



Geol. Luigi Sanciu

*Geotecnica – Geologia Ambientale
Indagini geofisiche – Beni Culturali*

Via Carpaccio 13 - CAGLIARI

P.Iva – 03564740920

luigisanciu@pec.it

luigisanciu@tiscali.it

cell. 333 3544271

PROGETTO

*PROGETTO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO
DENOMINATO "AGRIPAULI"
DI POTENZA NOMINALE PARI A 67,054 MWac
E POTENZA DI PICCO PARI A 67,725 MW*

ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

COMMITTENTE

 **ICA XII SRL**
Via Giuseppe Ferrari 12
00195 Roma (Italia)
C.F. / P.IVA 16456131008




Data	Cod. elaborato
MARZO 2023	ICA 103 REL12

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO	3
3. DETTAGLI PROGETTUALI	4
3.1 Localizzazione del progetto	5
4. VINCOLISTICA	6
4.1 Interazione con il Piano di Stralcio di Bacino.....	6
4.2 Interazione con il Piano Stralcio Fasce Fluviali	7
5. RELAZIONE GEOLOGICA	9
5.1 Finalità e metodologia di studio	9
5.2 Indagini preliminari	9
5.3 Rilievi di campagna	9
5.4 Inquadramento geologico generale	10
5.5 Geologia dell'area in esame	13
5.6 Caratteri idraulici delle formazioni geologiche	16
5.7 Inquadramento geomorfologico.....	17
5.8 Inquadramento climatologico	18
6. RELAZIONE SISMICA	21
6.1 Sismicità storica	21
6.2 Sismica di base	21
6.3 Azione Sismica di progetto.....	23
6.4 Liquefazione	24
6.5 Categoria di sottosuolo.....	24
6.6 Condizioni topografiche.....	25
7. CONCLUSIONI.....	26

Allegato I

*INDAGINE GEOFISICA PER LA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO
(metodologia MASW)*

1. PREMESSA

E' stata condotta un'indagine geologica al fine di valutarne la fattibilità e orientare correttamente le scelte progettuali come richiesto dalla normativa vigente. Il presente studio, condotto in osservanza alla normativa vigente, si prefigge di:

- definire il modello geologico di riferimento per la progettazione preliminare dell'intervento;
- evidenziare le possibili problematiche di natura geologica o geotecnica;
- fornire, ove possibile, suggerimenti per effettuare le scelte operative più idonee.

In tal senso le indagini vengono svolte con lo scopo di individuare i caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, geomorfologici, idrogeologici e di pericolosità geologica del territorio, in relazione alla realizzazione dell'intervento.

Nella fase preliminare della progettazione, tenuto anche conto delle caratteristiche dell'opera, lo scrivente ha ritenuto sufficiente, per comprendere le condizioni geologiche locali, effettuare un rilevamento dell'area, analizzare la documentazione progettuale fornita dal committente e consultare la cartografia tecnica comunale e regionale. In aggiunta sono state eseguite due indagini geofisiche MASW (come riportato in Allegato I) per una caratterizzazione più puntuale dei terreni che andranno ad ospitare le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

La relazione geologica è stata redatta in applicazione a quanto richiesto dal D.M. 17 gennaio 2018 e dagli Eurocodici 7 e 8.

2. INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

L'area oggetto di studio (evidenziata in rosso) è inserita nella Sardegna sud occidentale, nei comuni di Guspini e Pabillonis (SU), ed è distinta a livello cartografico nelle seguenti tavole:

- 1:25.000, Carta Geologica di Base – Regione Sardegna;
- Fogli 15, 16, 21 e 25 del Comune di Pabillonis
- Fogli 317, 319, 326, 327 del Comune di Guspini.

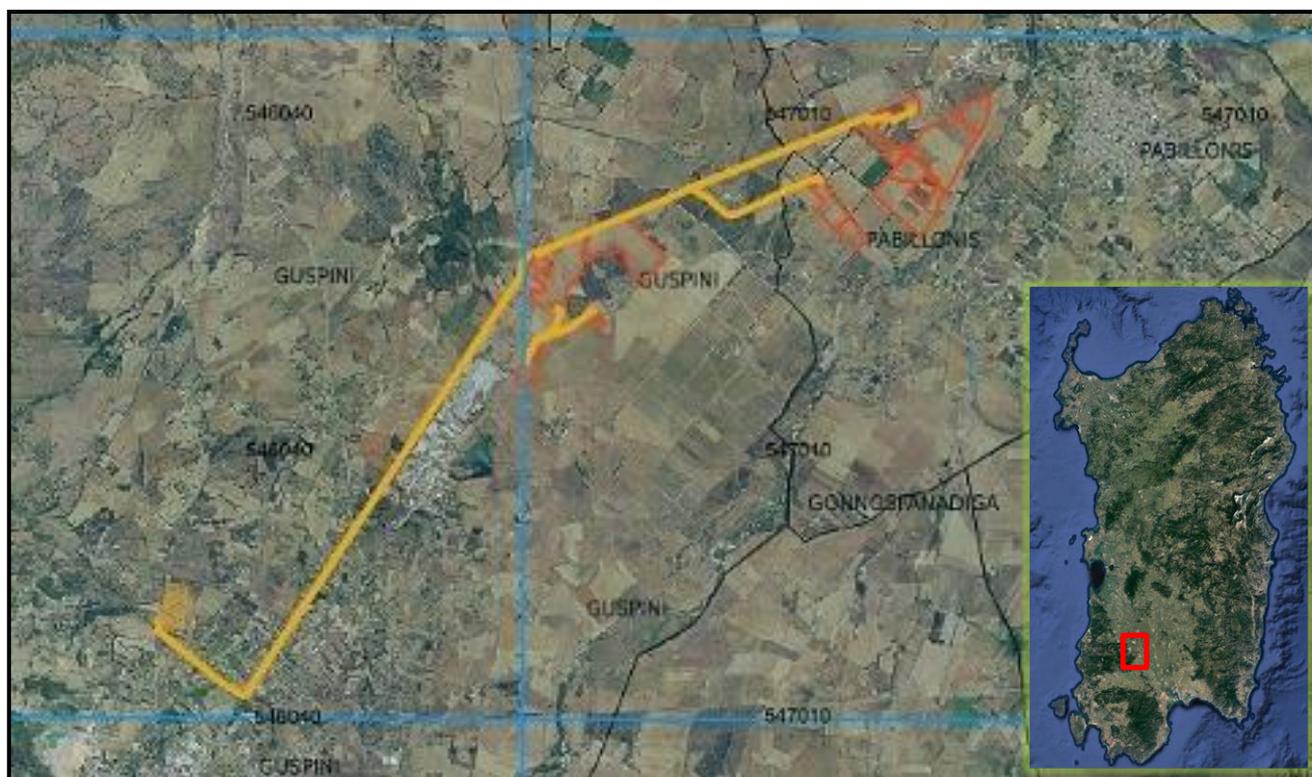


Figura 1 – Inquadramento cartografico (stralcio carte tecniche regionale). In rosso i lotti oggetto del presente studio.

3. DETTAGLI PROGETTUALI

La presente relazione si riferisce alla proposta progettuale per la realizzazione di un impianto agrovoltaico della potenza di picco di 67,725 MWp e potenza in immissione di 67,054 MW, da realizzarsi in aree ubicate in parte nel Comune di Guspini (SU) ed in parte nel Comune di Pabillonis (SU).

L'impianto sarà strutturato in due sottocampi ed occuperà una superficie complessiva di circa 91 ettari.

Alcuni lotti verranno destinati al collocamento del sistema di accumulo BESS.

L'impianto agrovoltaico occuperà terreni agricoli poco distanti dalla zona industriale P.I.P. di Guspini, in località Bia Mogoro ed in località Bruncu Burras, distanti circa 1 km dal centro abitato di Pabillonis e circa 5 km dal centro abitato di Guspini.

I moduli fotovoltaici saranno installati su strutture di supporto in acciaio del tipo tracker ad inseguimento monoassiale (inseguitori solari installati in direzione Nord-Sud, capaci di ruotare in direzione Est-Ovest, consentendo, pertanto, ai moduli di "seguire" il Sole lungo il suo moto diurno).

Saranno installati n° 96.750 moduli fotovoltaici bifacciali marcati Jolywood di potenza unitaria di picco pari a 700 Wp, disposti su tracker monoassiali ad inseguimento solare est-ovest.

La Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) prevede che l'impianto sia collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una Nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione a 220/150/36 kV della RTN da inserire in entra-esce alla linea RTN 220 kV "Sulcis-Oristano", la cui realizzazione è prevista in località Spina Zurpa, a circa 1,3 km a Nord dell'abitato di Guspini, e il cui iter autorizzativo è interiorizzato nel progetto di altro produttore.

L'elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento alla citata stazione RTN costituisce impianto di utenza per la connessione, mentre lo stallo arrivo produttore a 36 kV nella medesima stazione costituisce impianto di rete per la connessione.

La società Proponente è ICA XII S.r.l., con sede legale in con sede legale in Via Giuseppe Ferrari n. 12 – Roma 00195, CF/P.IVA 16456131008, che, in virtù di contratti preliminari di Costituzione del Diritto di superficie, dispone della titolarità all'utilizzo delle aree oggetto di intervento.

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

3.1 Localizzazione del progetto

L'impianto si suddivide in due macroaree principali, una localizzata nel comune di Guspini, a nord-est rispetto al centro, e l'altra nel comune di Pabillonis, ubicata ad ovest rispetto al centro abitato.

L'impianto sarà dotato di un sistema di accumulo dell'energia a batteria (BESS) di potenza nominale pari a 70 MW.

Le coordinate geografiche di riferimento sono le seguenti:

- Latitudine 39.587931°
- Longitudine 8.697866°

Catastalmente i lotti sono individuabili ai Fogli 15, 16, 21 e 25 del Comune di Pabillonis e ai Fogli 317, 319, 326, 327 del Comune di Guspini.

Il sito presenta un'orografia prevalentemente pianeggiante, con un'altitudine media compresa indicativamente tra le quote di 40 m e 60 m s.l.m.

I lotti di progetto sono facilmente accessibili mediante Strada Provinciale S.P. 4.

Il cavidotto di collegamento alla RTN, che sarà completamente interrato, si svilupperà per circa 5,3 km al di sotto di viabilità esistente ed interesserà i comuni di Pabillonis e Guspini, fino ad arrivare alla sezione a 36 kV della nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione a 220/150/36 kV di Guspini, che sarà ubicata in località Spina Zurpa, a circa 1,3 km dal centro abitato.

Il collegamento tra i due sottocampi di impianto sarà eseguito mediante cavidotto interrato di lunghezza pari a circa 4 km.

4. VINCOLISTICA

Di seguito sono analizzate le interazioni tra le opere e gli strumenti di pianificazione, vigenti nell' area.

4.1 Interazione con il Piano di Stralcio di Bacino

Il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna (in seguito denominato PAI) è redatto, adottato e approvato ai sensi: a. della legge 18.5.1989, n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo": Il Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della Legge 18.05.1989 n. 183 e successive modificazioni, è stato approvato dalla Giunta Regionale con Delibera n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo in forza del Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici in data 21.02.2005, n. 3. Prevede:

— indirizzi, azioni settoriali, norme tecniche e prescrizioni generali per la prevenzione dei pericoli e dei rischi idrogeologici nel bacino idrografico unico regionale e nelle aree di pericolosità idrogeologica;

— disciplina le aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato A del PAI;

— disciplina le aree di pericolosità da frana molto elevata (Hg4), elevata (Hg3), media (Hg2) e moderata (Hg1) perimetrate nei territori dei Comuni indicati nell'Allegato B del PAI.

Allo stato attuale, non risultano aree perimetrate all'interno del PAI Sardegna.

I vincoli della delibera non trovano applicazione nell'area in cui verranno realizzate le opere in progetto (vedi Fig.2), sempre in base alle perimetrazioni PAI . Solo delle piccole porzioni di alcuni lotti ricadono in zone Hi1 e Hi2 che comunque non saranno oggetto di posizionamento di alcuna opera.

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

4.2 Interazione con il Piano Stralcio Fasce Fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Il PSFF costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Il Piano persegue gli obiettivi di settore, ai sensi dell'art. 3 e dell'art. 17 della L. 18 maggio 1989, n. 183, con particolare riferimento alle lettere a), b), c), i), l), m) e s) del medesimo art. 17. Il P.S.F.F. costituisce un approfondimento ed integrazione necessaria al P.A.I. in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali, funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali. Le fasce fluviali possono essere intese come "aree di pertinenza fluviale", individuano le aree limitrofe all'alveo inciso, interessati da espandimenti nelle fasi di piene quindi potenzialmente inondabili. Le aree appartenenti a una "classe" hanno le stesse probabilità di essere inondate in un determinato periodo di tempo (tempo di ritorno), le delimitazioni sono state effettuate in seguito ad analisi geomorfologiche e idrauliche del territorio. Tuttavia, sono stati considerati esclusivamente le aste principali dei corsi fluviali che sottendono un bacino di più di 30 km² e le fasce fluviali dei relativi affluenti, per portate di piena con tempi di ritorno T fissato in 2, 50, 100, 200 e 500 anni.

L'area ricade nel Sub Bacino 02 Tirso – Bacino idrografico del Flumini Mannu di Pabillonis secondo le aree perimetrare dal PAI Sardegna (aggiornato al 2020).

I vincoli della delibera non trovano applicazione nell'area in cui verranno realizzate le opere in progetto (vedi Fig.2), sempre in base alle perimetrazioni PAI . Solo delle piccole porzioni

di alcuni lotti ricadono in zone Hi1 e Hi2 che comunque non saranno oggetto di posizionamento di alcuna opera.

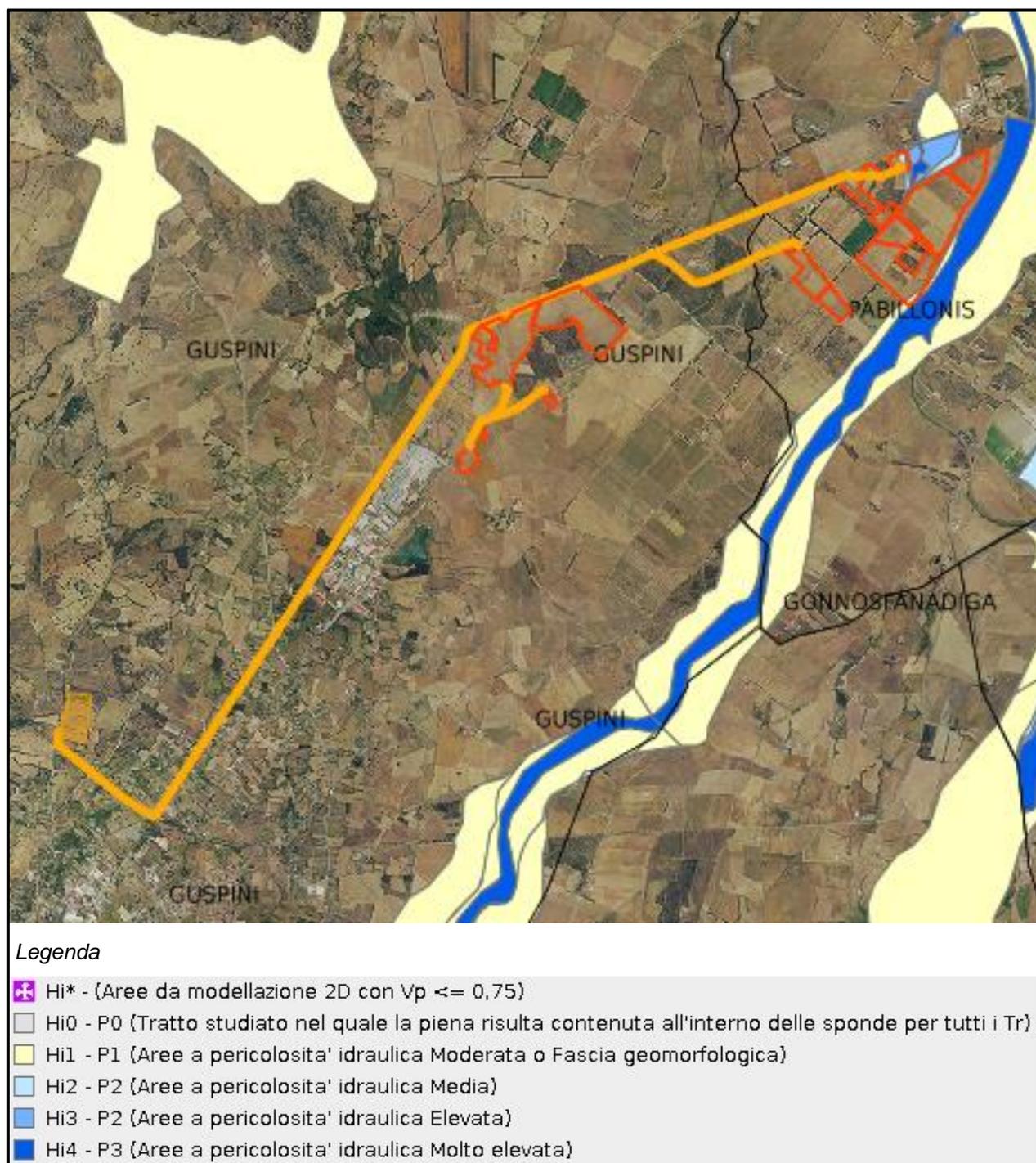


Figura 2 – Perimetrazione aree PAI limitrofe all'area di progetto.

5. RELAZIONE GEOLOGICA

5.1 Finalità e metodologia di studio

L'inquadramento del contesto geologico è passato attraverso la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito che è consistita nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio in esame. Tale studio è finalizzato sia alla caratterizzazione dei suoli di copertura che dei litotipi geologici presenti ed è funzionale alla successiva definizione delle caratteristiche fisico meccaniche dei terreni interessati dalle opere. La relazione geologica è stata redatta in base ai seguenti studi:

5.2 Indagini preliminari

1. Sopralluoghi preliminari;
2. Reperimento dei dati significativi esistenti sia di carattere scientifico che applicativo.

In particolare sono stati consultati i seguenti dati di sottosuolo:

- Stratigrafie di pozzi ricadenti nelle vicinanze significative dell'area in studio, relativi all'Archivio Nazionale delle indagini del sottosuolo (Legge 464/1984) – ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale), spinti fino a profondità variabili da 39 m a 120 m;
- Stratigrafia del Sondaggio Campidano 1, spinto fino a 1.700 metri di profondità, eseguito nel 1963-1964 dall'AGIP – Direzione Mineraria Servizio Geologico del Sottosuolo, a sud dell'area in oggetto;
- gli esiti di alcune indagini geologiche ricadenti nelle vicinanze significative.

5.3 Rilievi di campagna

1. Rilievo geologico d'inquadramento dell'area in oggetto e di un suo intorno significativo, per l'individuazione e caratterizzazione puntuale dei litotipi affioranti.

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

L'elaborato risultante è stato realizzato utilizzando le legende del Servizio Geologico d'Italia (Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, serie III, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato).

2. Rilievo geomorfologico d'inquadramento dell'area in oggetto e di un suo intorno significativo, al fine di individuare le forme del rilievo, identificarne i caratteri morfografici e morfometrici, identificarne i processi genetici e la relativa sequenza cronologica con particolare distinzione tra le forme attive e non attive.

3. Indagini geofisiche puntuali per la caratterizzazione dei terreni indicati per la posa delle strutture atte al sostegno dei pannelli fotovoltaici.

5.4 Inquadramento geologico generale

Al fine di definire un inquadramento che risultasse adeguato alla scala di dettaglio del presente lavoro è stata impiegata la Carta Geologica di Base della Sardegna in scala 1:25.000 che definisce in maniera particolareggiata i litotipi presenti nell'area d'interesse così come riportato nella figura seguente.

L'area in esame si colloca nell'ambito del vasto graben oligo-miocenico del Campidano, una depressione tettonica bordata ad est e ad ovest da una serie di faglie a direzione NNW-SSE di carattere regionale, che hanno prodotto, in relazione alla tettonica del rift Sardo uno smembramento del basamento Paleozoico con l'abbassamento della fossa del Campidano rispetto ai livelli laterali. L'origine del Graben del Campidano è legata al regime transtensivo che ha portato allo sviluppo di strutture tettoniche attivate a partire dall'Eocene e proseguite fino al Miocene. Durante questo periodo si è imposto un bacino marino in trasgressione, con conseguente deposizione di successioni sedimentarie marine. Successivamente, il graben è stato colmato da depositi continentali di origine fluviale e lacustre di età pliocenica-quadernaria.

I rilievi montuosi dell'Arburese meridionale sono modellati prevalentemente su rocce appartenenti al basamento paleozoico, originatosi dall'orogenesi ercinica, e subordinatamente su vulcaniti oligoceniche, la cui genesi è legata ad attività di carattere calco-alcalino. Prodotti dell'attività vulcanica oligo-miocenica sono osservabili, oltre che nel Sulcis, anche nel bordo orientale del Campidano. I massicci montuosi che limitano l'area a ovest e nord-ovest sono costituiti dalle Arenarie di San Vito (pre-Ordoviciano medio),

caratterizzate da una successione terrigena metamorfosata. Nel Carbonifero superiore-Permiano, durante l'orogenesi ercinica, si intrusero nella formazione citata dei magmi granitoidi, dai quali si originarono gli attuali i massicci leucogranitici che si elevano nella parte a sud-ovest dell'area; nelle fasi tardive dell'orogenesi si intrusero anche corpi filoniani di natura quarzosa. Le due formazioni sono dislocate da un sovrascorrimento ercinico.

La fossa tettonica è stata colmata da sedimenti accumulatisi nel Pliocene (*Formazione di Samassi*) e nel Quaternario dopo un periodo riferibile al Messiniano superiore, caratterizzato da un'intensa erosione della serie marina sottostante.

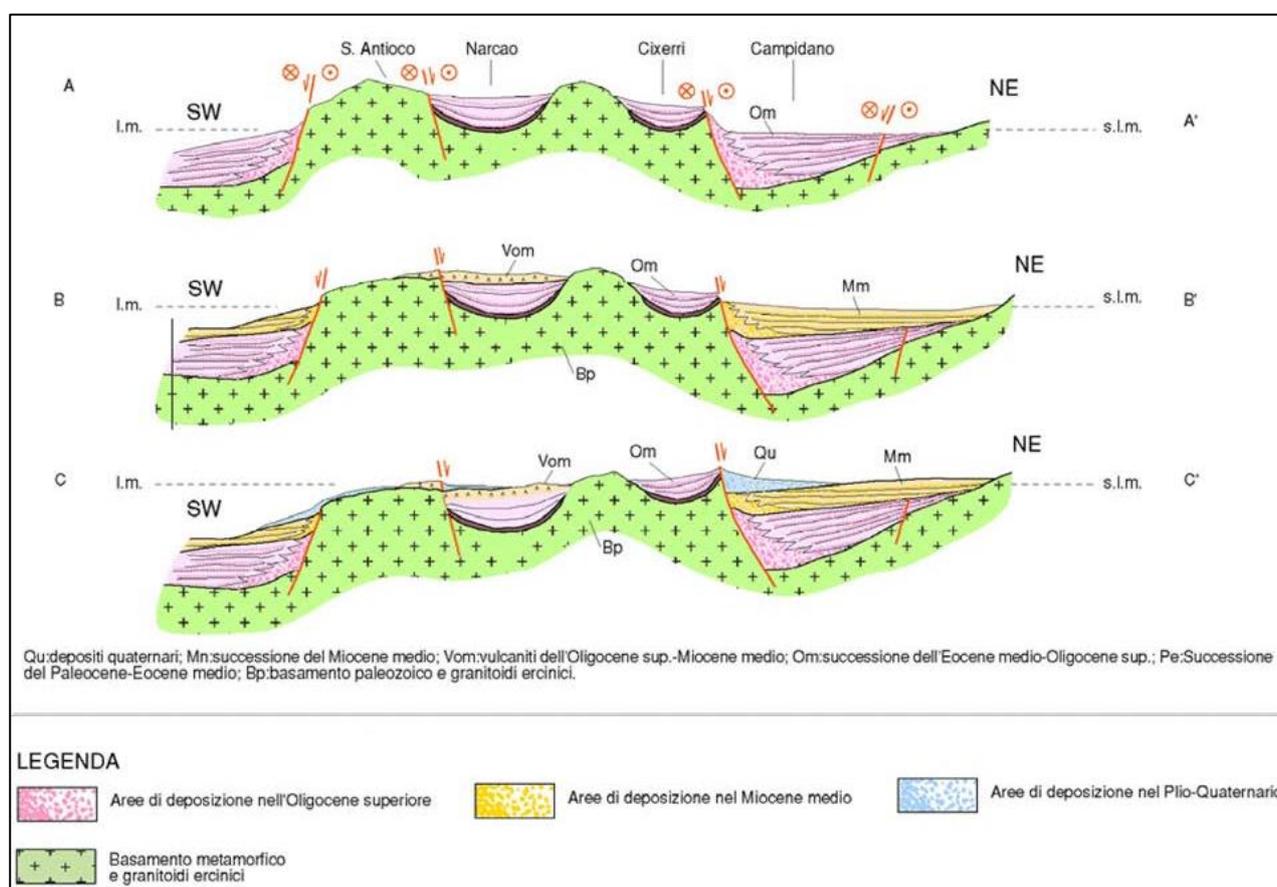


Figura 3 – Schema strutturale della fossa del Campidano.

La Formazione di Samassi costituisce il riempimento sintettonico della Fossa del Campidano (Fig.3). Si tratta di una successione continentale conglomeratica e marnoso-arenacea che nell'area raggiunge la potenza di circa 500 m, e poggia in discordanza sul Tortonianiano. È costituita da depositi fluvio-deltizi, conglomeratici alla base e argilloso-siltosi

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

con intercalazioni conglomeratiche nella parte superiore. I conglomerati basali contengono ciottoli che derivano dal rimaneggiamento delle formazioni mioceniche sottostanti. Il contenuto paleontologico è costituito da specie marine, appartenenti in gran parte ai sedimenti miocenici o del Pliocene inferiore. Sono autoctoni, invece, i gasteropodi polmonati, testimoni della fase trasgressiva, iniziata in epoca Miocenica (rift oligo-miocenico, cui sono associate le vulcaniti di composizione andesitica). La copertura quaternaria è formata da depositi alluvionali e colluviali. Il Quaternario antico (Pleistocene) è rappresentato principalmente dalle “Alluvioni antiche” Auct. (codice 2a), si tratta prevalentemente di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, rappresentati da conglomerati, ghiaie e sabbie più o meno costipate, spesso con abbondante matrice siltoso-argillosa arrossata e variamente ferritizzati.

Il graben tettonico Campidanese è stato riempito, anche fino a circa 1.500 metri nella porzione meridionale, da sedimenti di ambiente prevalentemente marino e subordinatamente continentale, con età dall'Oligocene al Pliocene. Verso l'alto si passa quindi ai depositi continentali alluvionali terrazzati del Quaternario costituiti da ghiaie e sabbie in matrice argillosa

L'area in oggetto in particolare ricade nella zona di coalescenza di due estese conoidi di genesi alluvionale riferibili al Pleistocene superiore dette conoidi sono state successivamente reincise dai corsi d'acqua con conseguente nuova deposizione alluvionale in epoca olocenica.

In riferimento all'analisi dei pozzi ISPRA risulta che nell'area in esame questi depositi di genesi alluvionale sono costituiti, fino a circa 90 m, da prevalenti livelli lenticolari di ghiaie e sabbie con subordinate argille.

In dipendenza alla genesi del deposito queste alluvioni sono costituite da lenti con spessore e con caratteristiche granulometrico-tessiture e meccaniche variabili nello spazio, in relazione anche alla energia delle acque che le hanno messe in posto; il basamento paleozoico inoltre presenta profondità e litologie variabili in dipendenza alla vicinanza del sito al margine della fossa tettonica.

5.5 Geologia dell'area in esame

L'area del lotto risulta essere formata da terreni (sigla "bna"). Nella fattispecie si parla di depositi alluvionali costituiti essenzialmente da sabbie e ciottoli di varia natura e con dimensioni comprese tra 3-6cm con subordinati limi e argille. Poco più a sud è presente una piccola lente (sigla "b") composta sempre da depositi alluvionali costituiti da limi e argille. Questi terreni in genere hanno spessori che superano le decine di metri prima di incontrare il substrato roccioso. Sono generalmente ghiaie grosse e sabbie che formano conoidi terrazzate. Lungo gli alvei fluviali presenti dell'intera area si riscontrano depositi alluvionali di diversa natura in funzione delle molteplici litologie attraverso le quali scorrono i corsi d'acqua e della loro energia. Si tratta comunque di alluvioni all'interno delle quali non è possibile fare una distinzione a causa dell'esiguo spessore e del forte rimaneggiamento degli stessi nell'area di dettaglio. Data la morfologia pianeggiante dell'area, priva di affioramenti utili ad una descrizione stratigrafica, il rilevamento è stato esteso alle rive del Rio Maistus. Qui è stato possibile osservare una sezione stratigrafica rappresentativa della zona (Fig.6). L'ultima formazione geologica interessata dal progetto (per una piccola parte del tracciato del cavidotto) risulta essere l' Unità di Monte Togoro (TGR). Essenzialmente è composta da lave da basaltiche ad andesitiche con giacitura in cupola ed in colata; intercalati depositi di "base surge" con laminazioni da incrociate a piano-parallele e a gradazione inversa in facies prossimale; locali livelli a lapilli e brecce non saldati.(K/Ar 24-21 Ma) AQUITANIANO-BURDIGALIANO.

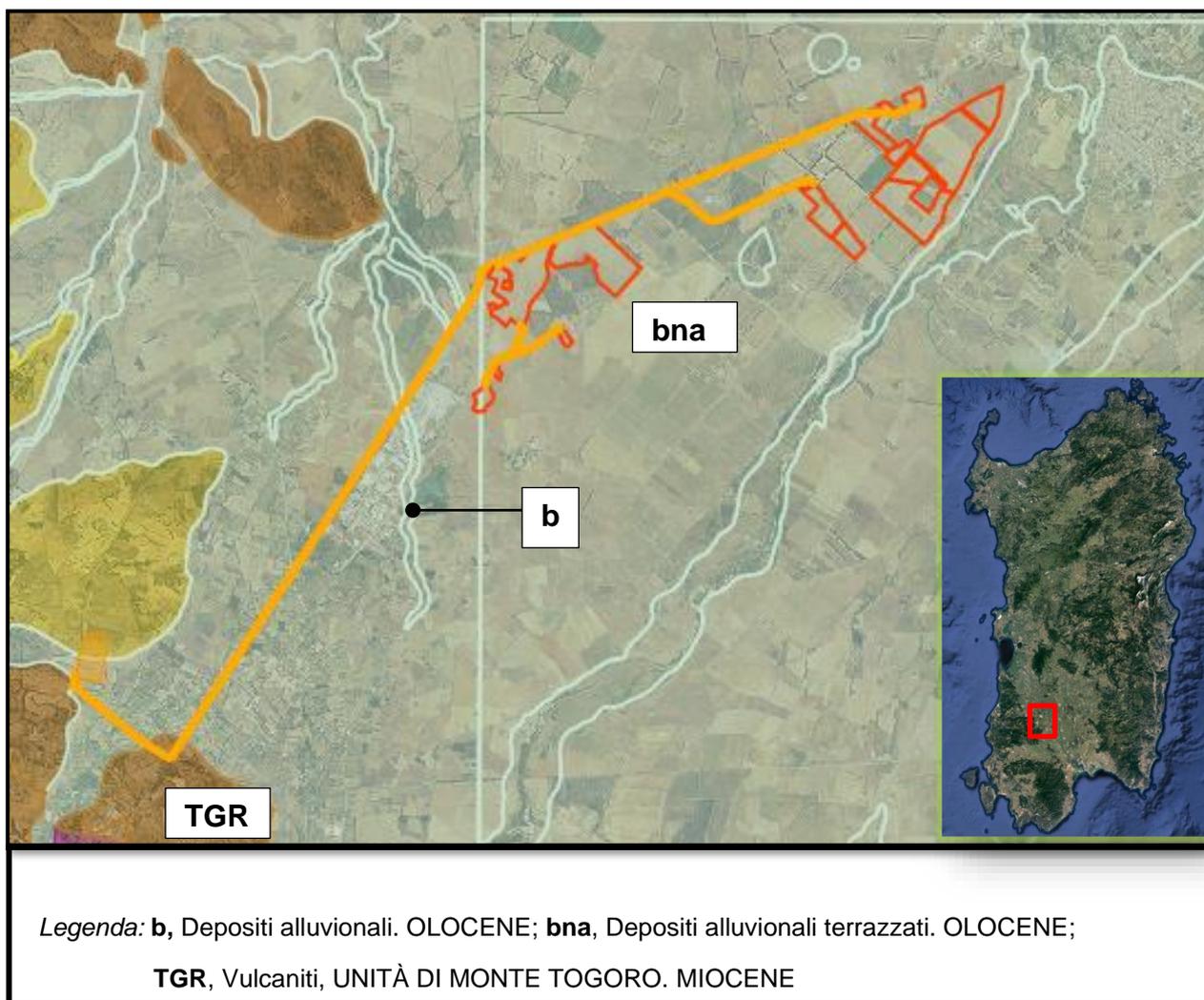


Figura 4 – Inquadramento geologico 1:25000 – In rosso le aree destinate ad ospitare l’impianto dei pannelli fotovoltaici (Fonte Geoportale Sardegna)



Figura 5 - Particolare di un lotto di proprietà della Fam. Brodu ricadente nel comune di Pabillonis (SU).



Figura 6 - Depositi alluvionali nei pressi delle sponde del Rio Terra Maistus

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

5.6 Caratteri idraulici delle formazioni geologiche

La descrizione delle caratteristiche idrauliche dei materiali presenti nell'area in studio è stata basata sulle osservazioni dirette e su quanto riportato in letteratura.

Le rocce, in funzione della loro natura, origine e storia geologica, possono presentare caratteri tali da consentire l'assorbimento, l'immagazzinamento, il deflusso e la restituzione di acque sotterranee in quantità apprezzabili, o possono non presentare tali caratteri. Le rocce che hanno la capacità di permettere il deflusso e la restituzione delle acque sotterranee vengono dette rocce serbatoio o acquiferi.

Nel complesso queste ghiaie sono caratterizzate da permeabilità variabile (V), sia verticalmente che orizzontalmente, per la presenza di orizzonti limoso-argillosi intercalati, per variazioni granulometriche, tessiturali e in spessore all'interno delle ghiaie sabbiose stesse. Nello specifico l'area in esame non presenta problemi di ristagni idrici superficiali in quanto la presenza di ciottoli di varie dimensioni ed una matrice poco argillosa, determina un buon drenaggio delle acqua meteoriche in profondità. Ciò si riscontra in buona parte dei pozzi presenti nell'area con livello piezometrico attestato intorno ai -10m.

In fase esecutiva potranno essere preventivate indagini per verificare la presenza di queste falde idriche e monitorare le stesse nel tempo.

Dalla Carta della Permeabilità (Fig.7) si desume che l'area ricade nei terreni considerati ad *Alta Permeabilità per porosità*. Il tratto del cavidotto con andamento ad angolo retto, si trova a passare in una porzione a *Permeabilità medio bassa*. Ciò è dovuto al fatto che in quell'area affiorano rocce vulcaniche parzialmente interessate da fenomeni di fratturazione dell'ammasso roccioso.



Figura 7 - Carta della permeabilità dell'area (SardegnaGeoportale).

5.7 Inquadramento geomorfologico

I processi geomorfologici di modellamento del paesaggio, sono il risultato della combinazione dei processi di natura endogena ed esogena dominati in larga scala dalla natura delle formazioni rocciose coinvolte e dalla presenza nelle sue varie forme dell'acqua. L'area interessata dal posizionamento delle strutture, nel suo complesso è caratterizzata da un andamento pianeggiante, frutto dell'erosione delle formazioni vulcaniche e l'instaurarsi di regimi fluviali negli ultimi 2 milioni di anni, in grado di trasportare ingenti quantità di sedimenti.

Nel nostro caso abbiamo una porzione di territorio relativamente pianeggiante di raccordo tra i rilievi montuosi presenti ad est e la piana costiera a sud. I sedimenti alluvionali olocenici sono legati alla deposizione del Rio Terra Maistus tali sedimenti sono formati prevalentemente da sabbie, con subordinate limi e argille e talvolta da ghiaie da grossolane a medie. La presenza di depositi alluvionali, testimonia un'area fortemente dominata nel

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

passato da eventi particolarmente importanti tali da accumulare nell'area decine di metri di sedimenti. Le successive alluvioni oloceniche hanno contribuito ad aumentare tali corpi mantenendo sempre un livellamento generale dell'area. L'elevazione si attesta intorno ai 65 - 45 metri sul livello del mare.

I terrazzi rappresentano vecchie superfici di origine fluviale, messe in risalto dall'erosione operata dai fiumi, successivamente all'evento alluvionale. Queste superfici, generalmente pianeggianti o debolmente inclinate verso valle, sono delimitate da scarpate fluviali, più o meno nette, che raccordano la superficie sommitale con depositi alluvionali più recenti, o con l'alveo dei fiumi.

Superfici terrazzate, formatesi in diversi periodi ed in condizioni climatiche differenti dalle attuali, stagni, piccole paludi, lagune costiere e vasti campi dunali, interrompono localmente la monotonia del paesaggio pianeggiante.

Nella pianura si distinguono le seguenti unità geomorfologiche:

- Le alluvioni antiche terrazzate
- Le alluvioni medie
- Le alluvioni recenti

Gli insediamenti urbani, rurali e le infrastrutture, oltre alle attività economiche, stanno modificando velocemente l'assetto morfologico dell'area. Vaste porzioni di pianura sono state profondamente scavate per il prelievo di materiali per inerti, con la creazione di ampie e profonde cave che spesso, intercettando la falda freatica. Altre sono state spianate a fini agricoli, rendendo spesso difficile il riconoscimento delle forme originarie dell'area.

5.8 Inquadramento climatologico

La Sardegna presenta un clima marcatamente mediterraneo insulare, caratterizzato da giornate prevalentemente soleggiate, temperature miti e piogge raramente abbondanti. Le piogge sull'isola si presentano spesso intense e non durature, a carattere di rovescio; risultano molto scarse nel Campidano e lungo le coste meridionali, ove cadono meno di 400 mm (valori confrontabili con quelli delle zone semiaride), mentre si attestano tra i 600-700 mm sulle zone interne collinari e più in generale su gran parte dell'Isola. La piovosità maggiore è raggiunta sul massiccio del Gennargentu, dove le precipitazioni possono cadere

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

sotto forma nevosa durante la stagione invernale, superando i 1000 mm. Le correnti oceaniche influenzano maggiormente il versante occidentale della Sardegna, dove le precipitazioni localmente, superano i 700-800 mm annui, anche se, successivamente, durante l'estate, tale area risulta essere tra le più secche dell'Isola. La Sardegna, lontana dagli ostacoli orografici delle grandi masse continentali, è spesso soggetta a venti intensi in qualsiasi periodo dell'anno. I venti più frequenti e forti sono il Maestrale, lo Scirocco e il Libeccio. In inverno, lo Scirocco, richiamato da perturbazioni afromediterranee apporta intense ondate di maltempo sulla Sardegna meridionale, mentre il Libeccio ed il Maestrale favoriscono le piogge sulla parte Occidentale. Il Maestrale è anche responsabile di episodi di freddo e neve invernale, trasportando con sé l'aria artica che sfocia dalla Valle del Rodano nel Mediterraneo. In estate, lo Scirocco porta con sé aria molto calda e asciutta dai deserti nordafricani, la quale spesso si accompagna al pulviscolo sahariano e a temperature elevatissime. Tali avvezioni di aria calda annunciano l'arrivo dell'Anticiclone africano che in estate permane a lungo su queste zone del Mediterraneo. Sotto il profilo termico, la Sardegna presenta un clima molto mite con estati molto calde ed inverni miti. Le temperature medie annuali si attestano tra i 15 ed i 18°C. In estate le temperature superano i 30 °C diffusamente, financo a raggiungere la soglia dei 40 °C. D'inverno le temperature restano miti, in particolare nelle coste, mentre possono scendere sotto 0 °C sui settori interni in quota. In fig. 8 sono rapportate le medie annuali dei principali valori meteo-climatici registrabili nell'area compresa tra Guspini e Pabillonis.

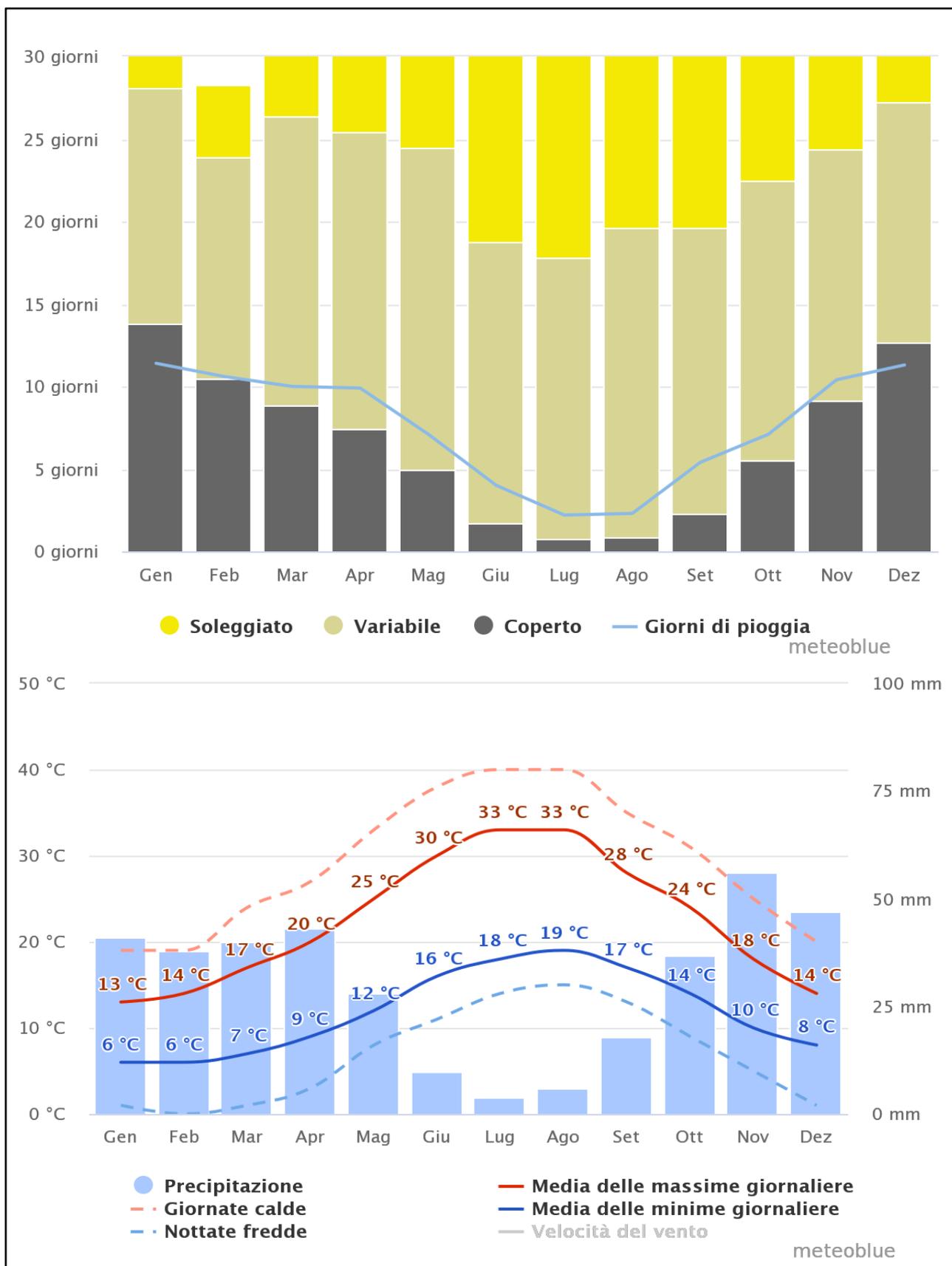


Figura 8 – Dati meteo-climatici rilevati per i comuni di Guspini – Pabillonis.

6. RELAZIONE SISMICA

6.1 Sismicità storica

La sismicità della Regione Sardegna è assai bassa. Tali evidenze sono messe in rilievo da molti indicatori, quali l'evoluzione cinematica del Mediterraneo centrale, che secondo qualsiasi ricostruzione, ci dice che l'intero blocco sardo-corso è rimasto stabile negli ultimi 7 milioni di anni.

Il catalogo storico dei terremoti riporta, infatti, solo due eventi nel Nord della Sardegna, entrambi di magnitudo inferiore a 5 (nel 1924 e nel 1948); il catalogo strumentale (sismicità degli ultimi 25 anni registrata dalla rete nazionale) riporta solo alcuni eventi nel Tirreno e pochissimi eventi a Sud della Sardegna (come gli ultimi eventi del marzo 2006), tutti eventi di magnitudo inferiore a 5. L'evento sismico più forte in Sardegna, infatti, è stato registrato nel 1948 nella zona tra Castelsardo e Tempio Pausania; fu un terremoto che provocò solo qualche lieve danno. Nel 2006 alcune scosse avvennero nel Golfo di Cagliari, spaventando la popolazione senza danni.

Nella zona presa in esame la situazione è analoga: non è impossibile che si verifichi qualche scossa leggera ma la probabilità è molto bassa. Si tratta, insomma, di eventi di bassa energia, e infrequenti.

6.2 Sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14.01.2008 così come gli aggiornamenti relativi di cui al D.M. 17.01.2018, introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", di seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

Le NTC introducono il concetto di nodo di riferimento di un reticolo composto da 10751 punti in cui è stato suddiviso l'intero territorio italiano. Le stesse NTC forniscono, per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_r considerati dalla pericolosità sismica, tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno (espressa in g/10);
- F_0 = 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.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito non è sintetizzata più dall'unico parametro (a_g), ma dipende dalla posizione rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale e dalla Classe d'Uso dell'opera. La rappresentazione grafica dello studio di pericolosità sismica di base dell'INGV, da cui è stata tratta la Tabella 1 delle NTC, è caratterizzata da una mappa di pericolosità Sismica del Territorio Nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo rigido (in g) in funzione della probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento considerato. Per tutte le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida, Capri gli spettri di risposta sono definiti in base a valori di a_g , F_0 , T_c^* uniformi su tutto il territorio di ciascuna isola e per tali valori, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B. (Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti). Per la Regione Sardegna, e quindi per i comuni di Guspini e Pabillonis, l'assegnazione dei parametri per i vari tempi di ritorno è semplificata dalla tabella 1, che assegna i singoli valori di a_g , F_0 , T_c^* .

TR=30			TR=50			TR=72			TR=101			TR=140		
a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,7	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313C

TR=201			TR=475			TR=975			TR=2475		
a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
0,393	2,82	0,322	0,5	2,88	0,34	0,603	3	0,372	0,747	3,09	0,401

Tabella 1 - Valori di a_g , F_0 , T_c^* per la Regione Sardegna.

6.3 Azione Sismica di progetto

Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica sulle costruzioni è quindi valutata da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC).

L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Nel presente studio sono state condotte due indagini sismiche MASW (per le quali si rimanda agli allegati) nelle aree ritenute più indicative alla comprensione della stratigrafia degli strati. In sintesi è emerso che:

L'assetto sismo-stratigrafico rilevato dall'analisi del profilo sismico indica la presenza di una copertura da poco a moderatamente addensata giacente su un substrato di probabile natura alluvionale.

- In nessuna delle due acquisizioni è stato rilevato il bedrock sismico.
- La V_{seq} calcolata per diverse profondità di imposta della fondazione (vedasi la scheda 1 a pag. 15), risultano variabili da 502 e 550 m/sec, da cui ne deriva che i siti investigati ricadono in categoria stratigrafica B come definita dalle NTC del 2018 (vedasi fig. 14 alla pag. 16).

6.4 Liquefazione

Per liquefazione si intende generalmente una somma di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. 7.11.3.4.1 NTC 2018).

La perdita di resistenza dei terreni con determinate caratteristiche, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, e il conseguente raggiungimento di una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso, avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta fino ad arrivare al valore della pressione totale di confinamento, fino ad annullare gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio. Tali fenomeni di liquefazione dei terreni si verificano soprattutto in presenza di sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. Nel caso specifico, in relazione al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, la verifica a liquefazione può essere omessa poiché le accelerazioni massime attese al piano di campagna sono circa **0,05g**, inferiori perciò, a 0,1g.

6.5 Categoria di sottosuolo

In base a quanto attualmente esposto delle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 17 gennaio 2018, che aggiornano e sostituiscono il precedente D.M. del 14 gennaio 2008, è necessario determinare le azioni sismiche di progetto tramite specifiche analisi di sito o mediante un approccio semplificato che si basa sul calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$) partendo dal piano di posa delle fondazioni.

Il valore di $V_{S,eq}$ (in m/s) viene calcolato secondo la seguente espressione:

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

dove h_i e $V_{S,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti al disopra del substrato sismico (con $V_S > 800$ m/s), fino a un H massimo di 30 m ($V_{S,30}$). L'indagine sismica ha permesso quindi di ricostruire un profilo sismostratigrafico necessario per il calcolo delle

Codice elaborato ICA_ 103_REL12	Relazione geologica-geotecnica	 Via Giuseppe Ferrari 12 00195 Roma (Italia) C.F. / P.IVA 16456131008
---------------------------------	--------------------------------	--

$V_{s,eq}$. Dai i dati rilevati si evince l'assenza di un substrato sismico affiorante entro i primi 30 m di profondità e quindi, considerando in via cautelativa il piano di posa delle fondazioni coincidente con il piano campagna, sono stati ricavati i seguenti valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio riferiti ai primi 30 m di profondità. Pertanto, sulla base di questo valore e secondo quanto stabilito dal DM del 17 gennaio 2018, è possibile assegnare al terreno di progetto la seguente categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

Categoria di Sottosuolo "B"

		Descrizione
Categoria di Sottosuolo	A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
	C	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.
	D	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.
	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.

Tabella 2 – Categorie di sottosuolo secondo le NTC 2018.

6.6 Condizioni topografiche

Il sito in esame è ubicato in corrispondenza di un contesto antropizzato con inclinazione media inferiore di 15° e pertanto, in base a quanto previsto dal DM del 17 gennaio 2018, Tabella 3, l'area può essere classificata nella seguente categoria topografica:

		Descrizione
Categorie Topografiche	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 $i > 30^\circ$.

Tabella 3 – Categorie topografiche secondo le NTC 2018. Il nostro caso rientra nella categoria T1

7. CONCLUSIONI

Sulla base delle caratteristiche geolitologiche ed idrogeologiche della zona e della normativa vigente in materia, con particolare riferimento alle nuove NTC del D.M. del 17.01.2018 si perviene alle seguenti conclusioni:

- ✓ nell'area di studio affiorano terreni di natura alluvionale riferibili all'Olocene;
- ✓ dal punto di vista geotecnico le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali nei primi 20 metri di profondità sono risultate buone;
- ✓ l'area oggetto di studio non risulta soggetta a fenomeni di instabilità documentati né sono stati rilevati dissesti in atto o potenziali;
- ✓ la circolazione idrica sotterranea è regolata da un sistema di porosità primaria e la presenza di un acquifero contenuto all'interno della sequenza quaternaria;

Qualora durante l'esecuzione delle opere di fondazione delle strutture portanti dei pannelli fotovoltaici si rinvenissero condizioni differenti e non previste in tale contesto o comunque dubbi sulla effettiva natura dei litotipi descritti, si raccomanda di richiedere la tempestiva ispezione del cantiere da parte del geologo.

Si tenga presente che la tipologia, l'ampiezza dell'indagine e le relative considerazioni sono strettamente subordinate al tipo e alle dimensioni delle opere in progetto, e pertanto non devono essere generalizzate per interventi di altra natura.

Cagliari, Marzo 2023

Geol. Luigi Sanciu

ALLEGATO I

INDAGINE GEOFISICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO (metodologia MASW)

Committente: Dott. Geol. Luigi Sanciu

Documento redatto da:
Dott. Geol. Paolo Caula



INDICE

1	DATI GENERALI	2
2	UBICAZIONE DELL'AREA INVESTIGATA.....	3
3	CENNI SULLA METODOLOGIA D'INDAGINE.....	6
3.1	MASW.....	7
4	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	8
4.1	CARATTERISTICHE TECNICHE DELLO STRUMENTO	8
4.2	SOFTWARE.....	9
6	ELABORATI GRAFICI.....	11
7	SINTESI DEI RISULTATI E CALCOLO DELLA $V_{s,eq}$	15
8	SISMO-STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA	16
9	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	22
	ALLEGATI	23
	SISMOGRAMMI	23

1 DATI GENERALI

COMUNE: **Guspini e Pabillonis(SU):**

PROGETTO: Realizzazione impianto agrofotovoltaico denominato
“AgriPauli” e relative connessioni RTN;

COMMITTENTE : Dott. Geol. Luigi Sanciu;

DITTA ESECUTRICE DELLA PROSPEZIONE : Soiltech snc;

RESPONSABILE TECNICO : Dott. Geol. Paolo Caula;

DATA ESECUZIONE INDAGINE : 21 Febbraio 2023;

Ubicazione geografica:

Cartografia CTR scala 1.10000: Tavoleta 547010 – San Pabillonis;

Cartografia IGM scala 1:25000: Foglio 547 Sez. 4 – San Gavino Monreale.

2 UBICAZIONE DELL'AREA INVESTIGATA

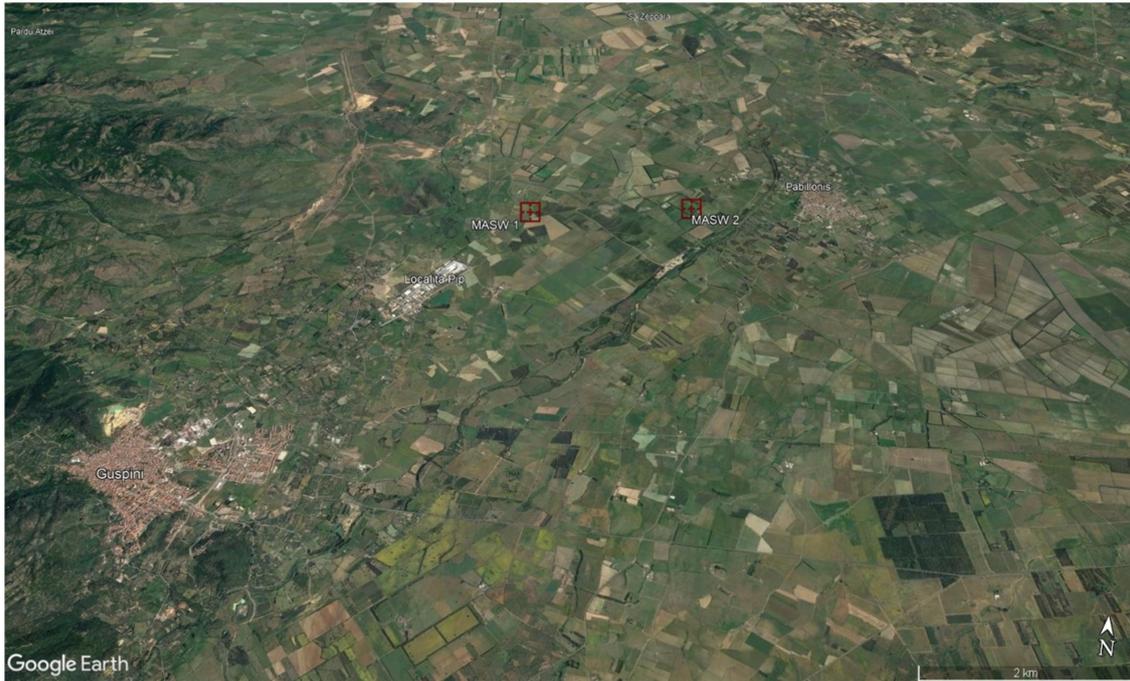
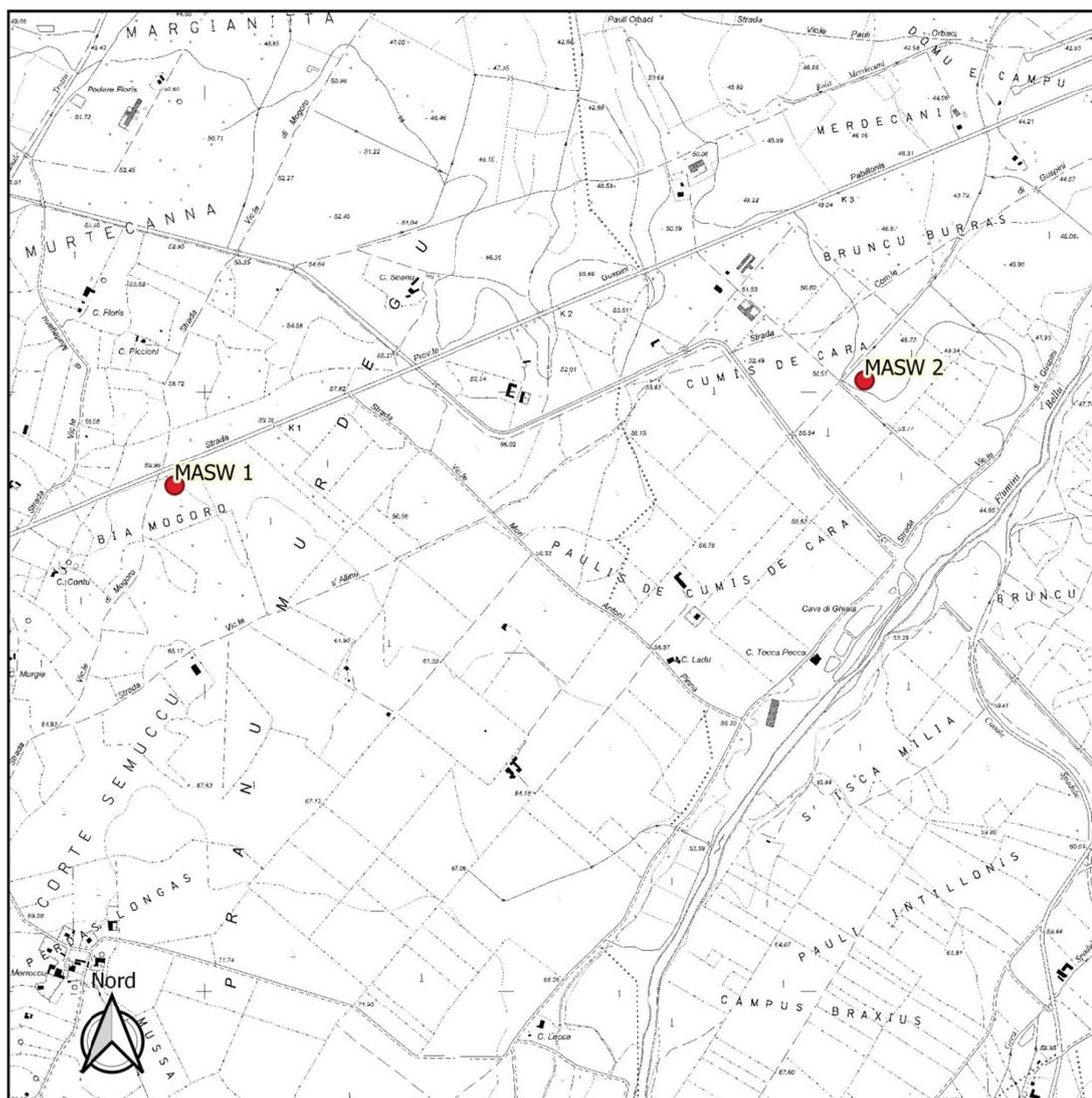


Figura 1 - Mappa con l'ubicazione dei sito investigati indicati con i quadrati rossi.



0 200 400 600 800 1.000 m

Figura 2 - Stralcio della CTR con indicato i siti oggetto delle prospezioni (punti rossi).

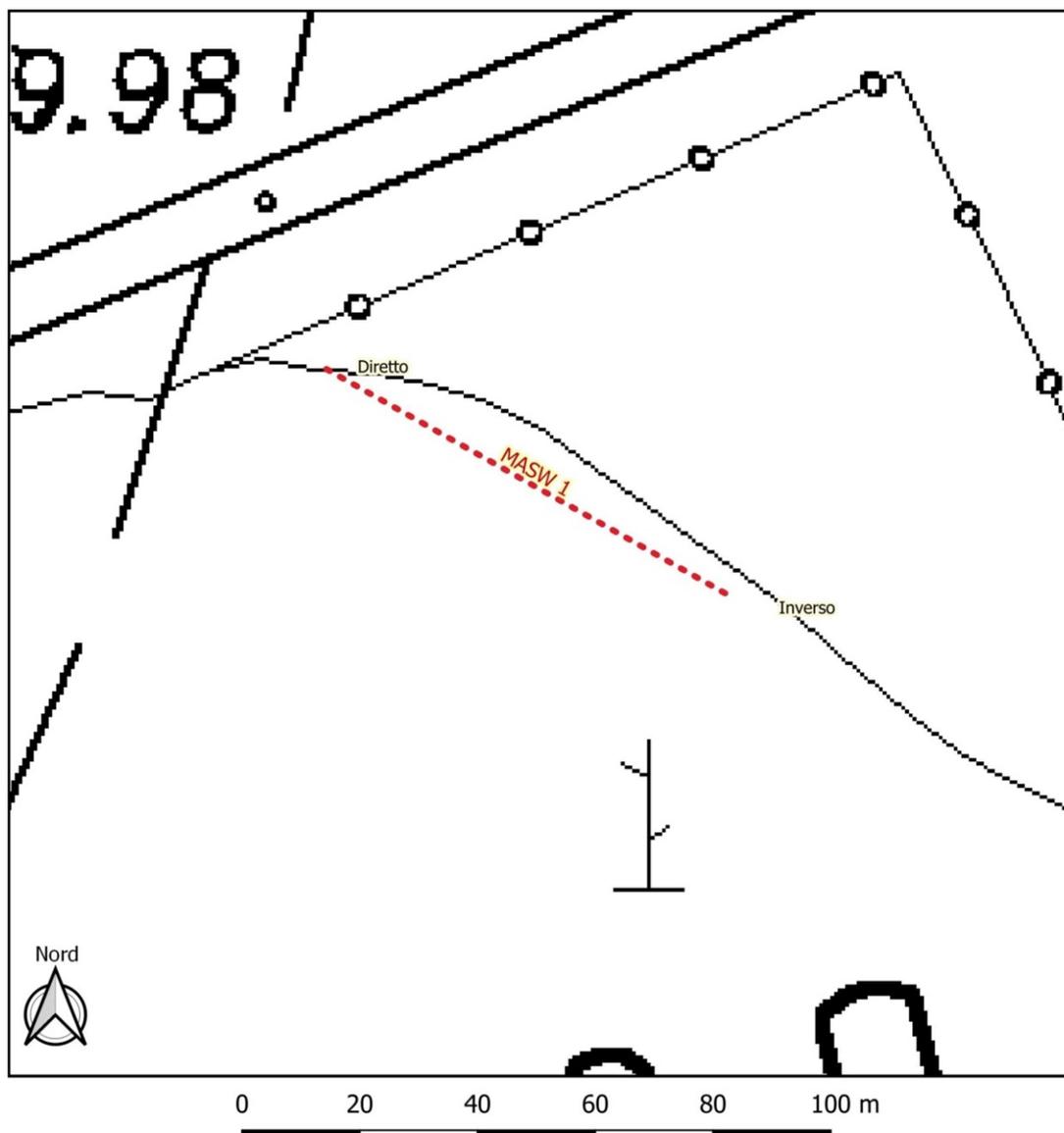


Figura 3 – Guspini, mappa di dettaglio su base CTR (lo stendimento sismico è indicato con la linea punteggiata rossa)

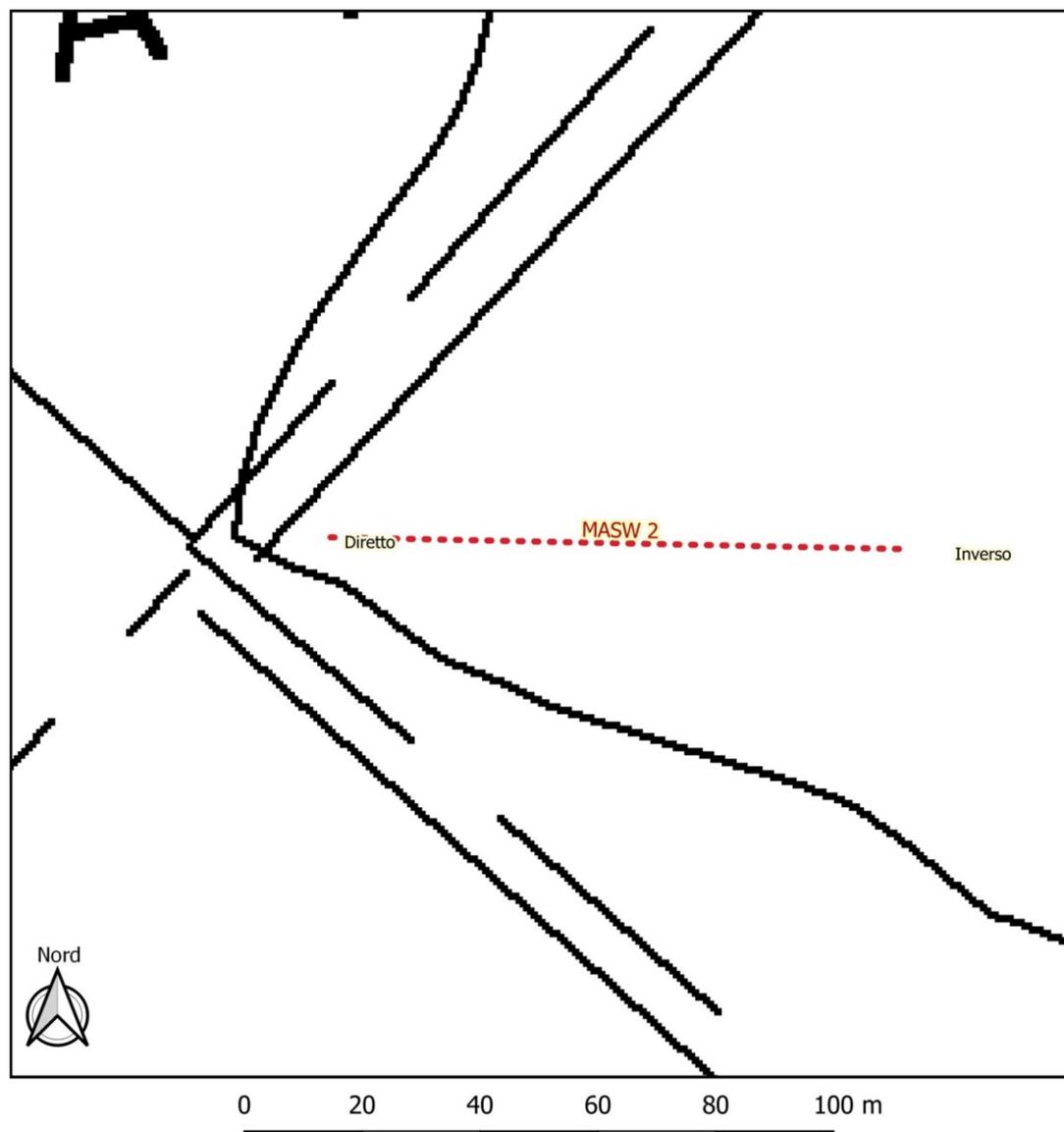


Figura 4 - Pabillonis, mappa di dettaglio su base CTR (l'allineamento è indicato con la linea punteggiata rossa).

3 CENNI SULLA METODOLOGIA D'INDAGINE

La prospezione sismica tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) analizza le onde di superficie e utilizza la strumentazione che normalmente si adotta per la sismica a rifrazione convenzionale.

Si tratta di una tecnica d'indagine non invasiva in quanto per l'elaborazione del profilo delle onde di taglio verticali non ha bisogno di scavi o misure in foro, ma analizza le onde di Rayleigh che giungono ai geofoni disposti secondo stendimenti lineari e poggianti direttamente sulla superficie di campagna. La teoria MASW impone che il sito investigato non abbia variazioni stratigrafiche

lungo lo stendimento in quanto, nella fase di inversione, il modello del sottosuolo è considerato a strati piani e paralleli. Il software calcola il valore RMS che rappresenta l'errore o l'incertezza tra le determinazioni teoriche e sperimentali. RMS prossimo all'unità rappresenta la condizione di minimo errore, tuttavia il grado di incertezza generalmente aumenta con la profondità.

3.1 MASW

È un metodo di investigazione cosiddetto "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 dal primo (circa 2 - 3 volte la distanza intergeofonica). Il metodo consente di ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico del sottosuolo e si basa sull'analisi delle onde di Rayleigh che si propagano entro un semispazio stratificato.

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. Il processo di analisi può essere suddiviso nelle seguenti fasi;

- acquisizione dei sismogrammi di campagna;
- verifica della qualità dei tracciati con eventuali interventi di pulizia e correzione ed elaborazione;
- salvataggio del file in formato SEG-2 idoneo all'elaborazione finale;
- pre-processing;
- elaborazione dello spettro nel dominio Velocità – N d'onda;
- calcolo della velocità apparente sperimentale;
- calcolo della velocità apparente numerica;
- individuazione del profilo monodimensionale delle velocità delle onde V_s ;
- calcolo della $V_{s,eq}$.

La strumentazione necessaria è costituita essenzialmente da uno stendimento lineare di 12 o più geofoni ad asse verticale con distanza intergeofonica di 0,5 / 4,0 m e da un sistema di acquisizione del segnale. Nell'ambito della prova è necessario analizzare frequenze molto basse anche

dell'ordine di 20 Hz o inferiori, per cui è necessario l'impiego di geofoni con frequenze comprese tra 4 e 14 Hz. Il tempo totale di campionamento deve essere di circa 4 sec con intervallo temporale raccomandato e di 2 – 4 m/sec.

Il software di elaborazione opera una trasformata bidimensionale nel campo frequenza – numero d'onda che analizza l'energia di propagazione nelle due direzioni dello stendimento e costruisce uno spettro su un grafico frequenza - numero d'onda. Nello spettro di elaborazione è possibile distinguere le onde di Rayleigh (che hanno potere dispersivo e contenuto in energia elevato) dai modi superiori, dal rumore incoerente e da altri tipi di onde. In questa fase interviene l'operatore che, in base alla propria esperienza e alle informazioni geologico - stratigrafiche del sito, estrae dallo spettro (intervenendo con un picking in corrispondenza dei massimi rilevabili nel modo fondamentale) la curva di dispersione sperimentale che il programma di calcolo inserisce in un diagramma nel quale compare una curva di dispersione teorica. Quest'ultima curva, intervenendo per modellazione sullo spessore degli strati, densità e velocità, dovrà adattarsi il più possibile alla curva sperimentale. A questo punto il programma elabora per inversione il modello di velocità (Vs), da cui è possibile individuare i vari sismo-strati intercettati nel sottosuolo rappresentati graficamente dall'andamento delle Vs in funzione della profondità.

4 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

4.1 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLO STRUMENTO

Per l'esecuzione dell'indagine è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- n° 24 canali per sismica a rifrazione da 24 bit;
- n° 24 geofoni verticali da 4,5 Hz High-gain;
- interfaccia con alimentatore;
- sensore per trigger;
- piastra di battuta;
- mazza battente da 10 kg;
- software di acquisizione;
- cavi sismici.

4.2 SOFTWARE

Il software di gestione del sismografo è il GEOEXPLORER DoReMi V.1.0.2 mentre per l'elaborazione delle Vs è stato utilizzato il programma SWAN su licenza della Geostudi Astier.

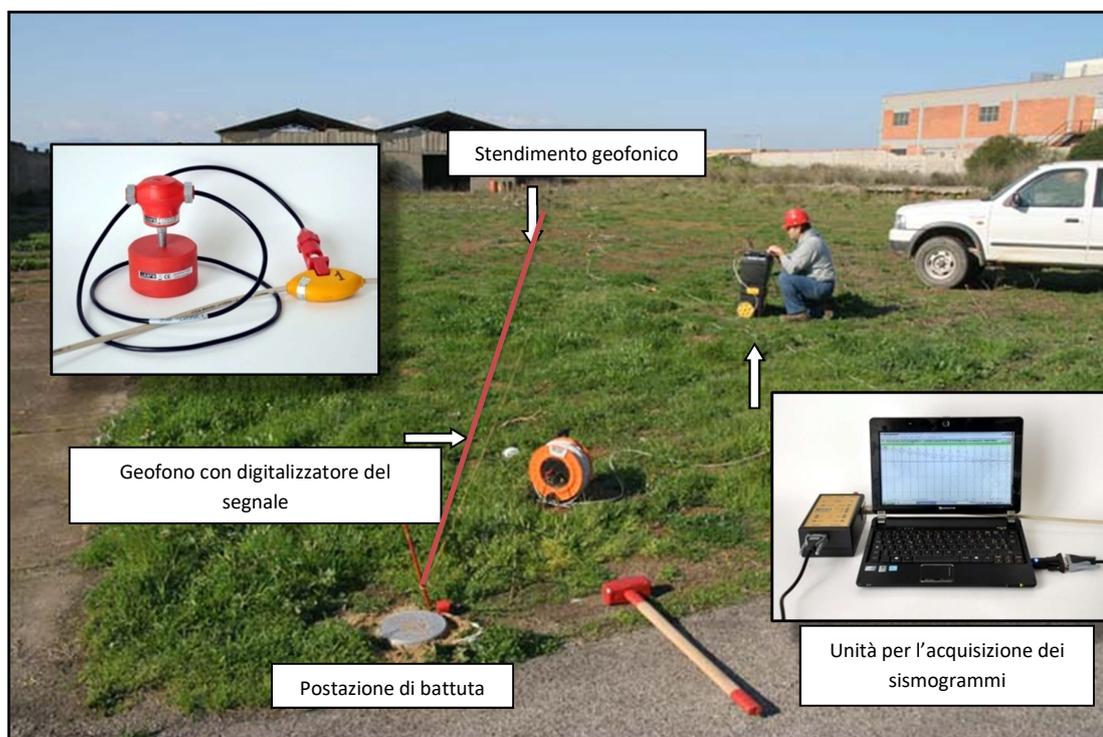


Figura 5 - Configurazione dello strumento di misura.

CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO DI MISURA

Sigla identificativa dello stendimento in planimetria:

MASW 1 Guspini;

MASW 2 Pabillonis.

Numero geofoni: 24;

Interdistanza fra i geofoni: 3 m; Offset di battuta : 9 m *diretta e inversa*;

Coordinate del punto intermedio dello stendimento (EPSG 3003):

MASW 1 (Guspini) E: 1471903,8 - N: 4381686,9

MASW 2 (Pabillonis) E: 1474176,6 - N: 4382037,7

Numero complessivo di acquisizioni per ogni stendimento: 6 (3 *dirette* e 3 *Inverse*);

Orientamento degli stendimenti: *MASW 1 NO - SE*;

MASW 2 E - O ;

Differenze di quota fra i ricevitori: *nulla o poco significativa;*

Condizioni meteo: sereno, assenza di vento;

Condizioni della superficie del suolo: stendimento eseguito su terreno con manto erboso.

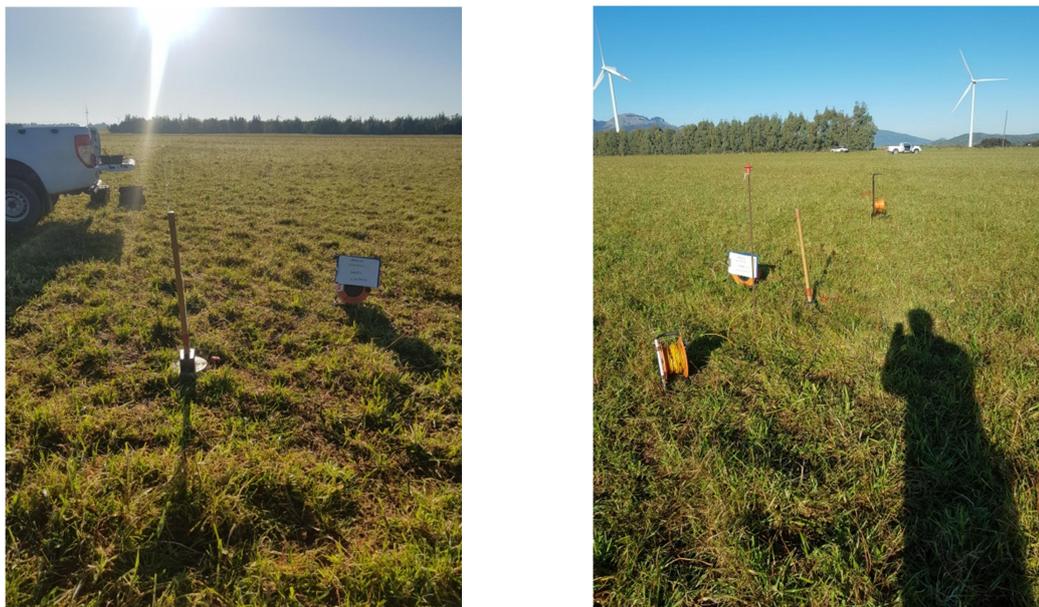


Figura 6 - Allineamento geofonico in agro di Guspini (diretto a sinistra e inverso a destra).



Figura 7 - Allineamento geofonico in agro di Pabillonis (diretto a sinistra e inverso a destra).

6 ELABORATI GRAFICI

Nel seguito si riportano gli elaborati grafici di interpretazione dei sismogrammi di campo. Nella figure 8 e 11 sono rappresentati gli spettri MASW ottenuti dall'interpretazione delle misure effettuate, in cui ad una prima analisi visiva è possibile osservare le onde di interesse aventi maggior energia. Queste sono differenziate con gradazioni di colore variabile dal celeste chiaro al rosso (il colore rosso indica energia più elevata); il campo blu rappresenta il rumore incoerente. Il grafico riporta linee nere oblique che suddividono lo spettro in campi di velocità con intervalli di 100 m/sec crescenti dal basso verso l'alto. Gli strati più superficiali sono rappresentati a destra e al centro dello spettro (area di interesse geotecnico), mentre verso il lato sinistro è indicata la risposta sismica degli strati più profondi. I dati riportati nel seguito si riferiscono per entrambe le acquisizioni, alla battute che hanno fornito in errore RMS più basso.

Analizzando lo spettro è possibile osservare che le onde di interesse, (indicate con la linea punteggiata – picking) si presentano piuttosto lente o poco veloci nella porzione a destra e al centro con velocità delle onde sismiche che si collocano all'interno delle fasce dei 300- 400 m/sec. Nella porzione all'estrema sinistra il picking interseca fasce più veloci indicanti un sensibile aumento delle Vs nella formazione più profonda.

I dati riportati nelle figure 10 e 13, che rappresentano l'andamento delle Vs con la profondità, indicano che entrambe le acquisizioni presentano una copertura relativamente lenta con Vs medie ricadenti nel campo dei 200-300 m/sec, ma già dopo i 2 m di profondità dall'attuale piano campagna, queste crescono ad indicare terreni di probabile natura granulare con addensamento crescente in quanto i valori medi delle Vs superano i 400 m/sec. Oltre i 17 m dal p.c. si rileva un ulteriore aumento delle Vs indicante terreni di probabile natura granulare/alluvionale molto addensati. In nessuna delle due misure eseguite è stato rilevato il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/sec).

MASW 1

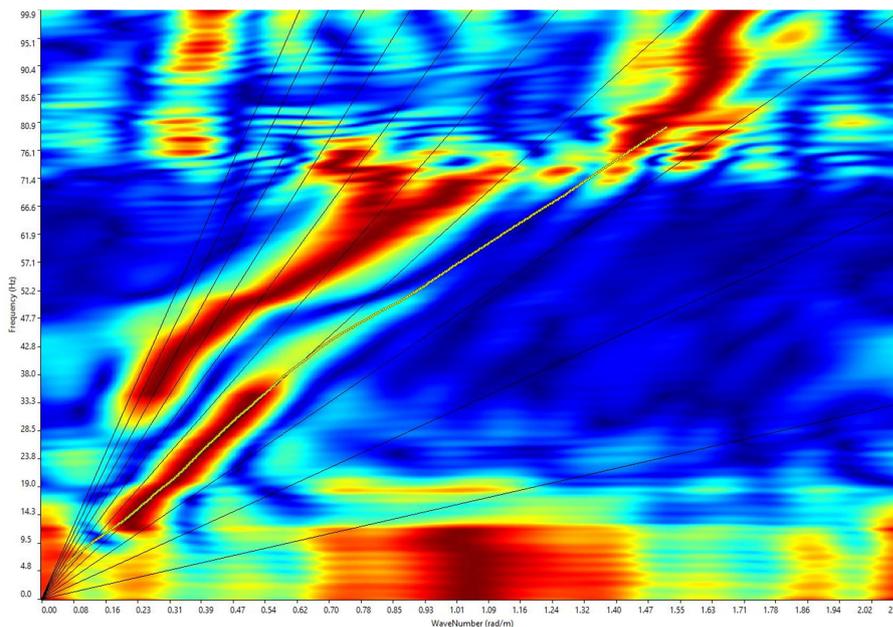


Figura 8 – Spettro.

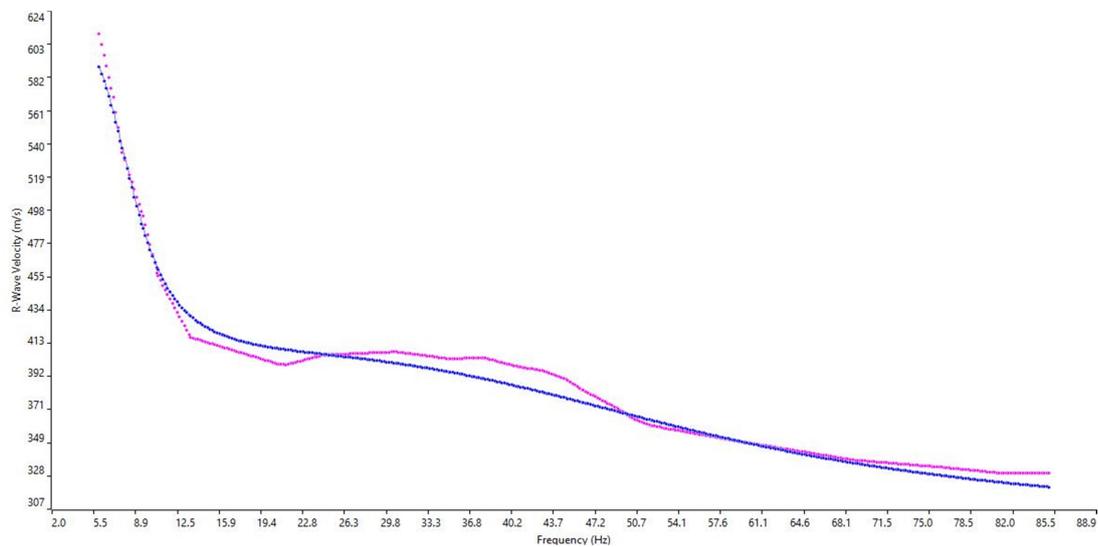


Figura 9 - Curva sperimentale (in rosa) e teorica (in blu).

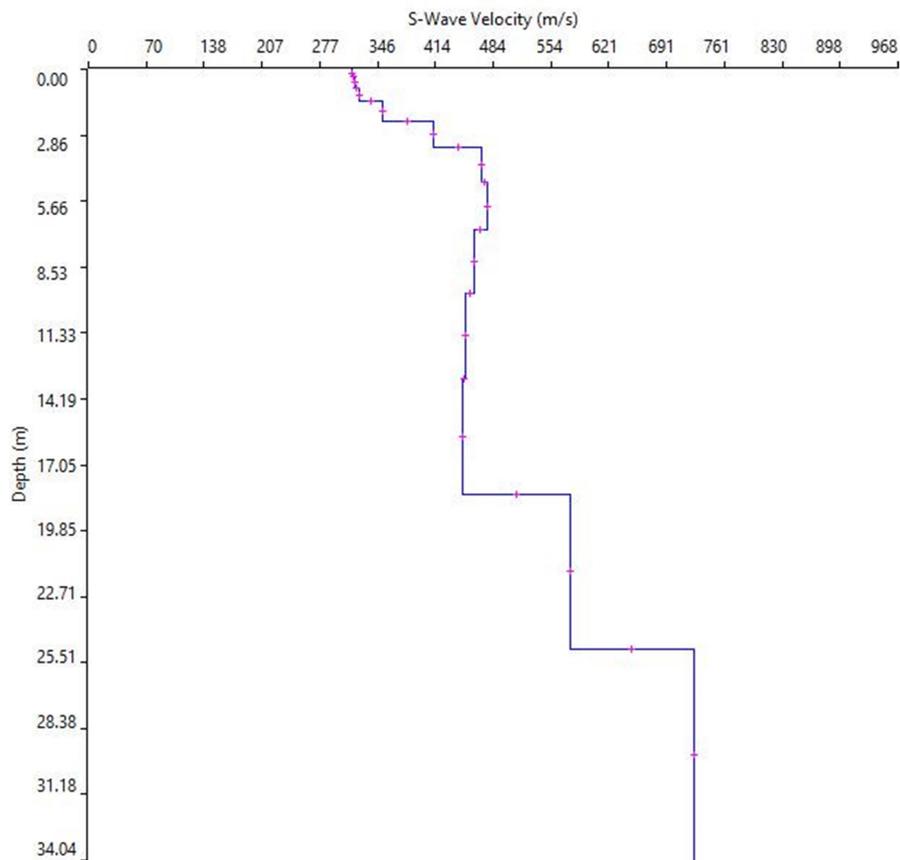


Figura 10 - Profilo monodimensionale Vs - profondità.

MASW 2

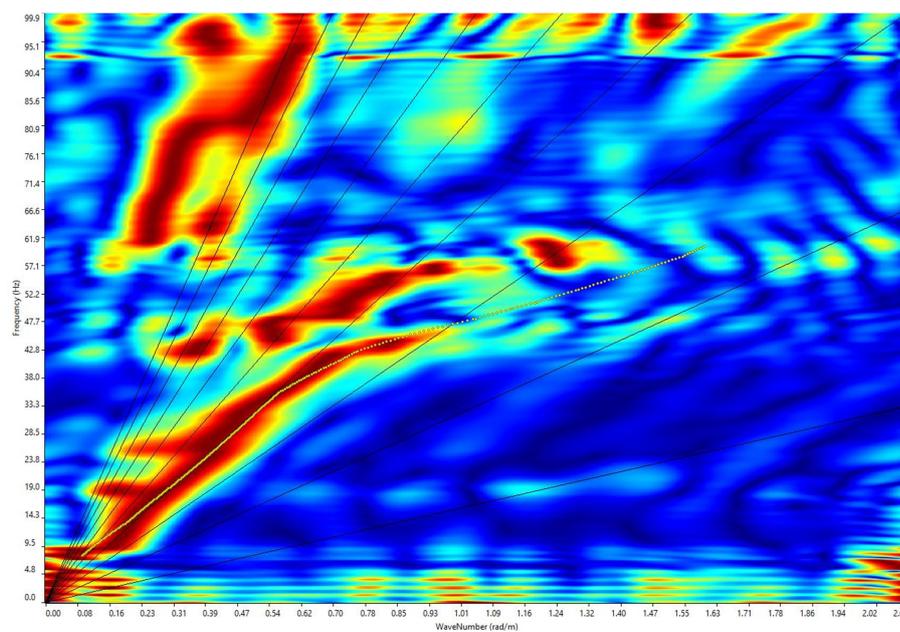


Figura 11 - Spettro MASW 2 (Pabillonis)

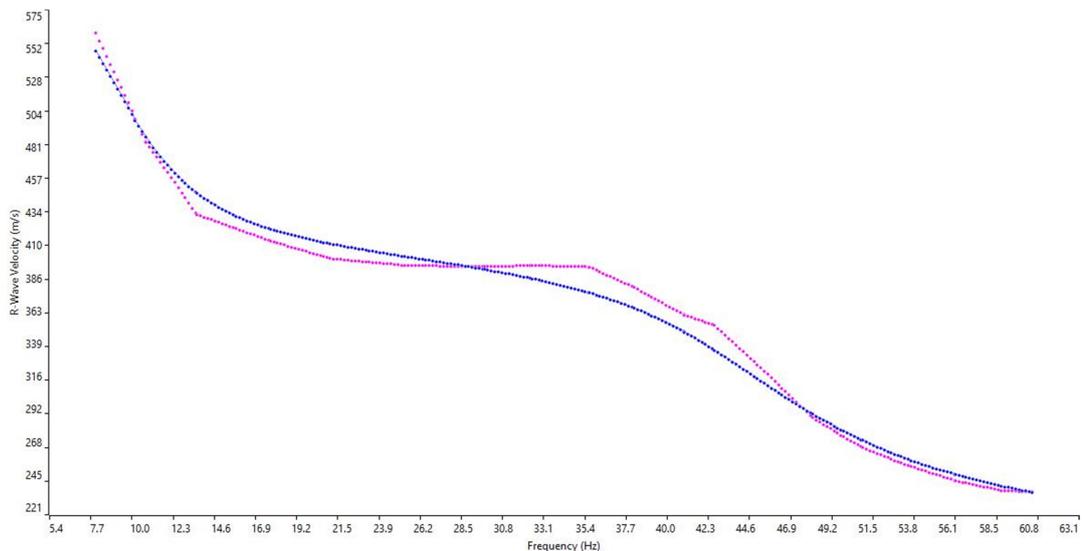


Figura 12 – MASW2, curva sperimentale (in rosa) e teorica (in blu)

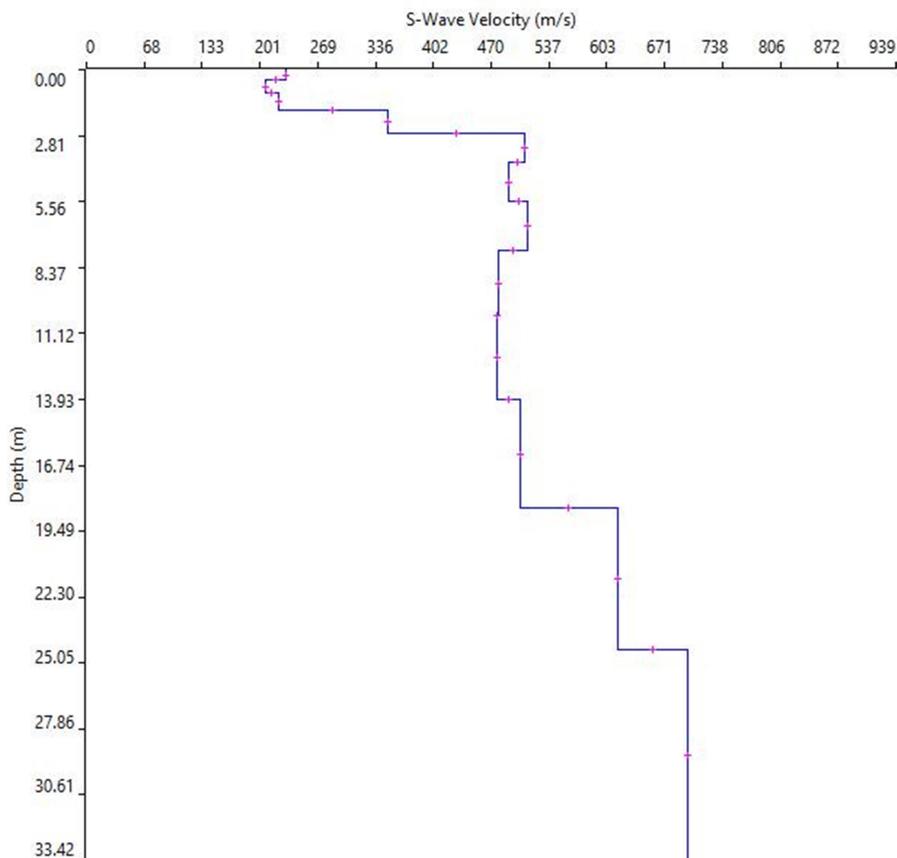


Figura 13 – MASW 2, profilo monodimensionale

7 SINTESI DEI RISULTATI E CALCOLO DELLA $V_{s,eq}$

Nel calcolo della $V_{s,eq}$ si è tenuto conto di tutti gli strati in cui, in fase di elaborazione, è stato suddiviso il profilo riportato in precedenza (12 strati). $V_{s,eq}$ rappresenta la media ponderata della distribuzione delle velocità di taglio per una profondità di 30 m (o del bedrock) calcolata dal piano d'imposta della fondazione, con la seguente formula (NTC 14 gennaio 2018):

$$V_{s,eq} = H / \sum (h_i/V_{s,i})$$

In cui;

H = profondità del substrato (formazione con $V_s \geq 800$ m/sec),

h_i = spessore dello strato i-esimo (m);

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato considerato (m/s).

Per depositi con H superiore a 30 m, la $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ che si ottiene ponendo 30 al posto di H.

$V_{s,eq}$ E CATEGORIA SISMICA DEL SITO

UBICAZIONE	Profondità imposta fondazione m da p.c.	Profondità del bedrock m da p.c.	RMS	V_{seq} m/sec	Categoria stratigrafica (NTC 2018)
GUSPINI	0,5	>30	1,76	502	B
	1			509	B
	1,5			516	B
	2			523	B

UBICAZIONE	Profondità imposta fondazione m da p.c.	Profondità del bedrock m da p.c.	RMS	V_{seq} m/sec	Categoria stratigrafica (NTC 2018)
PABILLONIS	0,5	>30	2,39	509	B
	1			525	B
	1,5			539	B
	2			550	B

Scheda 1 – $V_{s,eq}$ e categoria stratigrafica dei siti investigati.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,eq}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositati a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{seq} compresi tra 180 m/s e 360 m/s..
D	Depositati 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 V_{seq} inferiore a 180 m/s..
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 14 - Classificazione dei terreni secondo le NTC 2018.

(in grassetto è indicata la categoria stratigrafica di appartenenza rilevata nell'area d'indagine)

8 SISMO-STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA

La sismo-stratigrafia di interpretazione dei dati sismici è sinteticamente riassunta nelle schede riportate nel seguito i cui spessori indicati nella terza colonna sono da considerare del tutto indicativi. L'assetto indica analogie sismo-stratigrafiche nei due siti investigati in quanto, entrambi, costituiti probabilmente da sequenze di terreni di varia natura granulometrica con addensamento generalmente crescente con la profondità.

Schema stratigrafico	Descrizione litologica sintetica	Spessore medio <i>m</i>	Profondità base <i>m da p.c.</i>	Velocità onde Vs media <i>m/sec</i>
	Copertura detritica sciolta o poco addensata	1,4	1,4	320
	Terreni addensati probabilmente di natura granulare alluvionale	16,88	18,28	447
	Substrato molto addensato di probabile natura alluvionale ciottolosa.	11,74	30,00	632

Figura 15 - Schema sismo-stratigrafico Guspini.

Schema stratigrafico	Descrizione litologica sintetica	Spessore medio	Profondità base	Velocità onde Vs media
		<i>m</i>	<i>m da p.c.</i>	<i>m/sec</i>
	Copertura detritica sciolta o poco addensata	1,73	1,73	220
	Terreni addensati probabilmente di natura granulare alluvionale	16,8	18,53	481
	Substrato molto addensato di probabile natura alluvionale ciottolosa.	11,37	30,00	654

Figura 16 – Sito di Pabillonis, schema sismo-stratigrafico.

Le schede che seguono contengono i principali parametri fisici e sismici dei siti investigati.

Strato	Spessore medio	Profondità base	Vs	Vp	Modulo di taglio dinamico	Modulo di elasticità dinamico	R	F	T
n°	<i>m</i>	<i>m da p.c.</i>	<i>m/sec</i>	<i>m/sec</i>	G ₀ MPa	Edin MPa	<i>m/sec x</i> kN/mc	Hz	sec
1	0,34	0,34	315	546	18	37	567	231,62	0,004
2	0,45	0,79	318	551	19	38	572	176,67	0,006
3	0,61	1,4	324	561	19	39	583	132,79	0,008
4	0,84	2,24	351	608	23	46	632	104,46	0,010
5	1,13	3,37	413	715	31	63	743	91,37	0,011
6	1,5	4,87	470	814	41	82	846	78,33	0,013
7	2,03	6,9	477	826	42	85	859	58,74	0,017
8	2,73	9,63	461	798	39	79	830	42,22	0,024
9	3,69	13,32	451	781	37	76	812	30,56	0,033
10	4,95	18,27	447	774	37	74	805	22,58	0,044
11	6,68	24,95	576	998	61	123	1037	21,56	0,046
12	5,05	30	724	1254	96	195	1303	35,84	0,028

Scheda 2 – Guspini, parametri fisici.

Strato	Spessore medio	Profondità base	Vs	Vp	Modulo di taglio dinamico	Modulo di elasticità dinamico	R	F	T
n°	m	m da p.c.	m/sec	m/sec	G ₀ MPa	Edin MPa	m/sec x kN/mc	Hz	sec
1	0,43	0,43	232	402	10	20	418	134,88	0,007
2	0,57	1	207	359	8	16	373	90,79	0,011
3	0,73	1,73	223	386	9	18	401	76,37	0,013
4	0,97	2,7	349	604	22	45	628	89,95	0,011
5	1,24	3,94	509	882	48	96	916	102,62	0,010
6	1,62	5,56	490	849	44	89	882	75,62	0,013
7	2,1	7,66	512	887	48	97	922	60,95	0,016
8	2,73	10,39	478	828	42	85	860	43,77	0,023
9	3,54	13,93	476	824	42	84	857	33,62	0,030
10	4,6	18,53	503	871	46	94	905	27,34	0,037
11	5,97	24,5	617	1069	70	141	1111	25,84	0,039
12	5,5	30	698	1209	89	181	1256	31,73	0,032

Scheda 3 - Pabillonis, parametri fisici.

Il significato dei simboli è il seguente:

Frequenza (F) e periodo (T) (calcolati per ogni singolo strato):

$$F = V_s / 4H,$$

$$T = 4H / V_s$$

Velocità delle onde longitudinali (Vp)

$$V_p = \sqrt{3} \times V_s$$

Modulo di taglio dinamico (G)

$$G = V_s^2 \times \gamma/g$$

Modulo elastico dinamico (Edin)

$$E_{din} = \rho \times V_p^2 \times (1+\nu) \times (1-2\nu)/(1-\nu)$$

In cui:

$\rho = \gamma/g$ (con $\gamma = 18$ kN/mc);

$g =$ accelerazione di gravità;

$\nu =$ coefficiente di Poisson (è stato considerato un valore medio pari a 0,33);

$H =$ spessore dello strato.

Rigidità sismica (R)

La rigidità sismica è un parametro legato all'amplificazione sismica locale; tanto più alto risulta R tanto minore sarà l'incidenza del danno dovuto al sisma;

$$R = \gamma \times V_s$$

In cui:

γ = peso di volume naturale;

V_s = Velocità di taglio.

Gli autori Law e Campbell (1985) propongono le curve di rigidezza che tengono conto dell'andamento delle V_s con la profondità. Nei grafici riportati nelle fig. 17 e 18 si osserva che a destra della linea rossa ricadono i terreni rigidi, mentre la curva blu indica il limite superiore dei terreni soffici. Il campo delimitato dalle due linee rappresenta una condizione di rigidezza intermedia. Le due curve sono messe a confronto con il profilo di rigidezza del sito investigato (vedasi linea nera in tratteggio). Le curve, in entrambe le acquisizioni, ricadono in prossimità del limite superiore dei terreni moderatamente rigidi.

Profilo di rigidezza GUSPINI

Strato	Profondità mezzeria strato	V _s
n°	m	m/sec
1	0,17	315
2	0,565	318
3	1,095	324
4	1,82	351
5	2,805	413
6	4,12	470
7	5,885	477
8	8,265	461
9	11,475	451
10	15,795	447
11	21,61	576
12	27,475	724

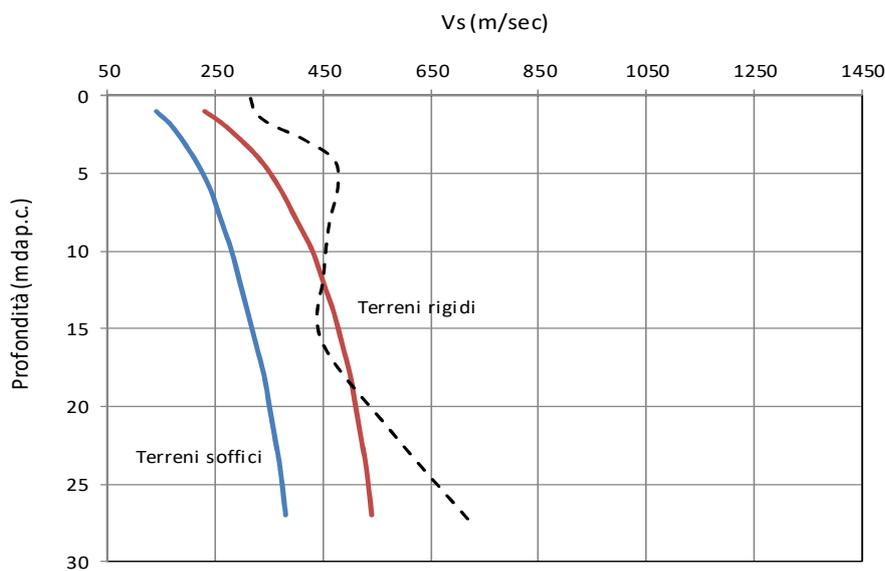


Figura 17 - Guspini - Profilo di rigidezza locale (linea tratteggiata).

Profilo di rigidezza PABILLONIS

Strato	Profondità mezzeria strato	Vs
n°	m	m/sec
1	0,215	232
2	0,715	207
3	1,365	223
4	2,215	349
5	3,32	509
6	4,75	490
7	6,61	512
8	9,025	478
9	12,16	476
10	16,23	503
11	21,515	617
12	27,25	698

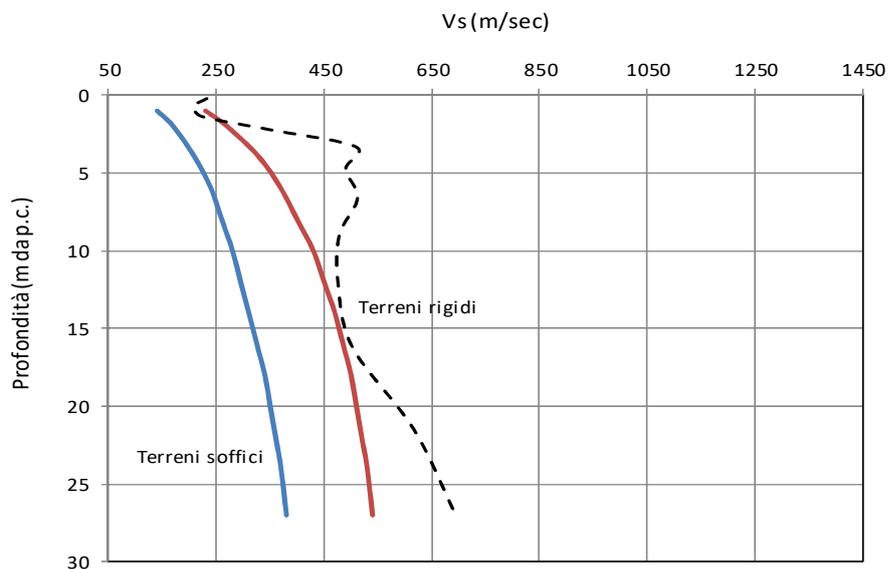


Figura 18 - Pabillonis - Profilo di rigidezza locale indicato con la linea tratteggiata.

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati acquisiti con la presente indagine sismica in onde di superficie hanno permesso di caratterizzare con sufficiente approssimazione il sottosuolo di due aree in cui è prevista la realizzazione di un impianto Agrofotovoltaico denominato “Agri Pauli” ricadente entro i limiti amministrativi dei comuni di Guspini e Pabillonis in provincia di Oristano.

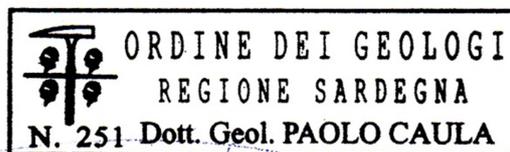
Le prospezioni hanno permesso di determinare la categoria stratigrafica così come definita dalle NTC del 2018 e l’assetto sismo-stratigrafico dei terreni di fondazione fino ad una profondità stimata di circa 30 m.

Dall’analisi dei dati ottenuti emerge quanto segue:

- L’assetto sismo-stratigrafico rilevato dall’analisi del profilo sismico indica la presenza di una copertura da poco a moderatamente addensata giacente su un substrato di probabile natura alluvionale.
- In nessuna delle due acquisizioni è stato rilevato il bedrock sismico.
- La $V_{s,eq}$, calcolata per diverse profondità di imposta della fondazione (vedasi la scheda 1 a pag. 15), risultano variabili da 502 e 550 m/sec, da cui ne deriva che i siti investigati ricadono in categoria stratigrafica **B** come definita dalle NTC del 2018 (vedasi fig. 14 alla pag. 16).

Dott. Geol. Paolo Caula

Data: FEBBRAIO 2023



ALLEGATI

SISMOGRAMMI

Sismogrammi relativi alle postazioni
diretta e inversa dopo stacking

Nome ditta:
SOILTECH S.n.c.

Nome operatore:
Paolo Caula

Nome cliente:
Dott. Geol. Luigi Sanciù

Strumento:
DOREMI

Data:
21/02/2023

Ora:
09.13.10

Luogo:
Guspini

Nome del file:
2023-02-21_09-13-10_01000_00200_024_Acq v2.drm

Coordinate del sito:
Agrifotovoltaico

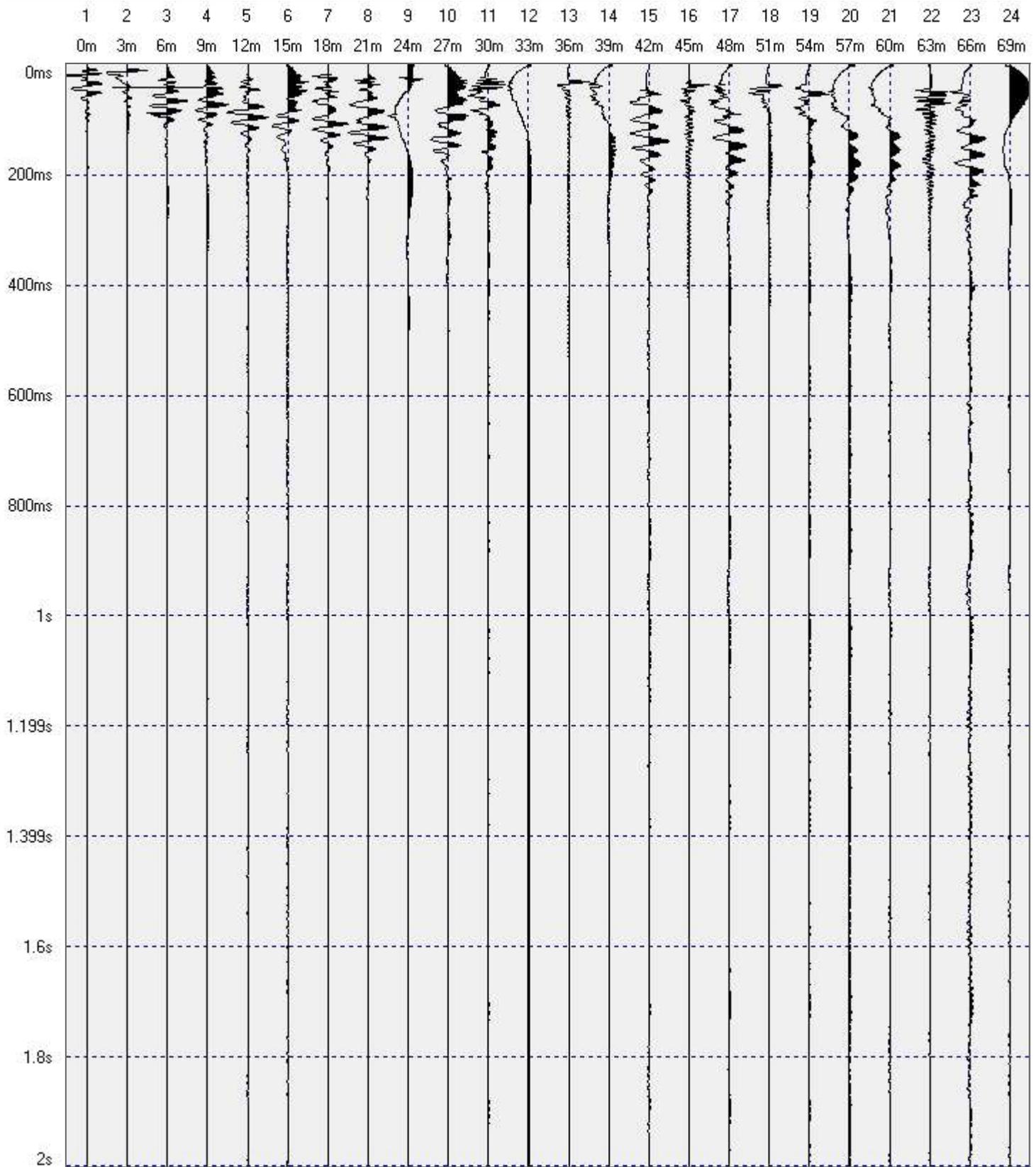
Periodo di campionamento:
1000uS (1000 SPS)

Durata:
2s

Offset:
-9 mt

Note:
Guspini diretto

Etichetta:
Guspini diretto



Nome ditta:
SOILTECH S.n.c.

Nome operatore:
Paolo Caula

Nome cliente:
Dott. Geol. Luigi Sanciu

Strumento:
DOREMI

Data:
21/02/2023

Ora:
09.21.03

Luogo:
Guspini

Nome del file:
2023-02-21_12-38-37_01000_00200_024_StckSm.drm

Coordinate del sito:
Agrifotovoltaico

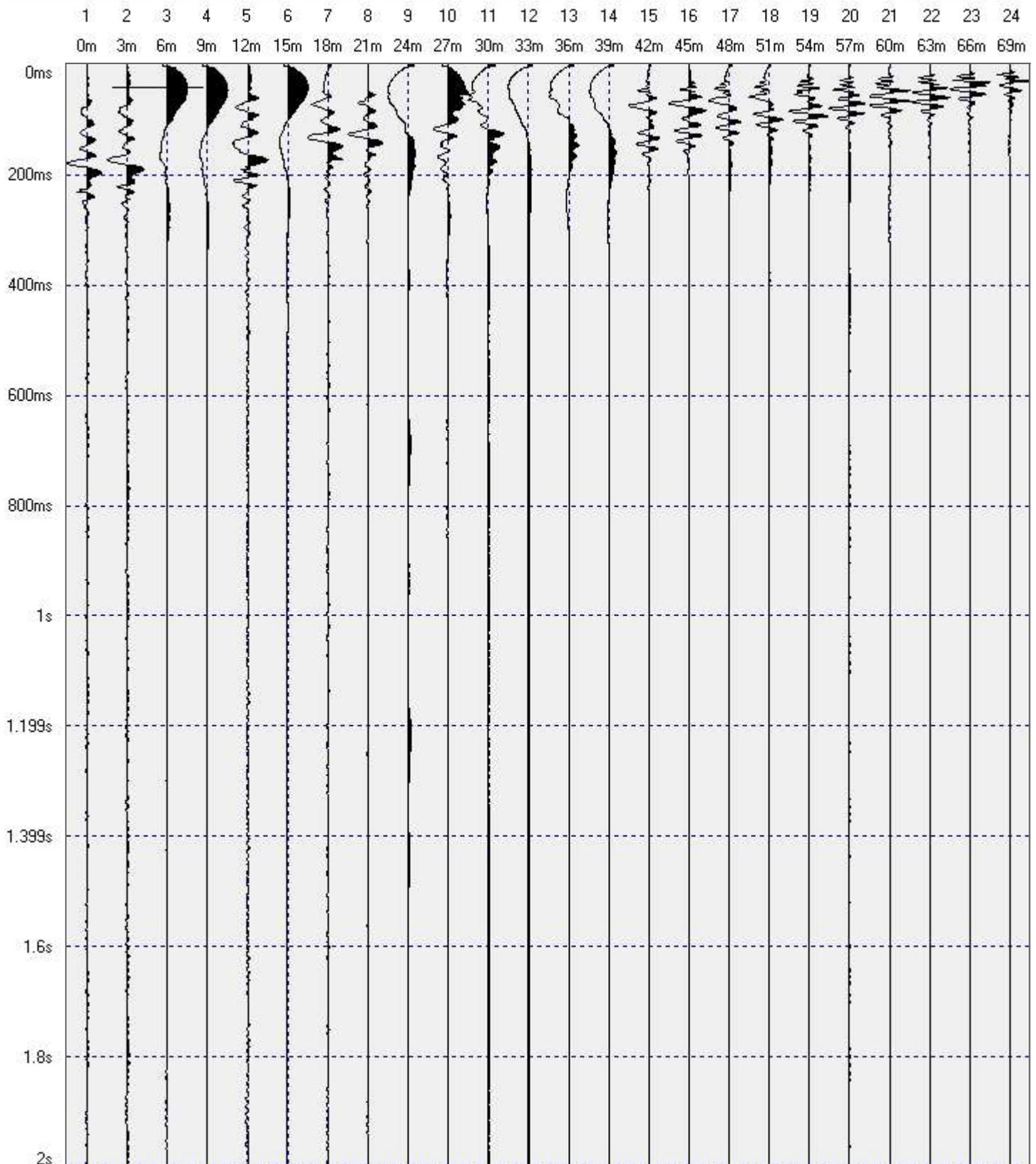
Periodo di campionamento:
1000uS (1000 SPS)

Durata:
2s

Offset:
78 mt

Note:
Guspini inverso

Etichetta:
Guspini inverso



Nome ditta:
SOILTECH S.n.c.

Nome operatore:
Paolo Caula

Nome cliente:
Dott. Geol. Luigi Sanciù

Strumento:
DOREMI

Data:
21/02/2023

Ora:
10.13.24

Luogo:
Pabillonis

Nome del file:
2023-02-21_12-39-23_01000_00200_024_StckSm.drm

Coordinate del sito:
Agrifotovoltaico

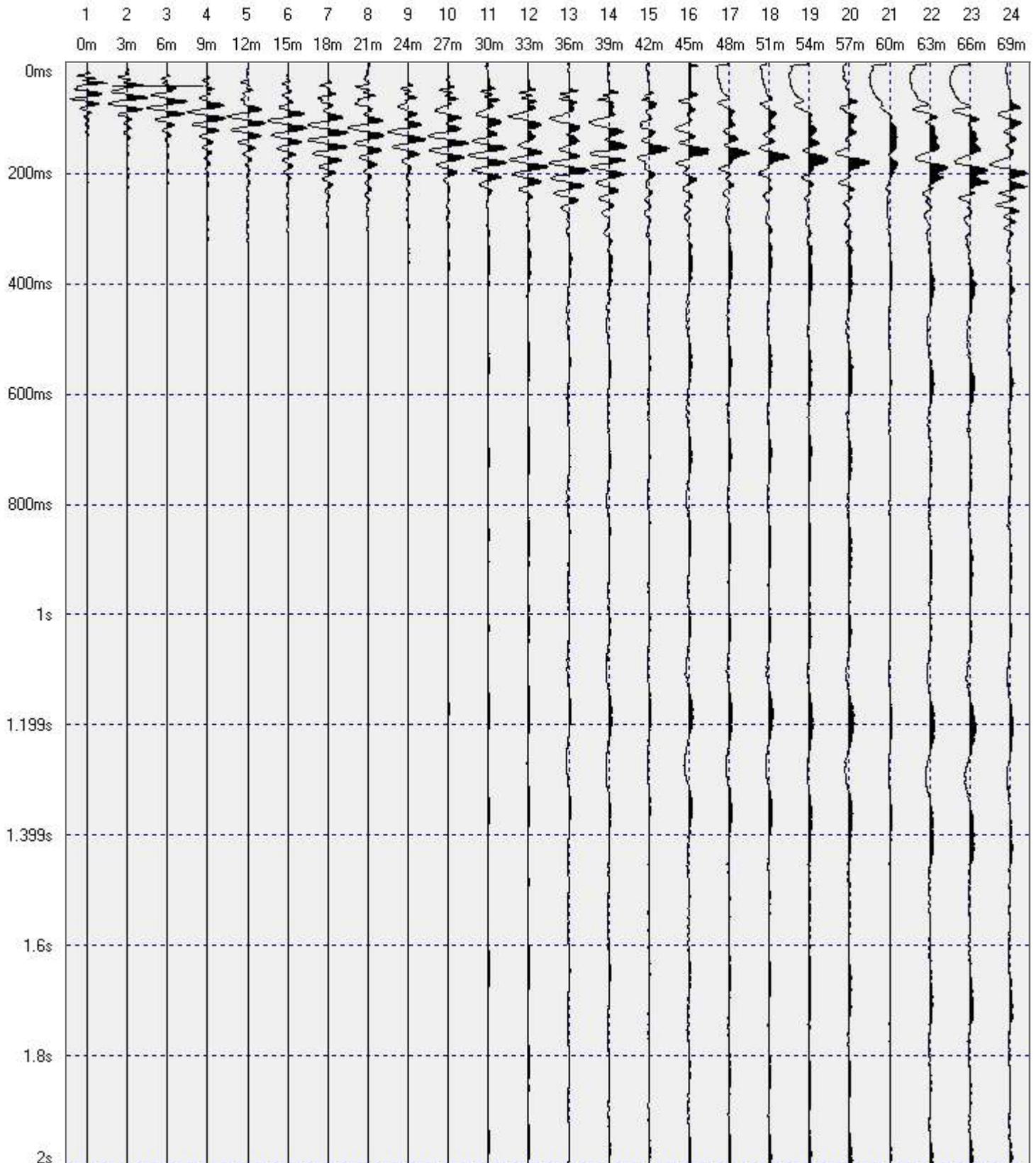
Periodo di campionamento:
1000uS (1000 SPS)

Durata:
2s

Offset:
-9 mt

Note:
Pabillonis diretto

Etichetta:
Pabillonis diretto



Nome ditta:
SOILTECH S.n.c.

Nome operatore:
Paolo Caula

Nome cliente:
Dott. Geol. Luigi Sanciu

Strumento:
DOREMI

Data:
21/02/2023

Ora:
10.19.27

Luogo:
Pabillonis

Nome del file:
2023-02-21_12-40-08_01000_00200_024_StckSm.drm

Coordinate del sito:
Agrifotovoltaico

Periodo di campionamento:
1000uS (1000 SPS)

Durata:
2s

Offset:
78 mt

Note:
Pabillonis inverso

Etichetta:
Pabillonis inverso

