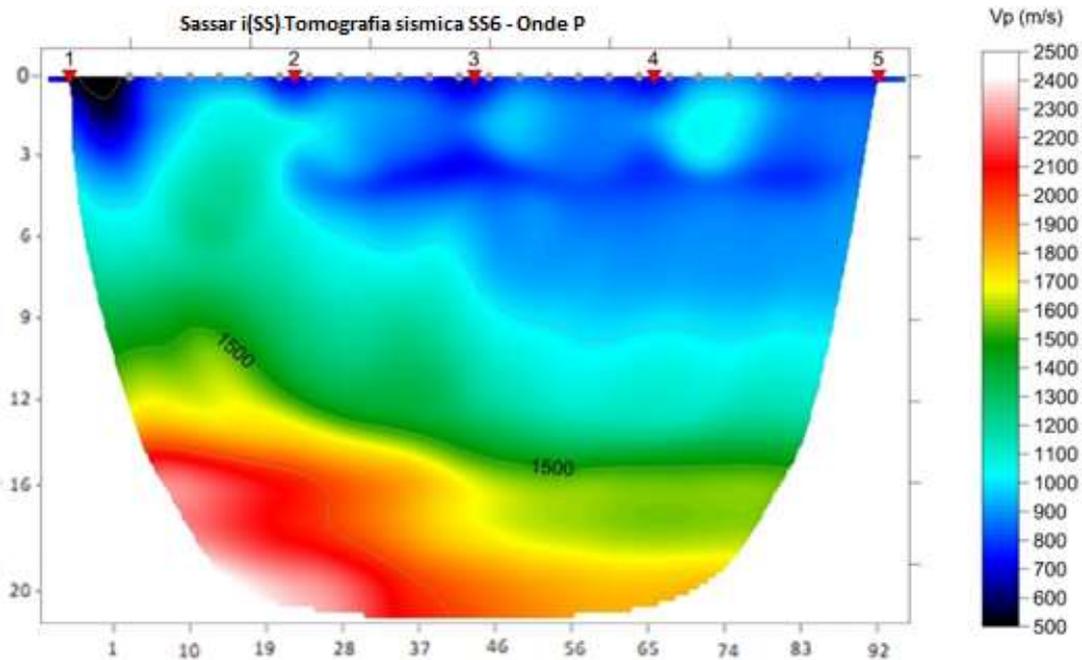


**Fig. 26: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS6**

Nella **Figura 27** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.



**Fig. 27: dromocrone dei primi arrivi. SS6**



**Fig. 28: tomografia sismica. SS6**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**



***FOTO 6: panoramica dello stendimento SS6***

### **3.2 MASW**

#### **ELABORAZIONE DEI DATI M1:**

Per ciò che riguarda l'**elaborazione dei dati** è stato utilizzato il software **EasyMasw** per ottenere il **grafico di dispersione** e per l'**elaborazione del profilo di Vs**.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 2,00 metro, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 2,00 metri dal primo geofono.

#### **Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa eseguita:**

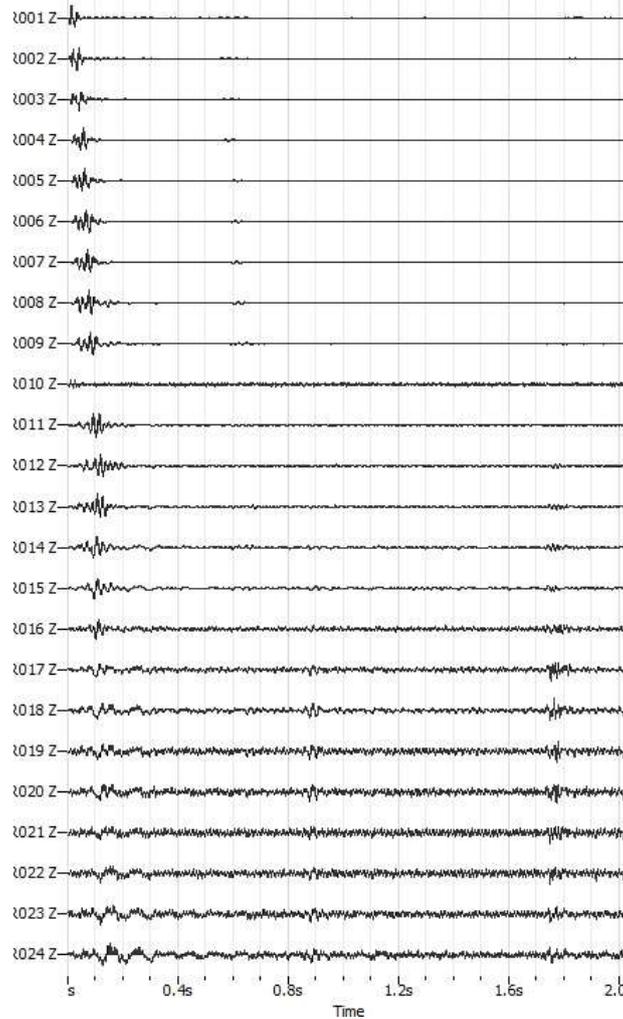
In **Fig. 29** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 30** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 31** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

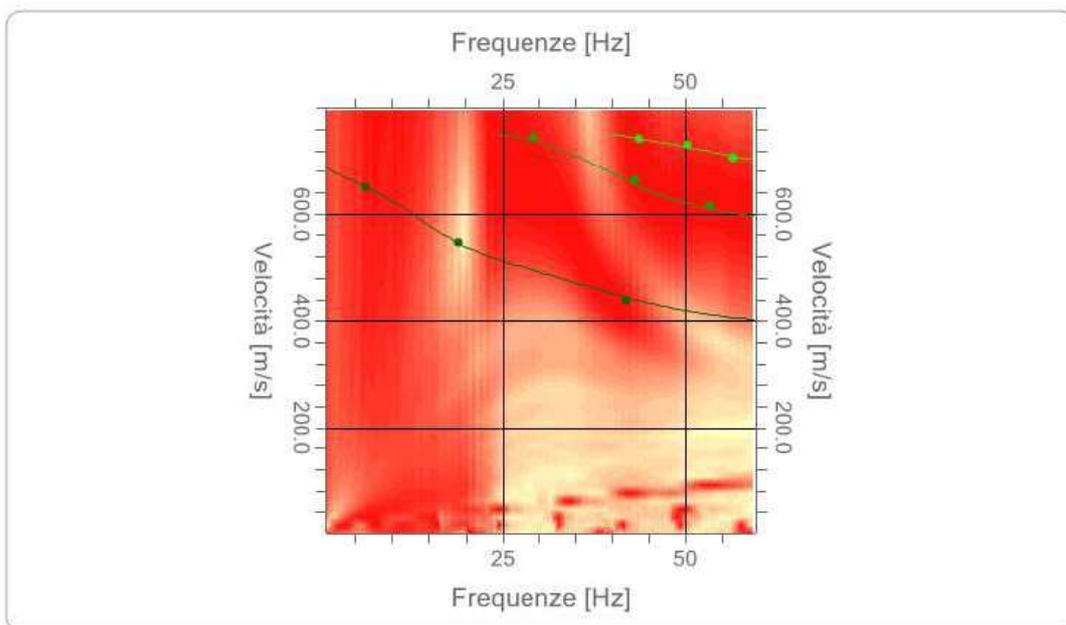
In **Fig. 32** è riportato l'andamento di Vs con la profondità;

In **Fig. 33** è riportato il Calcolo di  $V_{seq}$ . M1.



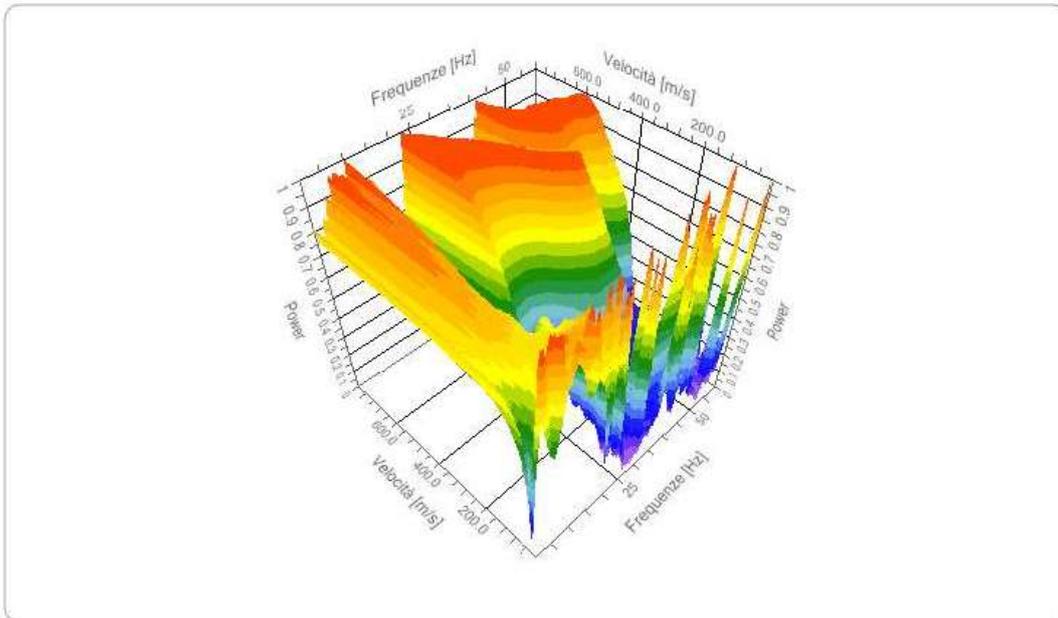
**Fig.29: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M1**

Spettro Velocità di fase - Frequenze

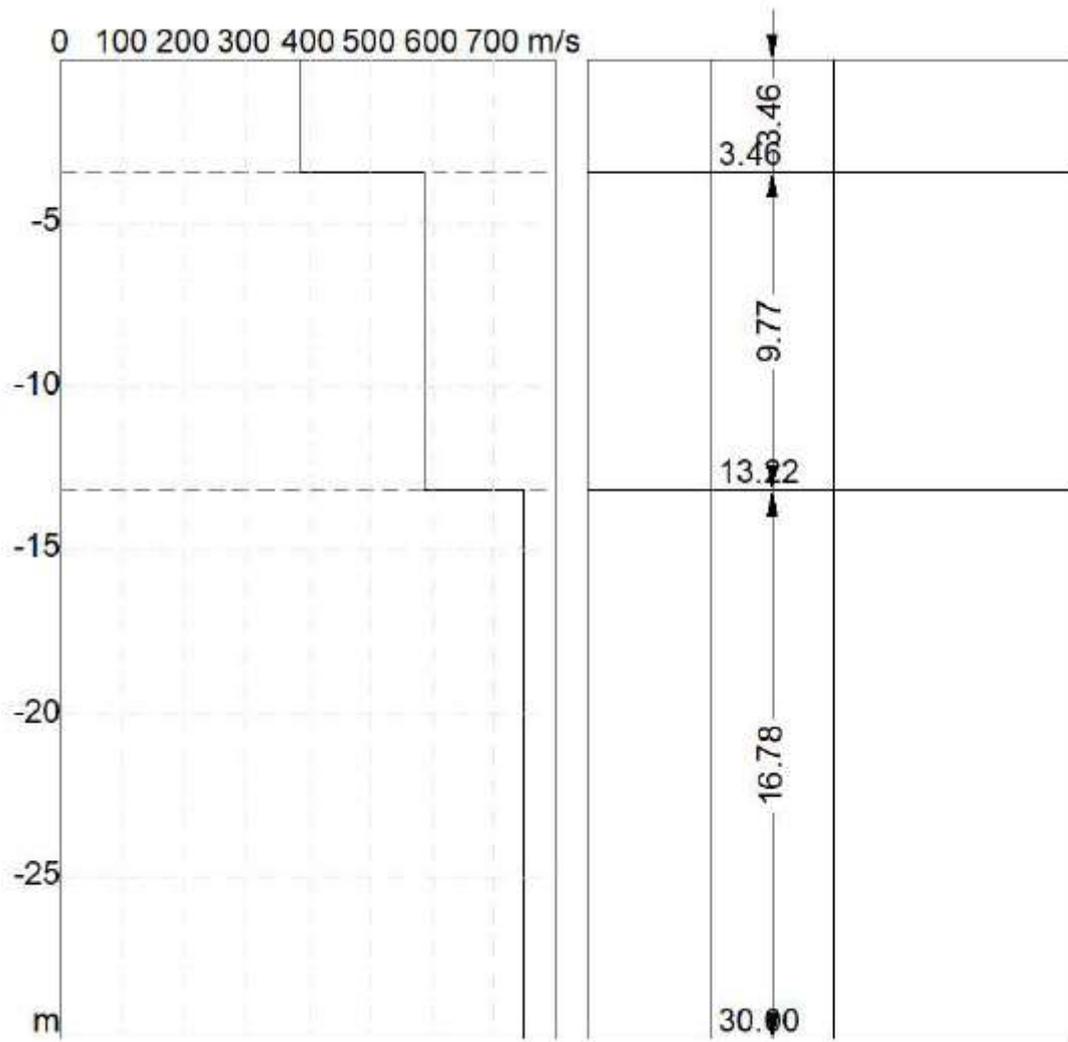


**Fig. 30: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M1**

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Fig. 31: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M1**



**Fig. 32: andamento di Vs con la profondità - M1**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	625.60
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Fig. 33: Calcolo di Vseq. M1**

## ELABORAZIONE DEI DATI M2:

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa eseguita:**

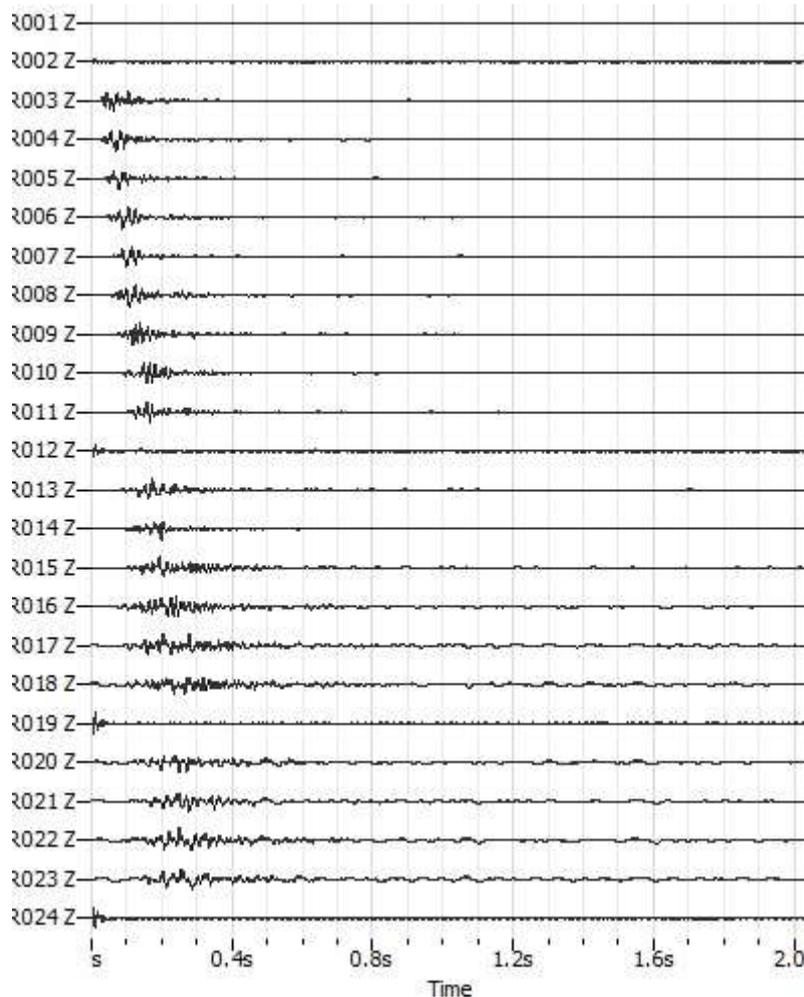
In **Fig. 34** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 35** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 36** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

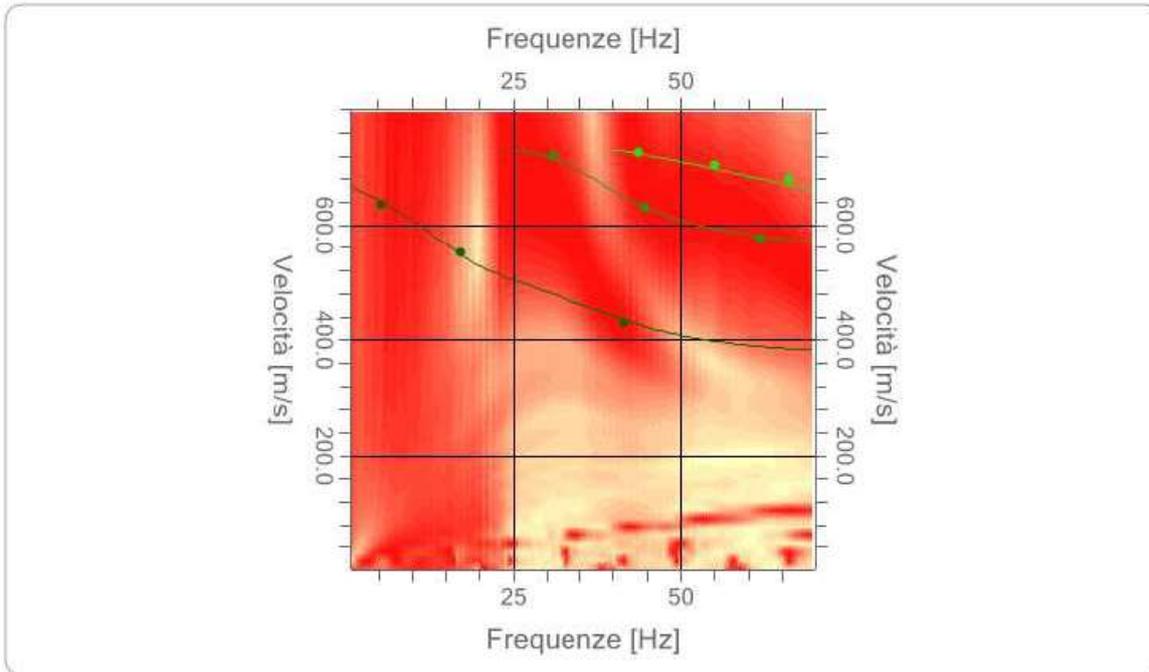
In **Fig. 37** è riportato l'andamento di  $V_s$  con la profondità;

In **Fig. 38** è riportato il Calcolo di  $V_{Seq}$ . M2



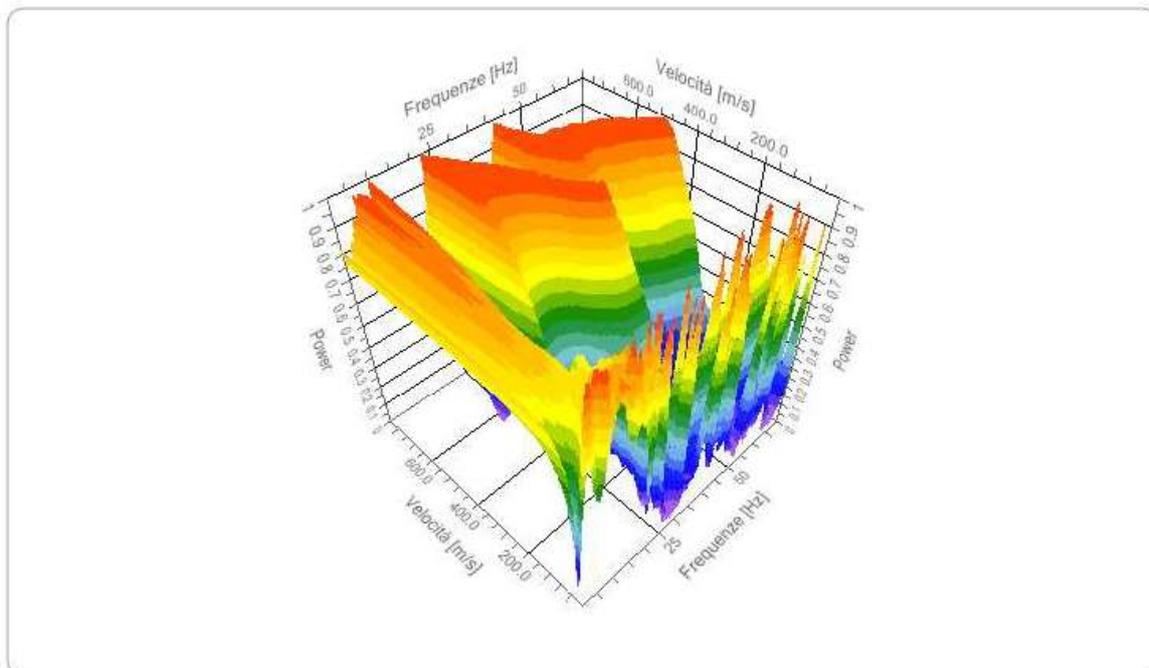
**Fig.34: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M2**

Spettro Velocità di fase - Frequenze

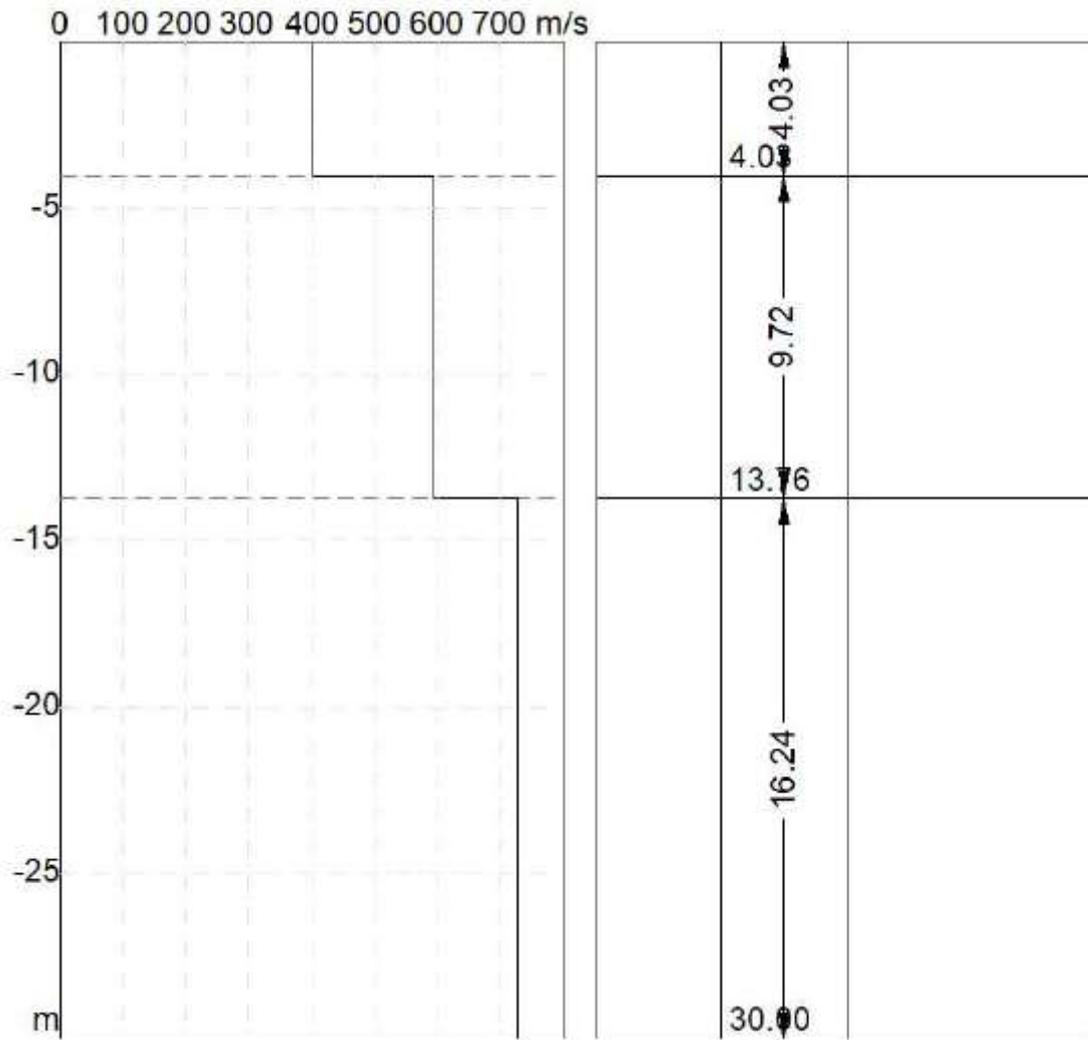


**Fig. 35: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M2**

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Fig. 36: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M2**



**Fig. 37: andamento di Vs con la profondità – M2**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	613.61
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Fig. 38: Calcolo di Vseq, M2**

### ELABORAZIONE DEI DATI M3:

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa eseguita:**

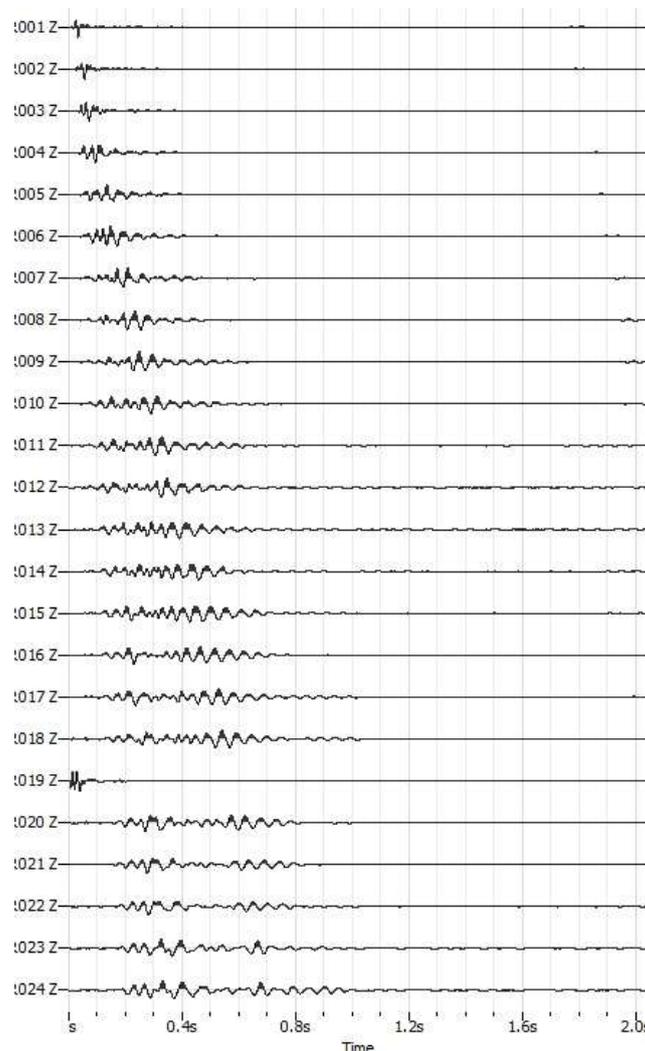
In **Fig. 39** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 40** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 41** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

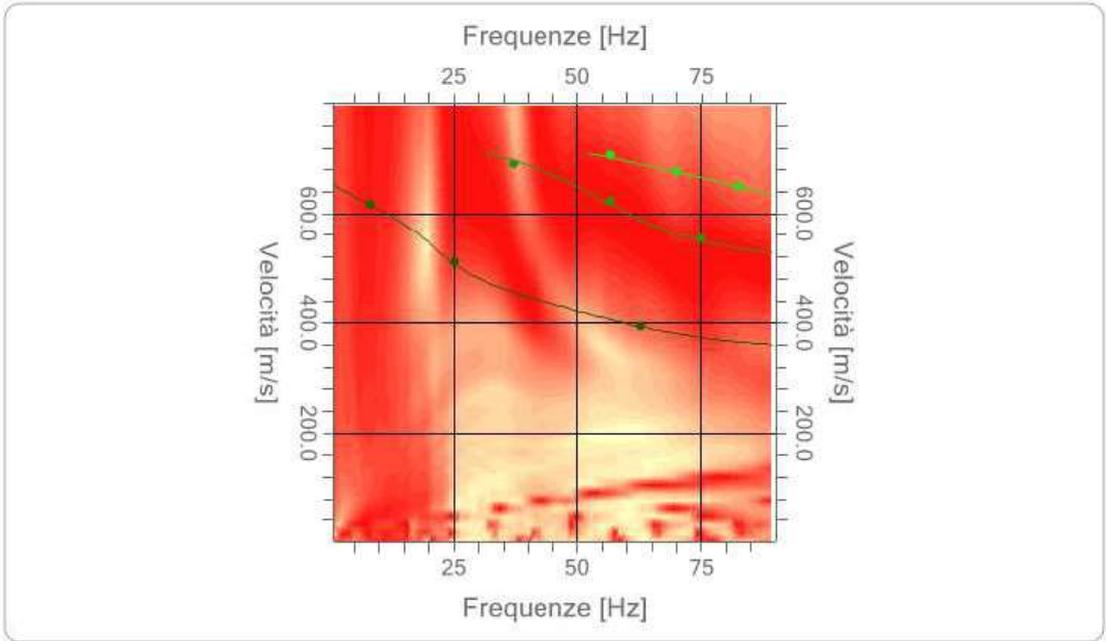
In **Fig. 42** è riportato l'andamento di Vs con la profondità;

In **Fig. 43** è riportato il Calcolo di  $V_{Seq}$ . M3



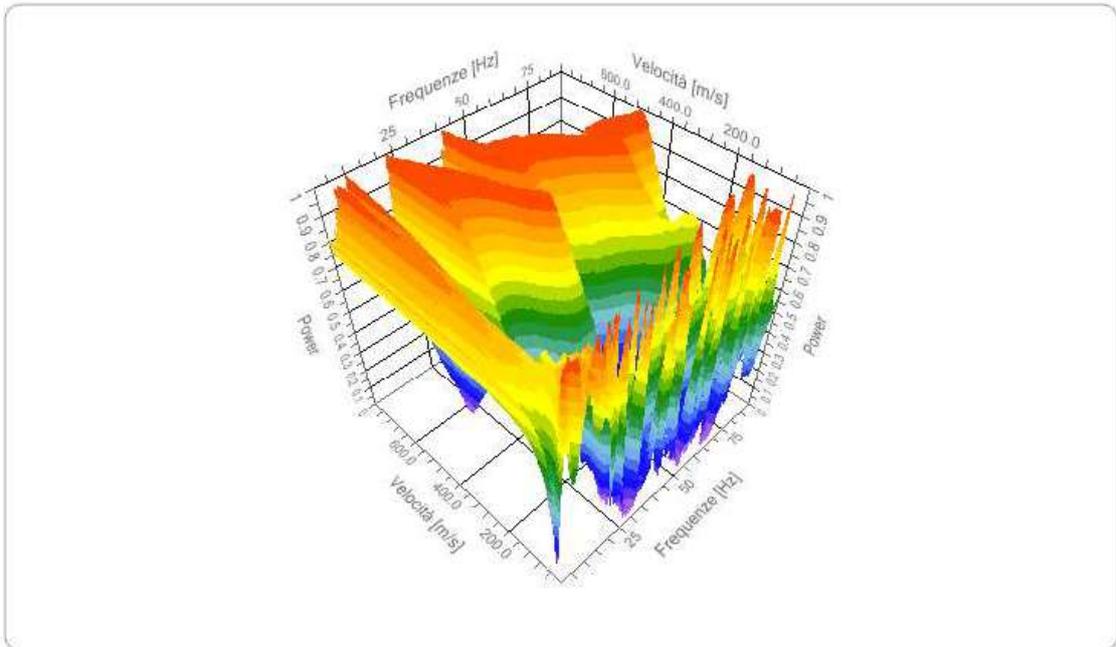
**Fig.39: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M3**

Spettro Velocità di fase - Frequenze

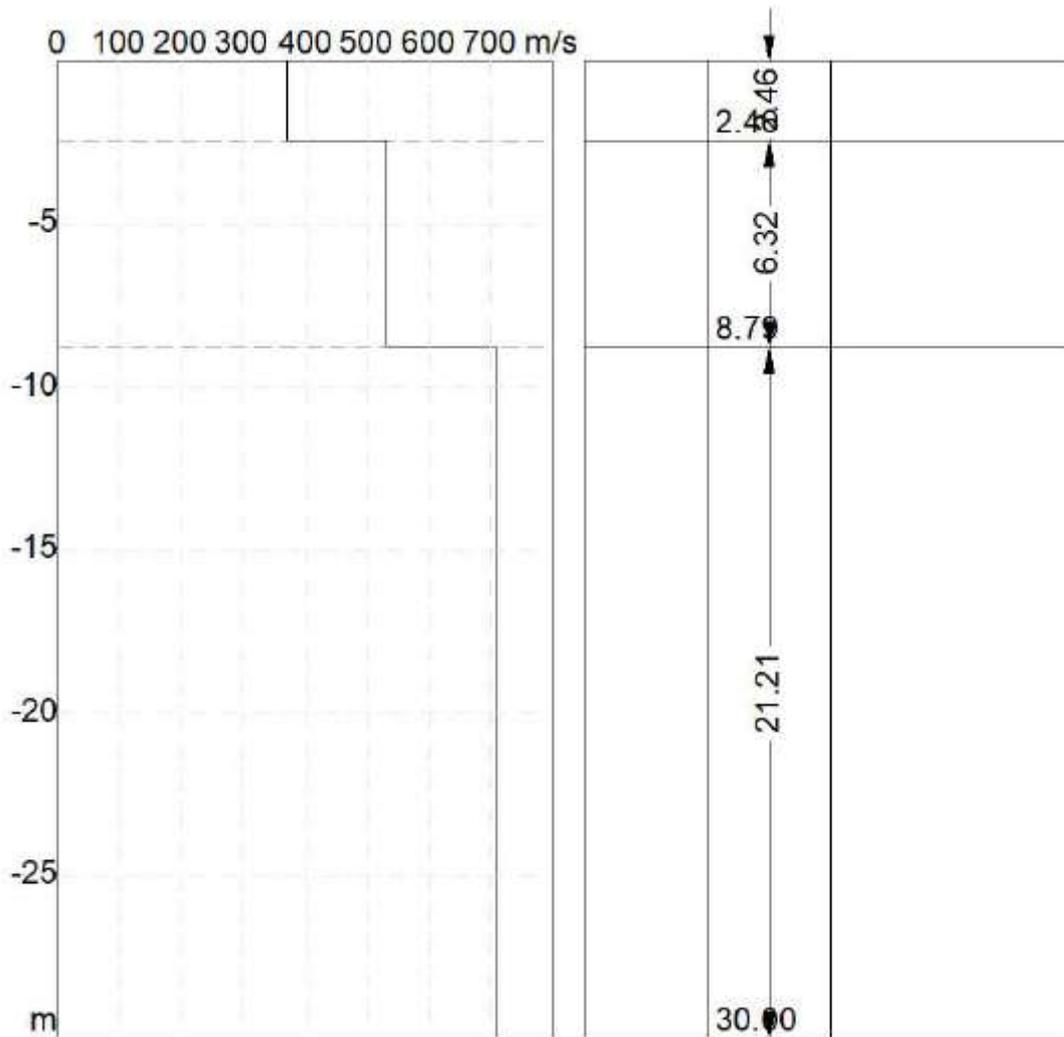


**Fig. 40: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M3**

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Fig. 41: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M3**



**Fig. 42: andamento di Vs con la profondità – M3**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	618.19
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Fig. 43: Calcolo di Vseq. M3**

### ELABORAZIONE DEI DATI M4:

Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa eseguita:

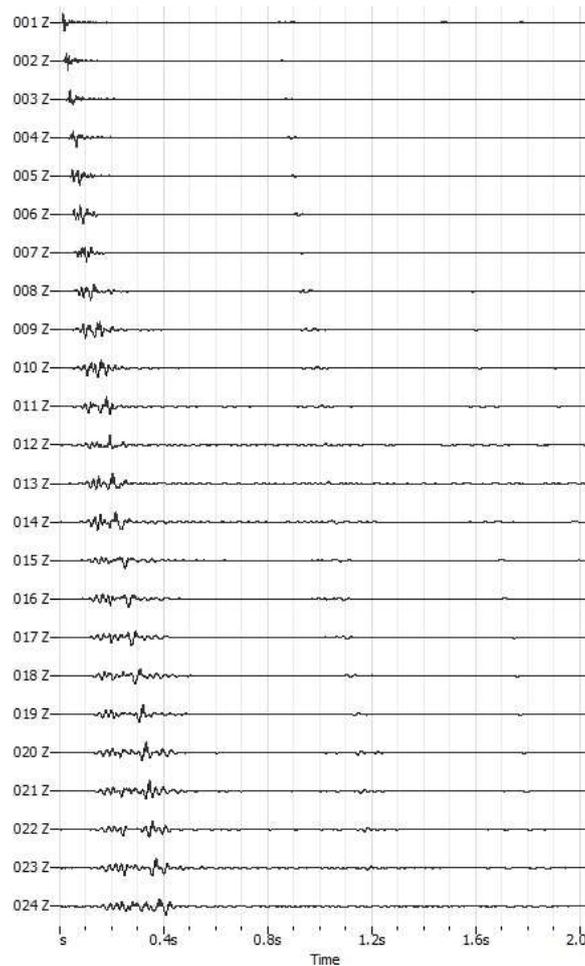
In **Fig. 44** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 45** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 46** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

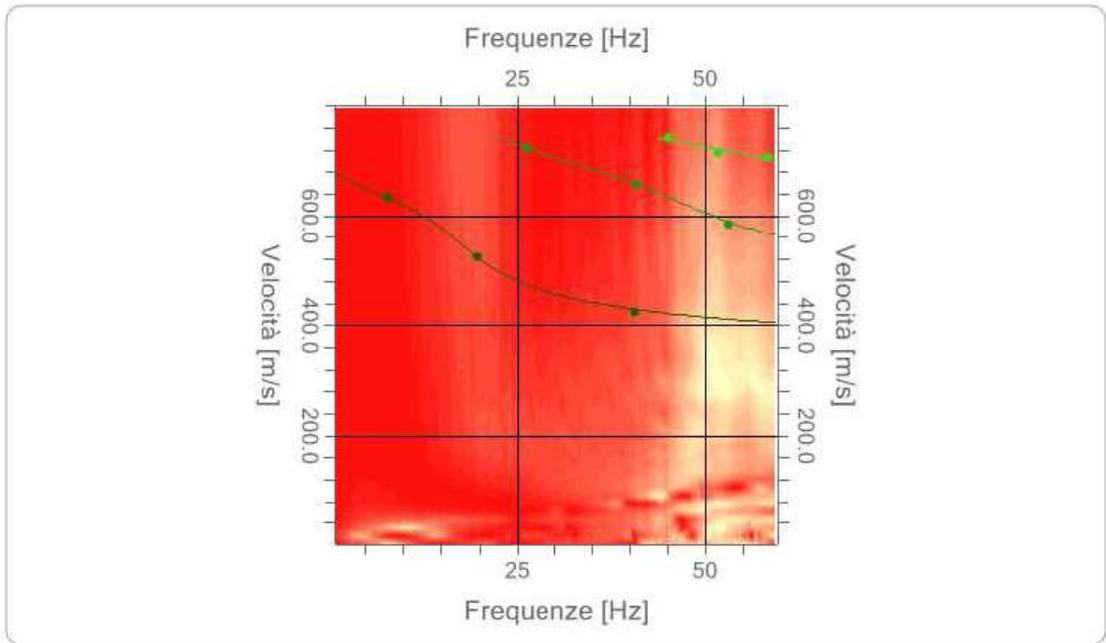
In **Fig. 47** è riportato l'andamento di  $V_s$  con la profondità;

In **Fig. 48** è riportato il Calcolo di  $V_{Seq}$ . M4.



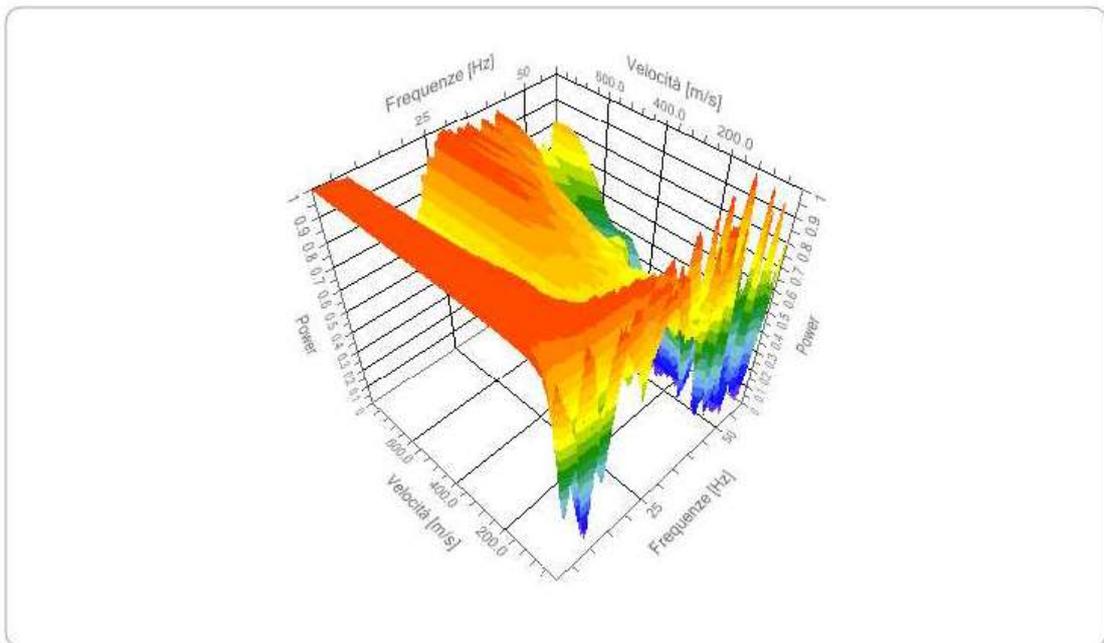
**Fig.44: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M4**

Spettro Velocità di fase - Frequenze

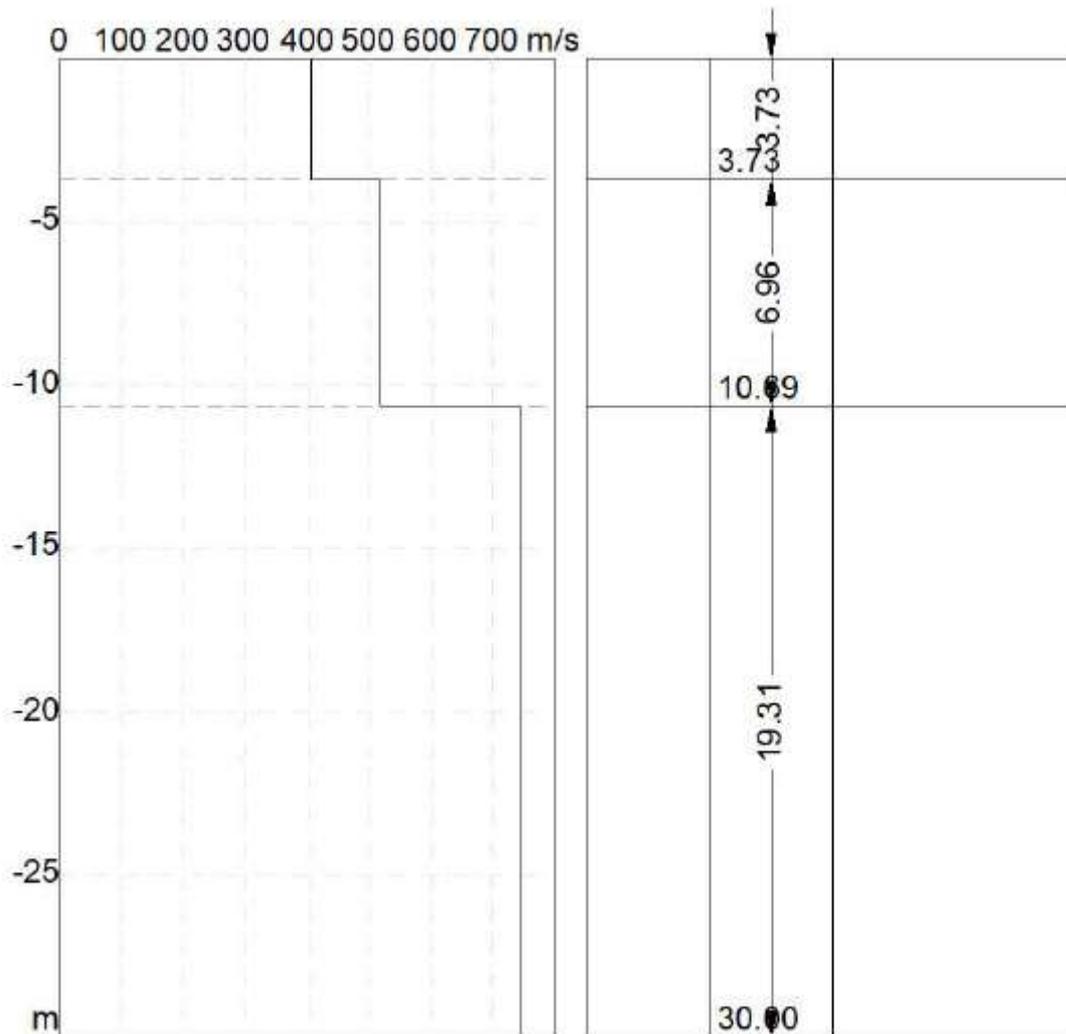


**Fig. 45: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M4**

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Fig. 46: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M4**



**Fig. 47: andamento di Vs con la profondità – M4**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,30 [m/sec]</b>	617.48
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Fig. 48: Calcolo di Vseq. M4**

### ELABORAZIONE DEI DATI M5:

Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa esecuzione:

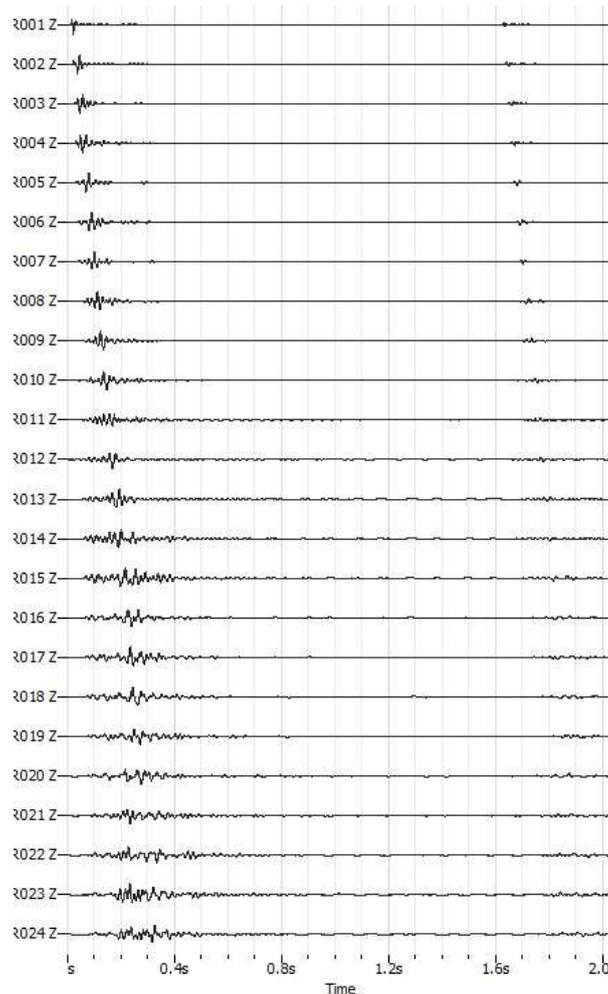
In **Fig. 49** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 50** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 51** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

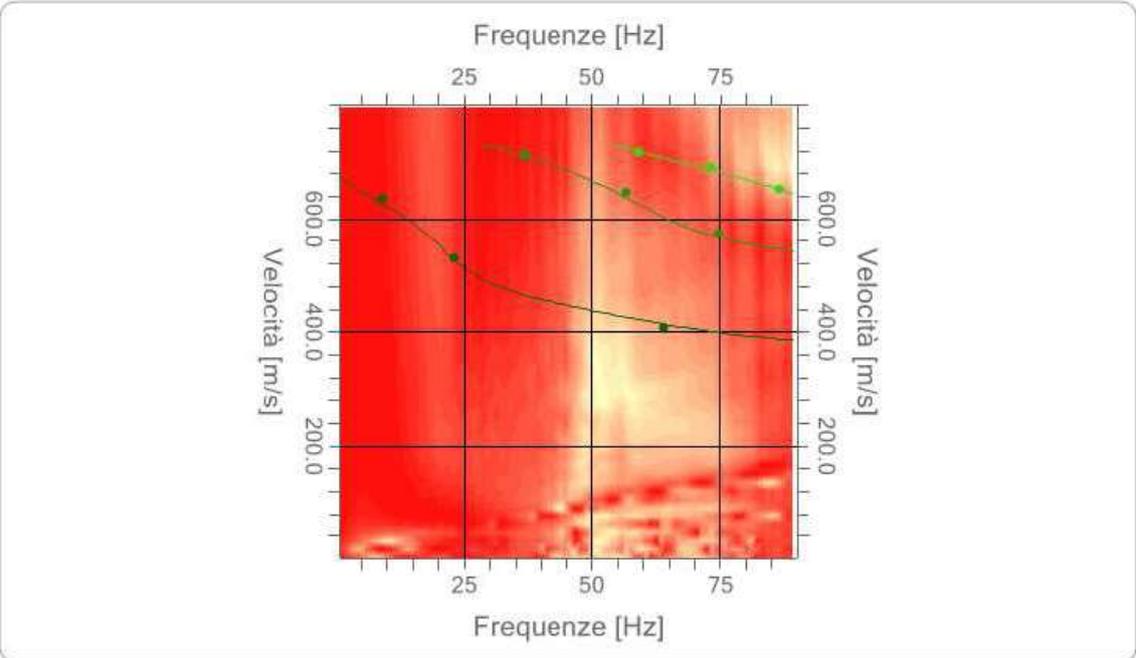
In **Fig. 52** è riportato l'andamento di  $V_s$  con la profondità;

In **Fig. 53** è riportato il Calcolo di  $V_{Seq}$ . M5.



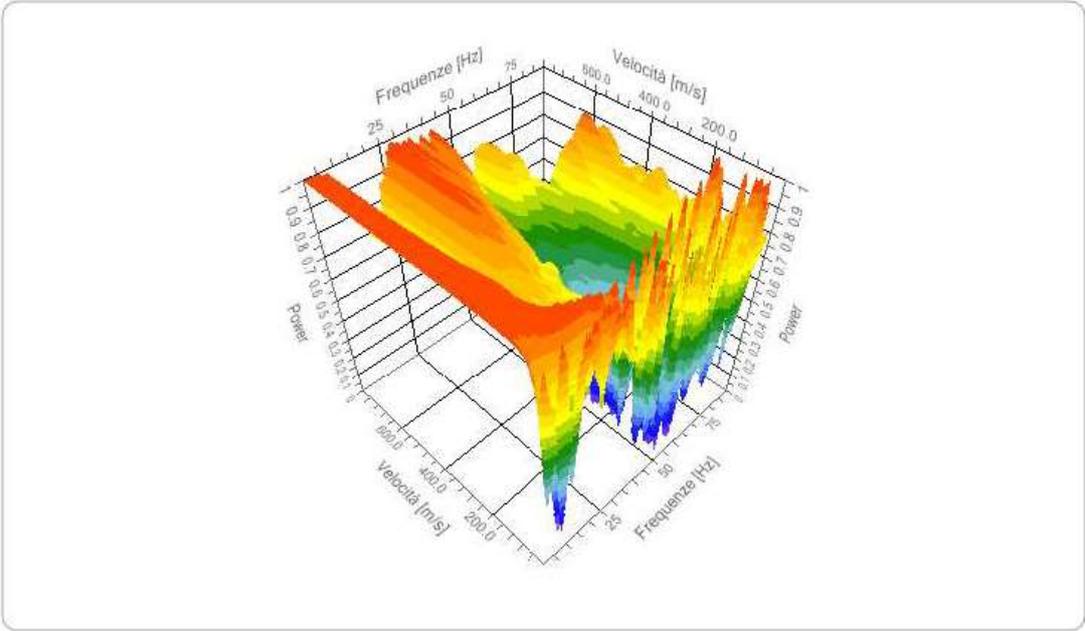
**Fig.49: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M5**

Spettro Velocità di fase - Frequenze

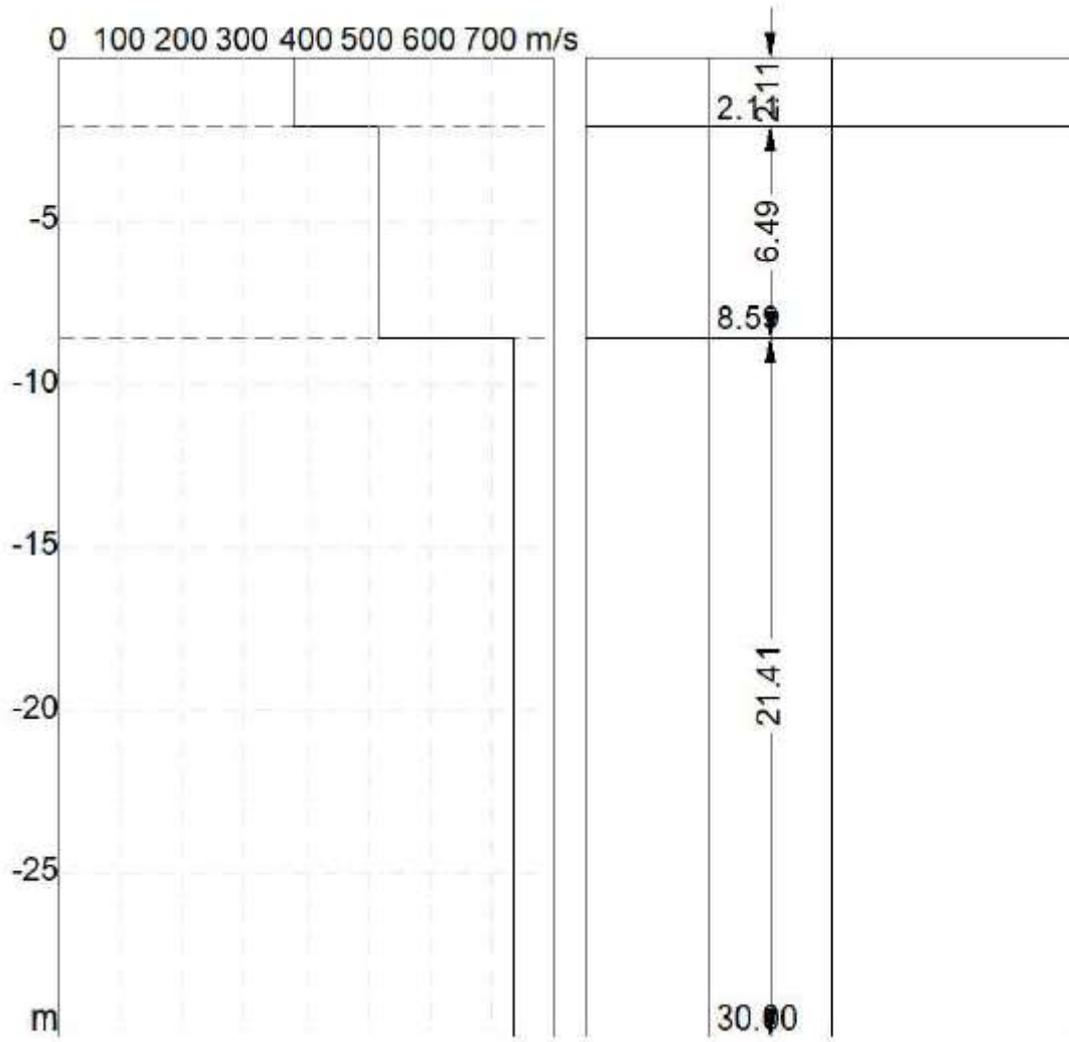


**Fig. 50: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M5**

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Fig. 51: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M5**



**Fig. 52: andamento di Vs con la profondità – M5**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	634.00
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Fig. 53: Calcolo di Vseq, M5**

### ELABORAZIONE DEI DATI M6:

Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stessa esecuzione:

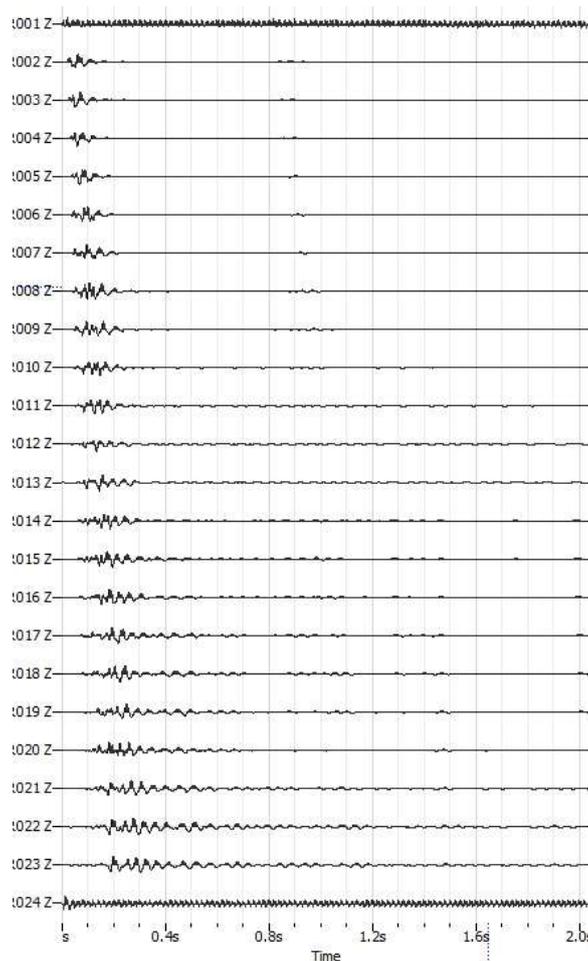
In **Fig. 54** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 55** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 56** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

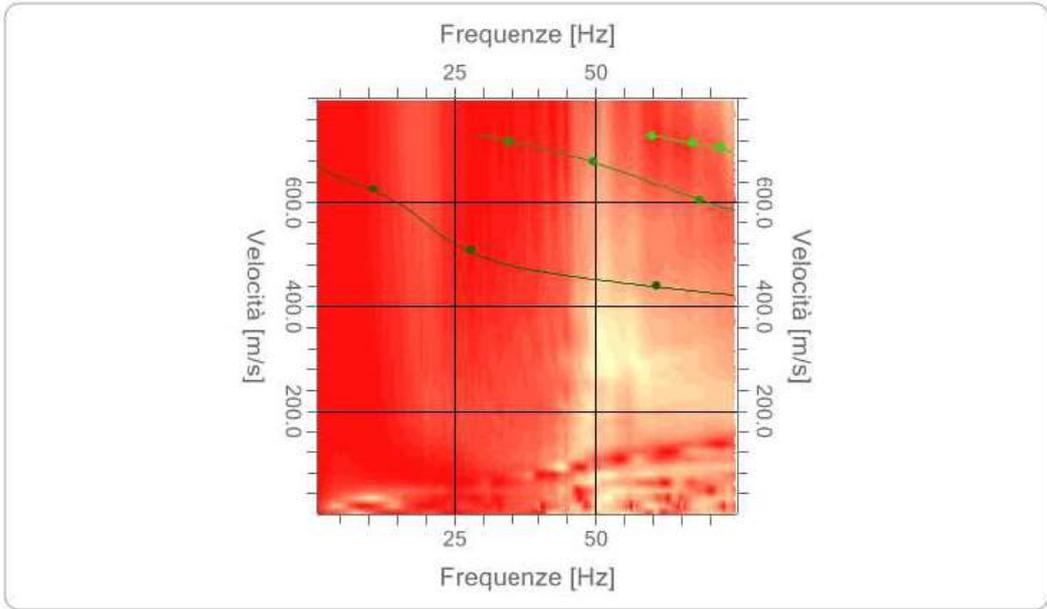
In **Fig. 57** è riportato l'andamento di  $V_s$  con la profondità;

In **Fig. 58** è riportato il Calcolo di  $V_{Seq}$  M6.



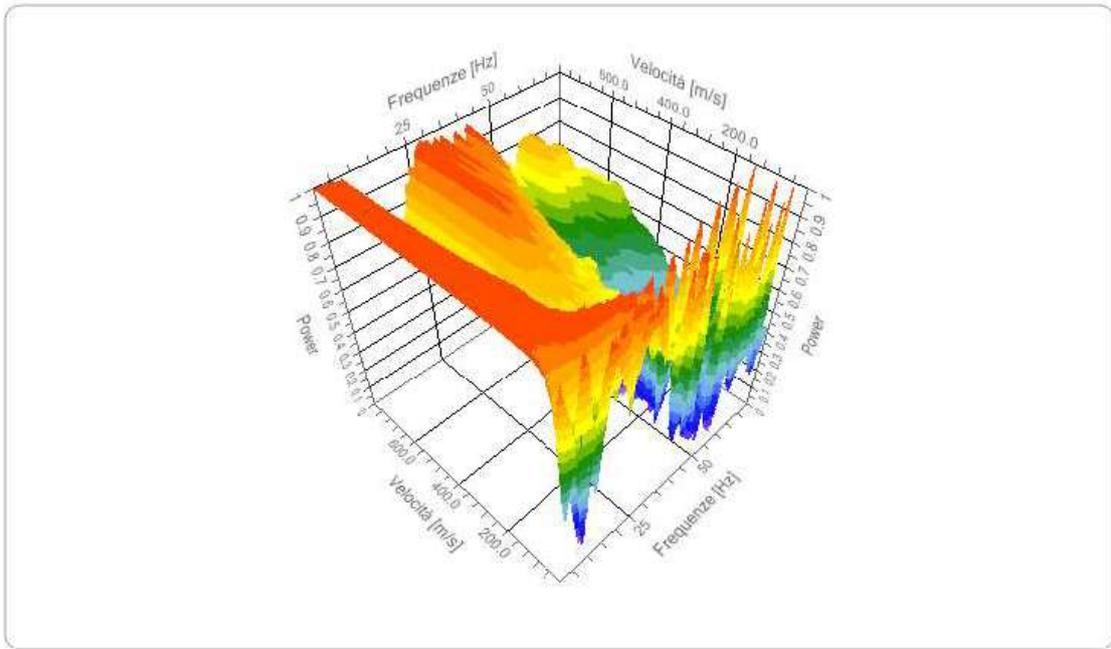
**Fig. 54: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M6**

Spettro Velocità di fase - Frequenze

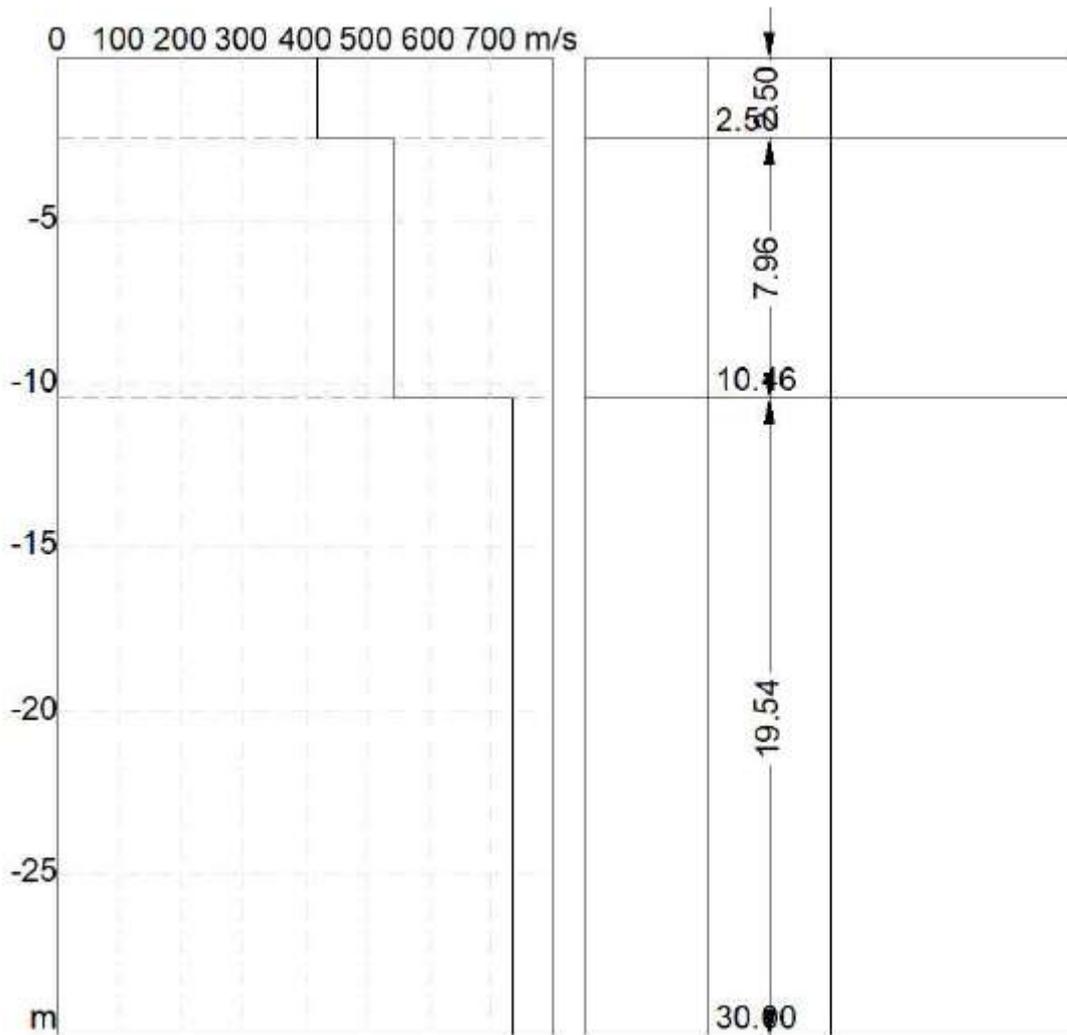


**Fig. 55: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale. M6**

Spettro Velocità di fase - Frequenze



**Fig. 56: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M6**



**Fig. 57: andamento di Vs con la profondità – M6**

<b>Profondità piano di posa [m]</b>	0.00
<b>Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)</b>	635.91
<b>Categoria del suolo</b>	B

**Fig. 58: Calcolo di Vseq. M6**

#### 4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (**D.M. 17 Gennaio 2018, Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni**), vengono identificate n° **5 classi** (denominate rispettivamente **A, B, C, D** e **E**) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori 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	<b><u>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 fra 360 m/s e 800 m/s.</u></b>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s.
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 metri, 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 30m.

Per  **$V_s$ equivalente** s'intende la media pesata delle velocità delle onde **S** negli strati fino alla profondità alla quale si incontra il substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s).

Per il suolo di fondazione della zona di studio il parametro  **$V_s$**  equivalente è caratterizzato dalle seguenti velocità rilevate:

- **$V_s$  Equivalente  $M1$  pari a 625 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **$V_s$  Equivalente  $M2$  pari a 613 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **$V_s$  Equivalente  $M3$  pari a 618 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **$V_s$  Equivalente  $M4$  pari a 617 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **$V_s$  Equivalente  $M5$  pari a 634 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B,**
- **$V_s$  Equivalente  $M6$  pari a 635 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria B.**

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di  **$V_{seq}$**  valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo B**: tale sottosuolo è definito come *“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 fra 360 m/s e 800 m/s”*.

## IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Carlo Cortese

GEOSECURE SRL  
Via dei Monti Parioli, 40  
00197 ROMA  
Part IVA 01650420704  
*Carlo Cortese*