



ENE 002a – Grosseto

Comune: Grosseto

Provincia: Grosseto

Regione: Toscana

Nome Progetto:

ENE 002a - Grosseto

Progetto di un impianto agrivoltaico sito nel comune di Grosseto in Località "Braccagni" di potenza nominale pari a 38.47 MWp in DC

Proponente

Grosseto Green Power s.r.l

Via Dante,7

20123 | Milano (MI)

P.Iva: 12660000964

Pec:grossetogreenpower@pec.it

Consulenza ambientale e progettazione:

ARCADIS Italia S.r.l.

Via Monte Rosa, 93

20149 | Milano (MI)

P.Iva: 01521770212

E-mail: info@arcadis.it

PROGETTO DEFINITIVO

Nome documento:

Indagini in sito

Commessa	Codice elaborato	Nome file
30190245	SIA_REL_06	SIA_REL_06 - Indagini in sito.pdf

Rev.	Data	Oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
00	Dic. 23	Prima Emissione	GMR	FP	SDA

Il presente documento è di proprietà di Arcadis Italia S.r.l. e non può essere modificato, distribuito o in altro modo utilizzato senza l'autorizzazione di Arcadis Italia s.r.l.

REGIONE TOSCANA



COMUNE di

GROSSETO

(Provincia di GROSSETO)



“Progetto di un impianto agrivoltaico sito nel comune di Grosseto in località "Braccagni" di potenza nominale pari a 38.47 MWp in DC”

Sito: Località Braccagni - GROSSETO (GR)

STUDIO GEOLOGICO INDAGINI IN SITO



GEOSECURE S.R.L.
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES



IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Monia Angela Guida

GEOSECURE SRL

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Monia Angela Guida

DATA: DICEMBRE 2023

Rev. 0

SOMMARIO

1. PREMESSA	Pag.02
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DI DETTAGLIO DELL'AREA	Pag.03
2.1 CARTA DELLE INDAGINI	Pag.04
2.2 INDAGINI GEOTECNICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO	Pag.05
2.3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO	Pag.09
3. MODELLO GEOLOGICO VALIDO PER L'AREA DI STUDIO	Pag.10
4. CONCLUSIONI	Pag. 14

1. PREMESSA

Il sottoscritto:

La sottoscritta società “**GEOSECURE s.r.l.**” avente sede a Roma (RM), in Via Degli Scipioni, n° 268a, ha eseguito uno studio di carattere geotecnico e sismico nel tenimento del Comune di **GROSSETO (GR)** a corredo del “**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI GROSSETO IN LOCALITÀ "BRACCAGNI" DI POTENZA NOMINALE PARI A 38.47 MWP IN DC**”, su incarico della committenza.

2. 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 geotecniche in sito e geofisiche.

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

- **n. 04 prospezioni penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH)**,

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

- **n. 02 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. 02 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.

Riguardo le suddette prospezioni geotecniche, si segnala che i punti di esecuzione delle stesse sono stati modificati e ricollocati all'interno della proprietà in esame. Difatti, a causa delle abbondanti precipitazioni della prima metà del mese di Novembre, il terreno nei punti inizialmente designati, era in condizioni impervie ed impraticabili tali da non poter essere raggiunto con la strumentazione.

La sottostante figura mostra una planimetria delle prove eseguite nell'area in esame.

2.1 CARTA DELLE INDAGINI



Fig. 1: Ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche eseguite.

N.B.: Si evidenzia che le prospezioni MASW e sismica a rifrazione sono state eseguite lungo i medesimi stendimenti.

2.2 INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO ESEGUITE

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH

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

- **N° 04 Prova Penetrometriche Dinamiche DPSH, denominate DPSH1, DPSH2, DPSH3, DPSH4, spinte fino ad una profondità pari a 8,40 – 10,60 – 7,80 – 9,20 m dal p.c.**

Le **indagini geotecniche in sito** sono state eseguite, nel mese di NOVEMBRE 2023, dalla **Impresa GEOSECURE SRL**.

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'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) 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 α)*
- *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 più 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 ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A = 10$ cm² 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 ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A = 10$ cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.
- **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 ($a = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A = 20.27$ cm² 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 ($a = 90^\circ$) diametro $D = 50.5 - 51,0$ mm, area base cono $A = 20,0 - 20,43$ cm², 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 ²
ANGOLO APERTURA PUNTA: α	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1° ASTA: PI	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : δ	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 ² (prova SPT: Qspt = 7.83 kg/cm ²)	
COEFF.TEORICO DI ENERGIA $\beta t = Q/Qspt = 1,489$ (teoricamente: Nspt = $\beta t N$)	

Specifiche tecniche del Penetrometro utilizzato in situ.

2.3 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE NELL'AREA DI STUDIO

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

- **n. 02** 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. 02** 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**, nel mese di NOVEMBRE 2023: nell'**ALLEGATO SISMICO (Allegato N. 2)** sono riportati gli elaborati relativi alle indagini geofisiche eseguite e la corretta ubicazione delle indagini stesse.

I risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area 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 **272 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria C;**
- V_s Equivalente $M2$ pari a **282 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria C.**

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 C**: tale sottosuolo è definito come *“**Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, 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**”*.

3. 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 di 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 lettura dei risultati provenienti dall'esecuzione della **campagna di indagini 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 di riferimento**:

- **0 m ÷ 1,60 = terreno vegetale;**
- **1,60 m ÷ 5,20 = Depositi alluvionali sciolti, costituiti nella parte alta da sedimenti argilloso limosi e nella pozione bassa da limi argillosi talora con sabbie fini;**
- **5,20 m ÷ 10,60 = Depositi alluvionali costituiti nella parte alta da argille limose talora sabbiose, da poco a mediamente consistenti;**

NB. A seguire fino a 30 m = Depositi sabbioso argillosi alternati con con ghiaia da mediamente a molto consistenti

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 i parametri geotecnici fondamentali del terreno di fondazione:

PROVA N.1

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Coefficiente spinta a Riposo K ₀	Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
1	DA METRI 0.00 A METRI 2.00	9	Coesivo	0.63	1.47	1.91	22.66	0.62	116.50	93.20	18.64
2	DA METRI 2.00 A METRI 5.40	2	Coesivo	0.17	1.38	1.86	20.76	0.65	33.13	26.50	5.30
3	DA METRI 5.40 A METRI 8.40	27	Coesivo	1.86	1.61	2.00	26.07	0.56	274.80	274.80	54.96

PROVA N.2

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Coefficiente spinta a Riposo K ₀	Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
1	DA METRI 0.00 A METRI 1.60	13	Coesivo	0.90	1.52	1.95	23.82	0.60	133.60	133.60	26.72
2	DA METRI 1.60 A METRI 5.60	4	Coesivo	0.23	1.39	1.87	21.05	0.64	46.00	36.80	7.36
3	DA METRI 5.60 A METRI 10.60	30	Coesivo	2.03	1.62	2.01	26.43	0.55	300.20	300.20	60.04

PROVA N.3

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Coefficiente spinta a Riposo K ₀	Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
1	DA METRI 0.00 A METRI 2.00	10	Coesivo	0.67	1.48	1.92	22.84	0.61	124.13	99.30	19.86
2	DA METRI 2.00 A METRI 4.40	1	Coesivo	0.09	1.36	1.85	20.43	0.65	18.75	15.00	3.00
3	DA METRI 4.40 A METRI 7.80	24	Coesivo	1.64	1.59	1.99	25.61	0.57	242.40	242.40	48.48

PROVA N.4

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Coefficiente spinta a Riposo K ₀	Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
1	DA METRI 0.00 A METRI 1.40	13	Coesivo	0.86	1.51	1.94	23.62	0.60	126.80	126.80	25.36
2	DA METRI 1.40 A METRI 4.40	1	Coesivo	0.09	1.36	1.85	20.43	0.65	18.75	15.00	3.00
3	DA METRI 4.40 A METRI 9.20	27	Coesivo	1.82	1.61	2.00	25.98	0.56	268.90	268.90	53.78

Grazie a dati di letteratura disponibili per l'area in esame è stato possibile definire i parametri geotecnici da 10,60 m, profondità massima alla quale si sono spinte le prove penetrometriche, fino a 30 m di profondità:

STRATO	Spessore dello strato (m)	Nspt	Tipo	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Angolo ϕ	Coefficiente spinta a Riposo K ₀	Mod. Edometrico E _{ed} (kg/cm ²)	Mod. Elastico di Young E _{el} (kg/cm ²)	Qc Resistenza alla punta (kg/cm ²)
4	DA METRI 10.60 A METRI 30.00	-	Coesivo	2.19	1.74	2.08	27.59	0.51	347.10	347.10	69.01

4. CONCLUSIONI

La sottoscritta società “**GEOSECURE s.r.l.**” avente sede a Roma (RM), in Via Degli Scipioni, n° 268a, ha eseguito uno studio di carattere geotecnico e sismico nel tenimento del Comune di **GROSSETO (GR)** a corredo del “**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI GROSSETO IN LOCALITÀ "BRACCAGNI" DI POTENZA NOMINALE PARI A 38.47 MWP IN DC**”, su incarico della committenza.

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 in sito e geofisiche.

Le indagini geotecniche in sito sono consistite in:

- **n. 04 prospezioni penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH).**

Le indagini geofisiche in sito sono infine consistite in:

- **n. 02 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. 02 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 della prospezione 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 **272 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00**
mt = suolo categoria C;
- Vs Equivalente $M2$ pari a **282 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00**
mt = suolo categoria C.

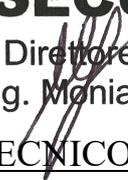
Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica MASW il valore di V_{seq} valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, 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*”.

L'esecuzione di prospezioni geotecniche in situ ha mostrato la presenza di una falda freatica alla profondità di circa 2,00m dal p.c.

Inoltre risulta necessario evidenziare come sulla zona oggetto di indagini, a causa delle abbondanti precipitazioni della prima metà del mese di Novembre e dello scarso valore di permeabilità dei sedimenti argillosi e limosi costituenti l'area, si accumulano un notevole quantitativo di acqua che defluisce in tempi prolungati.

Alla presente relazione si allega tutta la documentazione prodotta per le differenti indagini geotecniche e geofisiche eseguite.

GEOSECURE SRL

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing.  Monia Angela Guida

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Monia Angela Guida

ALLEGATO N. 1

PROVE GEOTECNICHE IN SITU

GEOSECURE SRL

 Via degli Scipioni, 268a
00192 Roma (RM)

P.IVA 01650420704 - N. REA: RM-1572334

 Tel: 0874/783120 -  Fax: 0874/773186
 info@geosecure.it -  www.geosecure.it
Pec: geosecuresrl@legalmail.it

CERTIFICATI PROVE IN SITO

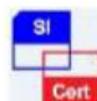


Available versions		
DP Only	CPT Only	DP + CPT
■ DPSH	■ 200kN	■ DPSH + 200 kN
= DPH		= DPH + 200 kN
= DPM		= DPM + 200 kN
Rotary head		

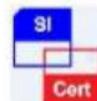
Legend	
■	Standard
=	Optional



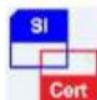
ATT. N. 7918/63/01



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 DEGLI SCIPIONI 268A - ROMA (RM)

SEDE OPERATIVA: VIA BARCELONA N.18 – BOJANO

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

MAIL: info@geosecure.it SITO: www.geosecure.it

OGGETTO : Progetto di un impianto agrivoltaico sito nel comune di Grosseto in località "Braccagni" di potenza nominale pari a 38.47 MWp in DC

LOCALITA' : Località Braccagni - GROSSETO (GR)

CODICE DOCUMENTO: CPS 429/23 DPSH

SPERIMENTATORE

DIRETTORE TECNICO

REV. 0

DOTT. ANTONINO CARUSO

DOTT. ING. MONIA ANGELA GUIDA

**DATA
NOVEMBRE 2023**

NUMERO E TIPOLOGIE DI PROVE IN SITU:

N. 4 PROVE PENETROMETRICHE DI TIPO DPSH A PUNTA CHIUSA

NEL MESE DI **NOVEMBRE 2023** LA GEOSECURE SRL HA ESEGUITO NEL TENIMENTO DI **GROSSETO (GR)** QUATTRO PROSPEZIONI GEOTECNICHE IN SITU DI TIPO DPSH, SU INCARICO DELLA COMMITTENZA, IN RELAZIONE ALLA PRATICA DENOMINATA **“PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI GROSSETO IN LOCALITÀ "BRACCAGNI" DI POTENZA NOMINALE PARI A 38.47 MWP IN DC”**.

IL FASCICOLO, COSTITUITO DA N. PAG. 15, E' RILASCIATO IN TRIPLICE COPIA IN ORIGINALE.



PROVA 1

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

Profondita' prova 8.40 mt

Falda rilevata

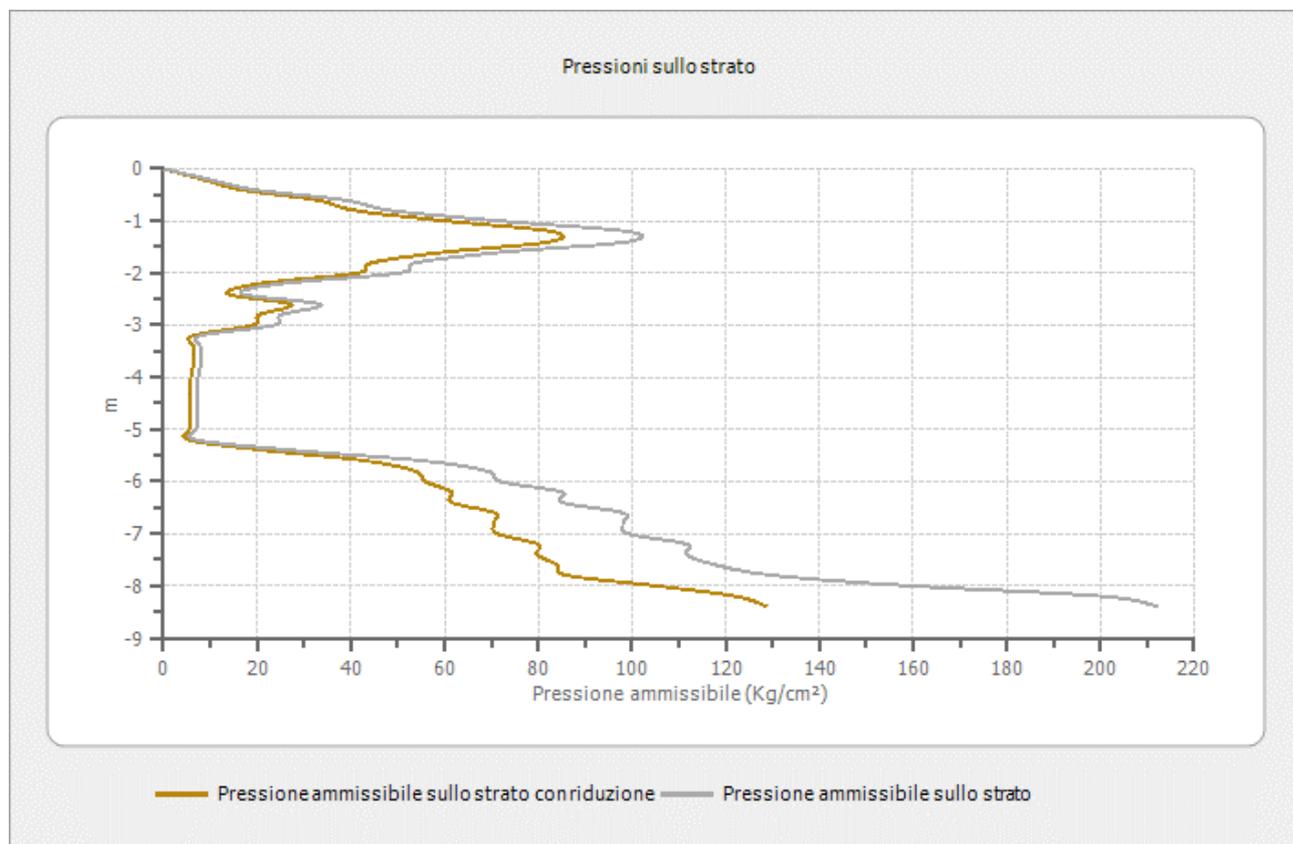
Rilevata umidità a 1.80 mt dal piano campagna

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	1	0.855	8.31	9.72	8.31	9.72
0.40	2	0.851	16.54	19.44	16.54	19.44
0.60	4	0.847	32.92	38.87	32.92	38.87
0.80	5	0.843	40.98	48.59	40.98	48.59
1.00	8	0.840	60.39	71.92	60.39	71.92
1.20	11	0.836	82.70	98.89	82.70	98.89
1.40	11	0.833	82.36	98.89	82.36	98.89
1.60	8	0.830	59.66	71.92	59.66	71.92
1.80	6	0.826	44.57	53.94	44.57	53.94
2.00	6	0.823	41.31	50.18	41.31	50.18
2.20	3	0.820	20.58	25.09	20.58	25.09
2.40	2	0.817	13.67	16.73	13.67	16.73
2.60	4	0.814	27.24	33.45	27.24	33.45
2.80	3	0.811	20.36	25.09	20.36	25.09
3.00	3	0.809	18.97	23.46	18.97	23.46
3.20	1	0.806	6.30	7.82	6.30	7.82
3.40	1	0.803	6.28	7.82	6.28	7.82
3.60	1	0.801	6.26	7.82	6.26	7.82
3.80	1	0.798	6.24	7.82	6.24	7.82
4.00	1	0.796	5.84	7.34	5.84	7.34
4.20	1	0.794	5.83	7.34	5.83	7.34
4.40	1	0.791	5.81	7.34	5.81	7.34
4.60	1	0.789	5.79	7.34	5.79	7.34
4.80	1	0.787	5.78	7.34	5.78	7.34
5.00	1	0.785	5.43	6.92	5.43	6.92
5.20	1	0.783	5.42	6.92	5.42	6.92
5.40	4	0.781	21.61	27.67	21.61	27.67
5.60	8	0.779	43.12	55.34	43.12	55.34
5.80	10	0.777	53.77	69.17	53.77	69.17
6.00	11	0.775	55.79	71.94	55.79	71.94
6.20	13	0.724	61.53	85.02	61.53	85.02
6.40	13	0.722	61.39	85.02	61.39	85.02
6.60	15	0.720	70.67	98.10	70.67	98.10
6.80	15	0.719	70.51	98.10	70.51	98.10
7.00	16	0.717	71.17	99.24	71.17	99.24



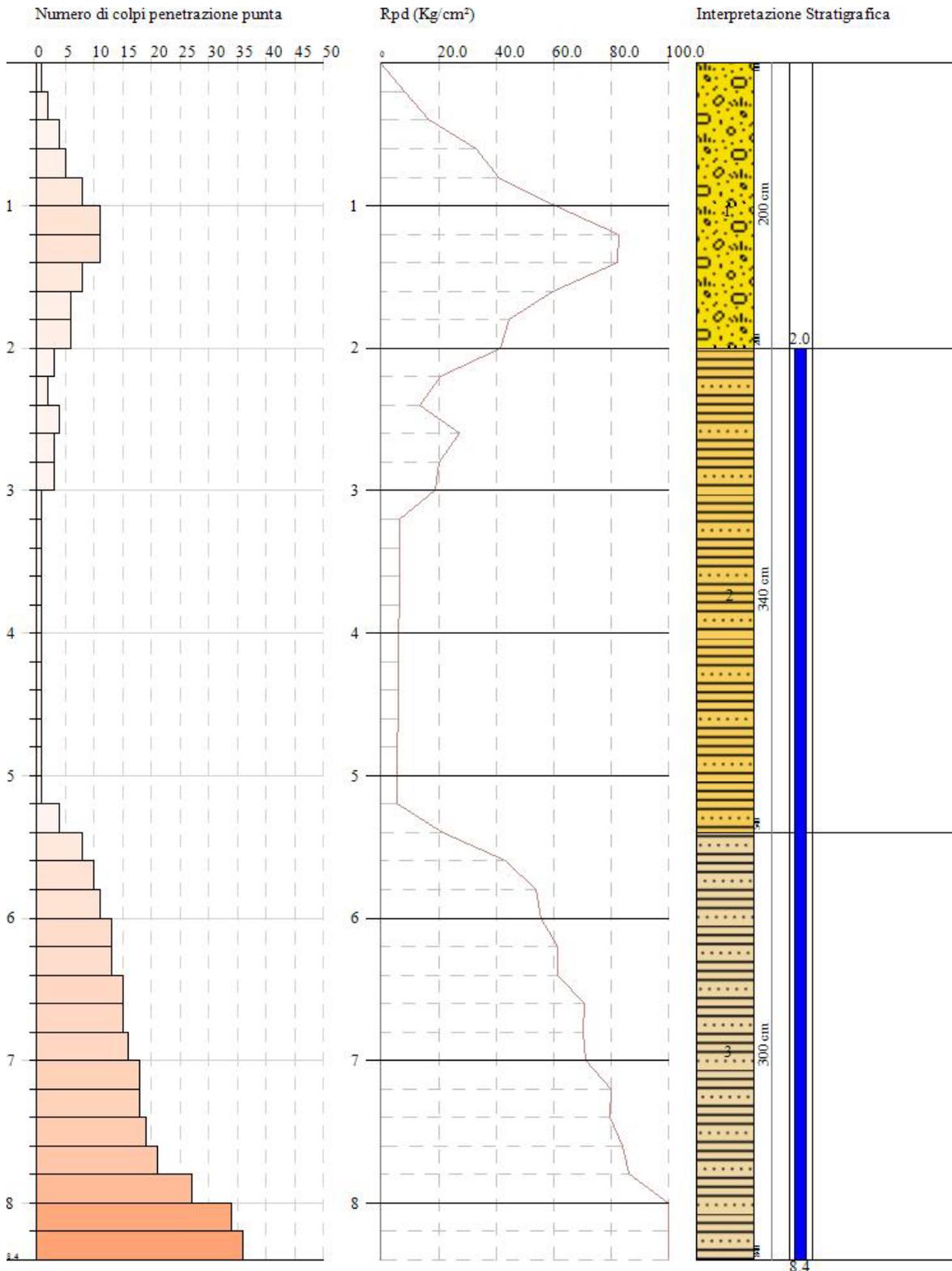
7.20	18	0.716	79.89	111.64	79.89	111.64
7.40	18	0.714	79.73	111.64	79.73	111.64
7.60	19	0.713	83.99	117.84	83.99	117.84
7.80	21	0.661	86.13	130.25	86.13	130.25
8.00	27	0.660	105.08	159.23	105.08	159.23
8.20	34	0.609	122.02	200.51	122.02	200.51
8.40	36	0.607	128.92	212.31	128.92	212.31



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:40



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



PROVA 2

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

Profondita' prova 10.60 mt

Falda rilevata

Rilevata umidità a 1.40 mt dal piano campagna

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	2	0.855	16.61	19.44	16.61	19.44
0.40	2	0.851	16.54	19.44	16.54	19.44
0.60	4	0.847	32.92	38.87	32.92	38.87
0.80	8	0.843	65.56	77.74	65.56	77.74
1.00	13	0.790	92.30	116.87	92.30	116.87
1.20	16	0.786	113.09	143.84	113.09	143.84



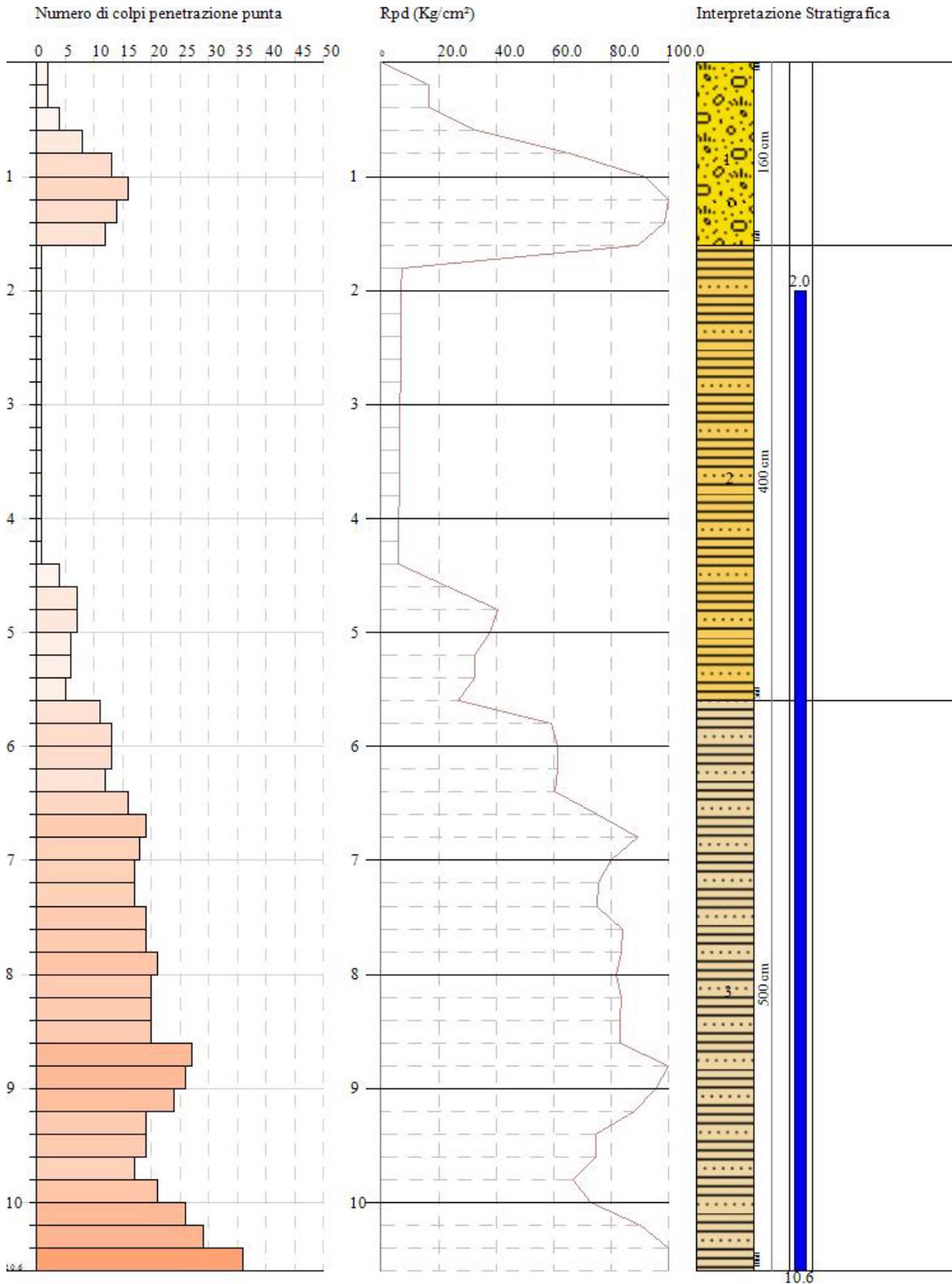
1.40	14	0.783	98.53	125.86	98.53	125.86
1.60	12	0.830	89.49	107.88	89.49	107.88
1.80	1	0.826	7.43	8.99	7.43	8.99
2.00	1	0.823	6.88	8.36	6.88	8.36
2.20	1	0.820	6.86	8.36	6.86	8.36
2.40	1	0.817	6.83	8.36	6.83	8.36
2.60	1	0.814	6.81	8.36	6.81	8.36
2.80	1	0.811	6.79	8.36	6.79	8.36
3.00	1	0.809	6.32	7.82	6.32	7.82
3.20	1	0.806	6.30	7.82	6.30	7.82
3.40	1	0.803	6.28	7.82	6.28	7.82
3.60	1	0.801	6.26	7.82	6.26	7.82
3.80	1	0.798	6.24	7.82	6.24	7.82
4.00	1	0.796	5.84	7.34	5.84	7.34
4.20	1	0.794	5.83	7.34	5.83	7.34
4.40	1	0.791	5.81	7.34	5.81	7.34
4.60	4	0.789	23.17	29.36	23.17	29.36
4.80	7	0.787	40.44	51.38	40.44	51.38
5.00	7	0.785	38.01	48.42	38.01	48.42
5.20	6	0.783	32.50	41.50	32.50	41.50
5.40	6	0.781	32.42	41.50	32.42	41.50
5.60	5	0.779	26.95	34.59	26.95	34.59
5.80	11	0.777	59.14	76.09	59.14	76.09
6.00	13	0.725	61.68	85.02	61.68	85.02
6.20	13	0.724	61.53	85.02	61.53	85.02
6.40	12	0.772	60.59	78.48	60.59	78.48
6.60	16	0.720	75.38	104.64	75.38	104.64
6.80	19	0.719	89.31	124.26	89.31	124.26
7.00	18	0.717	80.06	111.64	80.06	111.64
7.20	17	0.716	75.46	105.44	75.46	105.44
7.40	17	0.714	75.30	105.44	75.30	105.44
7.60	19	0.713	83.99	117.84	83.99	117.84
7.80	19	0.711	83.82	117.84	83.82	117.84
8.00	21	0.660	81.73	123.85	81.73	123.85
8.20	20	0.709	83.57	117.95	83.57	117.95
8.40	20	0.707	83.42	117.95	83.42	117.95
8.60	20	0.706	83.27	117.95	83.27	117.95
8.80	27	0.655	104.25	159.23	104.25	159.23
9.00	26	0.653	95.51	146.15	95.51	146.15
9.20	24	0.652	88.00	134.91	88.00	134.91
9.40	19	0.701	74.88	106.80	74.88	106.80
9.60	19	0.700	74.76	106.80	74.76	106.80
9.80	17	0.699	66.78	95.56	66.78	95.56
10.00	21	0.648	73.04	112.76	73.04	112.76
10.20	26	0.647	90.27	139.61	90.27	139.61
10.40	29	0.646	100.52	155.72	100.52	155.72
10.60	36	0.594	114.91	193.31	114.91	193.31

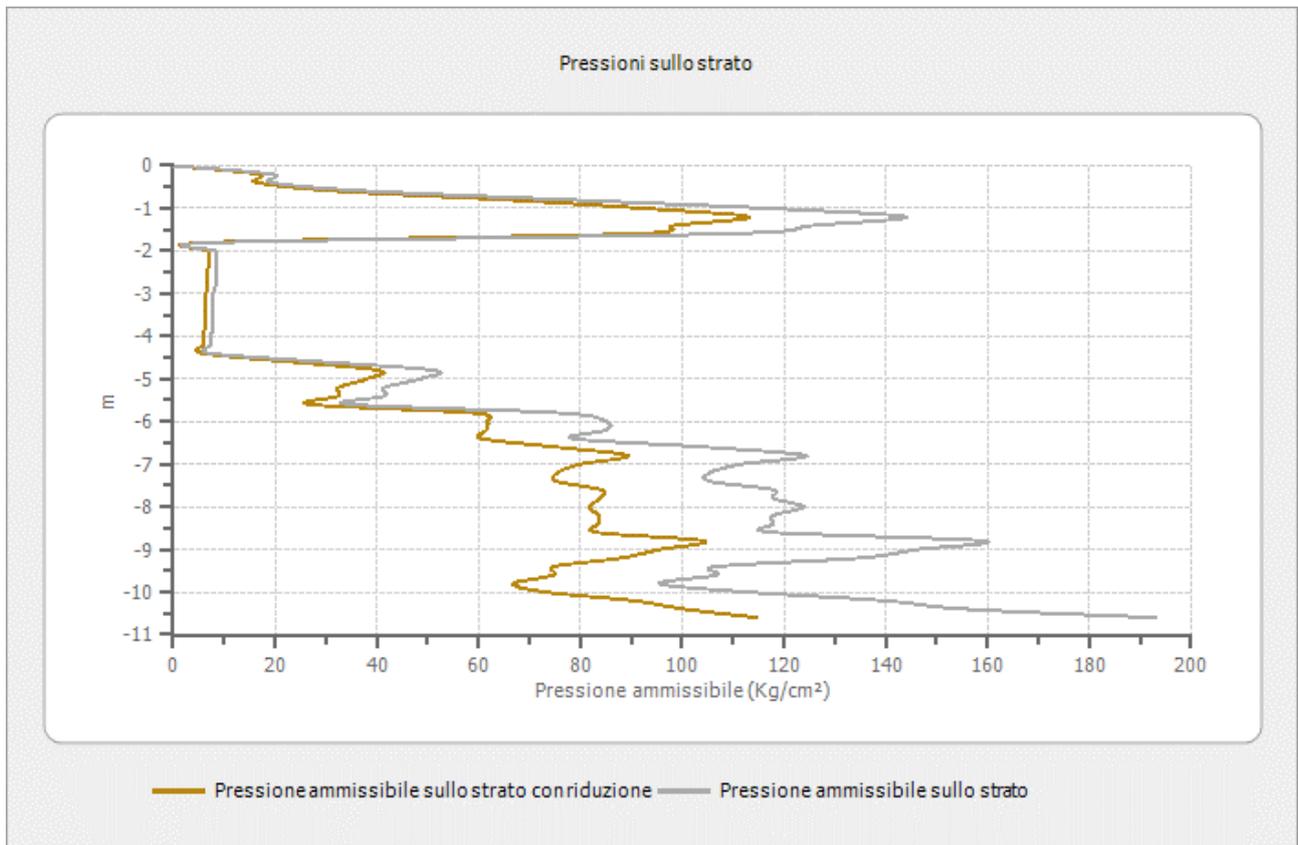


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:50





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



PROVA 3

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

Profondita' prova 7.80 mt

Falda rilevata

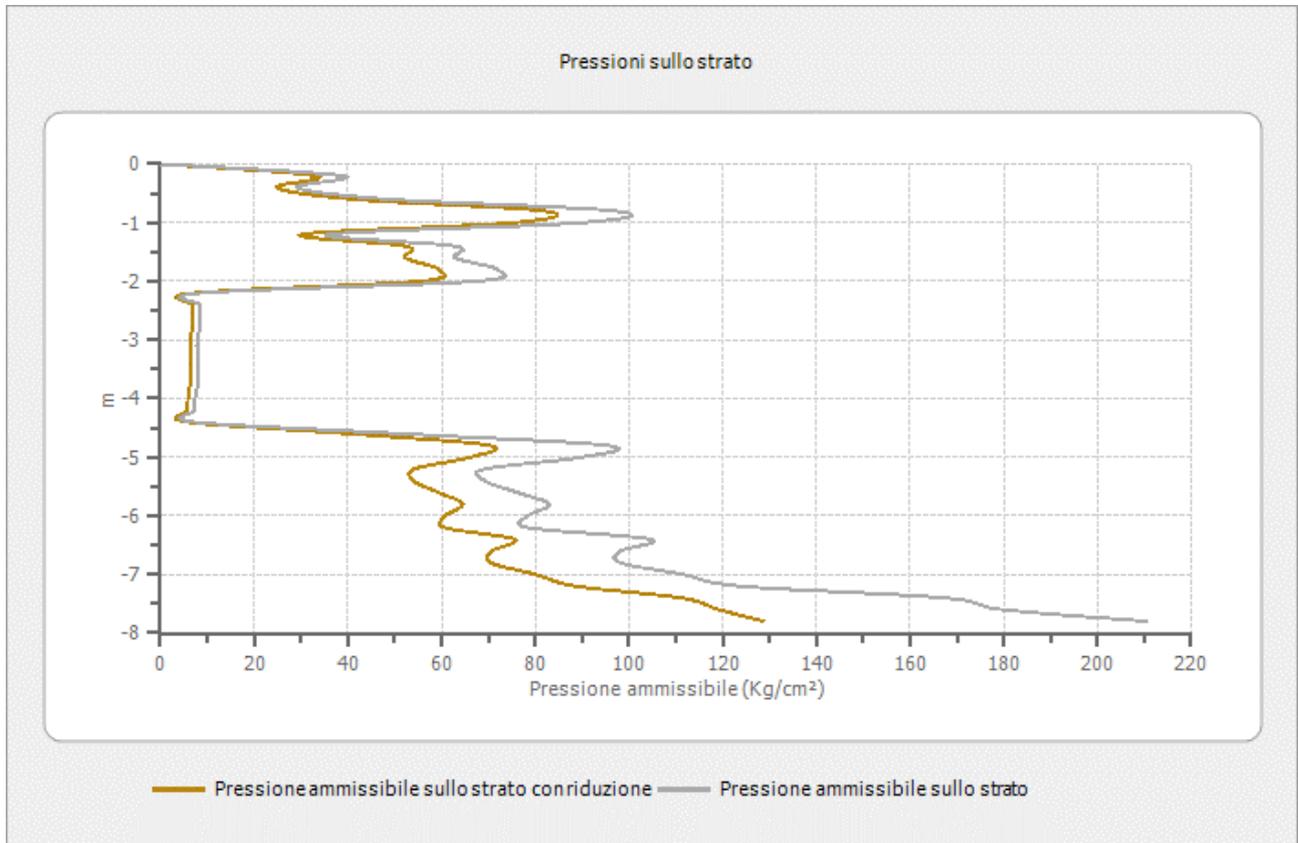
Rilevata umidità a 2.20 mt dal piano campagna

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	4	0.855	33.22	38.87	33.22	38.87
0.40	3	0.851	24.80	29.15	24.80	29.15
0.60	5	0.847	41.16	48.59	41.16	48.59
0.80	10	0.843	81.95	97.18	81.95	97.18
1.00	10	0.840	75.49	89.90	75.49	89.90
1.20	4	0.836	30.07	35.96	30.07	35.96
1.40	7	0.833	52.41	62.93	52.41	62.93
1.60	7	0.830	52.20	62.93	52.20	62.93
1.80	8	0.826	59.43	71.92	59.43	71.92
2.00	8	0.823	55.08	66.91	55.08	66.91
2.20	1	0.820	6.86	8.36	6.86	8.36
2.40	1	0.817	6.83	8.36	6.83	8.36
2.60	1	0.814	6.81	8.36	6.81	8.36
2.80	1	0.811	6.79	8.36	6.79	8.36
3.00	1	0.809	6.32	7.82	6.32	7.82
3.20	1	0.806	6.30	7.82	6.30	7.82
3.40	1	0.803	6.28	7.82	6.28	7.82
3.60	1	0.801	6.26	7.82	6.26	7.82
3.80	1	0.798	6.24	7.82	6.24	7.82
4.00	1	0.796	5.84	7.34	5.84	7.34
4.20	1	0.794	5.83	7.34	5.83	7.34
4.40	1	0.791	5.81	7.34	5.81	7.34
4.60	7	0.789	40.55	51.38	40.55	51.38
4.80	13	0.737	70.34	95.42	70.34	95.42
5.00	13	0.735	66.10	89.92	66.10	89.92
5.20	10	0.783	54.16	69.17	54.16	69.17
5.40	10	0.781	54.03	69.17	54.03	69.17
5.60	11	0.779	59.28	76.09	59.28	76.09
5.80	12	0.777	64.52	83.01	64.52	83.01
6.00	12	0.775	60.86	78.48	60.86	78.48
6.20	12	0.774	60.72	78.48	60.72	78.48
6.40	16	0.722	75.55	104.64	75.55	104.64
6.60	15	0.720	70.67	98.10	70.67	98.10
6.80	15	0.719	70.51	98.10	70.51	98.10



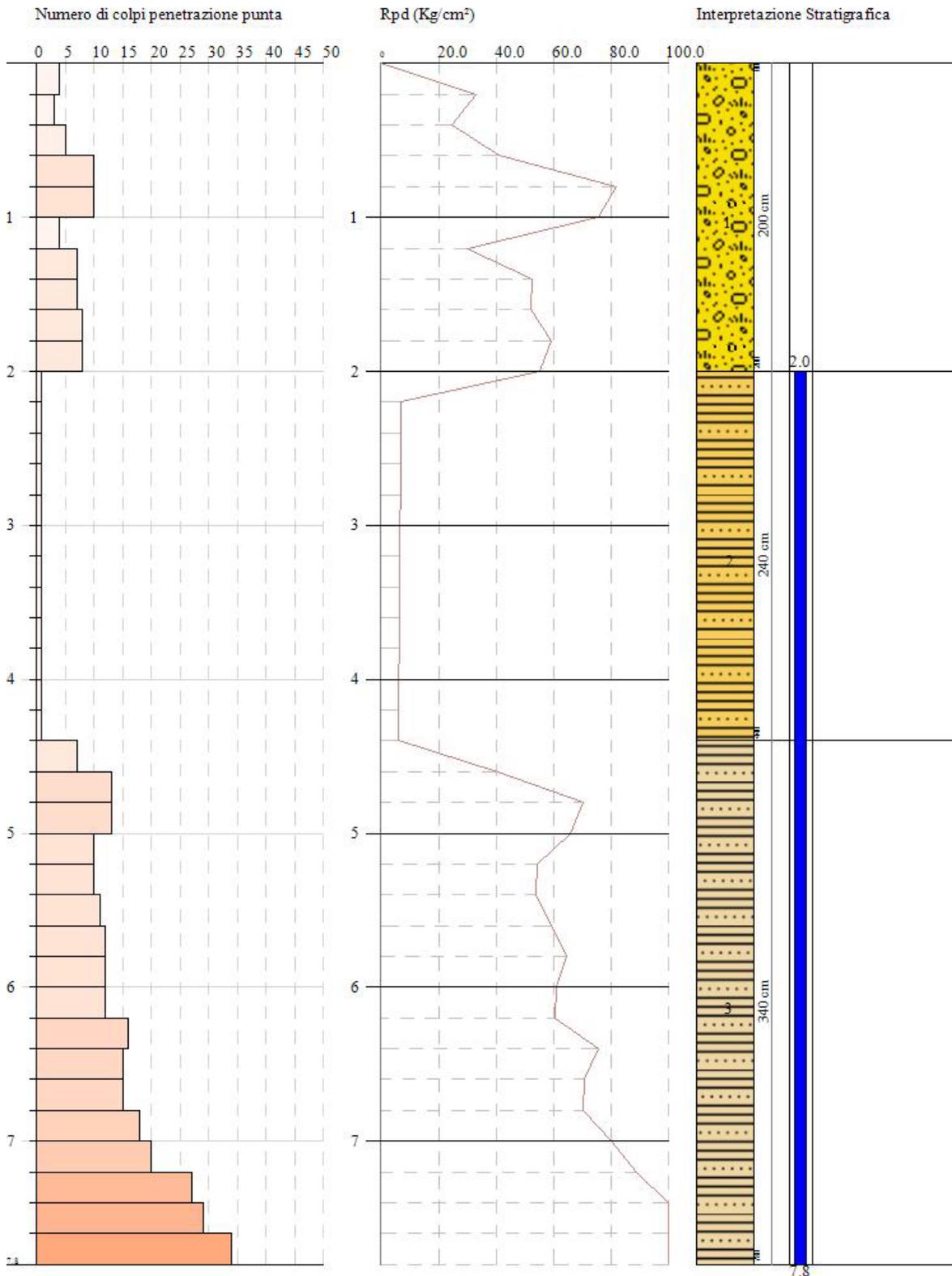
7.00	18	0.717	80.06	111.64	80.06	111.64
7.20	20	0.716	88.77	124.04	88.77	124.04
7.40	27	0.664	111.22	167.46	111.22	167.46
7.60	29	0.663	119.20	179.86	119.20	179.86
7.80	34	0.611	128.91	210.87	128.91	210.87



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
 Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:37



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



PROVA 4

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

Profondita' prova 9.20 mt

Falda rilevata

Rilevata umidità a 1.60 mt dal piano campagna

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	3	0.855	24.92	29.15	24.92	29.15
0.40	3	0.851	24.80	29.15	24.80	29.15
0.60	5	0.847	41.16	48.59	41.16	48.59
0.80	8	0.843	65.56	77.74	65.56	77.74
1.00	14	0.790	99.40	125.86	99.40	125.86
1.20	14	0.786	98.96	125.86	98.96	125.86
1.40	12	0.833	89.85	107.88	89.85	107.88



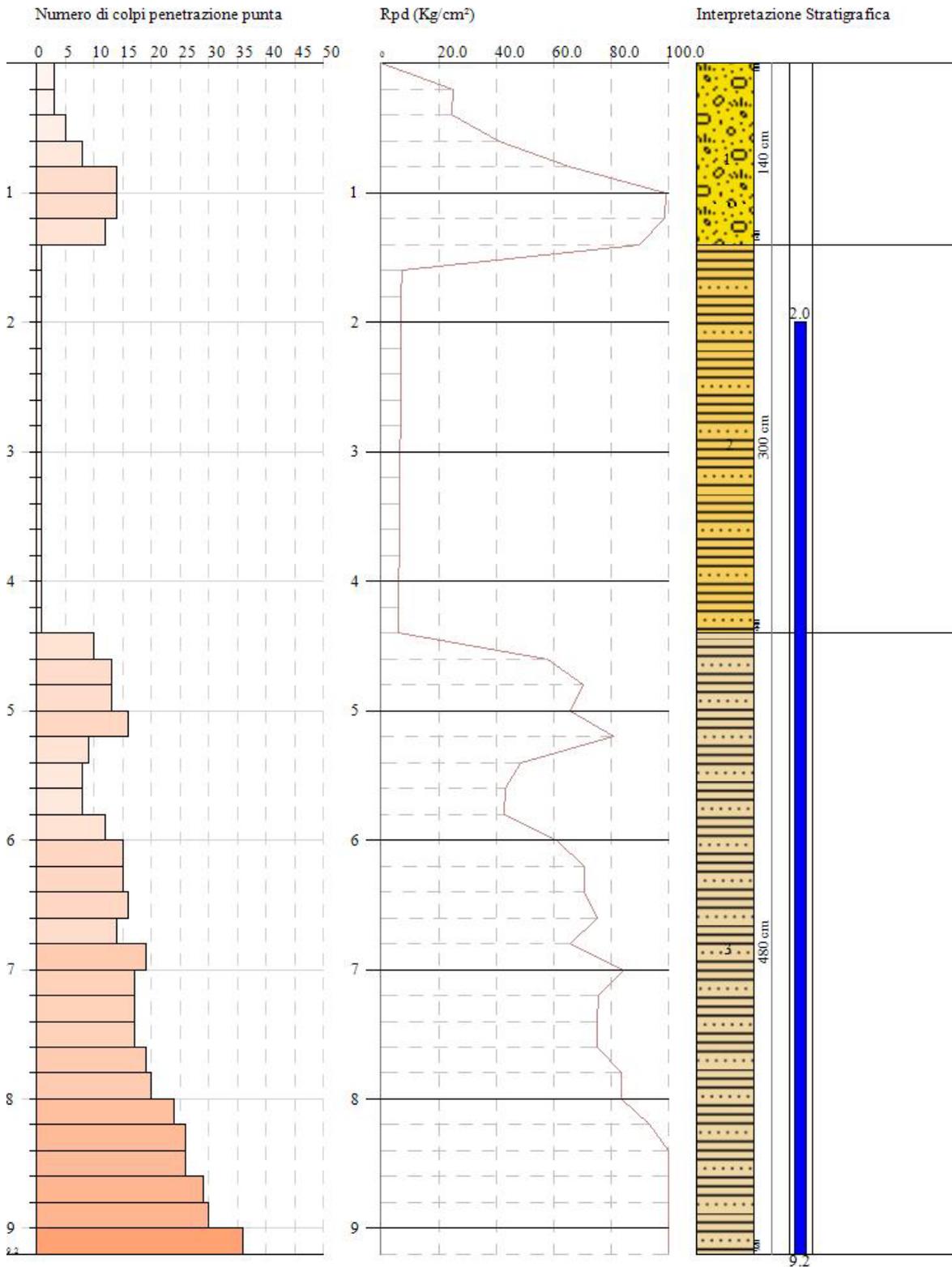
1.60	1	0.830	7.46	8.99	7.46	8.99
1.80	1	0.826	7.43	8.99	7.43	8.99
2.00	1	0.823	6.88	8.36	6.88	8.36
2.20	1	0.820	6.86	8.36	6.86	8.36
2.40	1	0.817	6.83	8.36	6.83	8.36
2.60	1	0.814	6.81	8.36	6.81	8.36
2.80	1	0.811	6.79	8.36	6.79	8.36
3.00	1	0.809	6.32	7.82	6.32	7.82
3.20	1	0.806	6.30	7.82	6.30	7.82
3.40	1	0.803	6.28	7.82	6.28	7.82
3.60	1	0.801	6.26	7.82	6.26	7.82
3.80	1	0.798	6.24	7.82	6.24	7.82
4.00	1	0.796	5.84	7.34	5.84	7.34
4.20	1	0.794	5.83	7.34	5.83	7.34
4.40	1	0.791	5.81	7.34	5.81	7.34
4.60	10	0.789	57.93	73.40	57.93	73.40
4.80	13	0.737	70.34	95.42	70.34	95.42
5.00	13	0.735	66.10	89.92	66.10	89.92
5.20	16	0.733	81.13	110.67	81.13	110.67
5.40	9	0.781	48.62	62.25	48.62	62.25
5.60	8	0.779	43.12	55.34	43.12	55.34
5.80	8	0.777	43.01	55.34	43.01	55.34
6.00	12	0.775	60.86	78.48	60.86	78.48
6.20	15	0.724	71.00	98.10	71.00	98.10
6.40	15	0.722	70.83	98.10	70.83	98.10
6.60	16	0.720	75.38	104.64	75.38	104.64
6.80	14	0.719	65.81	91.56	65.81	91.56
7.00	19	0.717	84.51	117.84	84.51	117.84
7.20	17	0.716	75.46	105.44	75.46	105.44
7.40	17	0.714	75.30	105.44	75.30	105.44
7.60	17	0.713	75.15	105.44	75.15	105.44
7.80	19	0.711	83.82	117.84	83.82	117.84
8.00	20	0.710	83.73	117.95	83.73	117.95
8.20	24	0.659	93.21	141.54	93.21	141.54
8.40	26	0.657	100.78	153.33	100.78	153.33
8.60	26	0.656	100.58	153.33	100.58	153.33
8.80	29	0.655	111.97	171.02	111.97	171.02
9.00	30	0.653	110.20	168.64	110.20	168.64
9.20	36	0.602	121.88	202.36	121.88	202.36

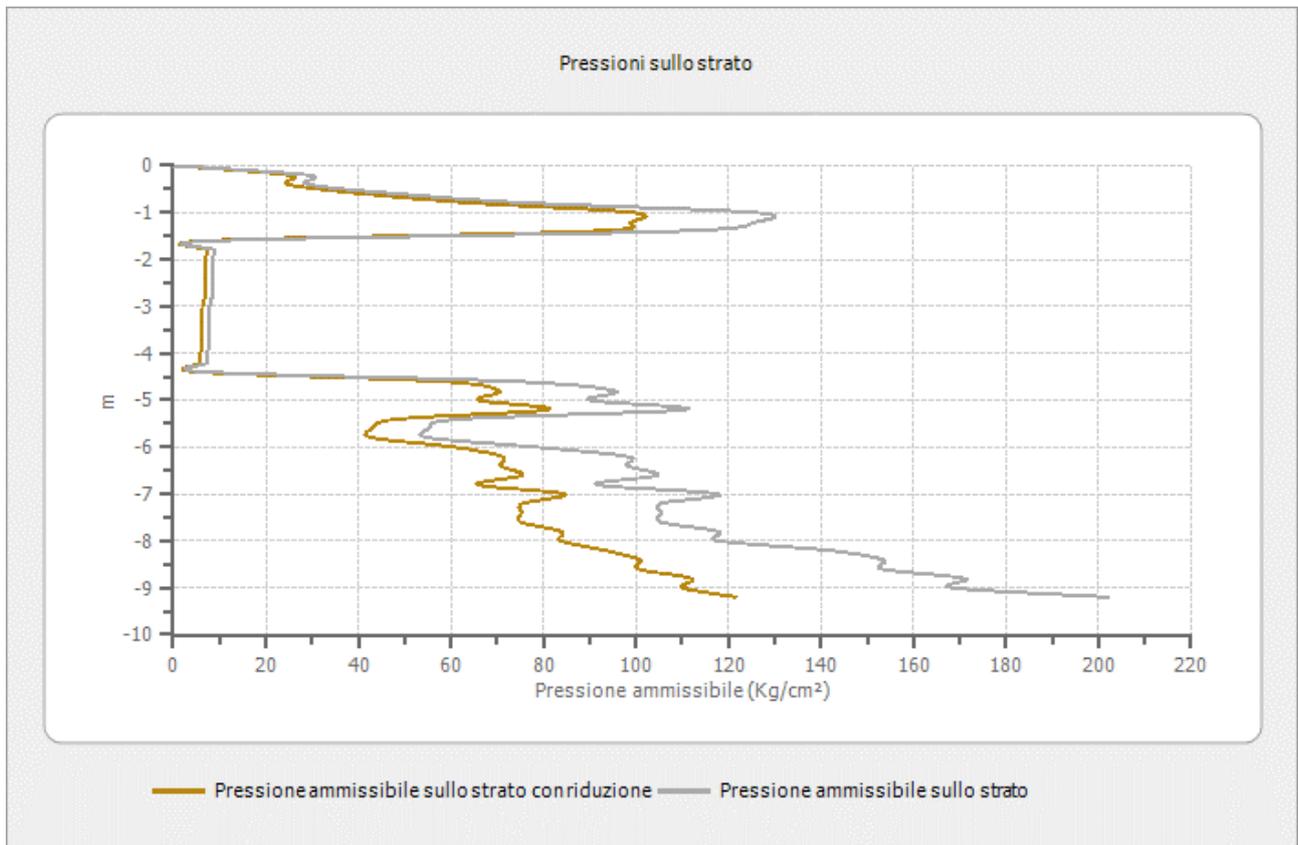


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
 Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:44





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



ALLEGATO N. 2

PROVE GEOFISICHE IN SITU

GEOSECURE SRL

 Via degli Scipioni, 268a
00192 Roma (RM)

P.IVA 01650420704 - N. REA: RM-1572334

 Tel: 0874/783120 -  Fax: 0874/773186
 info@geosecure.it -  www.geosecure.it
Pec: geosecuresrl@legalmail.it

REGIONE TOSCANA



COMUNE di

GROSSETO

(Provincia di GROSSETO)



“Progetto di un impianto agrivoltaico sito nel comune di Grosseto in località "Braccagni" di potenza nominale pari a 38.47 MWp in DC”

Sito: Località Braccagni - GROSSETO (GR)

ALLEGATO SISMICO



GEOSECURE S.R.L.
GEOLOGICAL & GEOPHYSICAL SERVICES



IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Monia Angela Guida

GEOSECURE SRL

Il Direttore Tecnico

Dott. Ing. Monia Angela Guida

DATA: NOVEMBRE 2023

Rev. 0

INDICE

1	INTRODUZIONE GENERALE	PAG. 02
2	INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE	PAG. 03
	2.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 03
	2.2 MASW	PAG. 06
3	RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO	PAG. 09
	3.1 TOMOGRAFIA SISMICA SS1 - SS2	PAG. 09
	3.2 MASW M1 - M2	PAG. 16
4	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE	PAG. 24

1. INTRODUZIONE

In questo **ALLEGATO SISMICO** si descrivono i risultati provenienti dalla **campagna di indagini geofisiche** effettuata nel comune di **GROSSETO (GR)**, dalla ditta “GEOSECURE s.r.l.”, nel mese di **NOVEMBRE 2023**, eseguita a servizio della pratica denominata “**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO SITO NEL COMUNE DI GROSSETO IN LOCALITÀ "BRACCAGNI" DI POTENZA NOMINALE PARI A 38.47 MWP IN DC**” per conto della committenza.

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

- N° 02 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE DENOMINATA “SISMICA A RIFRAZIONE” E “TOMOGRAFIA SISMICA” ESEGUITE MEDIANTE INSTALLAZIONE DI N° 02 STENDIMENTI SISMICI DENOMINATI **SS1 – SS2** (entrambi di lunghezza 120,00 MT);
- N° 02 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE “MASW” **M1 – M2** (entrambi di lunghezza 120,00 MT).

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 Grosseto (GR).

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;*
- *24 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>
Delle intercette (o convenzionale)	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°
Tomografico	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° 02 stendimenti sismici** – DENOMINATI **SS1 e SS2** - con l'utilizzo di n° **24 geofoni** distanziati tra di loro su linea retta con distanza intergeofonica pari a 5,00 metri (entrambi di lunghezza 120,00 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 ν**), la **densità di massa ρ** 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 120,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 5,00 Mt

Il profilo sismico in oggetto è stato ubicato 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 10,00 metri dal geofono più vicino;*
- *uno scoppio (**mid-shot**) al centro dello stendimento stesso.*
- *due scoppi intermedi allo stendimento, nelle vicinanze del 7° geofono e il secondo nelle vicinanze del 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.

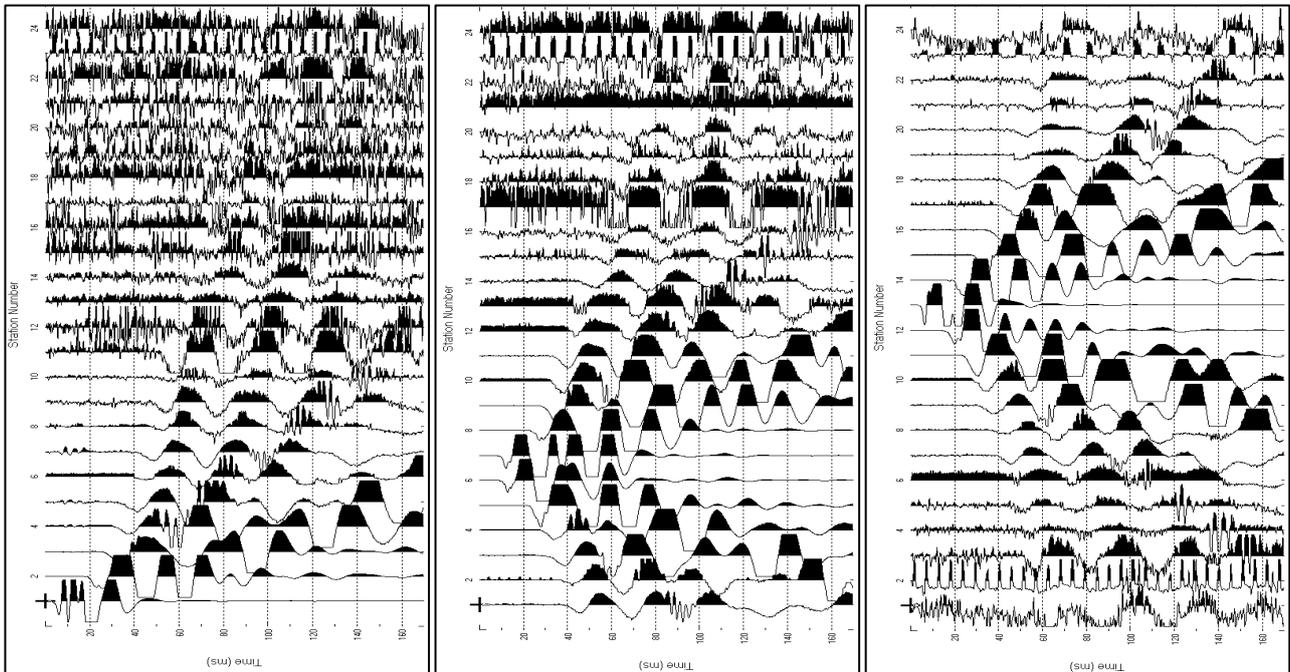


Fig. 5: sismogrammi dello Scoppio 1, 2 e 3 – SS1

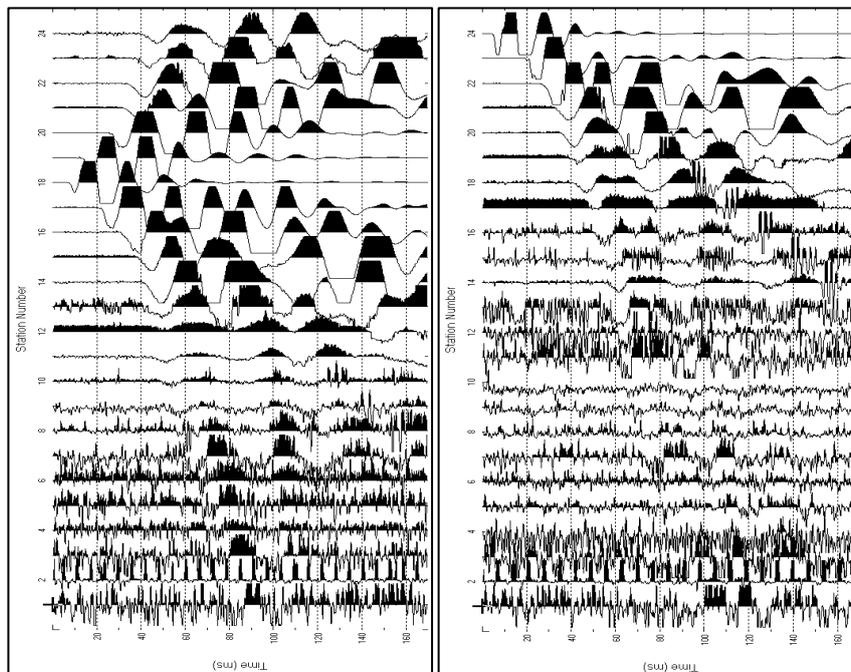


Fig. 6: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS1

TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-10.00	30.00	60.00	90.00	120.00
	msec	msec	msec	msec	msec
5.00	5.641	13.974	21.153	28.204	33.845
10.00	8.846	12.692	19.999	27.178	32.563
15.00	10.769	11.025	18.333	25.64	31.281
20.00	12.307	9.23	17.692	24.999	30.383
25.00	13.974	6.923	16.41	24.102	29.486
30.00	14.615	5.128	15.512	22.82	28.486
35.00	16.153	2.846	14.23	21.794	27.819
40.00	17.692	5.128	12.692	20.256	27.178
45.00	18.974	7.307	11.41	18.974	26.281
50.00	20.256	9.871	9.23	17.051	25.384
55.00	21.153	11.025	7.307	16.153	23.76
60.00	22.82	12.692	4.743	15.169	22.435
65.00	24.102	14.23	1.538	13.589	21.153
70.00	24.999	15.512	4.102	12.307	20.256
75.00	26.281	16.794	6.666	10.441	19.015
80.00	26.922	17.992	9.487	8.846	17.435
85.00	28.46	18.999	11.41	6.923	16.41
90.00	29.486	20.64	12.307	4.487	14.871
95.00	30.242	21.538	14.615	2.461	13.589
100.00	31.281	22.82	15.512	4.743	12.692
105.00	32.306	24.102	17.051	6.923	10.769
110.00	33.204	24.743	18.076	9.487	9.487
115.00	33.588	25.896	19.399	11.025	7.307
120.00	34.486	26.281	20.256	12.692	3.461

Fig. 7: tabella dei primi arrivi

Nella **Figura 8** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.

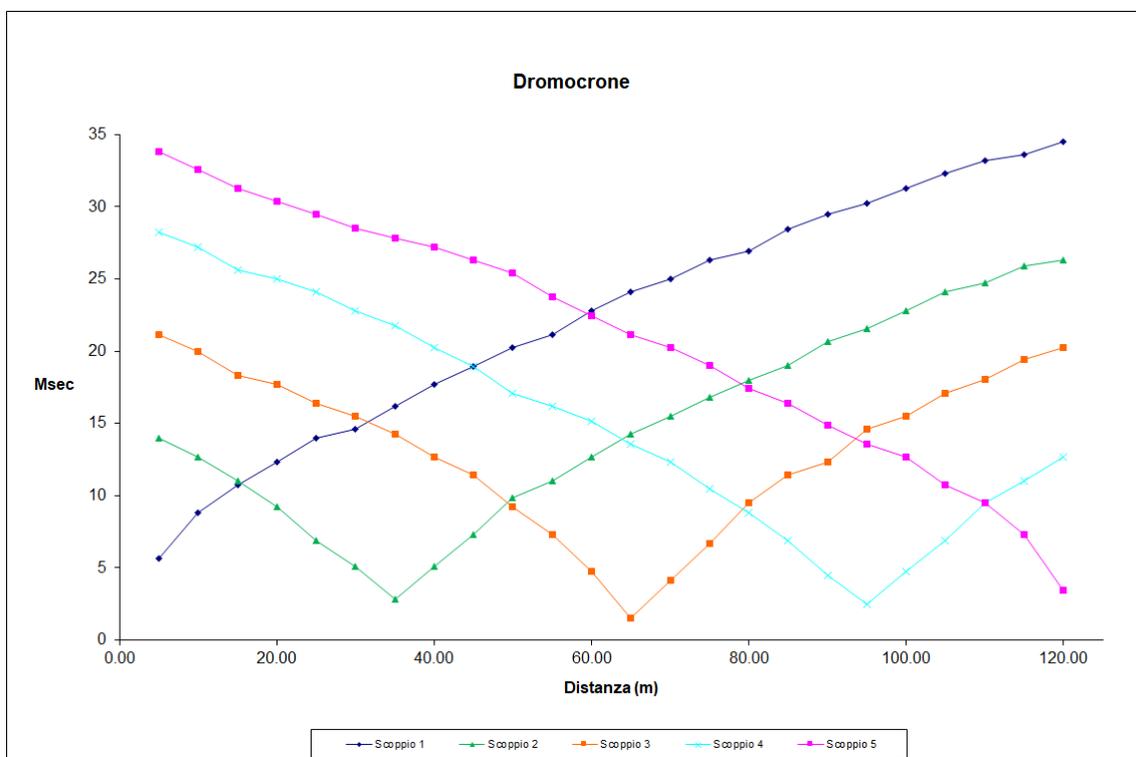


Fig. 8: dromocrone dei primi arrivi

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**.

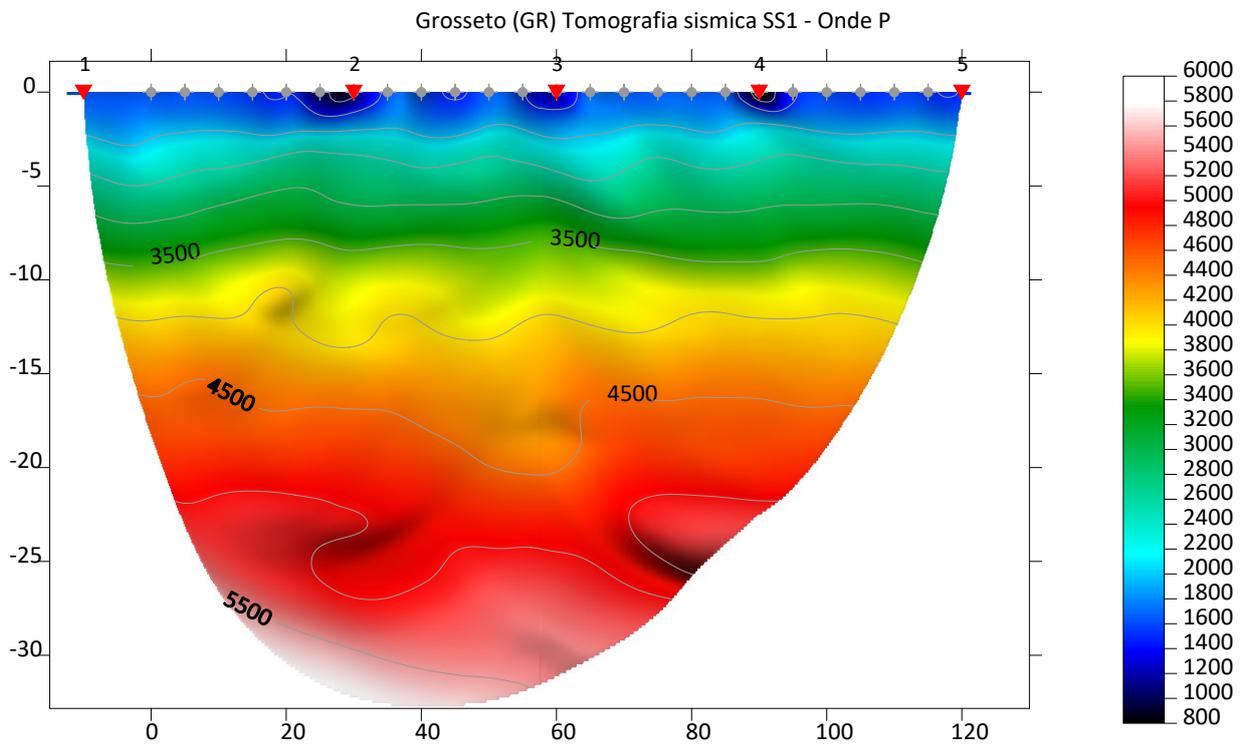


Fig. 9: tomografia sismica SS1



FOTO 1A: postazione di energizzazione SS1

STENDIMENTO SISMICO SS2

LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 120,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 5,00 Mt

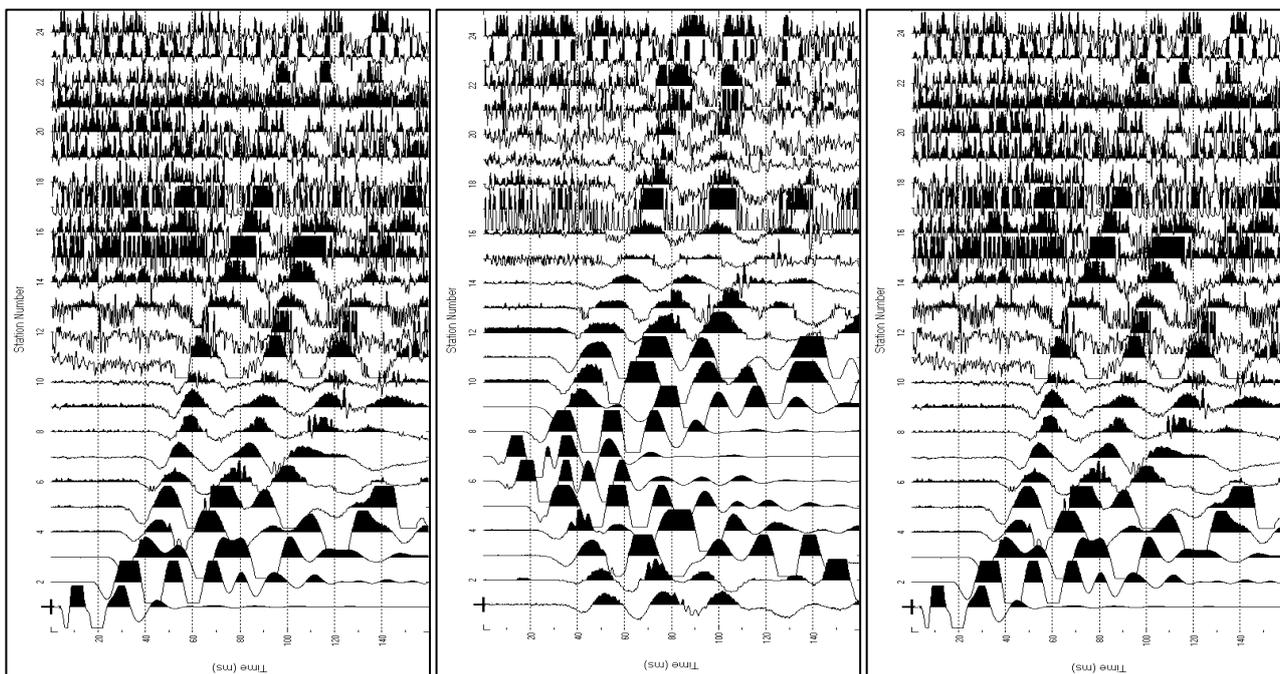


Fig. 10: sismogrammi dello Scoppio 1, 2 e 3 – SS2

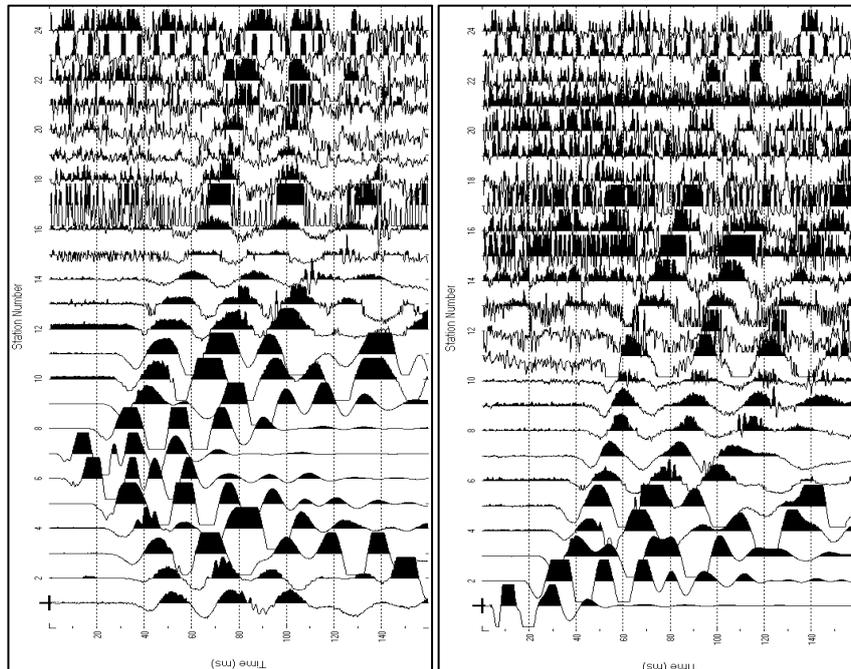


Fig. 11: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5 – SS2

TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-10.00	30.00	60.00	90.00	120.00
	msec	msec	msec	msec	msec
5.00	6.025	13.589	20.64	27.563	33.204
10.00	8.846	11.41	19.999	26.578	32.563
15.00	10.769	10.128	18.717	25.64	31.665
20.00	12.307	8.589	17.435	24.358	30.383
25.00	13.974	6.282	16.41	23.461	29.486
30.00	14.915	4.743	14.871	22.82	28.845
35.00	16.153	2.564	13.974	21.794	27.178
40.00	17.692	4.102	11.666	19.999	26.178
45.00	18.974	6.025	10.384	18.974	25.081
50.00	19.615	8.846	8.846	17.051	23.384
55.00	20.64	10.384	6.282	16.153	22.579
60.00	21.794	11.666	3.846	15.256	21.897
65.00	23.461	13.374	1.538	13.974	21.153
70.00	24.743	14.615	3.205	12.051	20.256
75.00	26.281	16.153	6.282	10.384	18.333
80.00	26.922	17.394	8.846	8.589	17.435
85.00	27.478	18.717	10.384	6.282	16.41
90.00	28.204	20.064	12.307	3.461	14.871
95.00	29.242	20.897	13.474	2.179	13.589
100.00	30.127	22.179	15.256	3.846	12.051
105.00	31.024	23.461	16.41	6.282	10.384
110.00	32.306	24.743	17.435	8.589	8.589
115.00	32.947	25.384	18.974	10.384	6.282
120.00	33.845	26.281	20.256	11.666	3.461

Fig. 12: tabella dei primi arrivi

Nella **Figura 13** sono riportate le **dromocrone** dei primi arrivi.

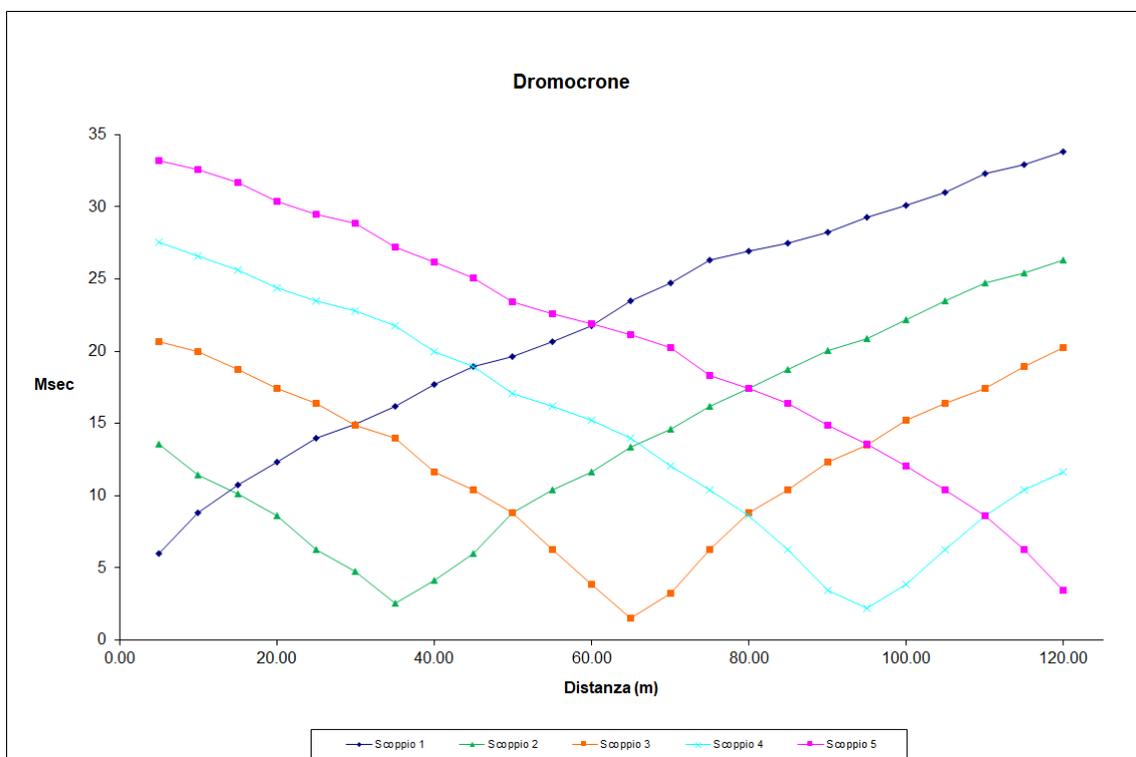


Fig. 13: dromocrone dei primi arrivi

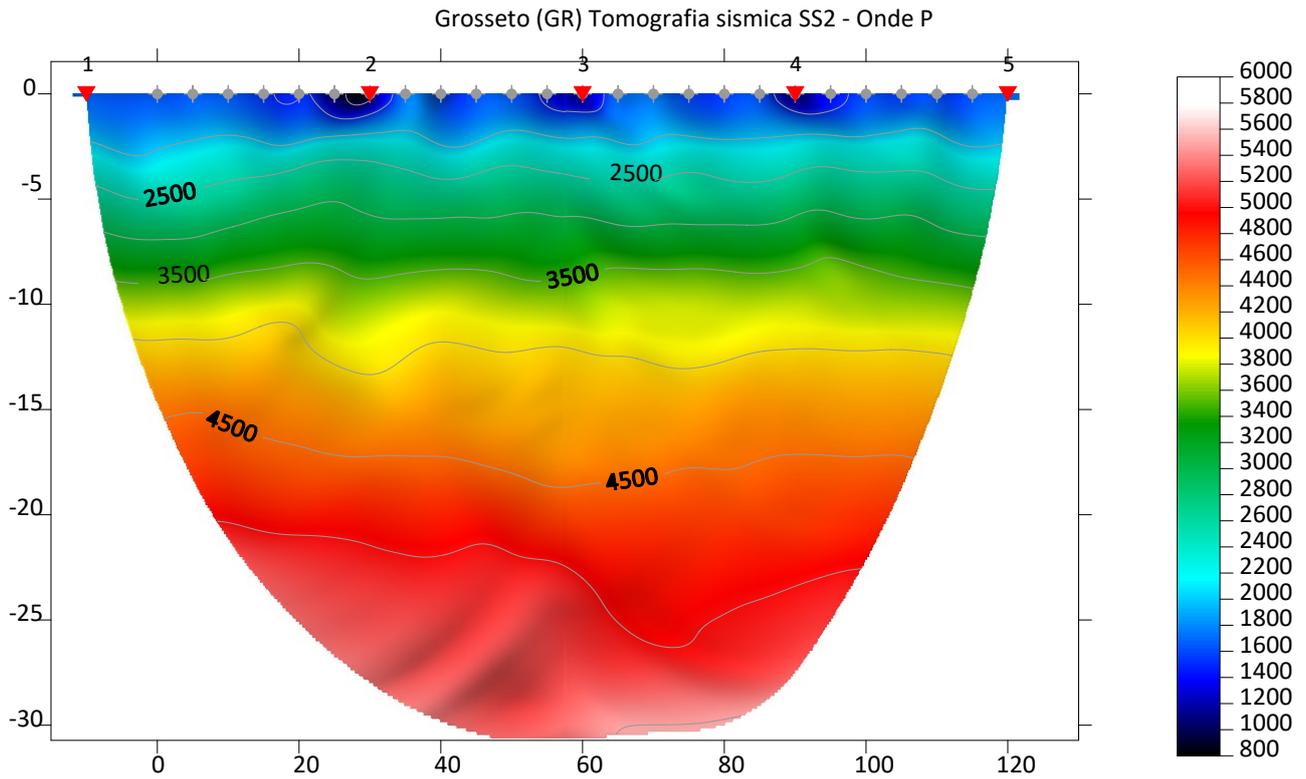


Fig. 14: tomografia sismica SS2



FOTO 2A: postazione di energizzazione SS2

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 5,00 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 10,00 metri dal primo geofono.

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

In **Fig. 15** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 16** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;

In **Fig. 17** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

In **Fig. 18** è riportato il grafico mostrante il profilo di velocità;

In **Fig. 19** è riportato l'andamento di Vs con la profondità;

In **Fig. 20** è riportato il Calcolo di V_{seq} . M1;

In **Fig. 21** è riportata la Tabella di calcolo di V_{seq} . M1.

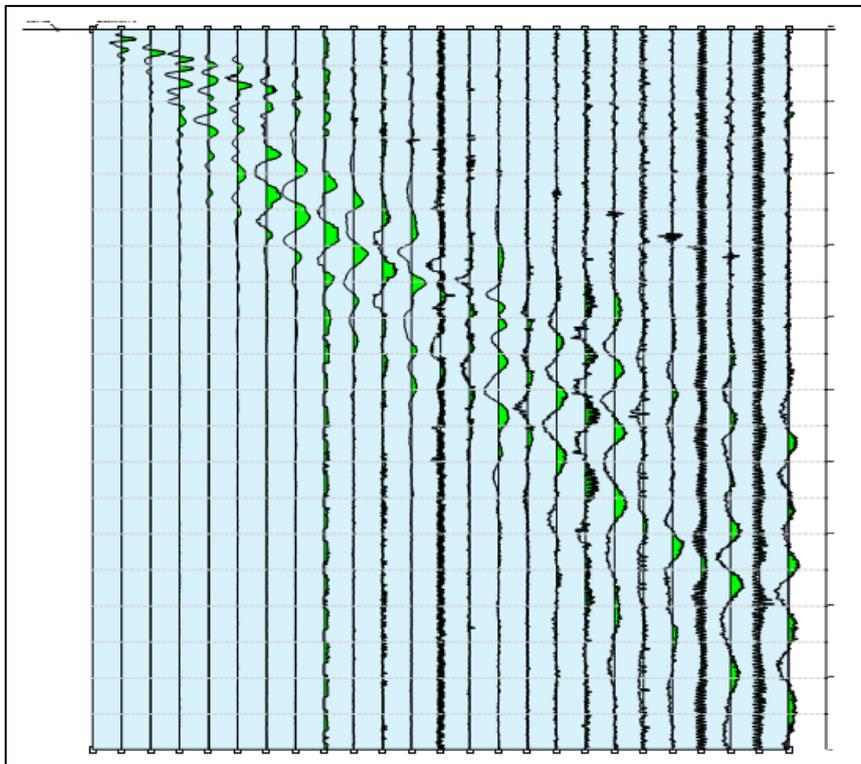


Fig.15: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M1

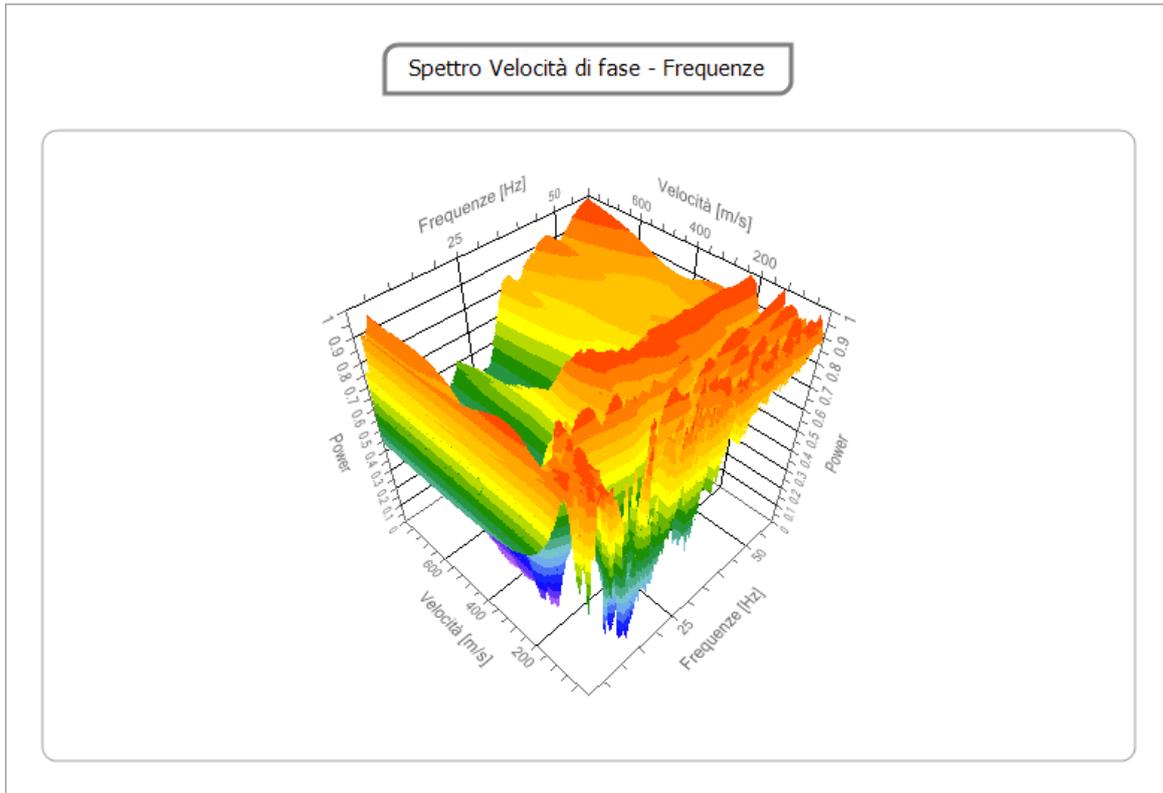


Fig. 16: spettro di velocità – frequenza 3D acquisito M1

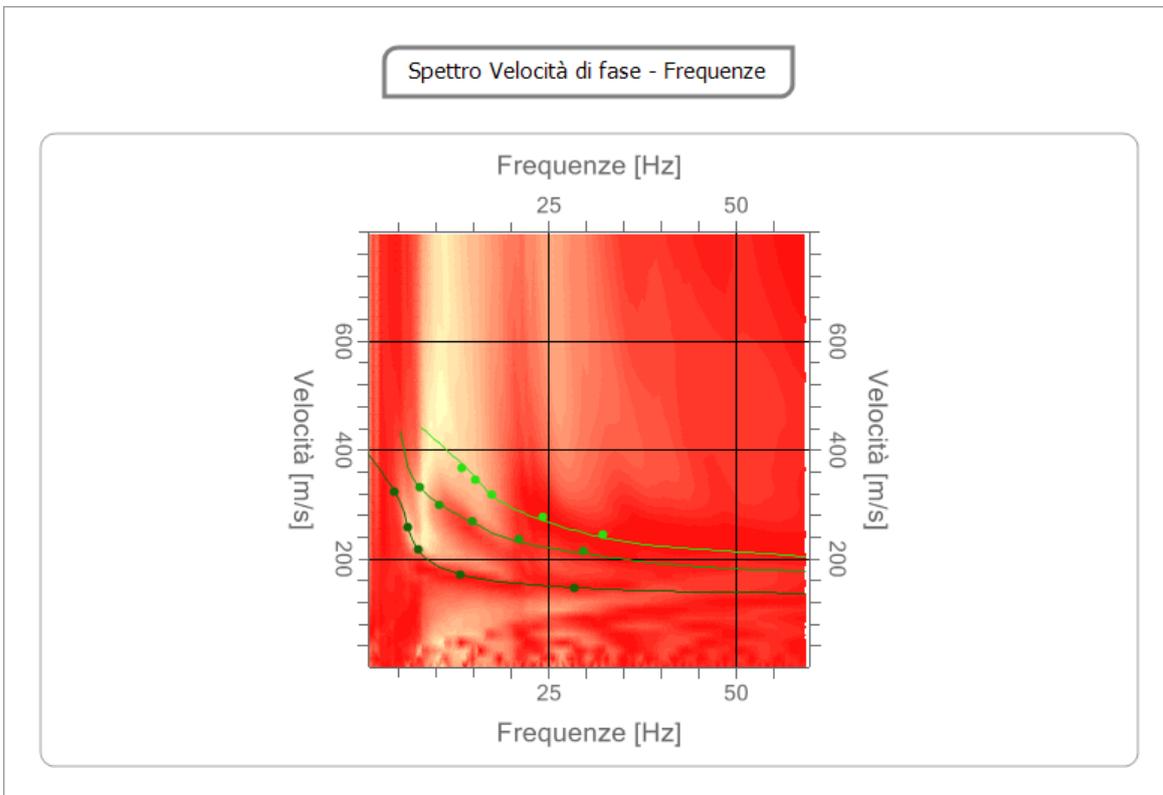


Fig. 17: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale M1

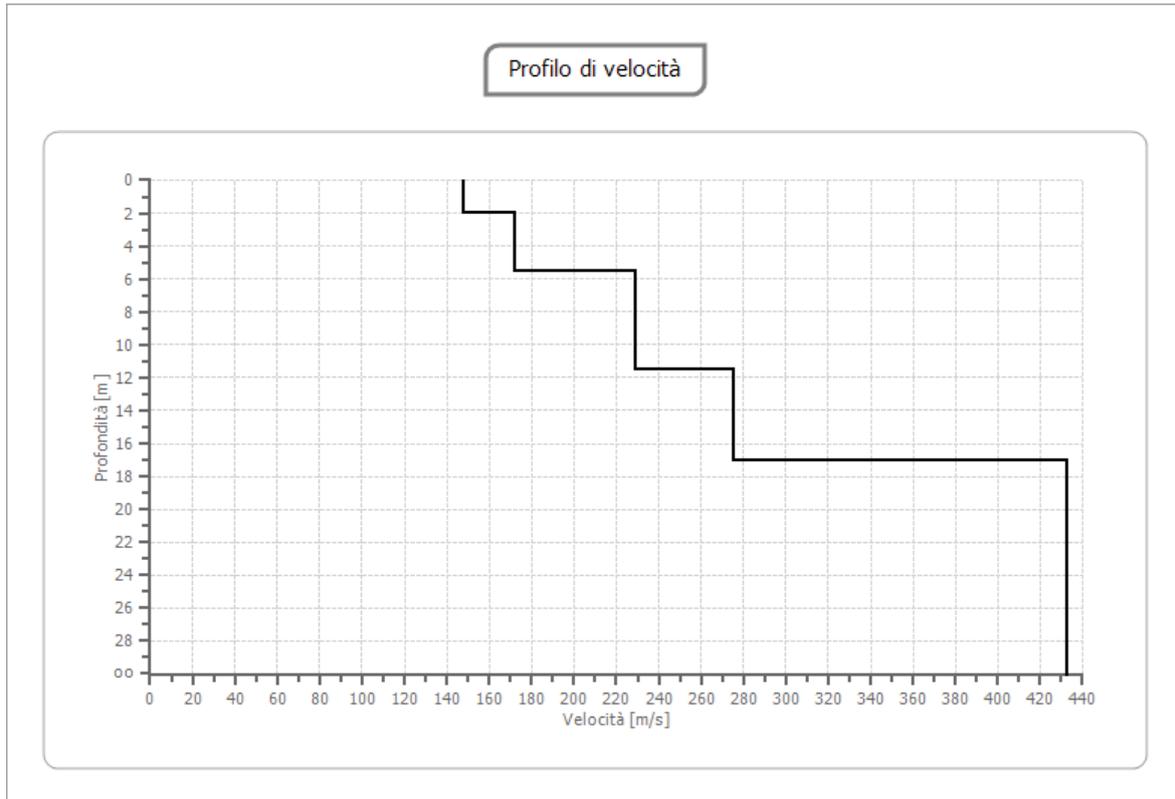


Fig. 18: profilo di velocità - profondità acquisito M1

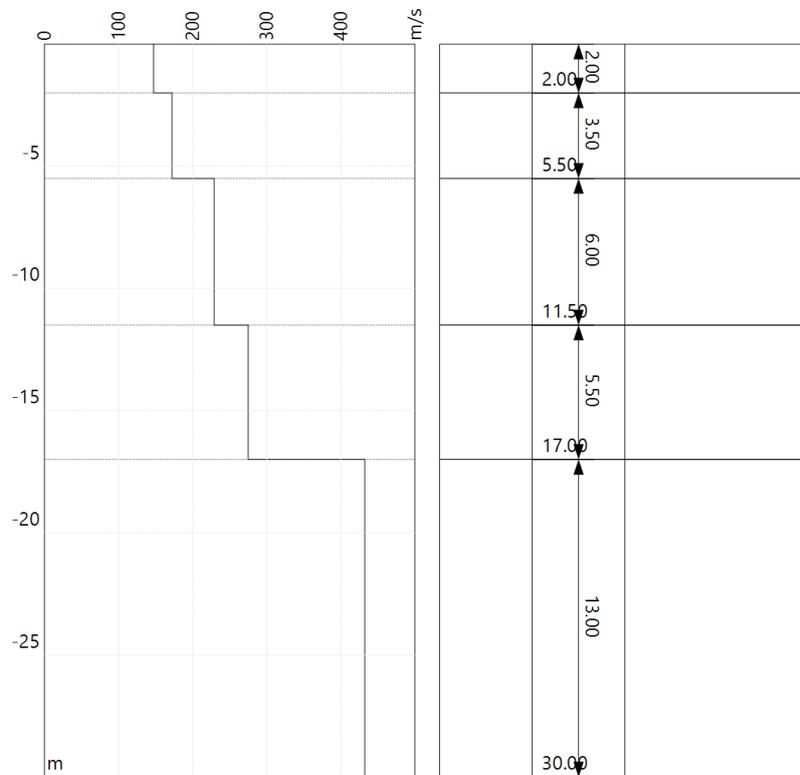


Fig. 19: andamento di Vs con la profondità - M1

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	272.32
Categoria del suolo	C

Fig. 20: Calcolo di V_{seq} , M1

N.	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	2.00	2.00	275.8	147.4
2	5.50	3.50	322.1	172.2
3	11.50	6.00	428.4	229.0
4	17.00	5.50	514.3	274.9
5	30.00	13.00	809.0	432.4

Fig. 21: Tabella di calcolo di V_{seq} , M1



FOTO 1B: panoramica dello stendimento M1

ELABORAZIONE DEI DATI M2:

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

- In **Fig. 22** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;
- In **Fig. 23** è riportato il grafico mostrante lo spettro di velocità – frequenze 3D acquisito;
- In **Fig. 24** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;
- In **Fig. 25** è riportato il grafico mostrante il profilo di velocità;
- In **Fig. 26** è riportato l'andamento di V_s con la profondità;
- In **Fig. 27** è riportato il Calcolo di $V_{seq. M2}$;
- In **Fig. 28** è riportata la Tabella di calcolo di $V_{seq. M2}$.

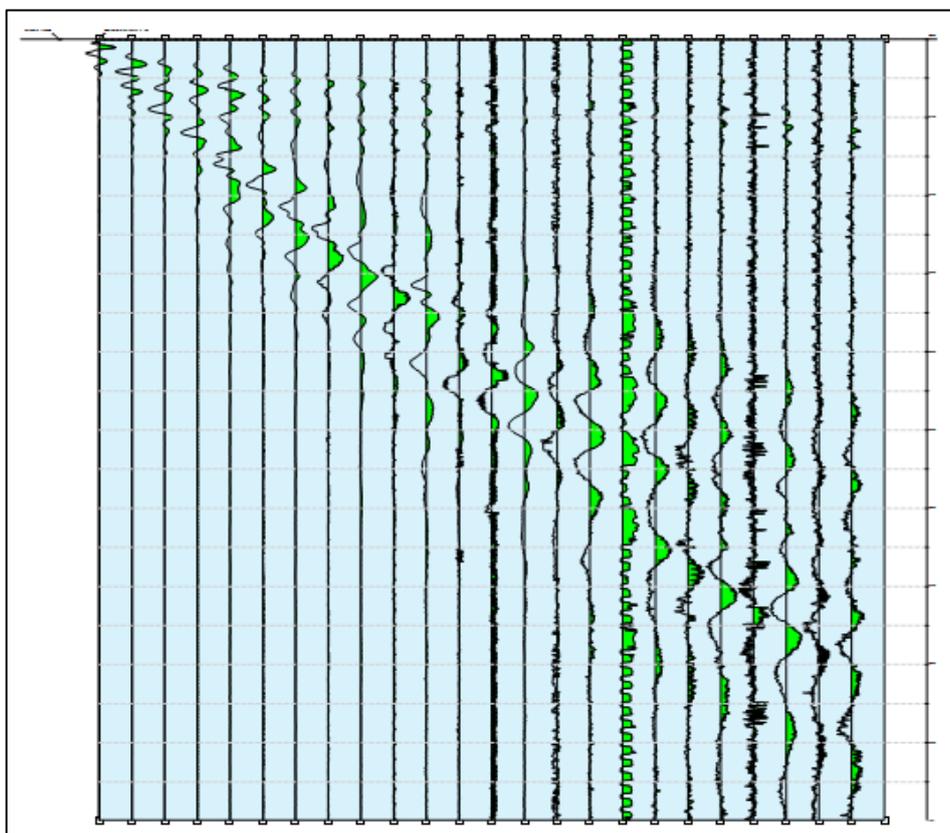


Fig.22: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della MASW- M2

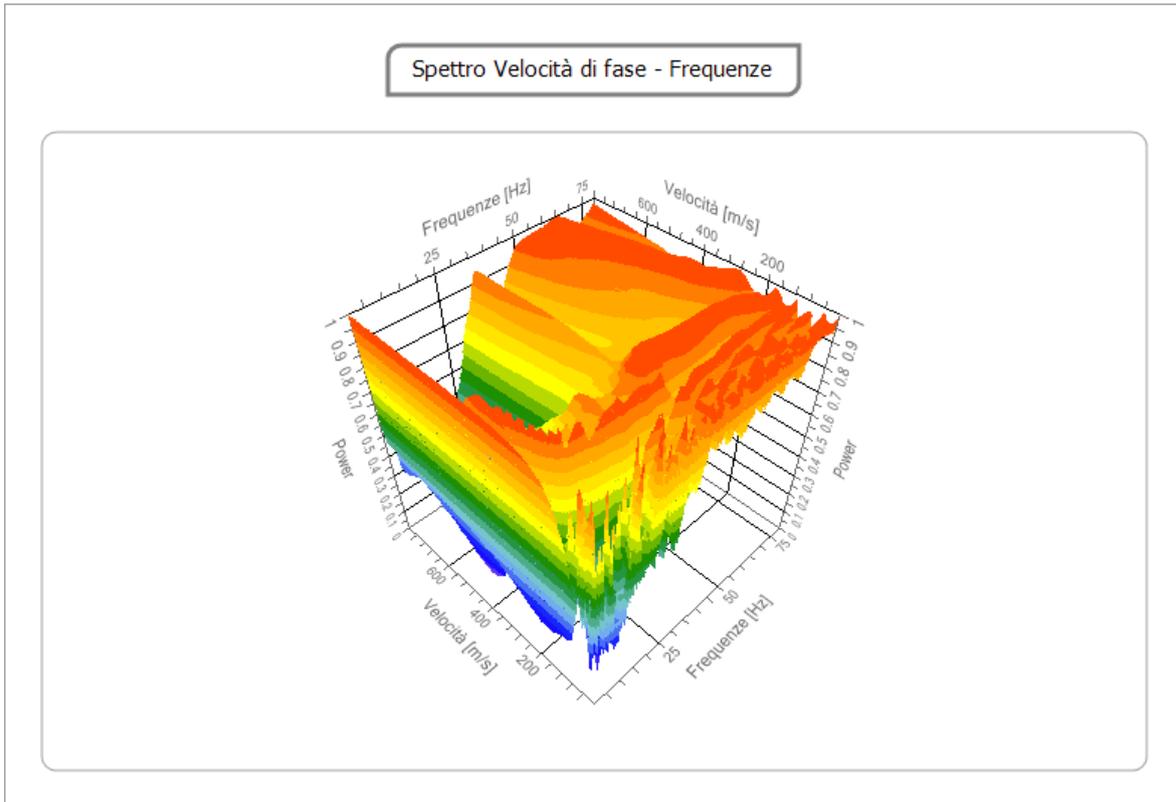


Fig. 23: spettro di velocità – frequenze 3D acquisito M2

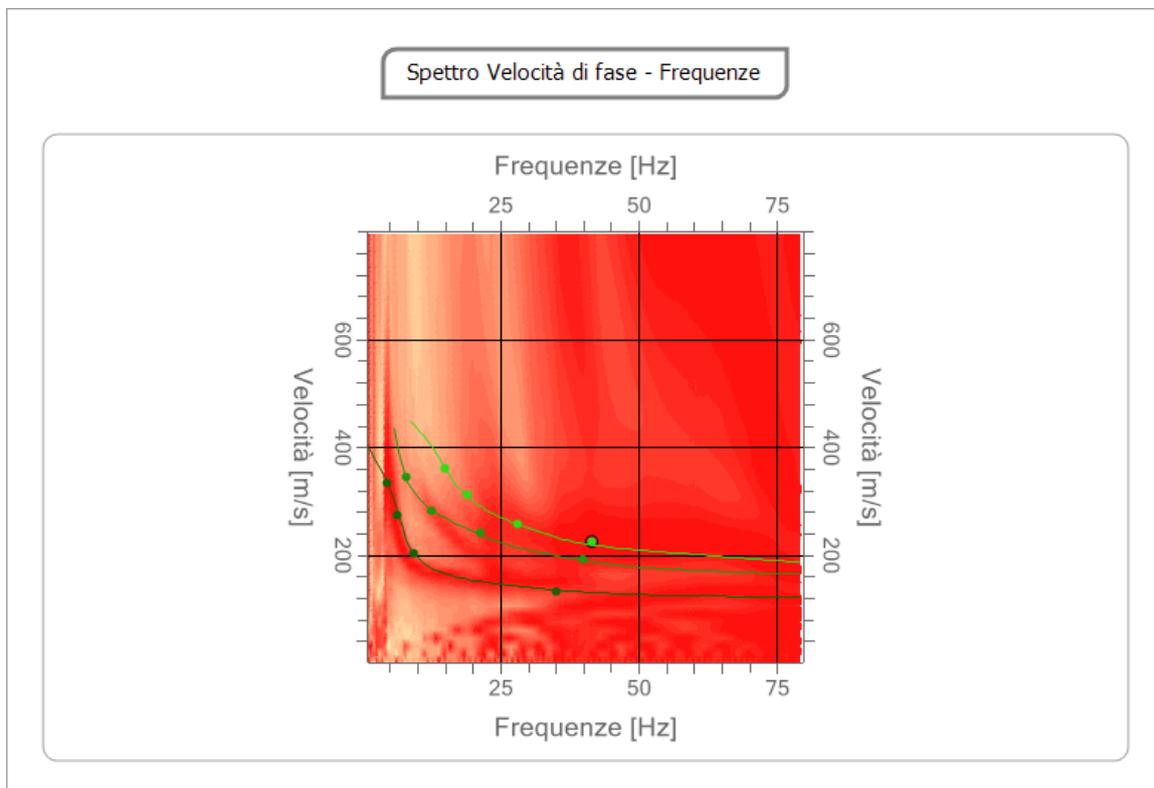


Fig. 24: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale M2

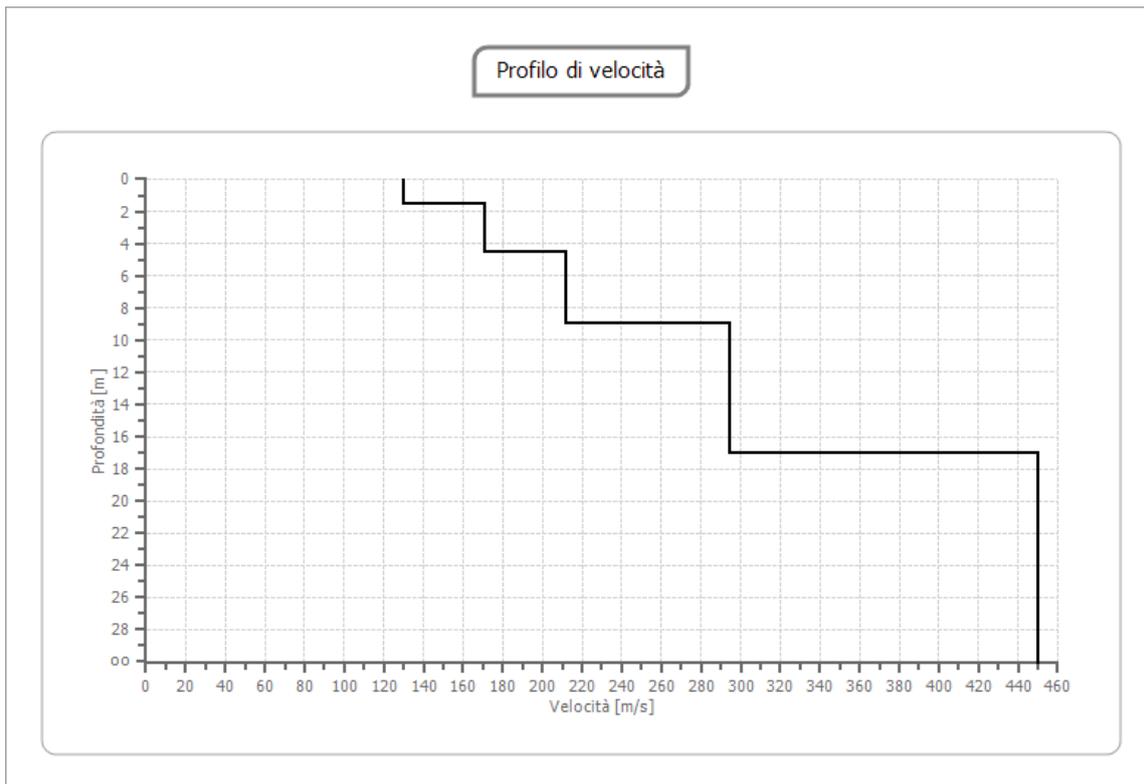


Fig. 25: profilo di velocità - profondità acquisito M2

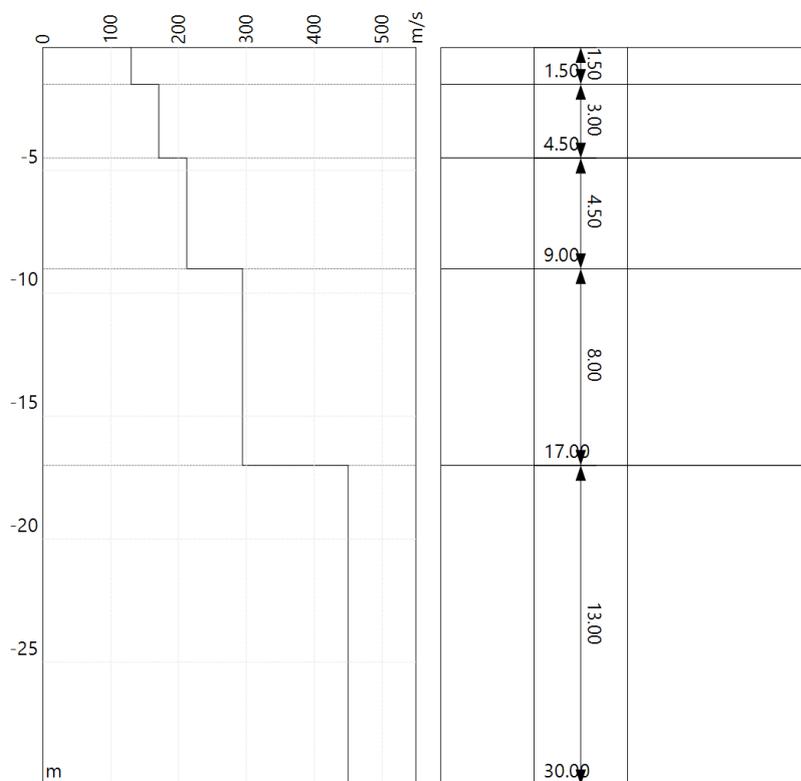


Fig. 26: andamento di Vs con la profondità - M2

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	282.01
Categoria del suolo	C

Fig. 27: Calcolo di Vseq. M2

N.	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.50	1.50	243.6	130.2
2	4.50	3.00	319.3	170.7
3	9.00	4.50	396.8	212.1
4	17.00	8.00	550.6	294.3
5	30.00	13.00	842.0	450.1

Fig. 28: Tabella di calcolo di Vseq. M2



FOTO 2B: panoramica dello stendimento M2

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	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, 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.</i>
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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	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 30m.

Per **$V_{s\text{equivalente}}$** 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 272 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria C;**
- **V_s Equivalente $M2$ pari a 282 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -32,00 mt = suolo categoria C.**

Calcolato, quindi, con la prospezione geofisica **MASW** il valore di **$V_{s\text{eq}}$** valido è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine, che rientra nella **categoria di tipo C**: tale sottosuolo è definito come ***“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, 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”.***

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Monia Angela Guida

GEOSECURE SRL

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Monia Angela Guida

