

**ISTANZA VIA**  
**Presentata al**  
**Ministero della Transizione Ecologica**  
**e al Ministero della Cultura**  
**(art. 23 del D. Lgs 152/2006 e ss. mm. ii)**

**PROGETTO**

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO)**  
**COLLEGATO ALLA RTN**  
**POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWp**  
**POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW**  
**Comune di Guspini e Pabillonis (SU)**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

**21-00024-IT-PABILLONIS\_RS-R05**

**PROPONENTE:**

**TEP RENEWABLES (PABILLONIS PV) S.R.L.**  
**Viale Shakespeare, 71 – 00144 Roma**  
**P. IVA e C.F. 16462411006 – REA RM - 1658425**

**PROGETTISTI:**

**DOTT. GEOL. Alessandro Forci**  
**Iscritto all'Ordine dei Geologi della Sardegna al n. 346**

Data	Rev.	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
05/2022	0	Prima emissione	AF	MB	F. Battafarano

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	2 di 26

## INDICE

1.	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
2.	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO .....</b>	<b>4</b>
3.	<b>INTERVENTI PREVISTI .....</b>	<b>6</b>
4.	<b>GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA .....</b>	<b>8</b>
5.	<b>GEOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO .....</b>	<b>9</b>
6.	<b>GEOMORFOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO .....</b>	<b>12</b>
7.	<b>ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....</b>	<b>12</b>
8.	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....</b>	<b>13</b>
9.	<b>ZONIZZAZIONE DEL PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....</b>	<b>15</b>
10.	<b>PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE .....</b>	<b>17</b>
11.	<b>INDAGINI SISMICHE .....</b>	<b>21</b>
12.	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>25</b>

Allegato 1 – Relazione sulle indagini penetrometriche

Allegato 2 – Relazione sulle indagini sismiche

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	3 di 26

## 1. PREMESSA

TEP Renewables (Pabillonis PV) S.r.l. è una società italiana del Gruppo TEP Renewables. Il gruppo, con sede legale in Gran Bretagna, ha uffici operativi in Italia, Cipro e USA. Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia da fonti rinnovabili in Europa e nelle Americhe, operando in proprio e su mandato di investitori istituzionali.

Il progetto in questione prevede la realizzazione di un impianto solare fotovoltaico di potenza nominale pari a 18,38 MWp da realizzare in regime agrivoltaico nei territori comunali di Pabillonis e Guspini su un'area pari a 37,9 ha, di cui ca. 29,6 ha per l'installazione del campo fotovoltaico.

Il progetto nel suo complesso ha contenuti economico-sociali importanti e tutti i potenziali impatti sono stati sottoposti a mitigazione.

Nel caso di studio, le strutture sono posizionate in modo tale da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno. I pali di sostegno sono distanti tra loro 10,55 m in modo da consentire la coltivazione tra le interfila e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento, così da assicurare una perdita pressoché nulla del rendimento annuo in termini di produttività dell'impianto fotovoltaico in oggetto e la massimizzazione dell'uso agronomico del suolo coinvolto. L'impianto fotovoltaico sarà tecnicamente connesso mediante un cavidotto interrato in MT a 20 kV di lunghezza pari a ca. 7,5 km con tracciato massimamente su strada pubblica, che giungerà ad una cabina di utenza che eleverà la tensione da 20 kV a 36 kV, collegata in antenna a 36 kV sulla sezione 36 kV di una nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione della RTN a 220/150/36 kV, da inserire in entra – esce alla linea RTN 220 kV "Sulcis - Oristano".

Entrando nel merito, come indicato sopra, la superficie complessiva dell'area catastale è pari a 37,98 ha, dei quali la superficie sede delle infrastrutture di progetto, completamente recintata, è pari a ca. 29,6 ha: qui, la scelta operata da parte della Società proponente, di sfruttare l'energia solare per la produzione di energia elettrica optando per il regime agrivoltaico, consente di coniugare le esigenze energetiche da fonte energetica rinnovabile con quelle di minimizzazione della copertura del suolo, allorché tutte le aree lasciate libere dalle opere saranno rese disponibili per fini agronomici.

La presente relazione illustra lo studio geologico e geotecnico redatto per l'installazione dell'impianto precedentemente descritto.

In base alle NTC18 (D.M. 17/01/2018 - parr. 6.2; 6.2.1) la relazione geologica viene redatta sulla base di specifiche indagini geognostiche con lo scopo di fornire la descrizione delle formazioni presenti nel sito, dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo, in modo da definire il modello geologico del sottosuolo, illustrando e caratterizzando gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché il conseguente livello di pericolosità geologica.

Lo studio è stato effettuato attraverso il rilevamento geologico e geomorfologico di superficie che ha consentito l'esauritiva rappresentazione dei caratteri geologici, geomorfo-

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>4 di 26</b>

gici ed idrogeologici. Le indagini geognostiche sono consistite in due profili sismici a rifrazione e 3 prove penetrometriche dinamiche che hanno consentito la caratterizzazione geotecnica dei terreni che mostrano una sostanziale omogeneità litologica.

È stata analizzata infine la circolazione delle acque superficiali e sotterranee per valutare l'eventuale interferenza con le opere in progetto.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

L'impianto fotovoltaico in progetto da 18,38 MWp interessa i comuni di Pabillonis e Guspini, nella Provincia del Sud Sardegna ed occupa un'area di circa di 30 ha in una zona a morfologia pianeggiante in località Pianu Murdegu, in sinistra idrografica del Riu Flumini Bellu, facilmente raggiungibile attraverso la S.V. Mori Antoni Pinna che si diparte dalla S.P. 69.

Dal punto di vista cartografico si colloca nella Sez. 547 IV "San Gavino Monreale" della cartografia IGM in scala 1:25.000 (Fig.1) e nella Sez. 547\_010 "Pabillonis" della C.T.R. In scala 1:10.000 (Fig. 2).

L'uso del suolo è caratterizzato dal prato-pascolo non irriguo a servizio dell'allevamento estensivo di ovini la cui azienda si sviluppa nei terreni oggetto di intervento (Figg. 3-4).

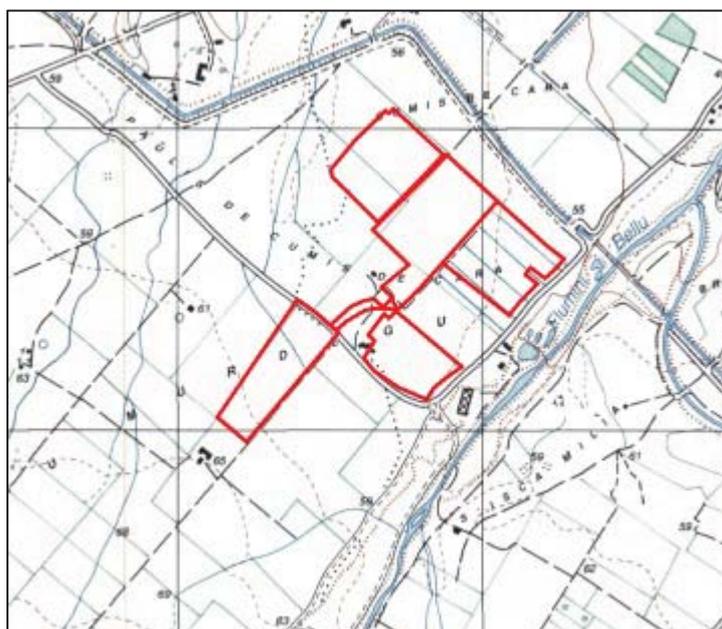


Figura 1: Ubicazione dell'area nella cartografia IGM – SEZ. 547 IV "San Gavino Monreale". Scala 1:25.000.

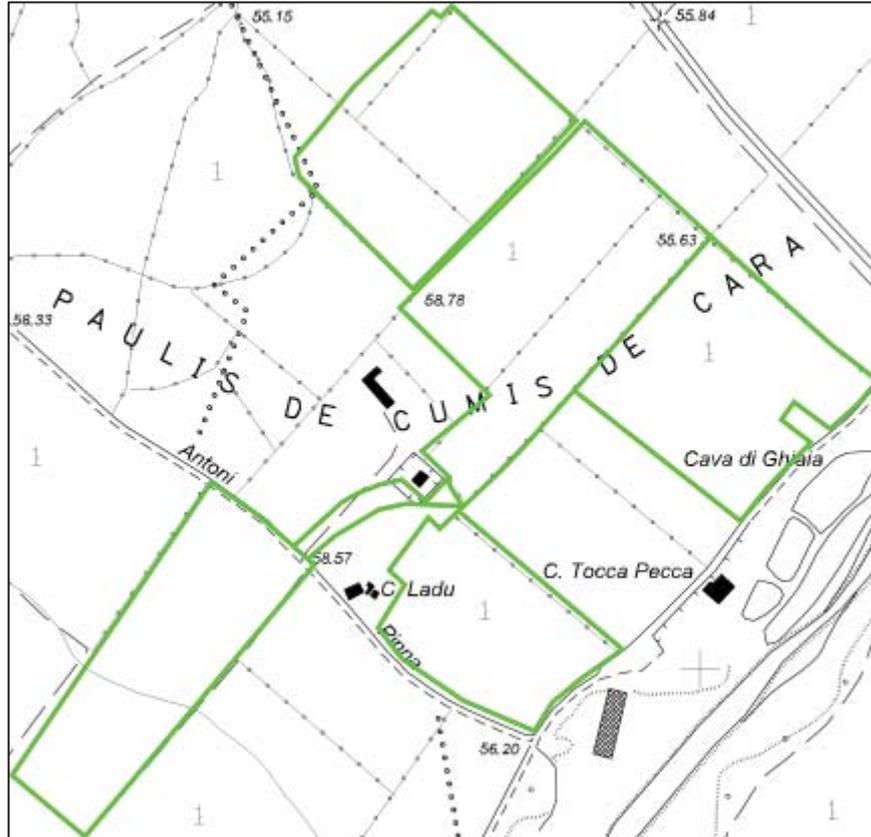


Figura 2: Area oggetto di intervento (in verde) nella Sez. CTR 547010 "Pabillonis."



Figura 3: panoramica del settore sud-orientale dell'area interessata dal progetto.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	6 di 26



*Figura 4: Panoramica del settore nord-orientale dell'area di intervento, sullo sfondo i fabbricati dell'azienda agro-zootecnica*

### 3. INTERVENTI PREVISTI

Come accennato in premessa l'intervento consiste nella posa in opera di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 18,3 MW su una superficie di circa 30 ha con pannelli che presentano un'elevazione massima di 2,5 m rispetto al livello del suolo, questi saranno fissati direttamente al terreno tramite pali metallici di tipologia variabile in base alle caratteristiche del terreno. Sono previsti altresì alcuni manufatti a servizio dell'impianto dotati di fondazioni di tipo superficiale da dettagliare nelle successive fasi progettuali.

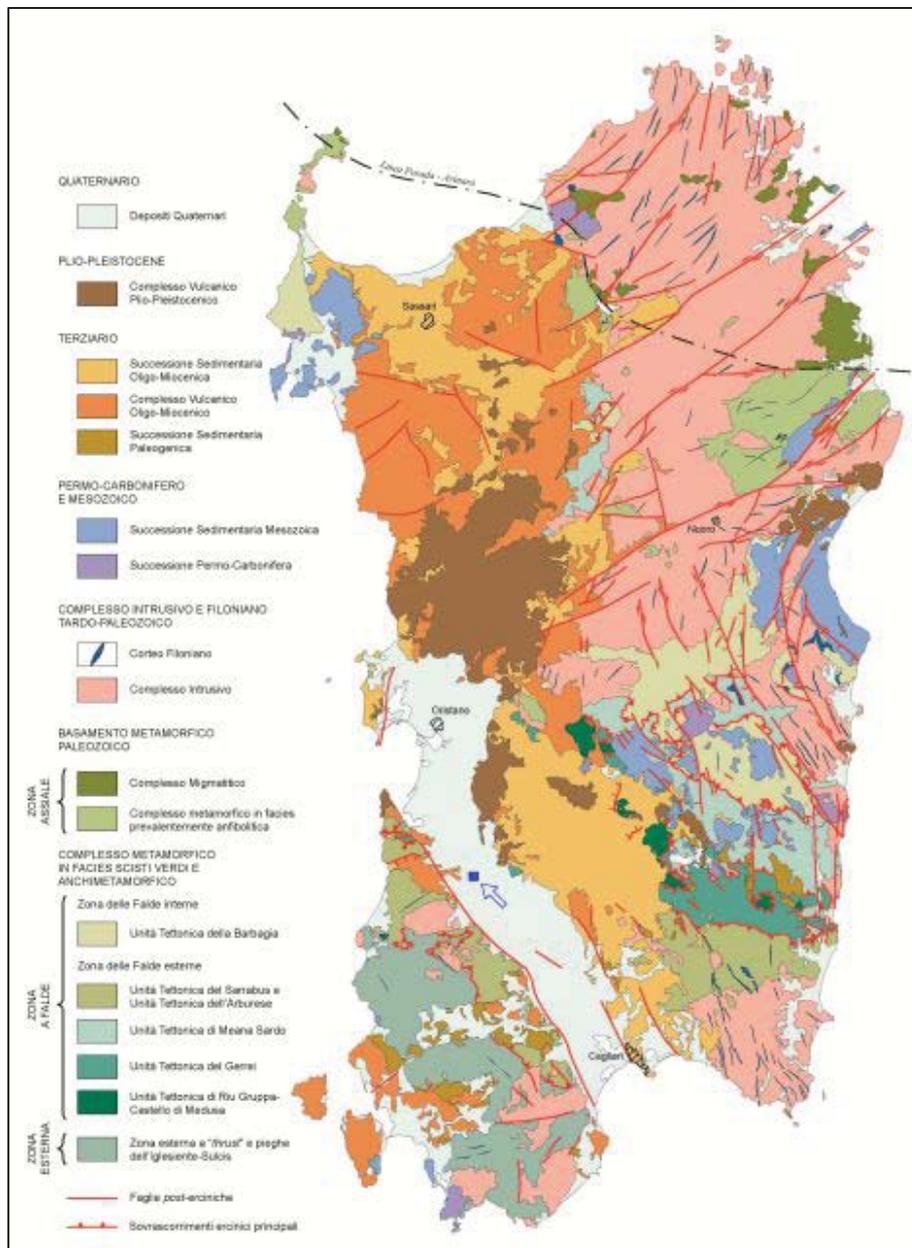
I dati caratteristici dell'impianto sono riassunti nella seguente tabella:

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	7 di 26

ITEM	DESCRIZIONE
Richiedente	TEP RENEWABLES (PABILLONIS PV) S.R.L.
Luogo d installazione:	Comune di Pabillonis e Guspini (SU)
Denominazione impianto:	PABILLONIS PV
Dati catastali area impianto in progetto:	Comune di Pabillonis Foglio 21, particella: 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 171, 172. Foglio 25, particella: 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 72, 106, 108, 117, 130. Comune di Guspini Foglio 329, particella: 4, 42, 44, 58, 59, 60.
Potenza di picco (MWp):	18,38 MWp
Informazioni generali del sito:	Sito ben raggiungibile, caratterizzato da strade esistenti, idonee alle esigenze legate alla realizzazione dell'impianto
Connessione:	Interfacciamento alla rete mediante soggetto privato nel rispetto delle norme CEI
Tipo strutture di sostegno:	Strutture metalliche in acciaio zincato tipo Trackers monoassiali
Inclinazione piano dei moduli:	-55°+55°
Azimuth di installazione:	0°
Caratterizzazione urbanistico vincolistica:	I PUC dei Comuni di Pabillonis e Guspini collocano le aree interessate dall'impianto fotovoltaico e dalle opere di progetto in zone "E" con vocazione d'uso agricolo
Cabine PS:	n.10 distribuite nell'area del campo fotovoltaico
Posizione cabina elettrica di interfaccia:	n.1 in prossimità della NUOVA SE
Storage	N/A
Rete di collegamento:	Media Tensione – 20 kV sino a Stazione di Utenza in prossimità della SE Alta Tensione – 36 kV da Stazione di Utenza a SE
Coordinate:	39° 34' 51.35'' N 8° 41' 35.97'' E Altitudine media 58 m s.l.m.

#### 4. GEOLOGIA GENERALE DELL'AREA

La Sardegna, insieme alla Corsica, costituisce la parte emersa di una microplacca, con spessore crostale di circa 30 km e litosferico di circa 70 km, parte del complesso mosaico di placche e microplacche litosferiche che caratterizza l'area mediterranea. La geologia dell'isola è caratterizzata da un basamento cristallino varisico, su cui poggiano una successione vulcano-sedimentaria permiana, una successione carbonatica mesozoica, una successione prevalentemente silicoclastica del Paleocene-Eocene, una successione vulcano-sedimentaria oligo-miocenica, le vulcaniti basaltiche plio-pleistoceniche e infine i sedimenti pleistocenici e olocenici (Fig. 5).



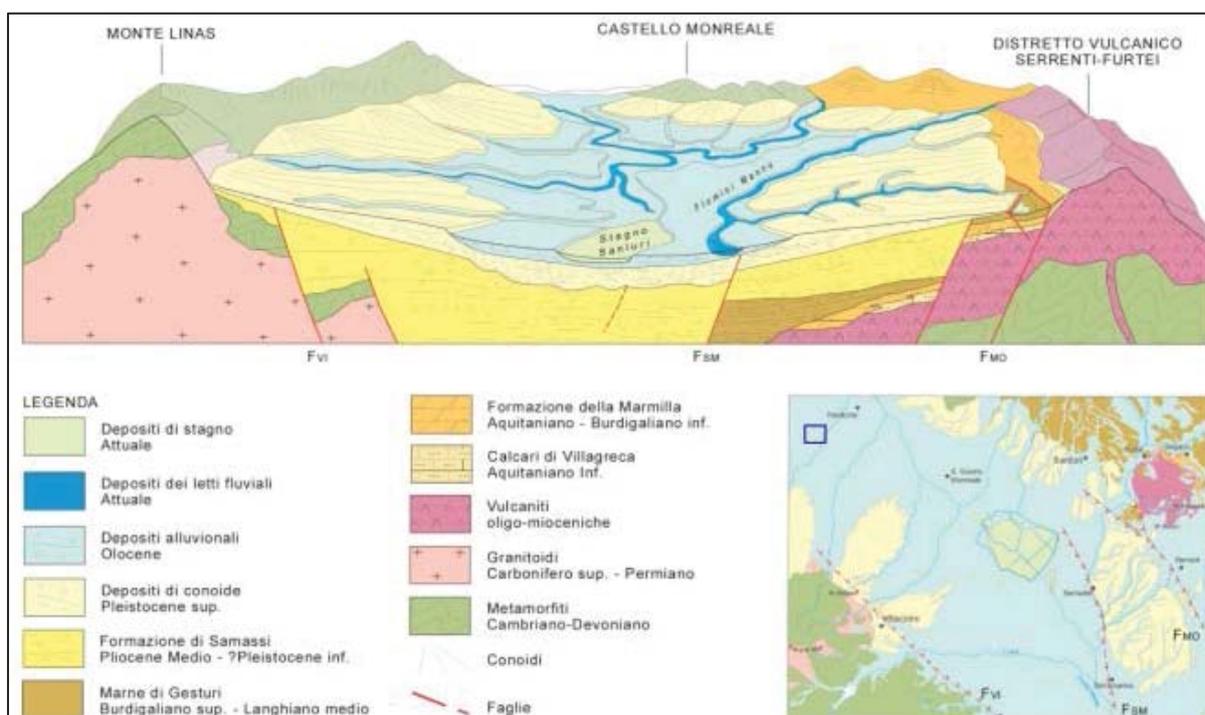
*Figura 5: Carta geologica schematica della Sardegna. Il riquadro blu indica l'area in studio.*

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN</b> <b>POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP</b> <b>POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW</b> <b>Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>9 di 26</b>

L'area di intervento si colloca nella Sardegna meridionale, nella parte centro-settentrionale del Graben plio-pleistocenico del Campidano che è delimitato a ovest ed a est da alti morfo-strutturali costituiti da rilievi dove affiorano unità geologiche più antiche, da paleozoiche a terziarie.

Più specificatamente l'area interessata dai lavori è occupata interamente dai sedimenti di conoide alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, dell'Olocene antico, che bordano i rilievi paleozoici del Guspinese e che, più a est, sfumano lateralmente in sedimenti di piana alluvionale a granulometria più sottile. Una rappresentazione tridimensionale del Campidano è riportata in Fig. 6.

Lungo il Flumini Bellu sono presenti ghiaie recenti e attuali che occupano tutta la piana alluvionabile e che non vengono interessate dai lavori in progetto.



*Figura. 6 - Schema tridimensionale del Campidano del settore di Pabillonis, il riquadro blu nella carta geologica schematica in basso a destra rappresenta l'area di intervento (Da ISPRA, Foglio Geologico 547 "Villacidro").*

## 5. GEOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO

Le aree dove dovranno essere realizzati i lavori ricadono interamente all'interno del complesso alluvionale dell'Olocene antico (Fig.7), caratterizzato da sedimenti di conoide alluvionale costituiti da livelli di ghiaie a matrice da sabbioso a limo-argillosa alternati a sabbie più o meno ghiaiose come ben evidente lungo le sponde del Flumini Bellu, poco

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>10 di 26</b>

più a sud dell'area di intervento, dove fenomeni di erosione e frana di sponda espongono almeno 10 m di sezione di sedimenti alluvionali terrazzati (Fig. 8).



#### LEGENDA

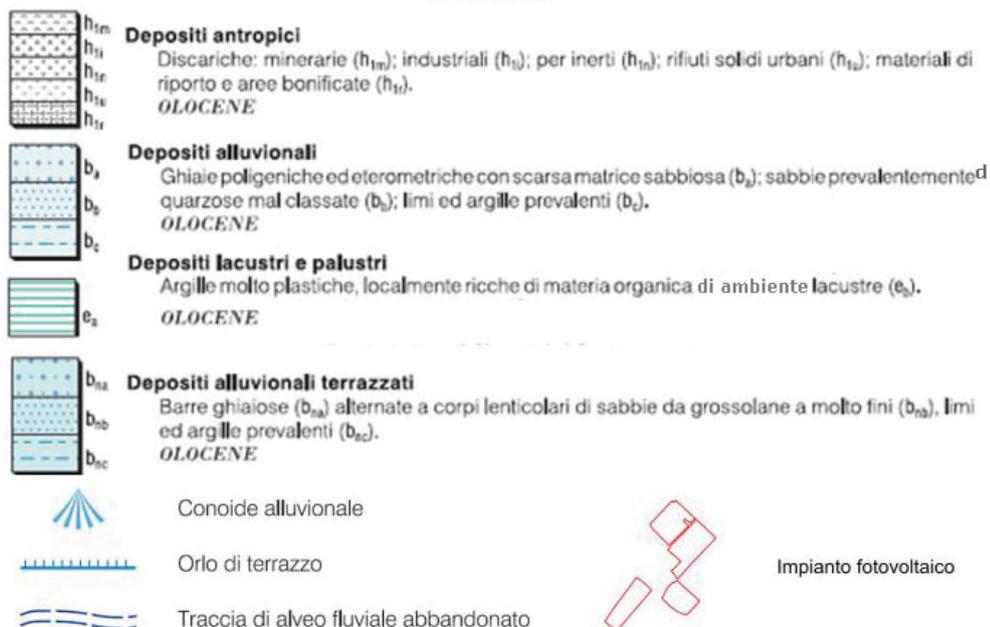


Figura 7: Carta geologica del settore oggetto di intervento (Da ISPRA, Foglio Geologico 547 "Villacidro") in scala 1:25000. In rosso l'area di intervento.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>11 di 26</b>

Poco ad ovest dei mappali oggetto di intervento è presente una leggera area depressa con sedimenti argillosi a testimonianza di piccoli bacini palustri alimentati da antichi traccianti fluviali scomparsi (e2 in carta geologica di Fig.7).



*Figura 8: Sponda destra in erosione del Flumini Bellu nei pressi dell'area di intervento.*

Le ghiaie presentano una sostanziale omogeneità lito-stratigrafica come messo in evidenza anche dalle prove geofisiche e dalle prove penetrometriche effettuate. I tagli naturali e gli scavi realizzati per il canale Enas, che passa poco a nord dei terreni oggetto di intervento, permettono di osservare direttamente, almeno i primi metri di spessore dei depositi alluvionali che appaiono costituiti da livelli ghiaiosi a ciottoli e ciottoletti di litologie appartenenti al basamento paleozoico, alternati a livelli di sabbie grossolane e medie con frazione fine presente, anche se subordinata (Figg. 9-10). In superficie si osserva un livello superficiale pedogenizzato di potenza limitata.



*Figura 9: depositi alluvionali lungo gli scavi del Canale Enas, poco a nord dell'area di intervento.*



*Figura 10: depositi alluvionali terrazzati costituiti da alternanze di ghiaie e sabbie con ciottoletti lungo la sponda sinistra del Flumini Bellu.*

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	12 di 26

## 6. GEOMORFOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO

L'area di ubicazione dell'impianto insiste su una morfologia sub-pianeggiante con una debolissima pendenza (6 per mille) verso i quadranti nord-orientale, passando da una quota di 63 m s. l. m. del settore sud-occidentale a 56 m s. l. m. di quello nord-orientale, secondo il senso di trasporto dei sedimenti che costituiscono la conoide. Non sono evidenti segnali di processi geomorfologici in atto ed anche il reticolo idrografico rappresentato da aste di primo ordine nella cartografia IGM è stato modificato dalle pratiche antropiche legate alle coltivazioni agricole.

L'unico elemento degno di nota è il Riu Flumini Bellu che discende dalla zona montuosa dell'Arburese esercitando un'azione erosiva importante nei confronti dei depositi su cui scorre, rappresentati dai depositi alluvionali dell'Olocene antico. Tali fenomeni non interessano comunque i lavori in progetto che si posizionano fuori dalle dinamiche del corso d'acqua, come testimoniato anche dalla cartografia delle aree alluvionabili del PAI. Nel complesso non sono presenti quindi indizi di instabilità e pericolosità geomorfologica ed idraulica.

## 7. ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

Per quanto riguarda le acque superficiali, come già evidenziato, la rete di drenaggio è molto povera, inoltre il reticolo idrografico è stato modificato nel tempo dalle lavorazioni agricole con impianto anche di piante ad alto fusto e non costituisce più un elemento peculiare del paesaggio come messo in evidenza anche dagli studi comunali di aggiornamento del PAI. Eventuali acque di ruscellamento dovranno essere indirizzate verso le linee di deflusso naturali senza causare fenomeni di erosione dei terreni.

I depositi alluvionali potenti molte decine di metri costituiscono un importante acquifero multifalda. Tra Pabillonis e San Gavino Monreale (Fig. 11) è presente uno spartiacque sotterraneo che separa i depositi sotterranei del settore meridionale con direzione da nord verso sud da quelli del settore settentrionale di verso opposto (Note Foglio Geologico 547 "Villacidro" Ispra, 2012). Poco ad ovest di Pabillonis un sondaggio profondo 98 m ha individuato ben 5 livelli produttivi nell'acquifero alluvionale a partire dai 12 m di profondità. Nell'area dell'impianto in progetto non sono disponibili misure dirette del livello di falda ma la carta idrogeologica di Fig. 11, indica il livello piezometrico a circa 45 m s. l. m, ad una profondità di 15 m dal piano di campagna, non interferendo quindi con i lavori previsti per le operazioni di scavo che interessano una profondità non superiore ai 2 m.

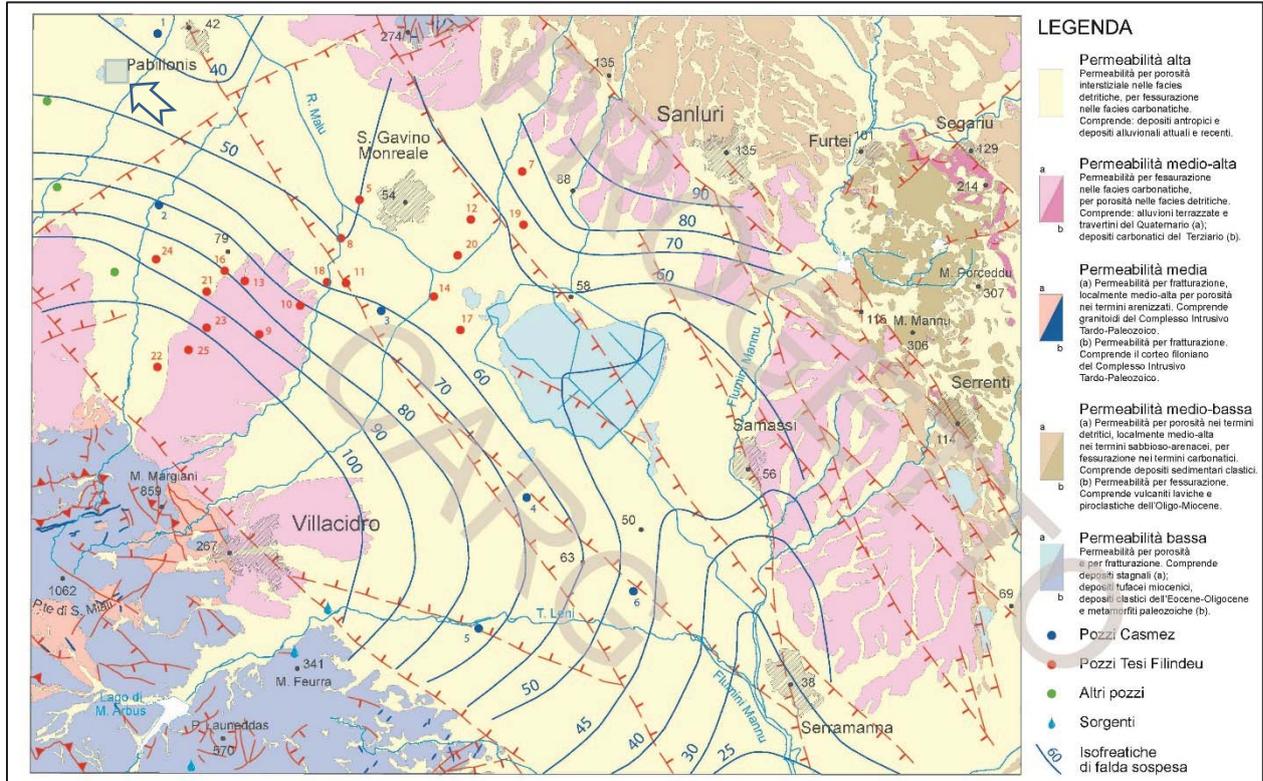


Figura 11: carta idrogeologica del settore del Campidano tra Villacidro e Sanluri (da Note Carta geologica d'Italia, Foglio 547 "Villacidro", ISPRA, 2012). L'area di interesse è indicata dalla freccia in alto a sinistra.

## 8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state svolte 3 prove penetrometriche dinamiche utilizzando un penetrometro di tipo medio con massa battente da 30 kg montato su cingoli (Fig. 12).

Per motivi legati alla presenza di recinzioni che non hanno consentito l'accesso con il mezzo meccanico su cui è montato il penetrometro le prove 2 e 3 sono state realizzate sui limiti sud ed est delle aree di intervento, l'uniformità litologica dei terreni indagati permette di considerare a tutti gli effetti i parametri ricavati rappresentativi dei terreni direttamente interessati dai lavori.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>14 di 26</b>



*Figura 12: penetrometro medio utilizzato posizionato su cingoli sul punto della prova penetrometrica DIN 2.*

La compattezza dei depositi alluvionali, unitamente alla presenza di ciottoli anche di grosse dimensioni (15-20 cm) ha determinato un approfondimento limitato in tutte e tre le prove effettuate che hanno raggiunto la profondità di 1,4 m nella prova 1, di 1,8 m nella prova 2 e di 1,7 m nella prova 3 per poi andare a rifiuto.

Sulla base di queste prove, considerando il terreno come puramente attritivo può essere assegnato un angolo di resistenza a taglio compreso tra 32 e 35° a 1 m di profondità.

Sempre sulla base del numero di colpi delle prove penetrometriche il modulo di reazione  $K_0$  può essere considerato pari a 4 Kg/cm<sup>2</sup>.

Le prove penetrometriche confermano nell'insieme una buona omogeneità dei terreni di fondazione in tutta l'area di intervento.

La relazione sulle prove penetrometriche costituisce uno specifico elaborato a firma del Dott. Geol. Giancarlo Carboni (All. 1

L'ubicazione delle prove è riportata in Fig. 13

Prove di laboratorio effettuate dallo scrivente sulla matrice delle ghiaie appartenenti alla stessa unità litologica, anche se affioranti al di fuori dell'area indagata, mostrano una coesione non nulla, sembra quindi opportuno dare ai terreni i seguenti parametri geotecnici finali:

- peso di volume = 18,00 KN/m<sup>3</sup>
- angolo di resistenza a taglio = 32°
- coesione = 15 KPa
- modulo di reazione del terreno ( $K_0$ ) = 4 kg/cm<sup>2</sup>

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>15 di 26</b>

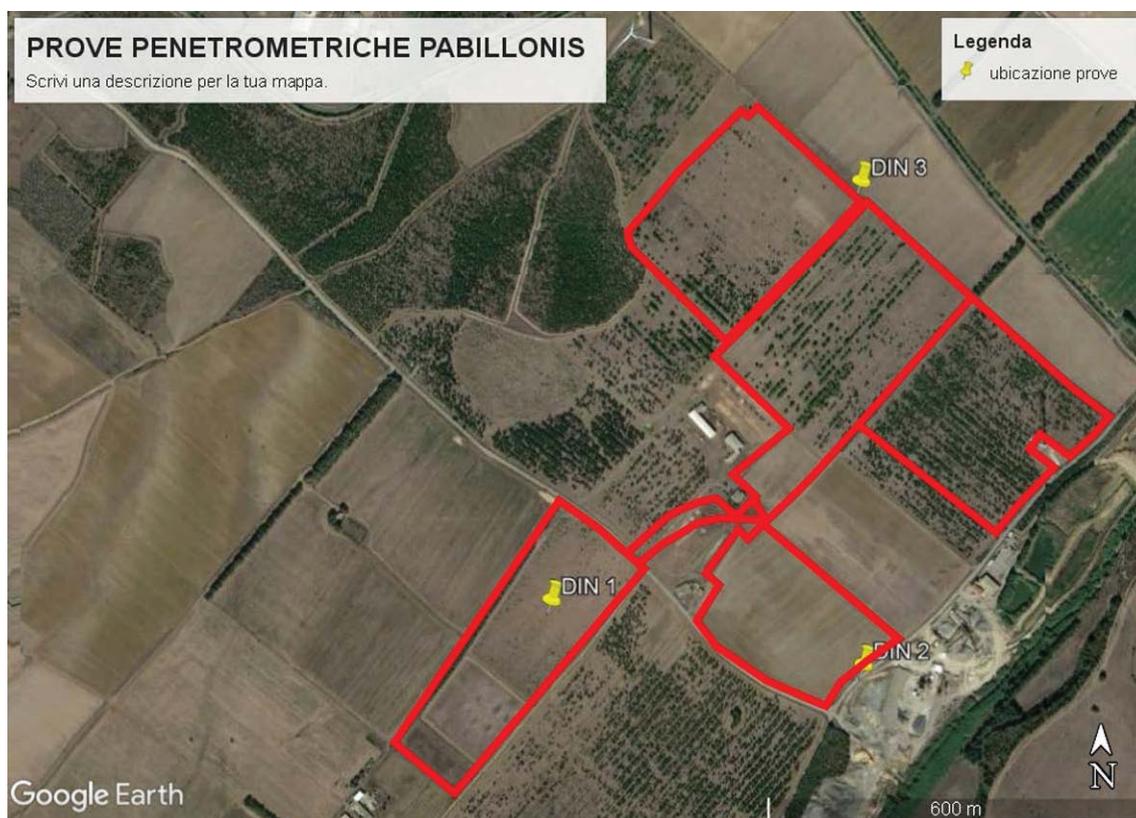


Figura 13: Ubicazione delle prove penetrometriche DIN 1, DIN 2 e DIN 3 sulla fotografia aerea.

Sulla base delle prove penetrometriche effettuate, utilizzando il numero di colpi equivalenti in SPT, in prima approssimazione, la capacità portante ultima si può considerare cautelativamente non inferiore a 250 KPa facendo una media tra le formule empiriche più utilizzate (Formula degli olandesi e Formula di Parry).

Risultati meno conservativi, si ottengono con le comuni formule di capacità portante (Brinch – Hansen, Meyerhof) utilizzando i parametri di angolo di attrito pari a 32° e coesione drenata pari a 15 KPa precedentemente indicati, si necessita però di tutti i valori progettuali (carichi di esercizio, tipologia e profondità delle applicazioni) per una valutazione analitica del carico limite di progetto secondo le NTC2018.

## 9. ZONIZZAZIONE DEL PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

La pericolosità geologica è messa in evidenza dagli elaborati del Piano Assetto Idrogeologico, in particolare il Comune di Pabillonis, attraverso la procedura prevista dall'art.8 c. 2 delle Norme di Attuazione (NdA) del PAI., ha modificato in parte i limiti di pericolosità

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>16 di 26</b>

idraulica e geologica inserendo nuove aree rispetto a quelle perimetrare dal PAI e dagli altri strumenti di pianificazione in tema di sicurezza idrogeologica (Piano Stralcio Fasce Fluviali, Piano Gestione Rischio Alluvioni). Il procedimento si è concluso con la deliberazione N.03 del 09/09/2020 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino che ha reso esecutivo il procedimento di Variante al PAI in base all'art.37 c.3 lett,b delle NdA del PAI.

L'area dove dovranno essere realizzati gli interventi si trova nella quasi totalità esterna alle aree a Pericolosità idraulica e geomorfologica anche in relazione alle aree di prima salvaguardia dei corsi d'acqua del reticolo idrografico regionale previste dall'art.30 ter delle NdA del PAI come riportato in Fig. 14. Il settore meridionale dell'impianto interessa marginalmente un'area a pericolosità idraulica di tipo H1 dove compete agli strumenti urbanistici comunali disciplinare l'uso del territorio e delle sue trasformazioni in modo da non aggravare le condizioni di pericolosità e rischio. Non sono presenti aree classificate a pericolosità per frana presenti invece in sponda destra del Flumini Bellu come già evidenziato nella parte geomorfologica e riportato nella cartografia del Progetto IFFI (Inventario fenomeni franosi in Italia) riportata in Fig. 15.

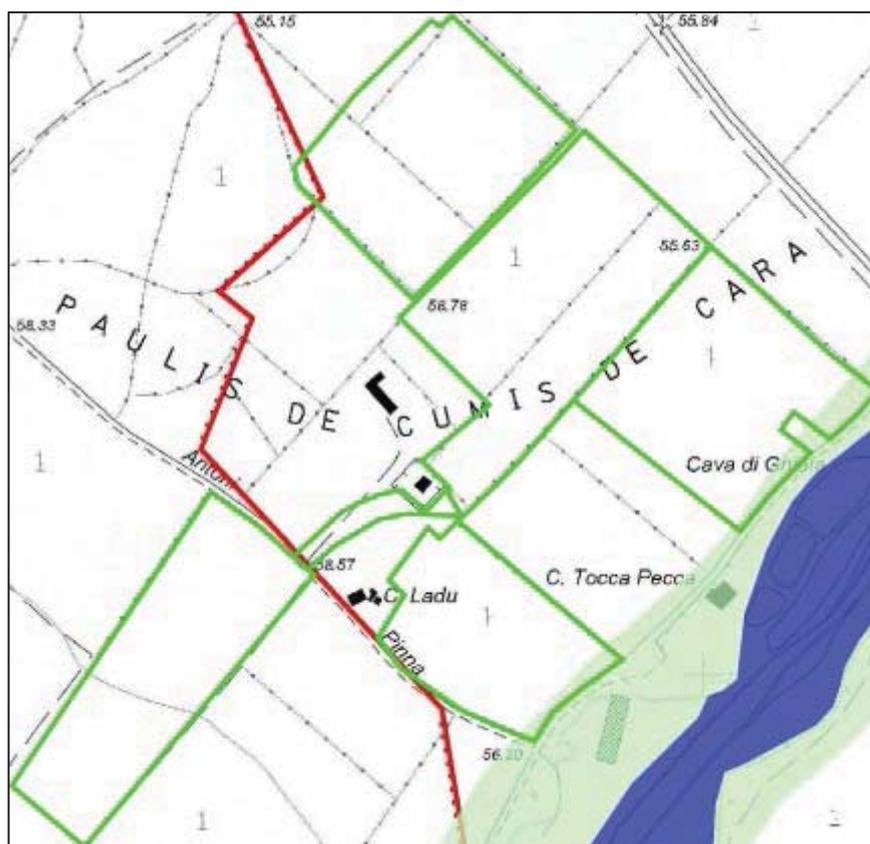
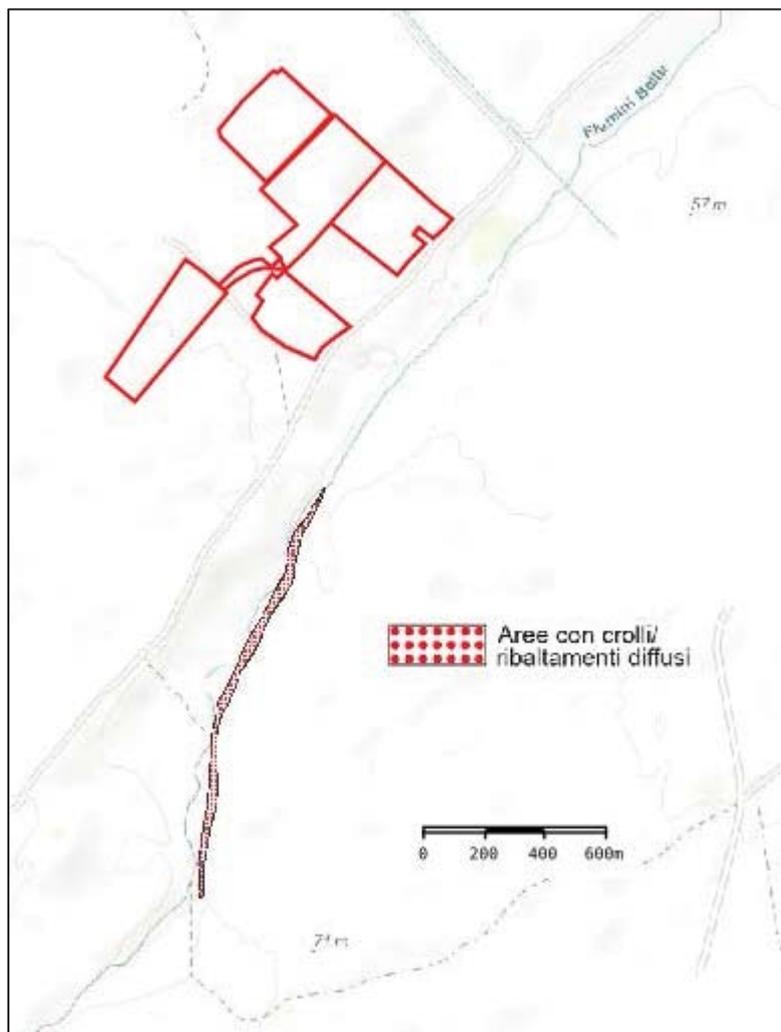


Figura 14: carta della pericolosità idraulica e delle fasce di prima salvaguardia dell'area di intervento tratta dalla Tav. 5H dello studio di compatibilità idraulica del PUC di Pabillonis (art. 8 c. 2 NdA del PAI). In verde il limite delle aree di intervento.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>17 di 26</b>



*Fig.15: aree della sponda destra del Flumini Bellu soggette a frana riportate nel Progetto IFFI (Inventario fenomeni franosi in Italia), si veda anche la Fig. 8. In rosso le aree oggetto di intervento.*

## 10. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In questo paragrafo si definiscono le caratteristiche sismiche del sito al fine di determinare, in accordo con le Norme tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC18), le eventuali azioni sismiche a cui potrebbero essere soggette le strutture in progetto.

Nella sottostante Fig. 16 è mostrata la rappresentazione cartografica dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI 15 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, 2015), redatto dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia). Si evidenzia come la Sardegna presenti una sismicità storica molto bassa sia come frequenza sia come magnitudo.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>18 di 26</b>

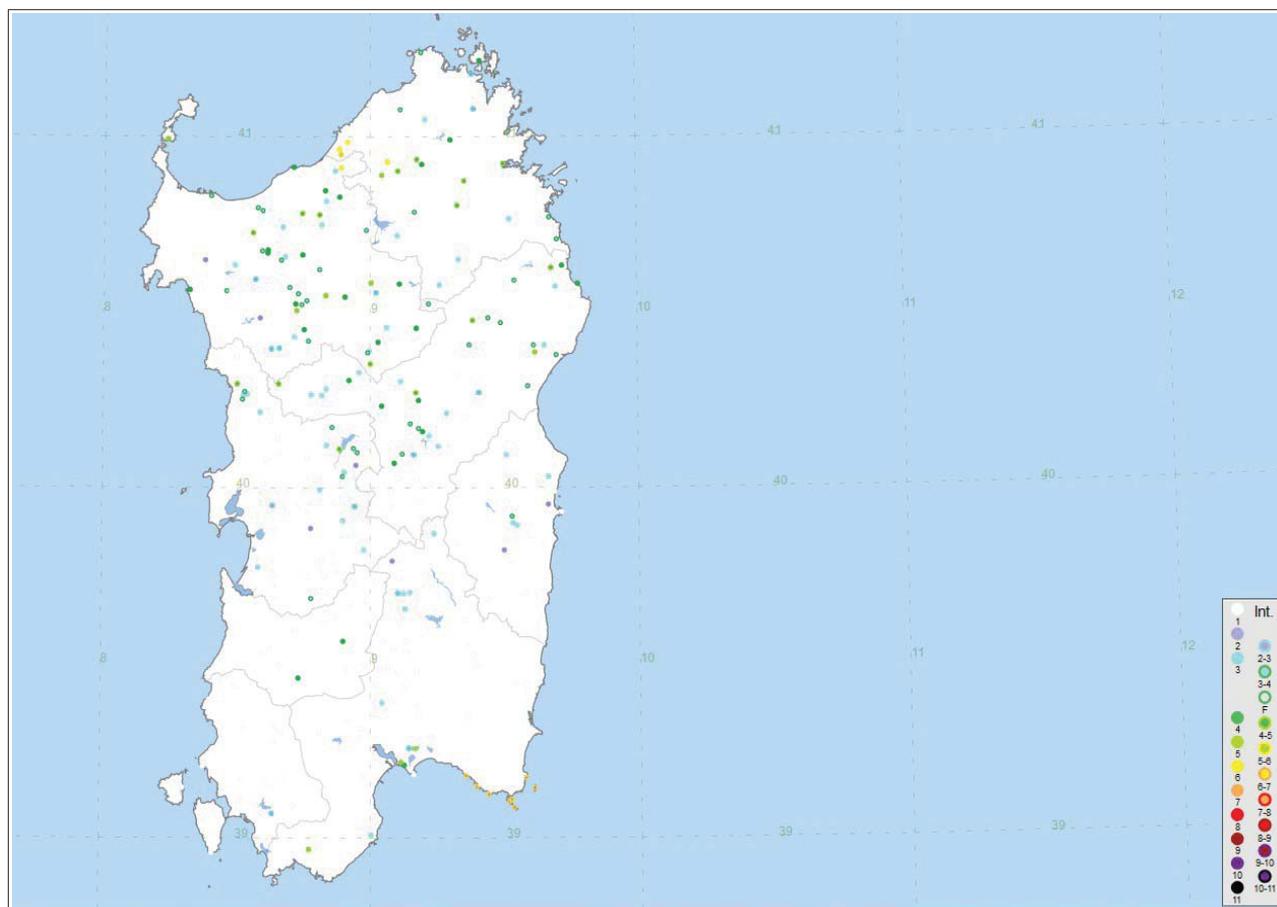


Figura 16: terremoti storici in Sardegna (INGC: *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, 2015)

Secondo il provvedimento legislativo del 2003 (cfr. O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i.), i comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali, in base al loro rischio sismico, calcolato in base al PGA (*Peak Ground Acceleration* = picco di accelerazione al suolo) e per frequenza ed intensità degli eventi. La Sardegna in questa classificazione ricadeva nella Zona 4, quella a più bassa sismicità, con  $PGA < 0,05 g$ .

Le NTC18, così come le precedenti NTC2008 fanno riferimento invece alla “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. La pericolosità sismica di base costituisce quindi l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni. Allo stato attuale la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli temporali (periodo di ritorno). Il reticolo di riferimento è rimasto invariato rispetto alle NTC2008 dove l'intero territorio italiano è suddiviso in maglie di circa 10 x 10 km di lato con i nodi espressi in termini di coordinate geografiche (Tabella B1 delle NTC2008; (<http://esse1.mi.ingv.it/>)). Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (Tr) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	19 di 26

- ag: accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in g/10)
- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T\*c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (ag) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito dove verrà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (Tr) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (ag, Fo, Tc\*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento.

Le NTC18 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (Tr) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PVr) nel periodo di riferimento dell'opera (Vr).

Il periodo di riferimento dell'opera (Vr) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (Vn), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (Cu), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC18).

Per le opere oggetto di intervento sono stati assunti i seguenti parametri:

Vita nominale (Vn) di 50 anni, Classe d'uso pari a I, corrispondente ad un coefficiente d'uso (Cu) pari a 0,7.

Dal loro prodotto si ottiene un periodo di riferimento per l'opera Vr pari a 35 anni.

Ai fini di valutare la risposta sismica locale, si classificheranno i terreni sulla base della tab. 3.2. delle NTC18 attraverso il cosiddetto "approccio semplificato". Le stesse NTC18 prevedono infatti che nel caso di determinate situazioni stratigrafiche ben definite, ai fini della risposta sismica locale possano essere utilizzate le categorie di sottosuolo previste nella Tab. 3.2 – II delle NTC18 di seguito riportata (Fig. 17).

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN</b> <b>POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP</b> <b>POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW</b> <b>Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	20 di 26

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Figura 17: *tabella delle categorie di sottosuolo utilizzabile ai fini della risposta sismica locale riportata nelle NTC18.*

In tale tabella la classificazione del sottosuolo viene fatta in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

Dalle indagini sismiche effettuate (vedi Relazione sulle indagini sismiche) i terreni alluvionali addensati appartengono alla categoria B come meglio evidenziato nel paragrafo 11.

Circa il fattore topografia Le possibili condizioni sono:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione  $i \leq 15^\circ$ ; T2: Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ;

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  $i > 30^\circ$ .

In relazione all'andamento morfologico locale, sub pianeggiante, è possibile classificare il sito di interesse come categoria T1.

I parametri sismici del sito sono riassunti nelle sottostanti tabelle, in relazione alla tipologia di sottosuolo, di condizioni morfologiche e di opere considerate.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	21 di 26

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,019	2,610	0,273
Danno (SLD)	63	50	0,024	2,670	0,296
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,050	2,880	0,340
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,060	2,980	0,372

#### Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,200	1,430	1,000	0,004	0,002	0,219	0,200
SLD	1,200	1,400	1,000	0,006	0,003	0,277	0,200
SLV	1,200	1,360	1,000	0,012	0,006	0,588	0,200
SLC	1,200	1,340	1,000	0,014	0,007	0,710	0,200

La progettazione delle strutture e delle relative fondazioni terrà conto dei valori di sollecitazione riferiti al sito di installazione, garantendo la sicurezza delle strutture e dell'area in cui le stesse saranno ubicate.

## 11. INDAGINI SISMICHE

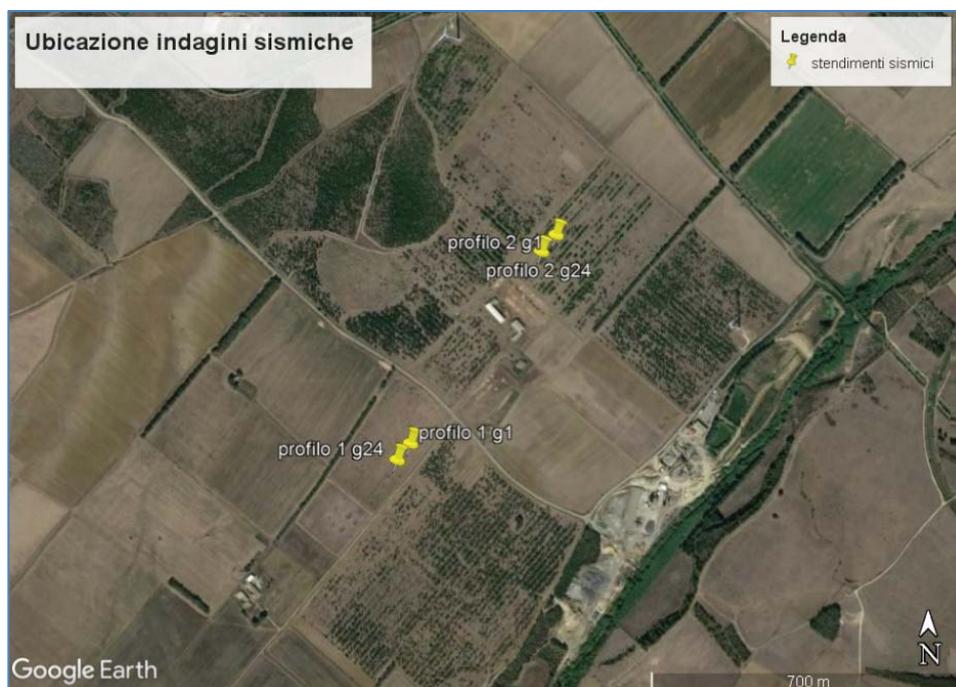
Per approfondire i dati stratigrafici e determinare la categoria sismica del suolo sono state effettuate indagini sismiche, di tipologia differente (a rifrazione e MASW).

La sismica a rifrazione definisce l'andamento delle velocità sismiche delle onde P con la profondità fornendo informazioni importanti sui cambiamenti litologici e meccanici dei terreni e sulle variazioni degli spessori delle coltri superficiali allentate.

La MASW definisce l'andamento lungo la verticale della velocità delle onde di taglio Vs, utile non solo per la definizione delle caratteristiche di amplificazione sismica del sito ma anche per valutazioni di tipo stratigrafico viste le buone correlazioni esistenti, anche dal punto di vista di alcuni parametri deformativi, con le Vs.

Son stati eseguiti n°2 prospezioni sismiche a rifrazione per la misurazione della velocità delle onde P (Fig.18), con stendimenti disposti secondo la direzione NE-SW, progressione numerica dei geofoni da NE (G1) verso SW (G24). L'andamento altimetrico in entrambi i casi è suborizzontale. Gli stendimenti sismici sono stati eseguiti secondo lo stesso schema geometrico, numero di geofoni pari a 24, equidistanti 2,0 metri, lunghezza complessiva 46 m; punti di energizzazione pari a 8, posizionati in maniera identica, 6

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>22 di 26</b>



*Figura 18:  
ubicazione indagini  
sismiche*

interni e 2 esterni allo stendimento, distribuiti simmetricamente rispetto al centro dello stendimento. Lo schema degli stendimenti è di seguito illustrato.



Gli scoppi sono stati realizzati attraverso massa battente.

I dati ottenuti in campagna e sopra indicati hanno permesso, attraverso l'elaborazione delle dromocrone e l'individuazione dei primi arrivi, la costruzione di un modello tomografico con velocità generalmente crescenti con l'aumentare della profondità.

Nella localizzazione delle prove è individuata la lunghezza degli stendimenti e la posizione dei geofoni esterni (indicati come G1 sul lato dell'inizio dello stendimento e G24 sul lato opposto dello stendimento).

L'andamento altimetrico dei geofoni lungo lo stendimento è pressoché sub-orizzontale, praticamente ininfluenti sull'elaborazione dei dati le piccole correzioni topografiche.

I due profili sismici presentano valori sostanzialmente omogenei, nel profilo sismico n. 1 si individua un primo sismostrato, tra 1.0 m e 1.5 che presenta velocità delle onde di compressione inferiori a 1.000 m/s e, verosimilmente identificabile con il suolo superficiale.

Il secondo sismostrato, dalle discrete caratteristiche elastiche, presenza valori di  $V_p$  molto elevati, superiori a 1.000 m/sec è presente a partire da 1,8 metri di profondità (Fig. 19).

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>23 di 26</b>

L'interpretazione stratigrafica identifica nelle alluvioni antiche, cementate e molto addensate, la formazione con alte velocità di Vp.

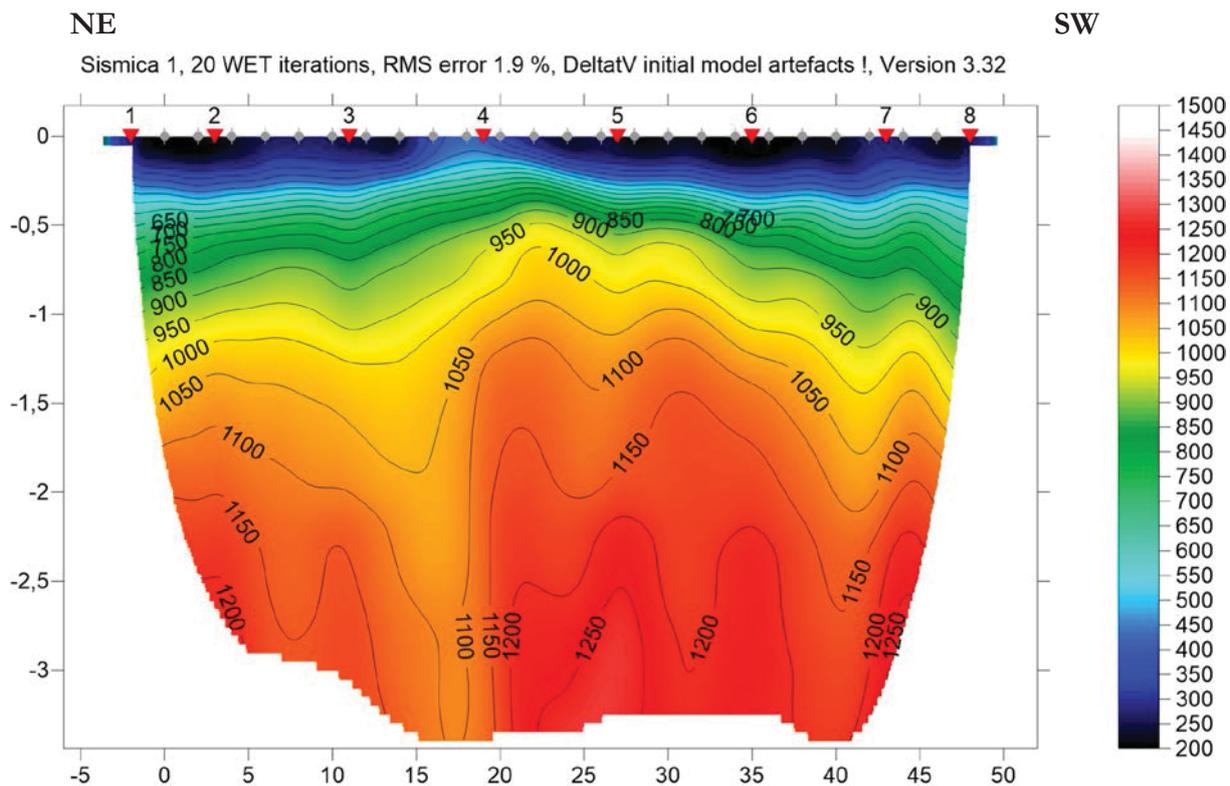
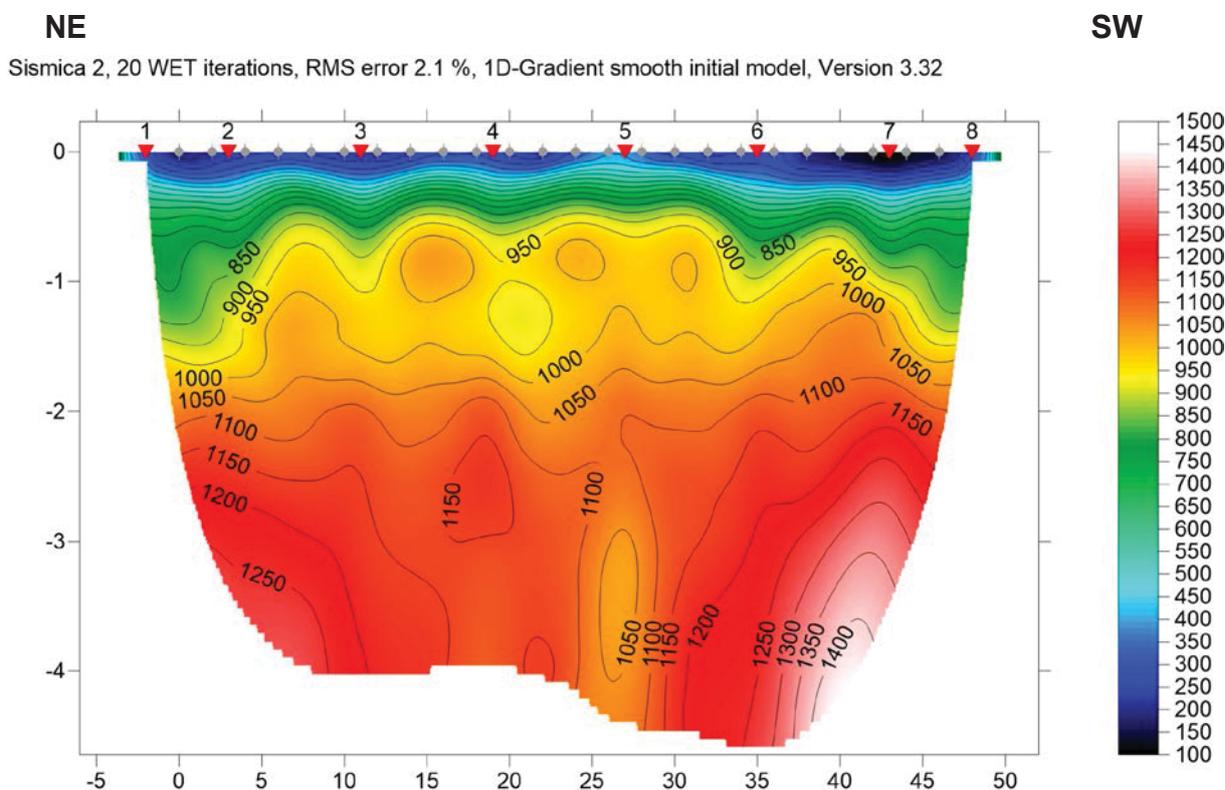


Figura 19: profilo sismo-stratigrafico 1

Nel secondo profilo sismico l'elaborazione dei dati ha messo in evidenza la presenza di tre sismostrati con differenti velocità delle onde P (Fig. 20). Il primo sismostrato, spesso circa 0.5 m, presenta velocità delle onde di compressione inferiori a 850 m/s e costituisce la parte più allentata, verosimilmente quella collegata all'aratura del terreno.

Il secondo sismostrato, poco evidente nella sezione sismica n°1, mostra velocità comprese tra 850 m/s e 1.000 m/s. La profondità massima è attorno 1.8 m. Si tratta di velocità già elevate che evidenziano il forte addensamento di questo sismostrato intermedio. Il terzo sismostrato presenta  $V_p > 1.000$  m/s, con massimi elaborati attorno a 1300-1400 m/s, segno delle discrete caratteristiche elastiche della formazione. Come nel caso della Sezione sismica n°1 l'interpretazione stratigrafica identifica nelle alluvioni antiche, cementate e molto addensate, la formazione con simili velocità di Vp.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>24 di 26</b>



*Figura 20: profilo sismo-stratigrafico 2*

L'indagine eseguita mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) ha avuto come fine la classificazione del sito in esame ai sensi della OPCM 3274 e delle Norme Tecniche (D.M. 17.01.2018). Realizzata sullo stesso stendimento della sezione sismica a rifrazione n°1, ha avuto come fine la caratterizzazione della risposta sismica dell'area in studio.

L'elaborazione ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs senza intercettare il bedrock sismico; la presenza di suoli moderatamente rigidi con Vs attorno ai 400 m/s ha determinato una categoria sismica di tipo B secondo la sottostante tabella 3.2. Il del DM 17.01,2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN</b> <b>POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP</b> <b>POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW</b> <b>Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	Rev.	0
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05</b> <b>RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	Pag.	25 di 26

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Le formule empiriche che permettono di ricavare alcuni di parametri geotecnici dei terreni in base alle velocità delle onde Vs confermano che si tratta di terreni addensati dalle buone proprietà meccaniche. La relazione sulle indagini sismiche completa costituisce l'allegato n. 2 a firma del Dott. Geol. Gianbattista Cadau.

## 12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio geologico, geomorfologico, idrogeologico, sismico e geotecnico del sito dove è previsto la realizzazione dell'Impianto fotovoltaico, nei comuni di Guspini e Pabillonis (Provincia del sud-Sardegna), evidenzia che il sito è situato in un contesto di depositi alluvionali dell'Olocene antico, di natura prevalentemente ghiaiosa e dalla potenza di molte decine di metri, caratterizzati da un buon grado di addensamento. Non si segnalano pericolosità di tipo geologico o idraulico visto la natura e compattezza dei terreni, la morfologia pianeggiante e l'assenza di corsi d'acqua che possono causare fenomeni di alluvionamento o di erosione e si dovrà provvedere a regolamentare solo il deflusso delle acque di precipitazione. Gli studi disponibili dimostrano che la falda idrica si trova circa a 15 m di profondità permettendo di escludere interferenze con le opere in progetto.

Le indagini penetrometriche e geofisiche effettuate testimoniano infine una soddisfacente capacità portante dei terreni in relazione alle opere previste, con un carico limite ultimo stimato sulla base delle stesse prove, non inferiore a 250 KPa e una categoria di sottosuolo sismico di tipo B, ovvero "*Rocce tenere e terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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*".

In conclusione si attesta, per l'impianto fotovoltaico denominato "Pabillonis PV", nei comuni di Guspini e Pabillonis, la piena fattibilità geologica e geotecnica degli interventi in progetto.

	<b>IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA (AGRIVOLTAICO) COLLEGATO ALLA RTN POTENZA NOMINALE (DC) 18,38 MWP POTENZA IN IMMISSIONE (AC) 16,8 MW Comune di Guspini e Pabillonis (SU)</b>	<b>Rev.</b>	<b>0</b>
	<b>21-00024-IT-PABILLONIS_RS-R05 RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	<b>Pag.</b>	<b>26 di 26</b>

## ALLEGATI

All. 1 - Relazione sulle indagini penetrometriche

All. 2 - Relazione sulle indagini simiche

**COMUNE DI PABILLONIS**  
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA

**PROGETTAZIONE DI UN PARCO  
FOTOVOLTAICO A TERRA**



Studio di Geologia Tecnica e Ambientale

**Dott. Geol. Giancarlo Carboni**

Via Nazionale 277

09039 Villacidro (SU)

Tel. 070 2332144 cell. 329 4177709

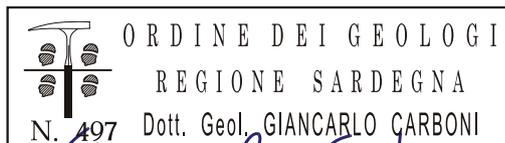
e-mail: info@geosardegna

[www.geosardegna.it](http://www.geosardegna.it)

**IL GEOLOGO INCARICATO**

**Dott. Geol. Giancarlo CARBONI**

Ordine dei Geologi della Sardegna n° 497



Il committente:

**Dott. Geol. Alessandro Forci**

**Oggetto:**

**Indagini geotecniche per la caratterizzazione dei terreni di fondazione mediante Prove Penetrometriche Dinamiche Continue**

*Villacidro, li 09/05/2022*

# INDICE

Premessa	1
Generalità	1
Note illustrative	1
Metodologia di Elaborazione.	3
Interpretazione dei dati	3
Parametri riassuntivi delle prove penetrometriche	5
Esecuzione prove penetrometriche	5
Stima della capacità portante del terreno	7
Formula di Herminier - Olandesi	7
Formula di Parry	7
Tabella dei valori di portanza (kg/cm <sup>2</sup> )	8
Caratterizzazione geotecnica dei terreni	9
Correlazioni geotecniche terreni incoerenti	9
Correlazioni geotecniche terreni coesivi	10
Caratteristiche dello strumento	12
PROVA DIN 1	13
PROVA DIN 2	16
PROVA DIN 3	19



## **PREMESSA**

Su incarico conferito dal dott. Geol. Alessandro Forci, nell'ambito della progettazione di un impianto fotovoltaico a terra nell'agro del Comune di Pabillonis, in loc. Pranu Murdegu, è stata predisposta l'analisi della sequenza lito-stratigrafica del terreno di sedime mediante l'esecuzione di tre prove penetrometriche dinamiche continue.

## **GENERALITÀ**

Le prove penetrometriche sono attualmente molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione poiché può essere svolta in tutti i tipi di terreno, coesivo o granulare (dalle argille alle ghiaie), comprese le rocce tenere, fornendo lo stato d'addensamento di terreni incoerenti e la consistenza di terreni coerenti, attraverso la valutazione della resistenza dinamica alla punta degli strati attraversati. È però necessario tenere sempre ben presente che le prove dinamiche continue sono state ideate per lo studio dei terreni incoerenti, i dati elaborati per gli strati coesivi quindi, sono da considerarsi utili solo per un primo inquadramento del problema.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione (per tratti consecutivi di 10 cm) misurando il numero di colpi N necessari. La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano di campagna, ma in alcuni casi può essere condotta, con l'impiego di speciali accorgimenti, a partire dal fondo di fori di sondaggio.

### **Note illustrative**

L'elaborazione dei dati acquisiti, 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)  $\delta$
- 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)

La prova è denominata “continua” poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l’infissione della punta seguendo le raccomandazioni dell’Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I. 1977), mentre a livello europeo tali prescrizioni sono contenute nel documento n° 2 allegato alla procedura “ISSMFE 1988”, la tabella seguente mostra la classificazione dei penetrometri attualmente in uso distinti in funzione della massa del maglio:

CLASSIFICAZIONE ISSMFE DEI PENETROMETRI DINAMICI		MASSA MAGLIO (KG)	PROFONDITÀ MAX
DPL ( <i>Dynamic Probing Light</i> )	leggero	≤ 10	8 m
DPM ( <i>Dynamic Probing Medium</i> )	medio	Da 10 a 40	20 – 25 m
DPH ( <i>Dynamic Probing Heavy</i> )	pesante	Da 40 a 60	25 m
DPSH ( <i>Dynamic Probing Superheavy</i> )	superpesante	≥ 60	> 25 m

Nella fattispecie la prova è stata eseguita con un penetrometro mod. DeepDrill DM30, azionato da un gruppo oleodinamico alimentato da un motore a scoppio da 4 Hp, provvisto di una massa battente di 30 Kg, classificabile quindi come tipo medio, lo strumento utilizzato per la presente indagine è composto da:

- una batteria d’aste ognuna lunga 1 m e dal peso di 2,93 Kg/m;
- una punta conica, avvitata (se a recupero) o semplicemente incastrata (se a perdere) nell’estremità inferiore della batteria d’aste interne, dal diametro di 35,7 mm ed un angolo di apertura di 60°; la superficie della punta può essere di 5 o di 10 cm<sup>2</sup>;
- un maglio da 30 Kg con una volata di 20 cm.

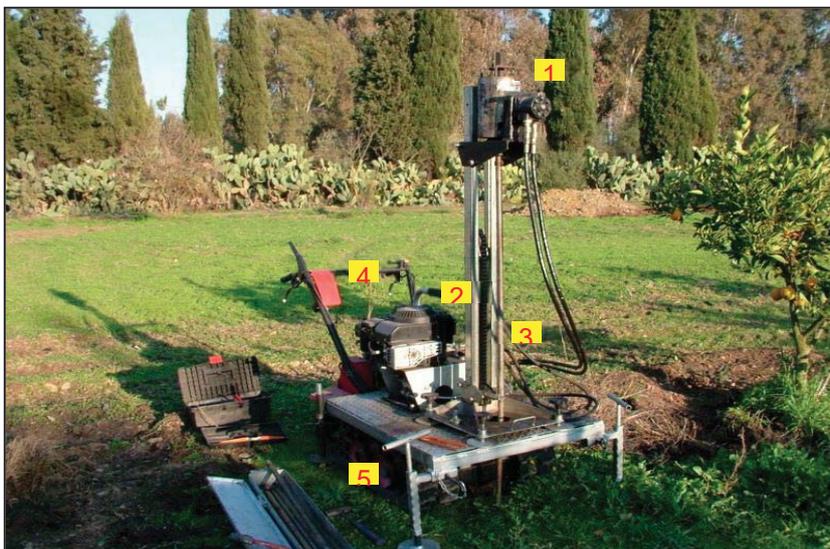


Fig. 5 - Fotografia dello strumento utilizzato montato su mezzo semovente:

- 1 – testa
- 2 – supporto
- 3 – asta
- 4 – centralina oleodinamica
- 5 – transporter cingolato



### **Metodologia di Elaborazione.**

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

### **INTERPRETAZIONE DEI DATI**

La prova consiste nell'infissione nel terreno della punta per tratti standard di 10 cm, misurando il numero di colpi  $N_{10}$  necessari alla sua penetrazione. I litotipi attraversati hanno permesso l'esecuzione della prova in totale assenza di attrito laterale, non si è così reso necessario l'utilizzo delle aste di rivestimento antiattrito.

I risultati della prova, restituiti sotto forma di diagrammi in funzione della profondità (in ordinate) e del valore  $N_{10}$  (in ascisse), evidenziano la corrispondenza tra la variazione del valore di  $N$  lungo la verticale di prova e la variazione litologica dei terreni testati.

Il valore di  $N$  potrà essere utilizzato per calcolare anche l'energia necessaria alla penetrazione dinamica alla punta. Viene comunemente valutata secondo la formula Olandese:

$$R_{pd} = \frac{m^2 \cdot g \cdot H}{a \cdot e \cdot (m + m')} = Q \cdot N$$

dove:

$R_{pd}$  = resistenza dinamica alla punta

$m$  = peso del maglio (Kg)

$m'$  = peso di: aste + testa di battuta + asta di guida + dispositivo di percussione (Kg)

$g$  = accelerazione di gravità ( $m/s^2$ )

$H$  = altezza di caduta del maglio (m)

$a$  = area sezione trasversale alla punta ( $m^2$ )

$e$  = penetrazione media per colpo

$Q$  =  $(m \cdot H) / a \cdot \delta$  = energia specifica teorica per colpo [ $\delta$  = avanzamento in m]



Poiché le correlazioni empiriche esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT, è necessario applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive.

Pertanto, i penetrometri con caratteristiche differenti rispetto all'SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) comportano energie di infissione ovviamente differenti; la conoscenza della quantità di energia necessaria alla penetrazione della punta, al netto del valore totale comprendente l'aliquota dispersa per dissipazione lungo le aste, permette la correlazione con le caratteristiche di resistenza del terreno determinate con la prova penetrometrica continua con la prova SPT.

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame ( $N, Q$ ) alla prova SPT ( $N_{SPT}, Q_{SPT}$ ), dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente:

$$R_{pd}' = Q \cdot N = Q_{SPT} \cdot N_{SPT} \Rightarrow N_{SPT} = N(Q/Q_{SPT}) = \beta \cdot t \cdot n$$

ove il rapporto  $\beta \cdot t = Q/Q_{SPT}$  viene definito "coefficiente teorico d'energia" della prova in esame, relativamente alla prova SPT ( $Q_{SPT} = 7,83 \text{ Kg/cm}^2 = 0,786 \text{ Mpa}$ ) per  $m = 63,5 \text{ Kg}$ ,  $a = 20,27 \text{ cm}^2$ ,  $\delta = 0,30 \text{ m}$ .

Il penetrometro utilizzato nella presente indagine è stato utilizzato con la punta di  $5 \text{ cm}^2$ , per cui risulta avere un coefficiente teorico d'energia rispetto alla SPT di 1,55 ed una energia specifica per colpo di  $12 \text{ Kg/cm}^2$ .

Il margine di valori  $N_{10}$  (n° di colpi per un avanzamento di 10 cm) che si ritiene utile perché la prova possa fornire dei risultati validi è compreso tra un minimo 4 ed un massimo di 80.





**Parametri riassuntivi delle prove penetrometriche**

**DIN 1**

Prof. Strato (m)	N DPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
1.2	15.08	0.753	54.18	11	1.76	1.92	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia limosa
1.4	49.25	0.753	170.94	37	2.19	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

**DIN 2**

Prof. Strato (m)	N DPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.6	12.58	0.753	46.29	9	1.7	1.91	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia limosa
1.1	38.1	0.753	132.24	28	2.11	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia ghiaiosa
1.4	13.33	0.753	46.28	10	1.73	1.92	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		limo sabbioso
1.8	48.88	0.753	166.48	36	2.18	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

**DIN 3**

Prof. Strato (m)	N DPM Medio Minimo	Coeff. di correlaz. con Nspt	Rd Media minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt Medio Minimo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo	Coesivo	Incoerente	Clay Fraction (%)	Texture	Descrizione
0.9	32.67	0.753	118.38	24	2.06	2.47	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia debolmente
1.2	27.67	0.753	96.03	20	1.99	2.39	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		limo sabbioso
1.6	40.38	0.753	140.14	30	2.14	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		sabbia debolmente
1.7	94	0.753	308.82	70	2.4	2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0		Alluvioni

**Esecuzione prove penetrometriche**

**DIN 1**





**DIN 2**



**DIN 3**





## **STIMA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO**

Al fine di una più completa caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione sono stati calcolati i valori di portanza dei terreni investigati con le prove penetrometriche.

Tali calcoli hanno valore puramente indicativo, il loro scopo è solamente quello di fornire delle stime di massima e vanno pertanto utilizzati con molta cautela, soprattutto per quei valori ricavati da un  $N_{10}$  particolarmente basso (pari o prossimo a 4).

I valori di portanza sono stati calcolati utilizzando gli equivalenti in SPT dello strato attraversato.

I valori di portanza calcolati sono espressi in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

### **Formula di Herminier - Olandesi**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier (formula Olandese), applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza B pari a 1 m ed immersione D = 1 m, i valori vengono calcolati in  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ .

$$Q_{amm} = \frac{P^2 H}{A_p R_f (P + P_a)} \cdot \frac{1}{20}$$

La Formula degli Olandesi non permette di correlare la portanza alle caratteristiche geometriche della fondazione, e in particolare al parametro D (profondità di posa della fondazione).

### **Formula di Parry**

Parry (1977) ha proposto di calcolare la capacità portante ultima dei terreni *incoerenti* come:

$$Q_{ult} = 30 \cdot N_{SPT} \quad (\text{kPa}) \quad (D \leq B)$$

Il carico ammissibile è pertanto ottenuto dividendo la capacità portante ultima per un fattore di sicurezza, di solito posto uguale a 3.



Tabella dei valori di portanza (kg/cm<sup>2</sup>)

DIN 1

Profondità (m)		N10 medio	N° SPT equivalenti	Rpd	Portanza Olandesi	Portanza Parry	MEDIA
0.0	1.2	15.0	11	54.0	2.7	1.1	<b>1.9</b>
1.2	1.4	49.0	37	171.0	8.6	3.8	<b>6.2</b>

DIN 2

Profondità (m)		N10 medio	N° SPT equivalenti	Rpd	Portanza Olandesi	Portanza Parry	MEDIA
0.0	0.6	12.0	9	46.0	2.3	0.9	<b>1.6</b>
0.6	1.1	38.0	28	132.0	6.6	2.9	<b>4.7</b>
1.1	1.4	13.0	10	46.0	2.3	1.0	<b>1.7</b>
1.4	1.8	49.0	36	166.0	8.3	3.7	<b>6.0</b>

DIN 3

Profondità (m)		N10 medio	N° SPT equivalenti	Rpd	Portanza Olandesi	Portanza Parry	MEDIA
0.0	0.9	32.0	24	118.0	5.9	2.4	<b>4.2</b>
0.9	1.2	27.0	20	96.0	4.8	2.0	<b>3.4</b>
1.2	1.6	40.0	30	140.0	7.0	3.1	<b>5.0</b>
1.6	1.7	94.0	70	308.0	15.4	7.1	<b>11.3</b>



## **CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un software dedicato che calcola in automatico il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981), permette inoltre estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Al fine di ottenere dei dati quanto più possibili esauritivi si è optato per l'utilizzo contemporaneo di più metodologie di calcolo dei parametri geotecnici in funzione dei terreni attraversati.

Di seguito vengono esposti i diversi metodi di calcolo utilizzati per ottenere la parametrizzazione geotecnica dei terreni:

### **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.



- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### **Modulo Di Young (Ey)**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Peso di volume saturo**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

#### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

#### **Velocità onde di taglio Vs (m/sec)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

#### **Modulo di deformazione di taglio (G)**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

#### **Modulo di reazione (Ko)**

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### **Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli - correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con Nc=20 e Qc/Nspt=2.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.



- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buissmann- Sanglerat, valida per argille compatte ( Nspt <30) medie e molli ( Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

#### Modulo Di Young (EY)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

#### Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa G=2,70 (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

## Sintesi parametri geotecnici

### DIN 1

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	1.2	11.0	Incoerente	1.76	1.92	30.14	0	50.06	130.5	0.33	619.19
2	1.4	37.0	Incoerente	2.19	2.5	37.57	0	103.46	437.3	0.28	1936.52

### DIN 2

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.6	9.0	Incoerente	1.7	1.91	29.57	0	45.95	106.9	0.34	512.74
2	1.1	28.0	Incoerente	2.11	2.5	35.00	0	84.98	331.1	0.3	1490.19
3	1.4	10.0	Incoerente	1.73	1.92	29.86	0	48.0	118.7	0.33	566.13
4	1.8	36.0	Incoerente	2.18	2.5	37.29	0	101.41	425.5	0.28	1887.29

### DIN 3

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.9	24.0	Incoerente	2.06	2.47	33.86	0	76.76	283.9	0.31	1289.18
2	1.2	20.0	Incoerente	1.99	2.39	32.71	0	68.55	236.7	0.31	1086.13
3	1.6	30.0	Incoerente	2.14	2.5	35.57	0	89.09	354.7	0.29	1590.04
4	1.7	70.0	Incoerente	2.4	2.5	47.00	0	171.25	826.7	0.21	3526.19

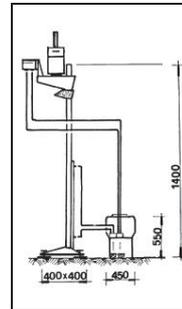


**Caratteristiche dello strumento**

**PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DeepDrill DM30**

**CARATTERISTICHE TECNICHE : DeepDrill DM30**

PESO MASSA BATTENTE	M	= 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H	= 0,20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms	= 16,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA "A"	D	= 35,70 mm
DIAMETRO PUNTA CONICA "B"	D	= 25,40 mm
AREA BASE PUNTA CONICA "A"	A	= 5,00 cm <sup>2</sup>
AREA BASE PUNTA CONICA "B"	A	= 10,00 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA		= 60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La	= 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma	= 2,23 kg
PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA	P1	= 0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA		= 0,10 m



DIMENSIONI E PESI	
Centralina oleodinamica	Kg 39
Colonna di guida ed estrattore idraulico	Kg 29
Apparato d'infissione	Kg 14
Masse battenti	Kg 30
Asta Ø 22x1000 mm	Kg 3,0
Rivestimento Ø 30x1000 mm	Kg 1,7
Peso complessivo DM30 con dotazione standard	Kg 157

Relativo ad un avanzamento di 10 cm

NUMERO DI COLPI PUNTA	N	= N(10)
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO	
ENERGIA SPECIFICA x COLPO "A"	Q	= (MH)/(A) = 6,00 kg/cm <sup>2</sup> (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
ENERGIA SPECIFICA x COLPO "B"	Q	= (MH)/(A) = 12,00 kg/cm <sup>2</sup> (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	t	= Q/Qspt = 1,505 (teoricamente: Nspt = tN)
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	t	= Q/Qspt = 1,505 (teoricamente : Nspt = t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$Rpd = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [ area A]                      M = peso massa battente (altezza caduta H)  
 e = infissione per colpo = / N                                      P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)
1 kg/cm <sup>2</sup> = 0.098067 MPa ≈ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m <sup>2</sup> = 10.197 kg/cm <sup>2</sup>
1 bar = 1.0197 kg/cm <sup>2</sup> = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg



## PROVA DIN 1

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq  
 Prova eseguita in data 02/05/2022  
 Profondità prova 1.40 mt  
 Falda non rilevata  
 Prova interrotta a rifiuto

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> )
0.10	15	0.807	44.51	55.18	2.23	2.76
0.20	14	0.805	41.44	51.50	2.07	2.58
0.30	10	0.853	31.37	36.79	1.57	1.84
0.40	20	0.801	58.92	73.57	2.95	3.68
0.50	16	0.799	47.02	58.86	2.35	2.94
0.60	16	0.797	46.91	58.86	2.35	2.94
0.70	16	0.795	44.16	55.53	2.21	2.78
0.80	32	0.693	77.01	111.07	3.85	5.55
0.90	20	0.792	54.95	69.42	2.75	3.47
1.00	26	0.740	66.76	90.24	3.34	4.51
1.10	28	0.738	71.72	97.18	3.59	4.86
1.20	29	0.736	74.11	100.66	3.71	5.03
1.30	49	0.635	107.92	170.07	5.40	8.50
1.40	50	0.633	109.83	173.54	5.49	8.68

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 1

### TERRENI COESIVI

#### Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	37	1.40	Terzaghi-Peck	2.50

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	37	1.40	Stroud e Butler (1975)	169.76

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 2	37	1.40	Apollonia	370.00

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 2	37	1.40	Classificaz. A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	37	1.40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	1.73



### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 2	37	1.40	Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967	2.08

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	11	1.20	11	Gibbs & Holtz 1957	40.99
Strato 2	37	1.40	37	Gibbs & Holtz 1957	68.6

#### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	11	1.20	11	Peck-Hanson-Thornburn-Meyershof 1956	30.14
Strato 2	37	1.40	37	Peck-Hanson-Thornburn-Meyershof 1956	37.57

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	11	1.20	11	Schultze-Menzelbach (Sabbia ghiaiosa)	130.50
Strato 2	37	1.40	37	Schultze-Menzelbach (Sabbia ghiaiosa)	437.30

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	11	1.20	11	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	50.06
Strato 2	37	1.40	37	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	103.46

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	11	1.20	11	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	37	1.40	37	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	11	1.20	11	Meyerhof ed altri	1.76



Strato 2	37	1.40	37	Meyerhof ed altri	2.19
----------	----	------	----	-------------------	------

#### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	11	1.20	11	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
Strato 2	37	1.40	37	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

#### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	11	1.20	11	(A.G.I.)	0.33
Strato 2	37	1.40	37	(A.G.I.)	0.28

#### Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	11	1.20	11	Ohsaki (Sabbie pulite)	619.19
Strato 2	37	1.40	37	Ohsaki (Sabbie pulite)	1936.52

#### Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 1	11	1.20	11	Navfac 1971-1982	2.31
Strato 2	37	1.40	37	Navfac 1971-1982	6.52



## PROVA DIN 2

Strumento utilizzato... Deep Drill DM30 10cmq  
 Prova eseguita in data 02/05/2022  
 Profondità prova 1.80 mt  
 Falda non rilevata  
 Prova interrotta a rifiuto

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> )
0.10	8	0.857	25.21	29.43	1.26	1.47
0.20	19	0.805	56.24	69.90	2.81	3.49
0.30	21	0.753	58.15	77.25	2.91	3.86
0.40	23	0.751	63.52	84.61	3.18	4.23
0.50	14	0.799	41.14	51.50	2.06	2.58
0.60	18	0.797	52.78	66.22	2.64	3.31
0.70	41	0.645	91.81	142.31	4.59	7.12
0.80	43	0.643	96.02	149.25	4.80	7.46
0.90	37	0.692	88.81	128.42	4.44	6.42
1.00	38	0.690	90.97	131.89	4.55	6.59
1.10	37	0.688	88.35	128.42	4.42	6.42
1.20	26	0.736	66.44	90.24	3.32	4.51
1.30	10	0.835	28.97	34.71	1.45	1.74
1.40	14	0.783	38.04	48.59	1.90	2.43
1.50	38	0.681	89.85	131.89	4.49	6.59
1.60	65	0.630	142.03	225.61	7.10	11.28
1.70	68	0.628	140.28	223.40	7.01	11.17
1.80	68	0.626	139.92	223.40	7.00	11.17

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 2

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	9	0.60	9	Gibbs & Holtz 1957	37.89
Strato 2	28	1.10	28	Gibbs & Holtz 1957	62.86
Strato 3	10	1.40	10	Gibbs & Holtz 1957	36.08
Strato 4	36	1.80	36	Gibbs & Holtz 1957	65.88

#### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	9	0.60	9	Peck-Hanson-Thornburn-Meyershof 1956	29.57
Strato 2	28	1.10	28	Peck-Hanson-Thornburn-Meyershof 1956	35



Strato 3	10	1.40	10	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29.86
Strato 4	36	1.80	36	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	37.29

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9	0.60	9	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	106.90
Strato 2	28	1.10	28	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	331.10
Strato 3	10	1.40	10	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	118.70
Strato 4	36	1.80	36	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	425.50

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9	0.60	9	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	45.95
Strato 2	28	1.10	28	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	84.98
Strato 3	10	1.40	10	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	48.00
Strato 4	36	1.80	36	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	101.41

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	9	0.60	9	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	28	1.10	28	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	10	1.40	10	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 4	36	1.80	36	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9	0.60	9	Meyerhof ed altri	1.70
Strato 2	28	1.10	28	Meyerhof ed altri	2.11
Strato 3	10	1.40	10	Meyerhof ed altri	1.73
Strato 4	36	1.80	36	Meyerhof ed altri	2.18



### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	9	0.60	9	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato 2	28	1.10	28	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
Strato 3	10	1.40	10	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
Strato 4	36	1.80	36	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	9	0.60	9	(A.G.I.)	0.34
Strato 2	28	1.10	28	(A.G.I.)	0.3
Strato 3	10	1.40	10	(A.G.I.)	0.33
Strato 4	36	1.80	36	(A.G.I.)	0.28

### Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	9	0.60	9	Ohsaki (Sabbie pulite)	512.74
Strato 2	28	1.10	28	Ohsaki (Sabbie pulite)	1490.19
Strato 3	10	1.40	10	Ohsaki (Sabbie pulite)	566.13
Strato 4	36	1.80	36	Ohsaki (Sabbie pulite)	1887.29

### Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 1	9	0.60	9	Navfac 1971-1982	1.89
Strato 2	28	1.10	28	Navfac 1971-1982	5.33
Strato 3	10	1.40	10	Navfac 1971-1982	2.10
Strato 4	36	1.80	36	Navfac 1971-1982	6.40



### PROVA DIN 3

Strumento utilizzato...

Deep Drill DM30 10cmq

Prova eseguita in data

02/05/2022

Profondità prova

1.70 mt

Falda non rilevata

Prova interrotta a rifiuto

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> )
0.10	23	0.757	64.02	84.61	3.20	4.23
0.20	45	0.655	108.37	165.54	5.42	8.28
0.30	39	0.653	93.64	143.47	4.68	7.17
0.40	36	0.701	92.81	132.43	4.64	6.62
0.50	38	0.699	97.70	139.79	4.88	6.99
0.60	45	0.647	107.11	165.54	5.36	8.28
0.70	56	0.645	125.40	194.37	6.27	9.72
0.80	48	0.643	107.18	166.60	5.36	8.33
0.90	51	0.642	113.56	177.02	5.68	8.85
1.00	35	0.690	83.79	121.48	4.19	6.07
1.10	27	0.738	69.16	93.71	3.46	4.69
1.20	26	0.736	66.44	90.24	3.32	4.51
1.30	37	0.685	87.91	128.42	4.40	6.42
1.40	45	0.633	98.85	156.19	4.94	7.81
1.50	38	0.681	89.85	131.89	4.49	6.59
1.60	55	0.630	120.18	190.90	6.01	9.54
1.70	94	0.628	193.91	308.82	9.70	15.44

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DIN 3

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	24	0.90	24	Gibbs & Holtz 1957	60.46
Strato 2	20	1.20	20	Gibbs & Holtz 1957	52.5
Strato 3	30	1.60	30	Gibbs & Holtz 1957	61.25
Strato 4	70	1.70	70	Gibbs & Holtz 1957	84.77

##### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	24	0.90	24	Peck-Hanson-Thornburn-Meyershof 1956	33.86
Strato 2	20	1.20	20	Peck-Hanson-Thornburn-Meyershof 1956	32.71
Strato 3	30	1.60	30	Peck-Hanson-Thornburn-	35.57



				Meyerhof 1956	
Strato 4	70	1.70	70	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	47

#### Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	24	0.90	24	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	283.90
Strato 2	20	1.20	20	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	236.70
Strato 3	30	1.60	30	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	354.70
Strato 4	70	1.70	70	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	826.70

#### Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	24	0.90	24	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	76.76
Strato 2	20	1.20	20	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	68.55
Strato 3	30	1.60	30	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	89.09
Strato 4	70	1.70	70	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	171.25

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	24	0.90	24	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 2	20	1.20	20	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	30	1.60	30	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 4	70	1.70	70	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	24	0.90	24	Meyerhof ed altri	2.06
Strato 2	20	1.20	20	Meyerhof ed altri	1.99
Strato 3	30	1.60	30	Meyerhof ed altri	2.14
Strato 4	70	1.70	70	Meyerhof ed altri	2.40



### Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	24	0.90	24	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.47
Strato 2	20	1.20	20	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.39
Strato 3	30	1.60	30	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50
Strato 4	70	1.70	70	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.50

### Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	24	0.90	24	(A.G.I.)	0.31
Strato 2	20	1.20	20	(A.G.I.)	0.31
Strato 3	30	1.60	30	(A.G.I.)	0.29
Strato 4	70	1.70	70	(A.G.I.)	0.21

### Modulo di deformazione a taglio dinamico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	24	0.90	24	Ohsaki (Sabbie pulite)	1289.18
Strato 2	20	1.20	20	Ohsaki (Sabbie pulite)	1086.13
Strato 3	30	1.60	30	Ohsaki (Sabbie pulite)	1590.04
Strato 4	70	1.70	70	Ohsaki (Sabbie pulite)	3526.19

### Modulo di reazione Ko

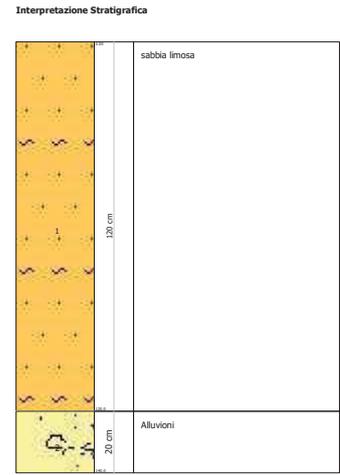
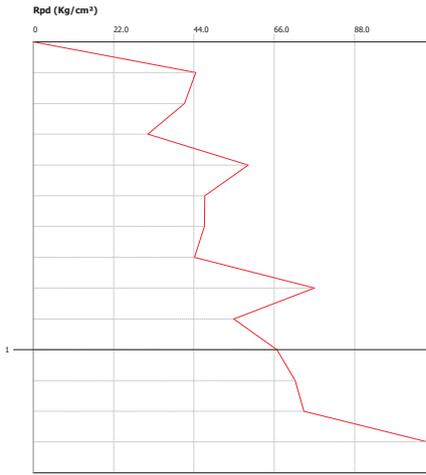
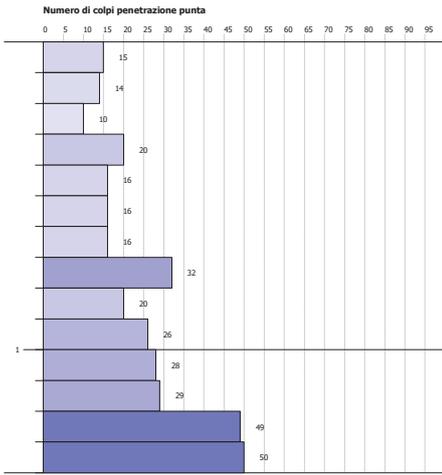
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>3</sup> )
Strato 1	24	0.90	24	Navfac 1971-1982	4.72
Strato 2	20	1.20	20	Navfac 1971-1982	4.05
Strato 3	30	1.60	30	Navfac 1971-1982	5.61
Strato 4	70	1.70	70	Navfac 1971-1982	11.93

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN I  
STRUMENTO UTILIZZATO... DEEP DRILL DM30 10CHq

Committente: Dott. geol. Alessandro Forci  
Cantiere: Impianto fotovoltaico  
Località: Pabillonis - loc. Pranu Murdegu

Data: 02/05/2022

Scala 1:25

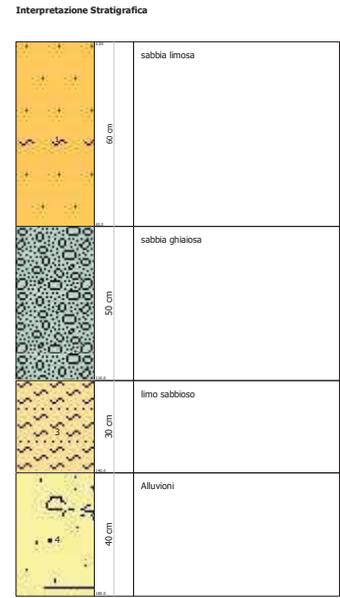
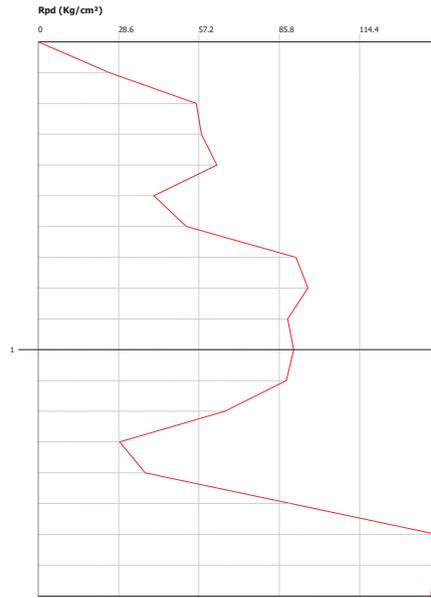
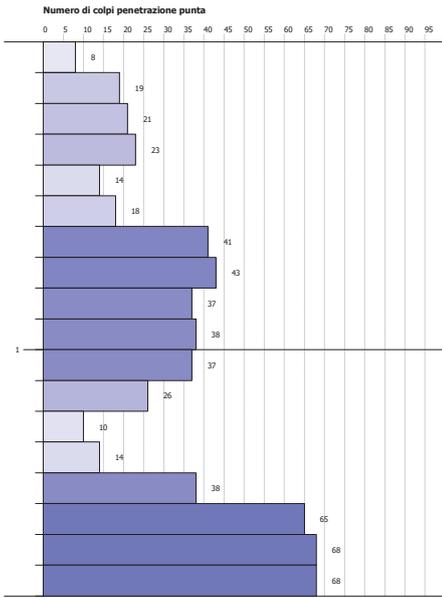


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 2  
 STRUMENTO UTILIZZATO... DEEP DRILL DM30 I0Chq

Committente: Dott. geol. Alessandro Forci  
 Cantiere: Impianto fotovoltaico  
 Località: Pabillonis - loc. Pranu Murdegu

Data: 02/05/2022

Scala 1:25

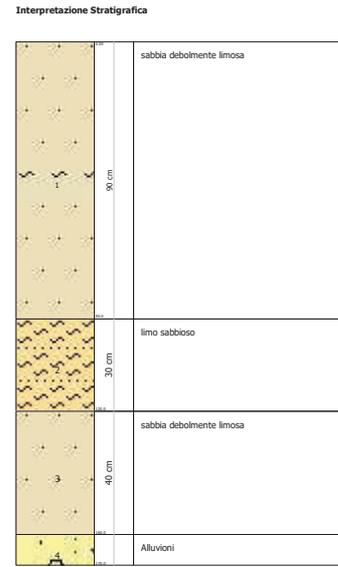
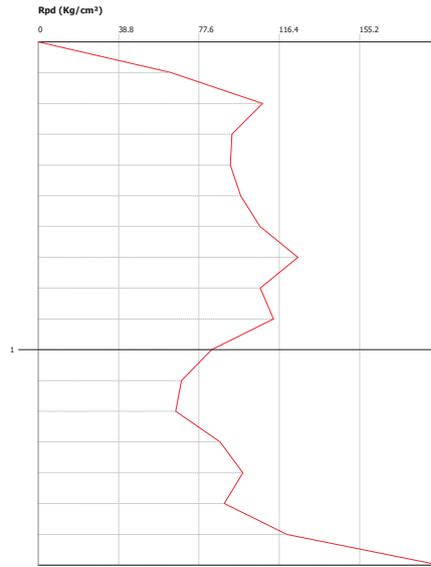
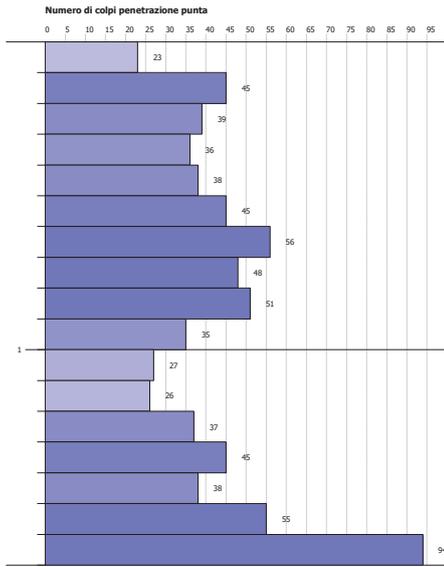


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIN 3  
 STRUMENTO UTILIZZATO... DEEP DRILL DM30 10CHq

Committente: Dott. geol. Alessandro Forci  
 Cantiere: Impianto fotovoltaico  
 Località: Pabillonis - loc. Pranu Murdegu

Data: 02/05/2022

Scala 1:25





# COMUNE DI PABILLONIS

Provincia del Sud Sardegna

## PROSPEZIONI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO



<b>GEOL. GIAMBATTISTA CADAU</b> <i>Via Berlinguer 8</i> <b>08023 FONNI (NU)</b>		
Titolo:  PABILLONIS (SU) – PROGETTAZIONE DI UN PARCO FOTOVOLTAICO A TERRA		
Oggetto:  INDAGINI GEOFISICHE		Tav.:
Il Professionista incaricato  GEOL. GIAMBATTISTA. CADAU	Committente:  DOTT. GEOL. ALESSANDRO FORCI	Scala: varie  Date: maggio 2022

## **INDICE**

---

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>PROSPEZIONI SISMICHE ONDE P .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>INTERPRETAZIONE SISMICA A RIFRAZIONE N°1 .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>INTERPRETAZIONE SISMICA A RIFRAZIONE N°2 .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>MASW.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>METODOLOGIA DI INDAGINE.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>ELABORAZIONE DATI.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>PARAMETRI CORRELATI .....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>26</b>

# INDAGINI GEOFISICHE

## 1 PREMESSA

La presente relazione, commissionata dal dott. Geol. Alessandro FORCI, illustra i risultati di due prospezioni geofisiche eseguite nell'ambito della "Progettazione di un parco fotovoltaico a terra in loc. Pranu Murdegu nel comune di Pabillonis (Su)".

Le indagini sismiche, di tipologia differente (a rifrazione e MASW), hanno avuto come finalità la determinazione della categoria sismica di suolo e delle caratteristiche stratigrafiche del sito.

La sismica a rifrazione definisce l'andamento delle velocità sismiche delle onde P con la profondità fornendo informazioni importanti sui cambiamenti litologici e meccanici dei terreni e sulle variazioni degli spessori delle coltri superficiali allentate.

La MASW definisce l'andamento lungo la verticale della velocità delle onde di taglio Vs, utile non solo per la definizione delle caratteristiche di amplificazione sismica del sito ma anche per valutazioni di tipo stratigrafico viste le buone correlazioni esistenti, anche dal punto di vista di alcuni parametri deformativi, con le Vs.



In rosso la localizzazione su aerofotogrammetrico delle aree di indagine

Localizzazione di dettaglio delle indagini in allegato.

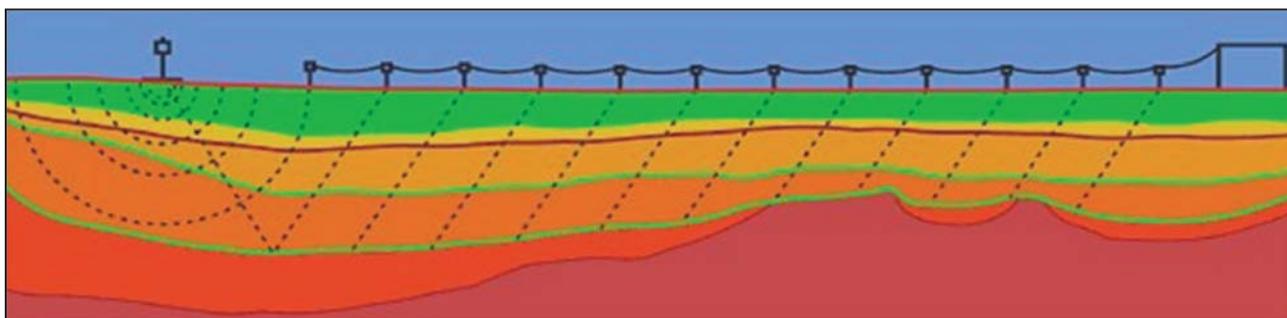
## 2 Prospezioni sismiche onde P

La prospezione sismica a rifrazione ad onde P ha avuto finalità quella di definire l'andamento delle velocità  $V_p$  nel sottosuolo.

L'esecuzione di indagini sismiche ha lo scopo di ottenere informazioni sulle caratteristiche elastiche e sul comportamento fisico-meccanico dei corpi geologici investigati, attraverso la determinazione dei relativi parametri, ed informazioni di tipo geologico sui caratteri strutturali e stratigrafici del volume del sottosuolo indagato.

Si tratta di uno dei metodi attualmente più utilizzati per l'esplorazione in profondità del sottosuolo e consiste nel creare delle onde artificiali nel terreno (energizzazione) battendo una piastra poggiata a terra con una mazza. Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche sfruttano le proprietà dei terreni di farsi attraversare dalle onde sismiche a diversa velocità; questa dipende da molti fattori, quali la natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fratturazione, la porosità, il contenuto in acqua o in gas, ecc..

Le indagini sismiche sono utilizzate per scopi geotecnici, per ricerche minerarie e anche per dare un valore del grado di scavabilità del terreno e i risultati devono preferibilmente correlati con indagini di tipo diretto.



Rappresentazione schematica del principio di funzionamento della prospezione sismica a rifrazione

La sismica a rifrazione fornisce risultati leggibili e interpretabili quando le formazioni litologiche hanno caratteristiche elastiche crescenti con la profondità, mentre non dà indicazioni stratigrafiche quando con l'aumentare della profondità vi sono formazioni con caratteristiche elastiche inferiori (formazione fantasma). Questo limite dell'indagine viene superato con i modelli di inversione tomografica utilizzati nel presente lavoro.

La prospezione è stata realizzata con lo scopo di differenziare, in funzione della diversa velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali (onde "P") i terreni arenacei da quelli argillosi. Come si vedrà successivamente il limite della tomografia ad onde P dal punto di vista dell'interpretazione stratigrafica è

dovuto alla presenza della falda, fattore che contribuisce all'aumento della velocità delle onde di compressione.

La **strumentazione** utilizzata è costituita da un Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.) con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2, l'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche ASTM D5777-00 (2006) (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation); l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 10 kg con starter su piattello di battuta in alluminio).

**Caratteristiche tecniche**

1 to 24 channels per unit

Weatherproof enclosure

**A/D conversion:**

24 bit high-speed sigma delta converters

**Dynamic Range:**

144dB (system)

Greater than 118 dB (measured at 2msec)

**Bandwidth:**

DC to 15 KHz

Analog filter flat response to 8000Hz

Digital filter bandwidth=85% of Nyquist frequency

**Common Mode Rejection:**

Greater than 100 dB

Crosstalk:

Better than 125 dB

**Noise Floor:**

0.2 microvolt RMS noise (2msec sample rate)

**Trigger accuracy:**

+/- 1microsecond at all sample rates

**Maximum Input Signal:**

Standard (x 2 gain) 3.58 Volts peak to peak

(optional: (x 1 gain) 7.16 Volts peak to peak

**Input Impedance:**

100 K Ohms

**Preamplifier Gains:**

X2 (6dB) and x32 (30 dB) standard; software selectable

(x1 (0 dB) and x16 (24 dB) available on special request)



**Anti-alias Filters:**

85% of Nyquist frequency

**Digital Filters:**

Low Cut – User Selectable frequency

Notch – 50 or 60 Hz standard; User Selectable

High Cut - User Selectable

**Sample Interval:**

0.0208, 0.0625, 0.125, 0.250, 0.500, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00 millisecond

**Sample Frequency:**

48000, 16000, 8000, 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125, 62.5 sample/second

Per la ricezione delle onde longitudinali (P), durante l'indagine di tomografia sismica, sono stati usati geofoni verticali Geospace (U.S.A.) a corto periodo (14 Hz). Per l'elaborazione e l'interpretazione tomografica è stato utilizzato il programma "Rayfract" sviluppato dalla Intelligent Resources Inc. (Canada), che utilizza come modello di calcolo il WET Tomography processing.



La prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura del tempo impiegato dalla perturbazione elastica indotta nel terreno, a percorrere la distanza tra sorgente e geofoni. La velocità di propagazione dell'onda longitudinale rifratta dipende dalle caratteristiche elastiche e dalla conformazione dei terreni attraversati. Ne risulta che la relazione velocità dell'onda e distanza sorgente – geofono (dromocrona) consente, applicando degli algoritmi, di risalire agli spessori degli strati del sottosuolo con caratteristiche elastiche differenti e crescenti con l'aumentare della profondità.

Le procedure di inversione rientranti nella famiglia delle tomografie sono volte a fornire un'immagine dettagliata della distribuzione all'interno della terra di un parametro fisico riconducibile alle misure effettuate. Nel caso della tomografia sismica si otterrà un'immagine relativa alla velocità delle onde sismiche.

L'esecuzione della prova sismica è simile alla metodologia impiegata per la sismica a rifrazione. La differenza è nel numero di battute necessarie; infatti per risolvere i complicati calcoli iterativi che sono nascosti dietro il metodo tomografico è necessario compiere almeno una battuta ogni 6 geofoni, a differenza della sismica a rifrazione che al limite consente addirittura l'interpretazione con una sola battuta.

È comunque un'indagine indiretta non invasiva e veloce da eseguire, per cui è adatta per le prime fasi di progettazione per definire le caratteristiche del problema geotecnico.

La tomografia sismica consente di ottenere un'immagine dettagliata del sottosuolo superando in parte i limiti della sismica a rifrazione tradizionale. Quest'ultima tecnica, infatti, non consente di individuare forti variazioni laterali di velocità, risente in modo catastrofico delle inversioni di velocità, la presenza di gradini viene male interpretata. La tomografia sismica consente di superare questi problemi.

Si presta a individuare i sistemi di fratture nel substrato, a individuare la presenza di oggetti sepolti (cunicoli, fondazioni, vasche), a delimitare il volume dei corpi di frana o di discariche e naturalmente a definire la profondità del compatto o del bedrock.

Ovviamente è necessario che esista una differenza di velocità tra l'oggetto della ricerca e ciò che lo circonda.

**Confronto shot break primi arrivi e dromocrone** - Il software Rayfract è basato sul modello di calcolo WET (Wavepath eikonal travelttime) che consente di ottenere sezioni tomografiche ad alta risoluzione in terreni topograficamente irregolari e substrati con morfologia complessa caratterizzati da variazioni laterali di velocità.

Il WET Tomography inversion è un modello di calcolo che consente di ricostruire un modello di velocità del primo sottosuolo ad alta definizione. Il modello di calcolo consente un'ottimizzazione non lineare dei tempi di arrivo dei travel-time delle onde sismiche dirette e rifratte registrate.

Il processo di calcolo è basato sull'elaborazioni e sviluppo delle seguenti fasi:

- Ricostruzione del gradiente di velocità (stratigrafie di velocità sismica) attraverso la tecnica di inversione Delta-t-V, con la quale si ottengono dei profili 1D "profondità-velocità" dai dati di travel-time. La tecnica di inversione Delta-t-V permette di ricostruire con cadenza pari alla metà della cadenza dei geofoni (CMP = Common Mid Point) le successioni di velocità compatibili con l'andamento di tutte le possibili dromocrone nei punti intermedi tra punto di tiro e geofono. Dal modello ricostruito come successione di stratigrafie di velocità viene elaborato un modello ad elementi finiti di piccolissime dimensioni che può già rappresentare un attendibile modello del sottosuolo. Tuttavia questo rappresenta una prima approssimazione alla soluzione.

- Elaborazione dell'inversione tomografica, in maniera iterativa, del modello Delta-t-V mediante la tecnica 2D WET (Wavepath Eikonal Traveltime). La teoria in proposito basa i modelli tomografici sulla modellizzazione del percorso di un fascio di raggi per ogni primo arrivo, contrariamente a quanto previsto con la tomografia convenzionale basata sulla modellizzazione del percorso di un raggio sismico per ogni primo arrivo. In pratica si effettua il calcolo delle differenze dei tempi di arrivo dai vari punti di tiro ai vari geofoni, tra i valori sperimentali misurati nei sismogrammi ed i tempi calcolati sul modello di partenza. In base alle differenze riscontrate, per ciascun percorso delle onde sismiche, si apportano modifiche, in aumento o in diminuzione, delle velocità che caratterizzano i vari elementi che sono stati interessati dal passaggio del fronte d'onda considerato. Ad ogni iterazione, dopo avere apportato le modifiche alle velocità dei vari elementi, il nuovo modello viene sottoposto ad una operazione di smoothing che porta ad una migliore omogeneità dei valori di velocità entro aree di dimensioni maggiori. In genere sono sufficienti da 10 a 20 iterazioni per giungere ad un modello che porta a scarti medi tra i tempi (Traveltime) dei vari percorsi dell'ordine di qualche millisecondo (Schuster & Quintus-Bosz,1999).

I risultati vengono graficamente rappresentati con una sezione in cui le diverse scale cromatiche indicano le diverse velocità delle onde  $V_p$  misurate, con una certa soluzione di continuità, differentemente dalla rappresentazione con il metodo GRM, dove gli stacchi tra un sismostrato e l'altro sono bruschi e repentini.

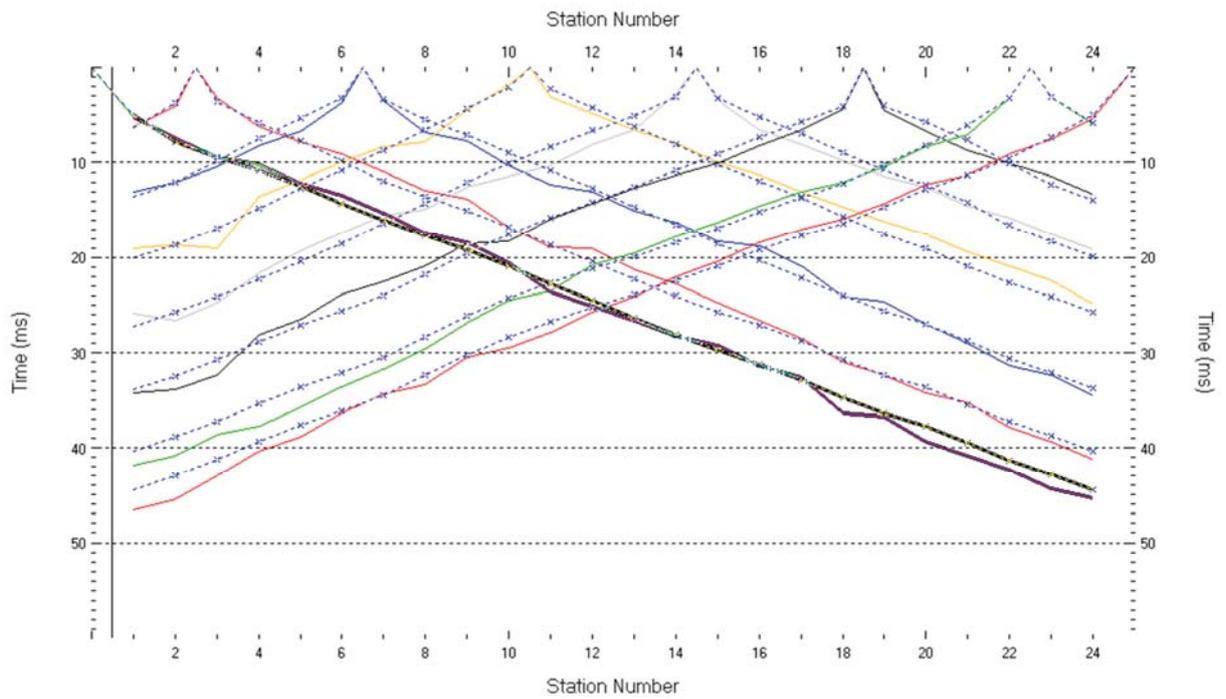
**Descrizione stendimenti** – Son stati eseguiti n°2 prospezioni sismiche a rifrazione per la misurazione della velocità delle onde P, con stendimenti disposti secondo la direzione NE-SW, progressione numerica dei geofoni da NE (G1) verso SW (G24). L'andamento altimetrico in entrambi i casi è suborizzontale.

Gli stendimenti sismici sono stati eseguiti secondo lo stesso schema geometrico, numero di geofoni pari a 24, equidistanti 2,0 metri, lunghezza complessiva 46 m; punti di energizzazione pari a 8, posizionati in maniera identica, 6 interni e 2 esterni allo stendimento, distribuiti simmetricamente rispetto al centro dello stendimento. Lo schema degli stendimenti è di seguito illustrato.



Gli scoppi sono stati realizzati attraverso massa battente.

I dati ottenuti in campagna e sopra indicati hanno permesso, attraverso l'elaborazione delle dromocrone e l'individuazione dei primi arrivi, la costruzione di un modello tomografico con velocità generalmente crescenti con l'aumentare della profondità.



*Andamento delle dromocroni nello stendimento n°1*

Nella localizzazione delle prove è individuata la lunghezza degli stendimenti e la posizione dei geofoni esterni (indicati come G1 sul lato dell'inizio dello stendimento e G24 sul lato opposto dello stendimento).

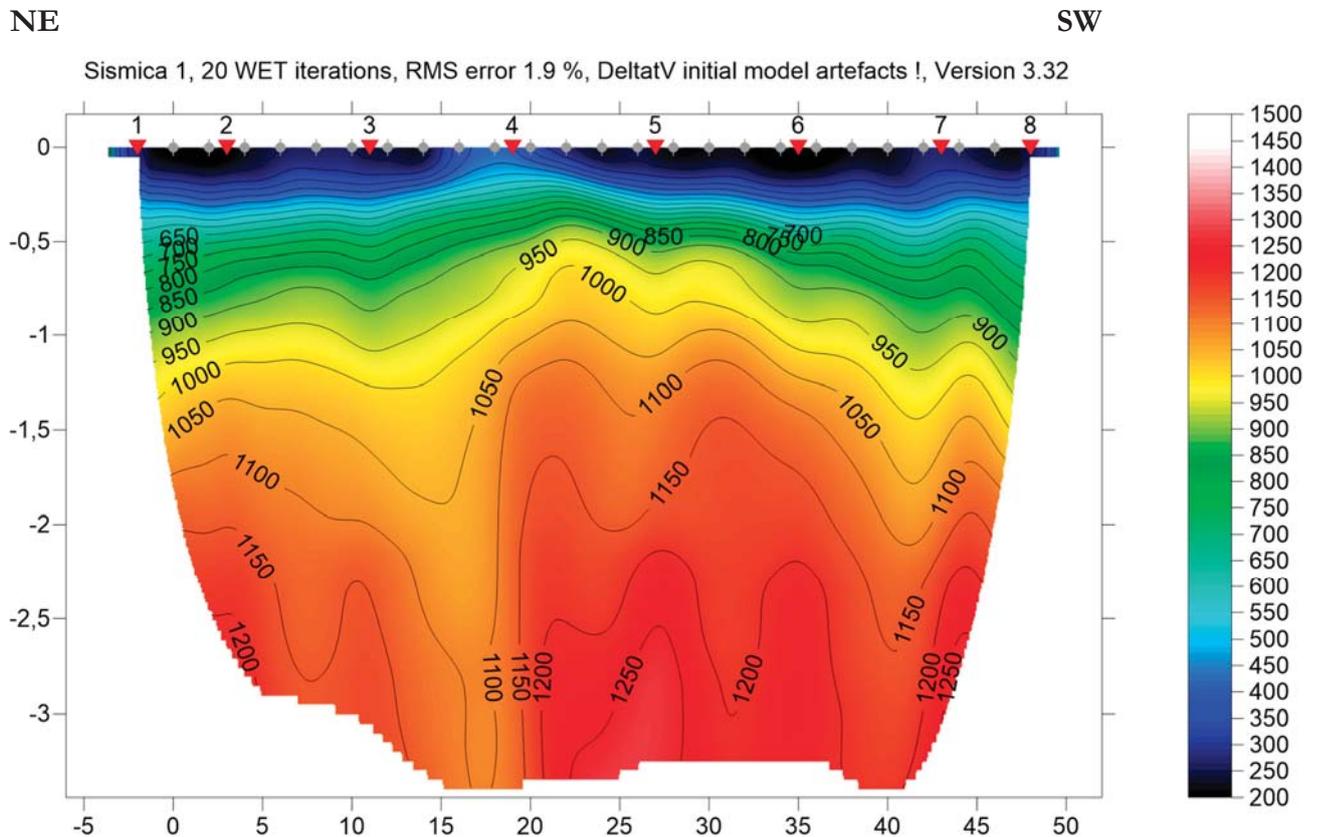
L'andamento altimetrico dei geofoni lungo lo stendimento è pressoché suborizzontale, praticamente ininfluenti sull'elaborazione dei dati le piccole correzioni topografiche.

## 2.1 INTERPRETAZIONE SISMICA A RIFRAZIONE N°1

L'elaborazione dei dati ha messo in evidenza la presenza di due sismostrati con differenti velocità delle onde P. Il primo sismostrato, spesso tra 1.0 m e 1.5 , presenta velocità delle onde di compressione inferiori a 1.000 m/s e, sebbene con qualche disomogeneità, è presente in tutto il tratto indagato. Questo sismostrato è verosimilmente identificabile con il suolo superficiale.

Il secondo sismostrato, dalle discrete caratteristiche elastiche, presenta valori di Vp molto elevati, superiori a 1.000 m/sec.

L'interpretazione stratigrafica identifica nelle alluvioni antiche, cementate e molto addensate, la formazione con alte velocità di Vp.



## 2.2 INTERPRETAZIONE SISMICA A RIFRAZIONE N°2

L'elaborazione dei dati ha messo in evidenza la presenza di tre sismostrati con differenti velocità delle onde P. Il primo sismostrato, spesso circa 0.5 m, presenta velocità delle onde di compressione inferiori a 850 m/s e costituisce la parte più allentata, verosimilmente quella collegata all'aratura del terreno.

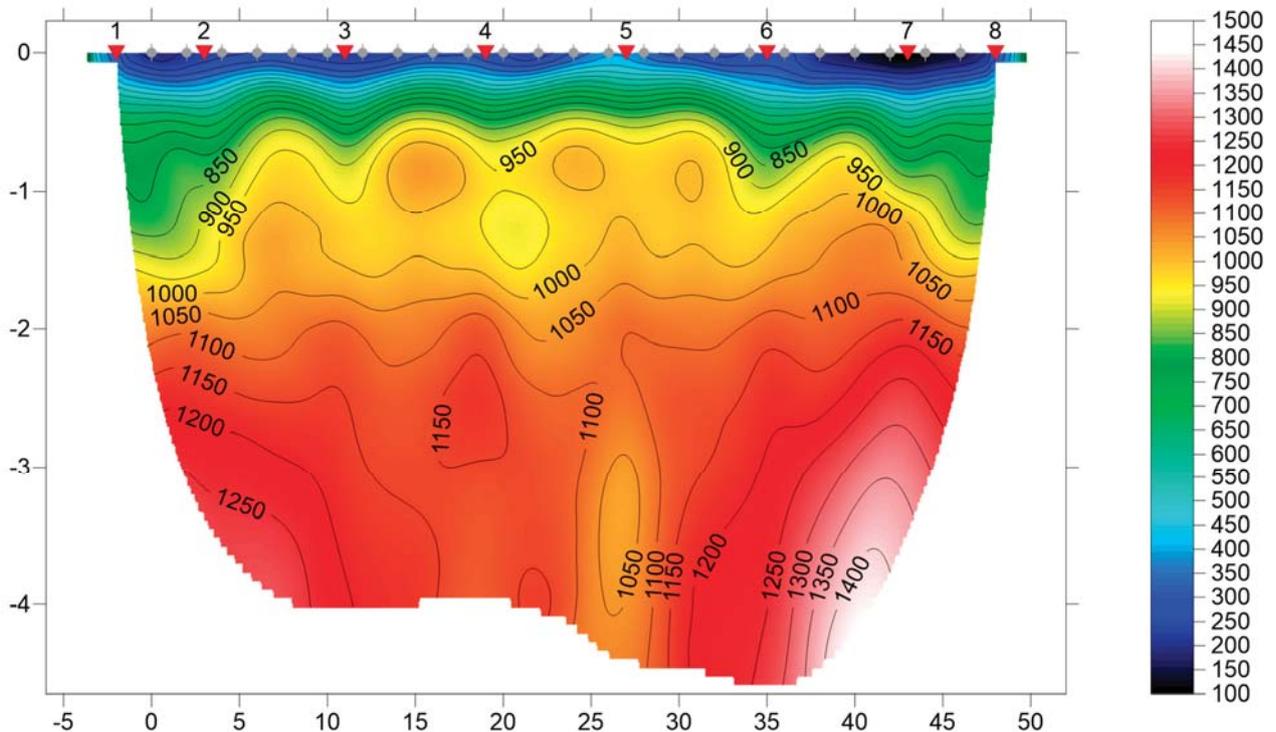
Il secondo sismostrato, poco evidente nella sezione sismica n°1, mostra velocità comprese tra 850 m/s e 1.000 m/s. La profondità massima è attorno 1.8 m. Si tratta di velocità già elevate che evidenziano il forte addensamento di questo sismostrato intermedio.

Il terzo sismostrato presenta  $V_p > 1.000$  m/s, con massimi elaborati attorno a 1300-1400 m/s, segno delle discrete caratteristiche elastiche della formazione. Come nel caso della Sezione sismica n°1 l'interpretazione stratigrafica identifica nelle alluvioni antiche, cementate e molto addensate, la formazione con simili velocità di  $V_p$ .

NE

SW

Sismica 2, 20 WET iterations, RMS error 2.1 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.32



### 3 MASW

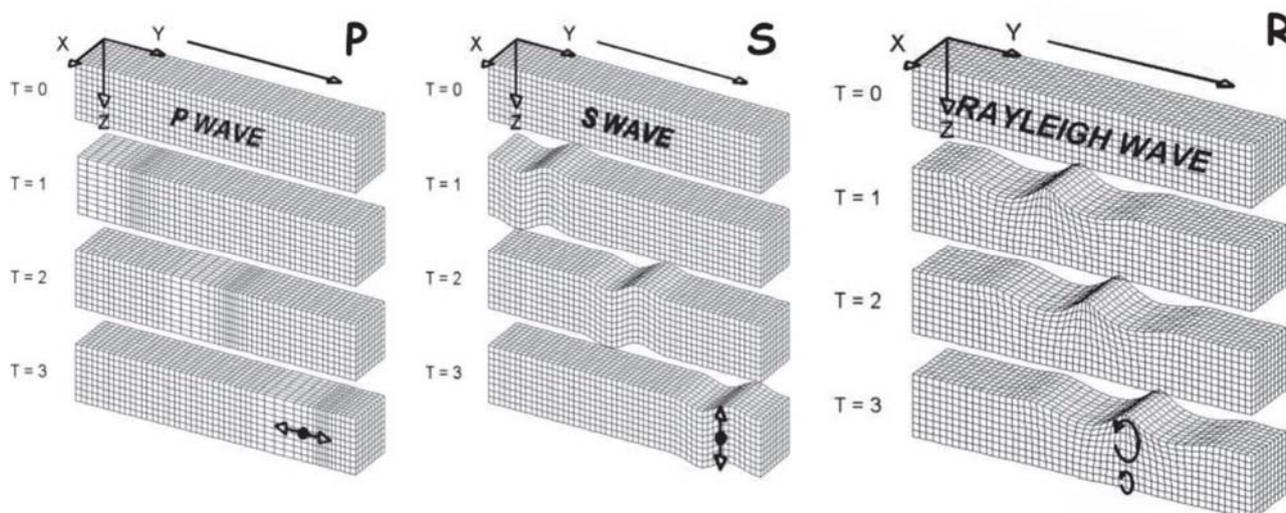
L'indagine eseguita mediante il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) ha avuto come fine la classificazione del sito in esame ai sensi della OPCM 3274 e delle Norme Tecniche (D.M. 17.01.2018). Realizzata sullo stesso stendimento della sezione sismica a rifrazione n°1, ha avuto come fine la caratterizzazione della risposta sismica dell'area in studio.

#### 3.1 METODOLOGIA DI INDAGINE

Analisi delle onde di superficie secondo il metodo MASW - Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



**Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**



Le onde di Rayleigh, sulla destra, si muovono secondo una componente orizzontale che verticale, contrariamente alle onde P ed S che presentano una sola componente, rispettivamente longitudinale e trasversale

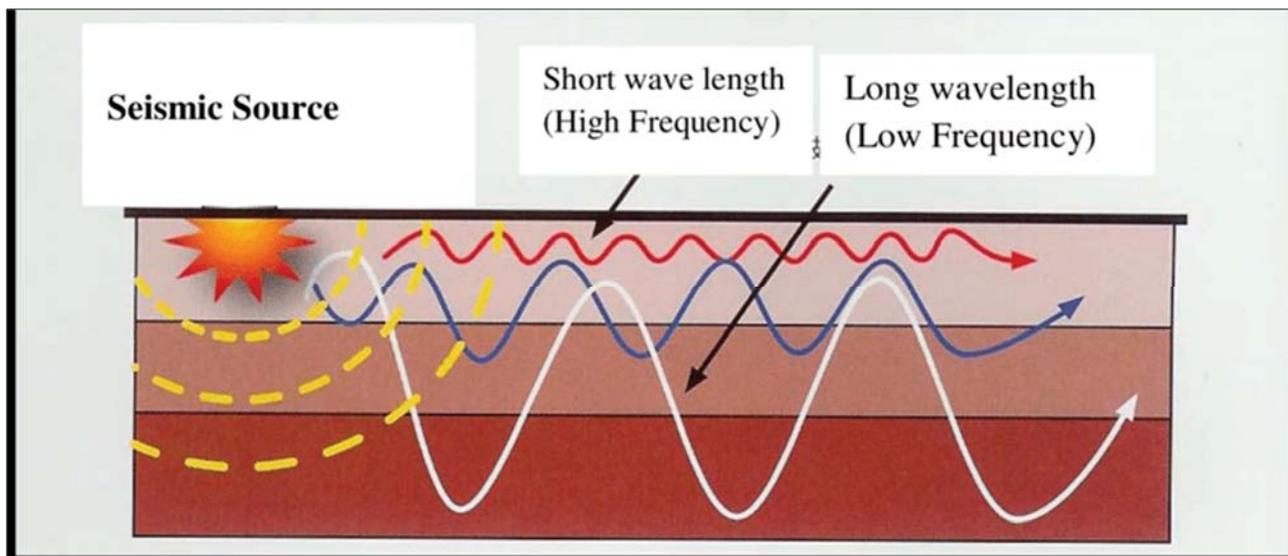
La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_S$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da  $r^{-2}$  e non da  $r$  come per le onde di volume.

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.

Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione, innanzi tutto, della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. del 17/01/2008. Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è l'inverso della lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.



Le onde di Rayleigh si disperdono con lunghezze d'onda differenti a seconda della profondità

La tecnica MASW consente di misurare la velocità delle onde di taglio  $V_s$  sfruttando il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato e di risalire all'andamento delle  $V_s$  lungo la verticale.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

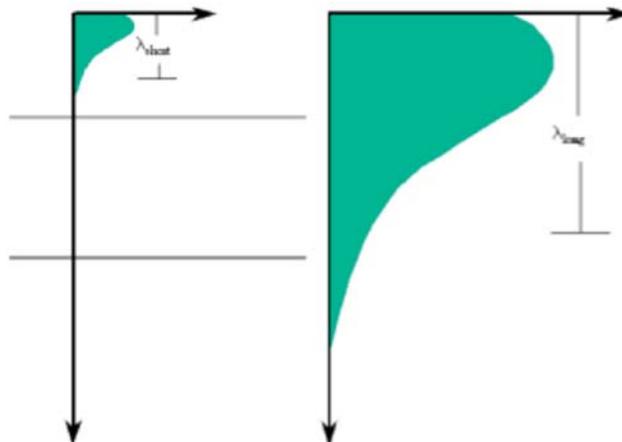
Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

L'ampiezza delle onde superficiali diminuisce esponenzialmente con la profondità. In realtà la rapidità di questa attenuazione dipende dalla lunghezza d'onda associata.

In particolare, all'aumentare della lunghezza d'onda  $\lambda$ , aumenta la profondità della parte interessata dalla perturbazione; la lunghezza d'onda è legata al periodo  $T$  o se si preferisce alla frequenza  $f$  dell'onda mediante la relazione

$$\lambda = v_r \times T = v_r / f$$

Quindi, a parità di velocità di fase ( $v_r$ ), la profondità cresce all'aumentare del periodo e al diminuire della frequenza. In pratica, al crescere del periodo, aumenta la sensibilità dell'onda a caratteristiche del terreno sempre più profonde.



Quindi, la massima profondità di esplorazione dipende dalla massima lunghezza d'onda misurabile con lo stendimento di sensori disponibili. Si è riscontrato che le lunghezze d'onda di dimensioni fino al doppio della lunghezza massima dello stendimento sono effettivamente misurabili. Sapendo che la profondità di investigazione è pari a circa 0.5-0.8 della massima lunghezza d'onda misurabile, la profondità in genere raggiungibile è pari alla metà della lunghezza dello stendimento.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $v_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $v_s$ .

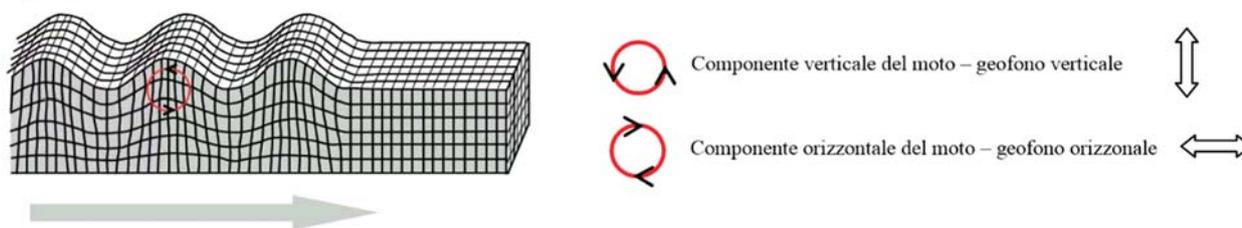
Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5 Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e frequenza più bassa identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di alcuni punti di energizzazione effettuati tipicamente ad una distanza compresa fra 2 m e 20 m dal primo geofono.

L'obiettivo della registrazione è quindi l'individuazione del treno di onde superficiali (Rayleigh), che a causa della stratificazione del mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate alla velocità delle onde di taglio S.

L'acquisizione delle onde di Rayleigh può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel nostro caso), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello).

#### Rayleigh Wave



Modalità esecutiva MASW – La prova è consistita nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde superficiali, e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate, mediante sensori (geofoni) a componente verticale.

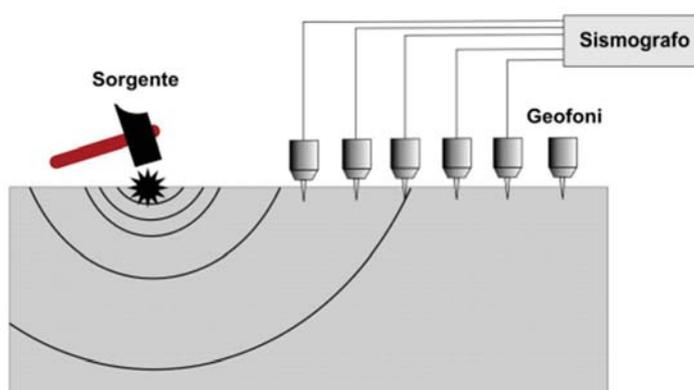
I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e, grazie alla dinamica dello strumento (117 dB di range dinamico), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

#### Schema operativo acquisizione MASW -

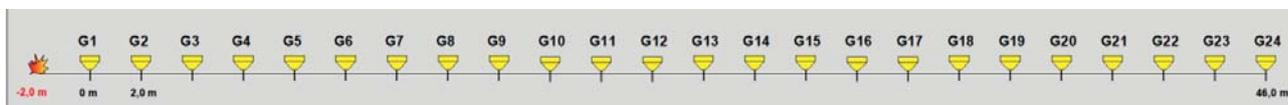
Lo stendimento sismico è stato posizionato all'interno dello scavo cantiere.

La geometria dello stendimento ha adottato la seguente configurazione:

- N° geofoni: 24 con frequenza propria di risonanza 4,5 Hz;
- Distanza intergeofonica: 2,0 m, per complessivi 46 m di stendimento;



- Offset di battuta: battuta disposta a -2,0 m dal primo geofono.



Schema stendimento sismico

Per quanto riguarda l'acquisizione sono state utilizzate le seguenti impostazioni:

Tempo di acquisizione: 1.0 s;

Frequenza di campionamento: 1000 Hz;

Periodo di campionamento: 1.0 ms.

I dati acquisiti in campagna sono stati, quindi, elaborati ed è stato possibile ricostruire un modello attendibile  $V_s$ /profondità. Il metodo di investigazione MASW è detto "attivo" in quanto la generazione di onde sismiche si effettua artificialmente a mezzo di idonea massa battente, fucile sismico o altro. Il punto di energizzazione è posto lungo l'allineamento dei geofoni ad una certa distanza da un geofono esterno. Con questa procedura si ricostruisce l'assetto sismo-stratigrafico del sottosuolo che si basa sull'analisi delle onde di Rayleigh che si propagano entro un semispazio stratificato.

Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza. Una volta acquisiti i dati sono stati riversati direttamente su p.c. per la successiva elaborazione.

### 3.2 ELABORAZIONE DATI

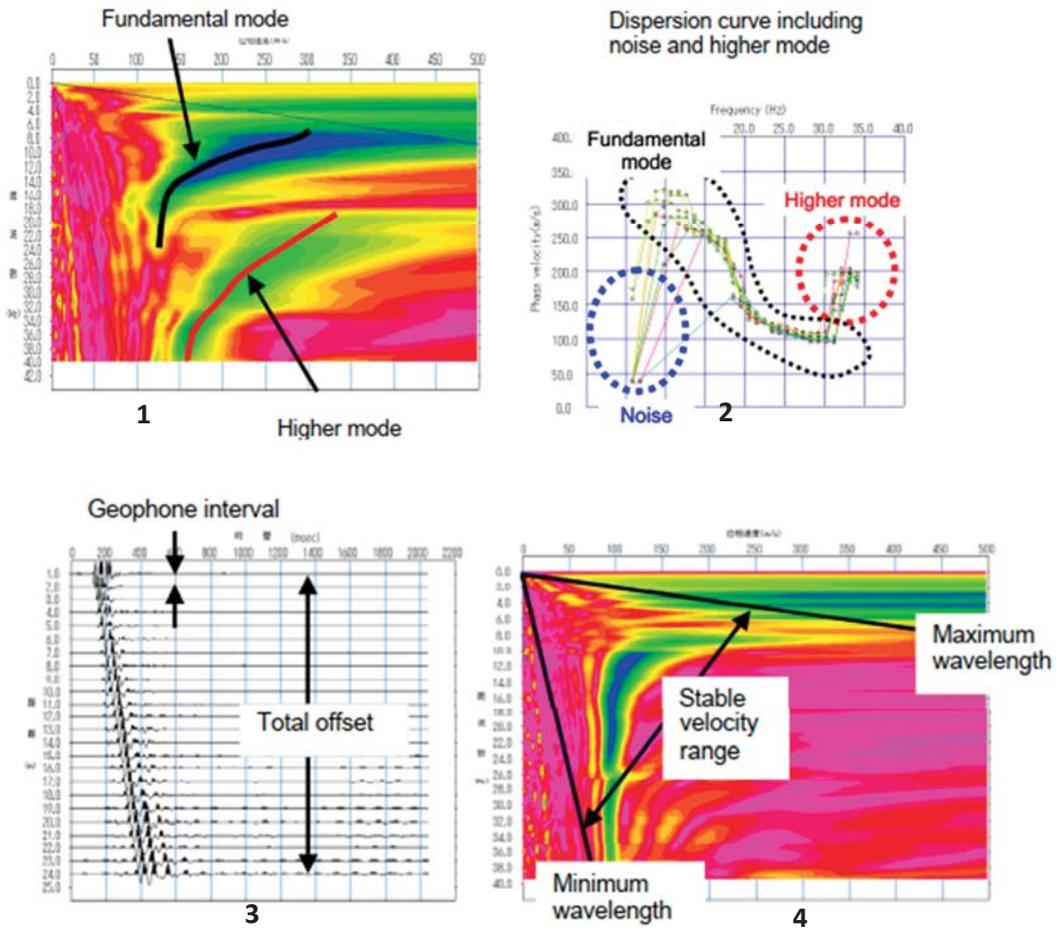
L'elaborazione dei dati è stata fatta una volta definita la curva di dispersione. I dati sono stati processati attraverso il codice SeisImager (Pickwin v. 3.14 WaveEq v. 2.07).

La procedura di elaborazione consiste nell'intervenire e modificare il profilo delle velocità  $V_s$  fino al raggiungimento di un buon accordo fra la curva di dispersione rilevata in sito e la curva simulata numericamente.

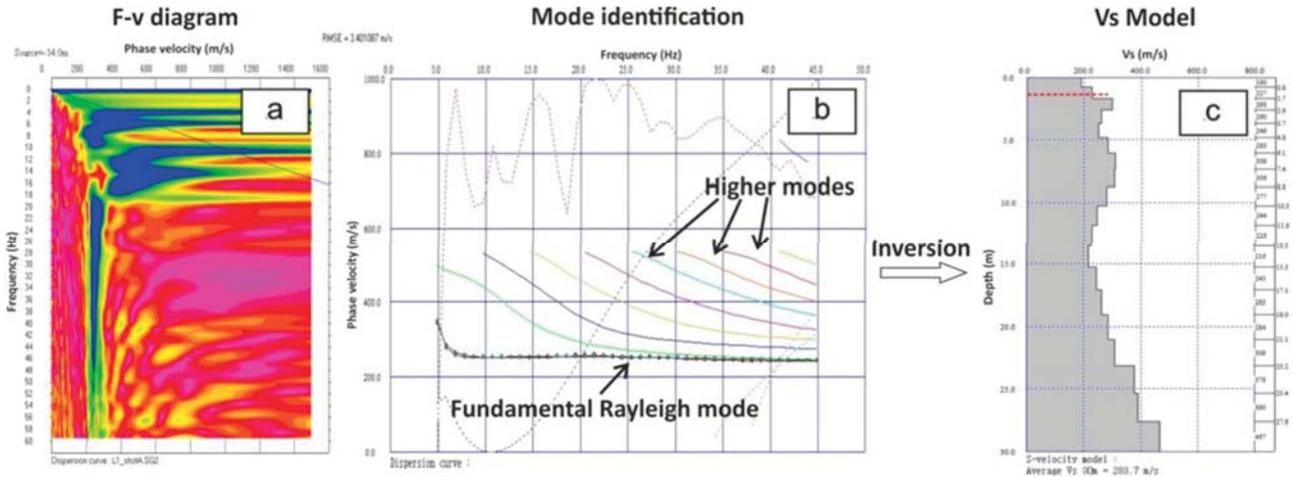
Nel processo di analisi si susseguono le seguenti fasi:

- Acquisizione dei sismogrammi;
- Esportazione del file in formato SEG-2 idoneo all'elaborazione finale;

- Elaborazione dello spettro nel dominio Velocità – N d'onda;
- Calcolo della velocità apparente sperimentale;
- Calcolo della velocità apparente numerica;
- Individuazione del profilo delle velocità delle onde Vs;
- Calcolo della Vs, eq.



La gamma di frequenza entro la quale la velocità di fase è considerata stabile corrisponde all'intervallo del ricevitore o geofono e l'offset totale per i rilevamenti sorgente attivi (e array lunghezza per indagini sulla fonte passiva). L'intervallo del geofono e l'offset totale in generale si riferiscono alla lunghezza d'onda della metà, il che significa che la lunghezza d'onda minima campionata per qualsiasi dato rilevamento è circa due volte l'intervallo del geofono e il massimo della lunghezza d'onda campionata è circa due volte l'offset totale. I valori di dispersione appartenenti a disturbi a bassa frequenza e ai modi superiori sono stati esclusi dall'interpretazione del profilo di velocità.



La gamma di frequenza è rappresentata sul grafico della velocità di fase da linee nere (mostrate alla pagina precedente nel grafico 4) con pendenze che corrispondono alle lunghezze d'onda minima e massima. La curva di dispersione si presenta interpretabile sino a frequenze di circa 40-50 Hz.

### 3.3 CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del DM 17 gennaio 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS.

L'elaborazione ha permesso di classificare il sottosuolo in base ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs; la presenza di suoli moderatamente rigidi con Vs attorno ai 400 m/s circa ha determinato una categoria sismica di tipo B.

Il bedrock sismico non è stato intercettato entro i 30 m di profondità determinando una amplificazione stratigrafica tipica di un suolo di categoria B. Di seguito si riporta la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenute con il metodo MASW, e quella del modello che ne deriva previa inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni con passo intergeofonico pari a 2,0 m. La sorgente di energizzazione è stata posizionata a 2,0 m dal geofono G1, sul lato nord orientale dello stendimento. La Vs,eq ricavabile dalla formula:

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

con:

- $h_i$  spessore dello strato  $i$ -esimo;
- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, dal piano di fondazione, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s (bedrock sismico non necessariamente coincidente col substrato o basamento geologico)

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

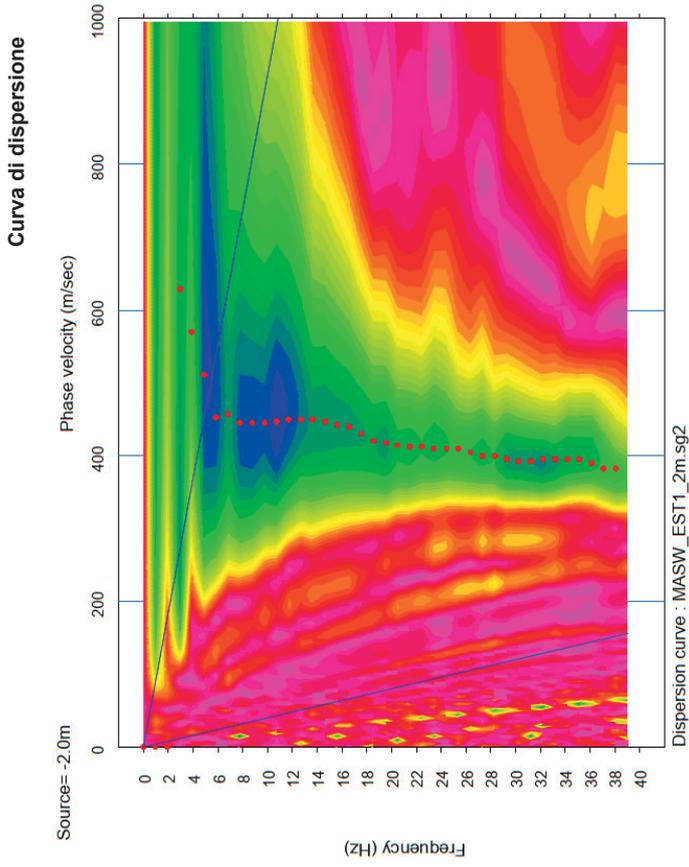
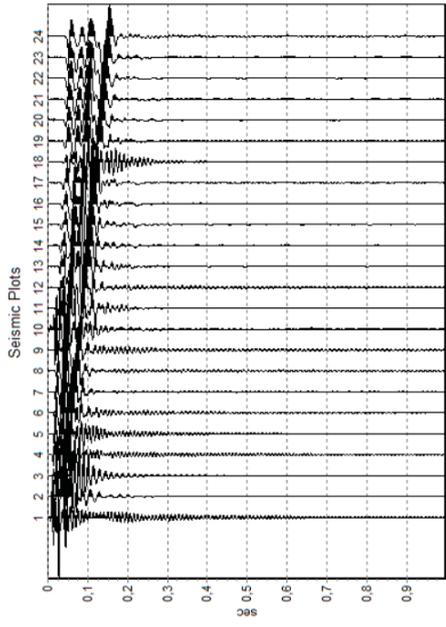
<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

**Tab. 3.2.II del DM 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni)**

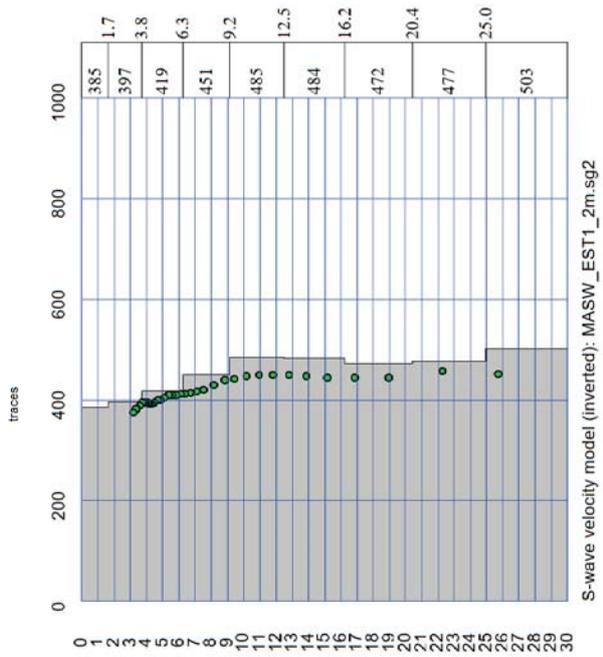
Nel caso specifico le  $V_s$  si posizionano su velocità di 460 m/s. Si tratta, quindi, di un suolo appartenente alla categoria B.

**PROSPEZIONE MASW**

**Dataset con 24 tracce sismiche**



**Modello sismico**



## 4 PARAMETRI CORRELATI

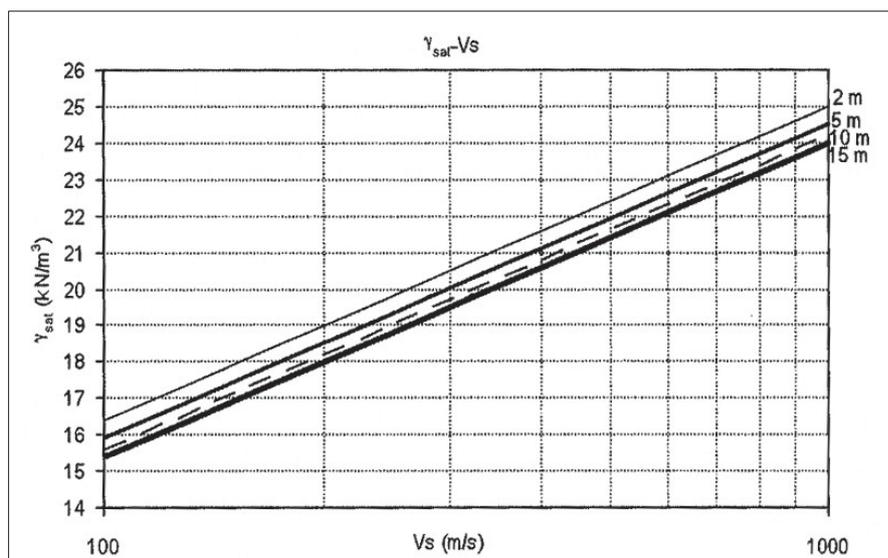
In via assolutamente preliminare è possibile utilizzare i valori di velocità delle Vs per estrapolare dei parametri geotecnici ottenibili dalla letteratura, utili in una prima fase di dimensionamento delle opere.

Le correlazioni utilizzate sono state attinte da “Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata” di Roccaforte-Cucinotta – Dario Flaccovio editore.

### Correlazione $\gamma$ -Vs

Esistono diverse correlazioni tra peso specifico e Vs e Vp, correlazioni che mettono in diretto contatto le velocità sismiche alla densità del materiale attraversato. La correlazione utilizzata nello studio è quella di

Keceli (2012) con  $\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$



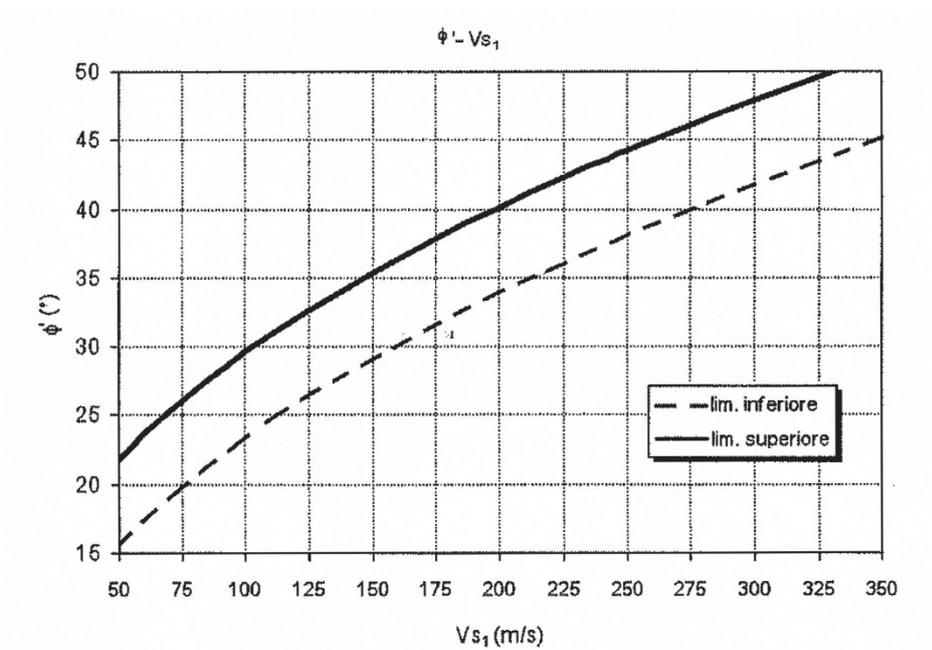
### Correlazione $\phi$ -Vs

La correlazione per il calcolo dell'angolo di resistenza al taglio direttamente in funzione di Vs, valore normalizzato per la pressione litostatica, è ripresa da Uzielli et al. (2013) e Mayne (2014) e consente di definire il range dei valori di picco:

limite superiore:  $\phi = 3,9 \cdot Vs^{0,44}$

limite inferiore:  $\phi = (3,9 \cdot Vs^{0,44}) - 6,2$

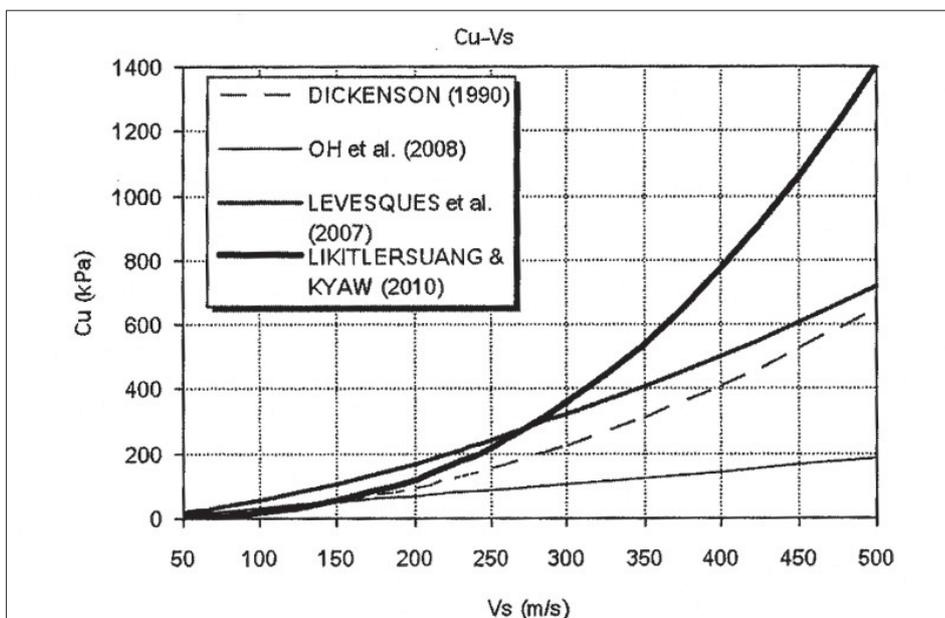
in via cautelativa si suggerisce l'utilizzo del limite inferiore.



**Correlazione Cu-Vs**

La correlazione per il calcolo della coesione non drenata (Cu in kPa) può essere calcolata con la formula di Dickenson (1990) valida per argille tenere:

$$Cu = (Vs/23)^{1/0.475}$$



**Coefficiente di Poisson**

Indica la misura del cambiamento geometrico di un corpo. E' definito dalla relazione

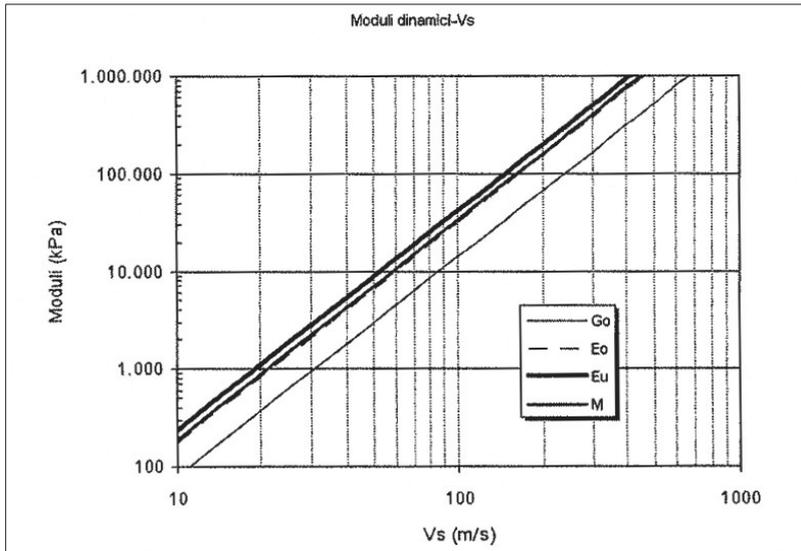
$$\rho = (Vp^2 - 2Vs^2) / 2(Vp^2 - Vs^2)$$

### Modulo di deformazione al taglio

Per il calcolo del modulo di taglio iniziale o a piccole deformazioni si usa generalmente la nota relazione:

$$G_0 = (\gamma/g) V_s^2$$

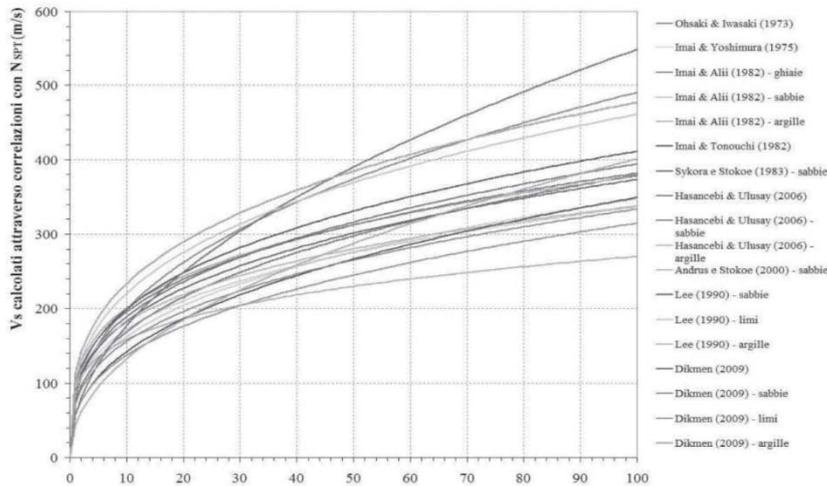
dove  $\gamma$  è il peso specifico e  $g$  l'accelerazione di gravità.



### Correlazioni N<sub>spt</sub> – Vs

In letteratura esistono diverse correlazioni tra Vs e i risultati di diverse prove penetrometriche, in particolare N<sub>SPT</sub> e qc (resistenza alla punta della prova CPT). Tali correlazioni sono tuttavia poco affidabili e devono essere tarate localmente, fatto per cui qualsiasi riferimento tra N<sub>SPT</sub> e Vs è stato eliminato dalle NTC 2018.

#### DEFINIZIONE VELOCITA' ONDE DI TAGLIO (Vs)



Ciononostante le correlazioni geotecniche con le Vs costituiscono un riferimento di massima in assenza di indagini specifiche di tipo diretto.

Le principali correlazioni sono di tipo esponenziale con i coefficienti **a** e **b** variabili in funzione del tipo di terreno) e valide per tutti i tipi di terreno, solo per terreni granulari o solo per terreni coesivi:

$$V_s = a \times N_{SPT}^b$$

$$V_s = 82,1 \times N_{SPT}^{0,35} \quad \text{Ohta e Goto(1978)}$$

$$V_s = 93,7 \times N_{SPT}^{0,31} \quad \text{Imai e Tonouchi (1982)}$$

$$V_s = 20,0 \times N_{SPT}^{0,85} \quad \text{Jafari et al (1982)}$$

CONSISTENZA	N <sub>SPT</sub>	Densita' relativa Dr	Angolo di attrito Φ
Terreno incoerente			
Molto sciolto	<4	<0.2	<30°
Sciolto	4÷10	0.2÷0.4	30°÷35°
Medio	10÷30	0.4÷0.6	35°÷40°
Denso	30÷50	0.6÷0.8	40°÷45°
Molto denso	>50	>0.8	>45°

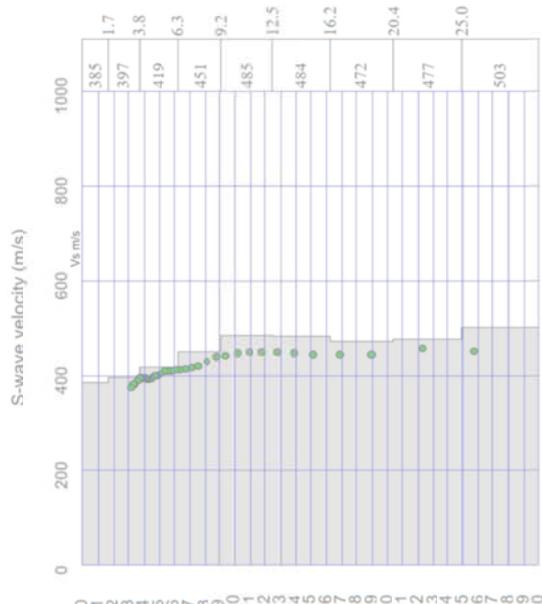
Valutando la relazione di Jafari, quella più cautelativa, i primi metri di terreno hanno un valore di N<sub>SPT</sub> minimo pari a 37. A giudicare dalle velocità sismiche si è in presenza di terreni addensati.

In tutti i casi le correlazioni tra le Vs e i parametri dinamici e geotecnici sono da utilizzare con cautela.

INDAGINI GEOFISICHE

Pabillonis (Su) – Progettazione di un parco fotovoltaico a terra

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI E MODULI DINAMICI CORRELATI CON LE VS (da usare in via preliminare)



	P	H	Vp correlata	Vs	p	v	G	E	Ev	Nspt Jafari	Nspt Inai e Tonouchi	Nspt Ohta e Goto	Nspt Lee	UCS	Fi
	[m]	[m]	[m/s]	[kN/m3]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]					Mpa	[°]
1*	1,7	1,7	1163	19,0	288	0,44	2241	828	2241	32	Rifiuto	Rifiuto	49	3,3	47,3
2*	3,8	2,1	1193	19,2	308	0,44	2372	887	2372	34	Rifiuto	Rifiuto	52	3,5	48,1
3*	6,3	2,5	1248	19,5	348	0,44	2823	1001	2823	36	Rifiuto	Rifiuto	58	3,8	49,4
4*	9,2	2,9	1328	19,8	411	0,43	3013	1179	3013	39	Rifiuto	Rifiuto	Rifiuto	4,6	51,2
5*	12,5	3,3	1413	20,2	484	0,43	3460	1387	3460	43	Rifiuto	Rifiuto	Rifiuto	5,3	55,1
6*	16,2	3,7	1410	20,2	482	0,43	3446	1361	3446	42	Rifiuto	Rifiuto	Rifiuto	5,3	53,0
7*	20,4	4,2	1380	20,0	455	0,43	3285	1306	3285	41	Rifiuto	Rifiuto	Rifiuto	5,0	52,4
8*	25	4,6	1393	20,1	466	0,43	3352	1337	3352	42	Rifiuto	Rifiuto	Rifiuto	5,2	52,6
9*	30	5	1458	20,4	525	0,43	3711	1505	3711	44	Rifiuto	Rifiuto	Rifiuto	5,8	54,0

- P profondità sismostrato
- H spessore sismostrato
- Vp velocità onde P
- Vs velocità onde S
- p densità
- v coefficiente di Poisson
- G modulo di deformazione al taglio
- E modulo di Young
- Ev modulo di compressibilità volumetrica
- Nspt N° colpi SPT secondo Jafari et al.
- UCS Resistenza alla compressione monoassiale
- Fi angolo d'attrito

## 5 CONCLUSIONI

---

Nell'ambito della "Progettazione di un impianto fotovoltaico a terra in località Pranu Murdegu a Pabillonis (Su)", il sottoscritto ha eseguito delle prospezioni geofisiche di tipo sismico volte a valutare la categoria sismica di suolo e la stratigrafia dell'area.

Sono state eseguite due prospezioni sismiche a rifrazione e una prospezione sismica del tipo MASW.

I risultati delle indagini hanno fornito evidenze sulla presenza di un suolo semi rigido con debole copertura superficiale. Le velocità delle onde longitudinali  $V_p$  appaiono superiori a 1.000 m/s già da circa in metro e mezzo di profondità, a dimostrazione del forte addensamento delle alluvioni antiche presenti in questo settore.

Il profilo della MASW ha evidenziato uno spessore di circa 30 m con  $V_{s,eq}$  attorno a 460 m/s, appartenenti alla categoria di sottosuolo B. Il profilo  $V_s$  derivante dall'interpretazione della MASW evidenzia un costante e contenuto aumento delle velocità, senza naturalmente intercettazione del bedrock.

IL PROFESSIONISTA

### Allegati

Localizzazione indagini

Tabella classificazione sito

Documentazione fotografica



CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO (D.M. 17.01.2018) – **MASW**

Località	Pabillonis (Su) – Progetto parco fotovoltaico
Metodo indagine	MASW ZVF forza verticale
Strumentazione	Sismografo DAQLink III (Seismic Source U.S.A.), 24 canali,
24 bits	
Geometria stendimento	24 geofoni interasse 2,0 m - sorgente a -2,0 m da G1

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

Sulla base del valore calcolato di  $V_s$  vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

**Categorie****Caratteristiche della superficie topografica**

- |   |  |
|---|--|
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.   |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s   |
| C | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.   |
| D | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.  |

I dati evidenziano che i terreni indagati rispondano alle caratteristiche di **suolo di tipo B** con **VS =462 m/s**.

### Calcolo del $V_S$ equivalente da NTC 2018

Identificazione della categoria di sottosuolo con l'approccio semplificato

Profondità del piano d'imposta delle fondazioni rispetto al p.c.: **0,50** [m]

Strato [N.]	z [m]	hi [m]	$V_S$ [m/s]
1	1,70	1,70	385,00
2	3,80	2,10	397,00
3	6,30	2,50	419,00
4	9,20	2,90	451,00
5	12,50	3,30	485,00
6	16,20	3,70	484,00
7	20,40	4,20	472,00
8	25,00	4,60	477,00
9	30,00	5,00	503,00
10			

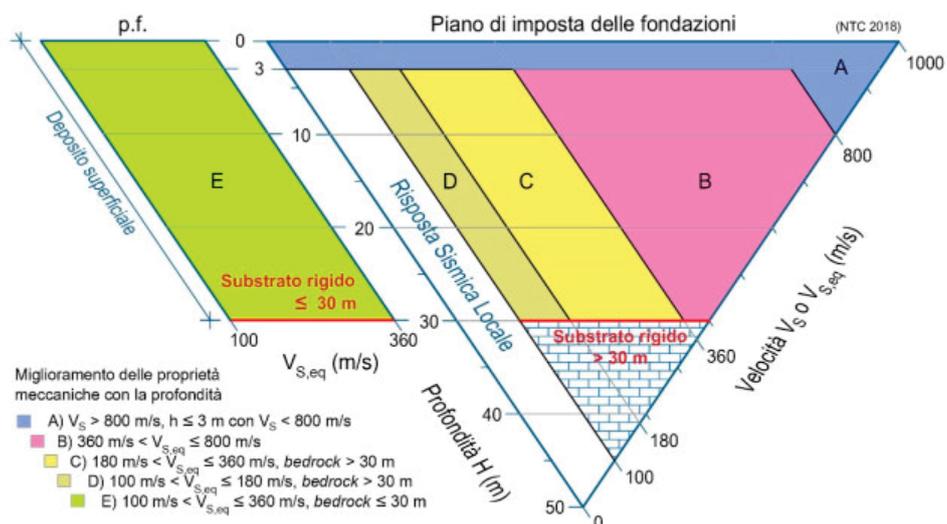
$z_{(cal)}$ [m]	$hi_{(cal)}$ [m]	$hi_{(cal)}/V_S$ [sec]
1,20	1,20	0,00312
3,30	2,10	0,00529
5,80	2,50	0,00597
8,70	2,90	0,00643
12,00	3,30	0,00680
15,70	3,70	0,00764
19,90	4,20	0,00890
24,50	4,60	0,00964
29,50	5,00	0,00994

$V_{S,eq} = 462,86$  [m/s]

Categoria sottosuolo: **B**

**Descrizione:**

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.



z = profondità sismostrati  
 hi = spessori dei sismostrati  
 $V_S$  = velocità onde di taglio

$z_{(calc)}$  = profondità calcolata rispetto al p.f.  
 $hi_{(calc)}$  = spessori calcolati  
 $V_{S,eq}$  = velocità equivalente da NTC 2018

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

*PABILLONIS (SU) – PROGETTAZIONE PARCO FOTOVOLTAICO A TERRA*

### INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO





Foto 1 Stendimento sismico n°1



Foto 2 Vista stendimento sismico n°2