

Il Tecnico  
Dott. Geol.  
Roberta Maria Sanna



*Roberta Maria Sanna*

00	01/03/2024	Prima Emissione	Dott. Geol. Sanna	Dott. Geol. Sanna	Baltex

REV.	DATA	DESCRIZIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO	
Il Tecnico  Dott. Geol. Roberta Maria Sanna		<b>PROGETTO:</b>  SARDEGNA 14 GUSPINI Impianto Fotovoltaico Guspini 33,6 MWac				
<b>PROPONENTE</b> BALTEX SARDEGNA14 GUSPINI S.r.l.		<b>NOME FILE:</b> SIA.gus_07_RGE				
		<b>UBICAZIONE:</b> REGIONE SARDEGNA Provincia di Sud Sardegna Comune di Guspini	<b>FORMATO:</b>  <b>A4</b>	<b>SCALA:</b>  n.a.	<b>SCALA PLOT:</b>	<b>FOGLIO:</b>
<b>FORNITORE</b> A.R.T. STUDIO S.r.l. Via Ragazzi del '99 n°5 - 10090 BUTTIGLIERA ALTA (TO)		<b>TITOLO:</b>  Studio di Impatto Ambientale  Relazione geotecnica				
		<b>CODICE ELABORATO:</b>  SIA.gus_07				



## INDICE

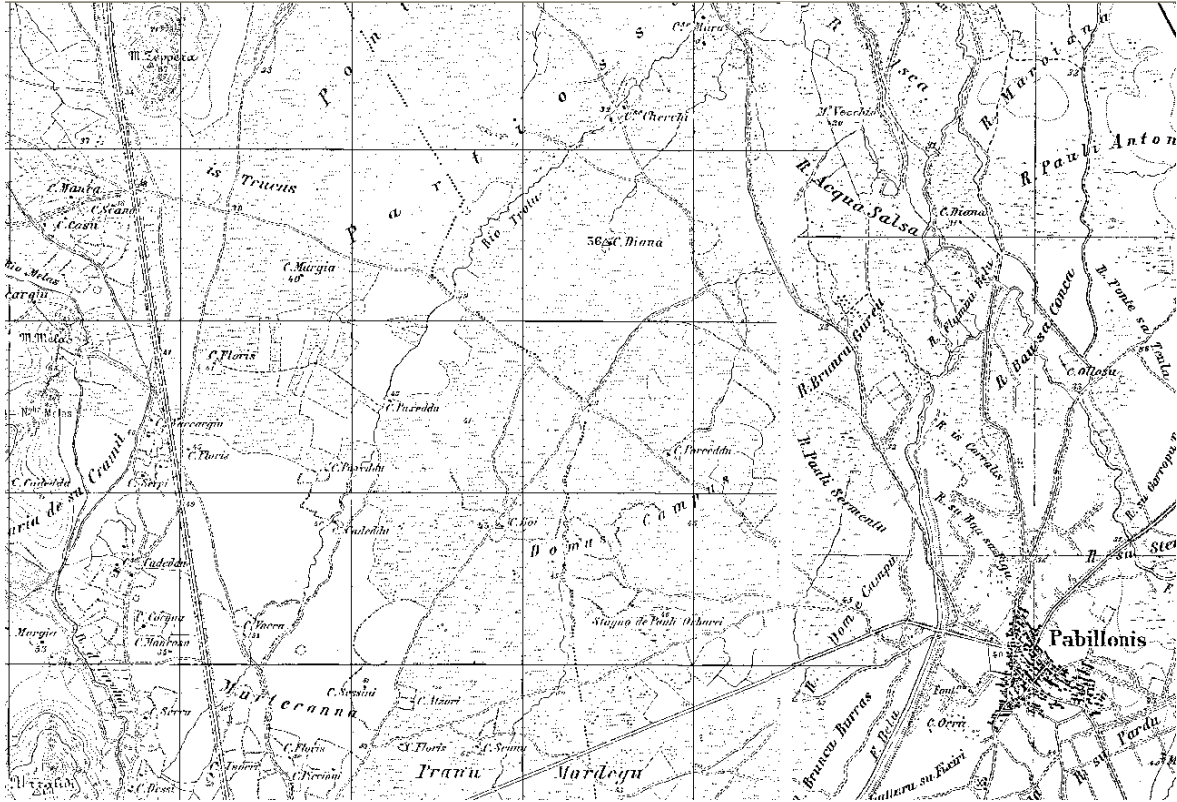
1	PREMESSA.....	4
2	DESCRIZIONE DELLE AREE DI STUDIO.....	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO DI SETTORE.....	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	9
4.1	SCHEMA GEOLOGICO DELL'AREA INCLUDENTE IL TERRITORIO VASTO.....	13
4.2	LE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE.....	15
4.3	GEOLOGIA DELL'AREA RISTRETTA .....	18
4.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	19
4.5	PROVA SISMICA TOMOGRAFICA .....	20
4.5.1	LA TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE .....	20
4.5.1.1	SISTEMA DI ACQUISIZIONE.....	22
4.5.1.2	ELABORAZIONE DATI.....	22
4.5.2	RISULTATO DELLA SISMICA TOMOGRAFICA DI SUPERFICIE.....	28
4.6	LA PROVA MASW .....	29
4.6.1	Analisi del segnale con tecnica MASW.....	29
4.6.1.1	Profilo Sismico "M.A.S.W.".....	30
4.6.2	Sistema di acquisizione .....	30
4.6.3	Risultati della prova.....	31
4.6.4	Tracce .....	34
4.6.5	Analisi spettrale .....	35
4.6.6	Curva di dispersione.....	36
4.6.7	Inversione.....	37
4.6.8	Profilo di velocità e sismostratigrafia.....	38
4.7	CALCOLO DEL MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO .....	39
4.7.1	Altri parametri geotecnici.....	40
4.8	PARAMETRIZZAZIONE Vs, eq.....	40
4.9	PROVA DPL_02 .....	42
4.10	PROVA DPL_01.....	44
4.10.1	FORMULE ADOTTATE E BIBLIOGRAFIA .....	46
4.10.1.1	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING) - DPSH – DPM (... scpt ecc.) .....	46
4.10.1.2	Penetrometri in uso in Italia.....	47
4.10.1.3	Correlazione con Nspt.....	47
4.10.1.4	Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd .....	48
4.10.1.5	Metodologia di Elaborazione. ....	48



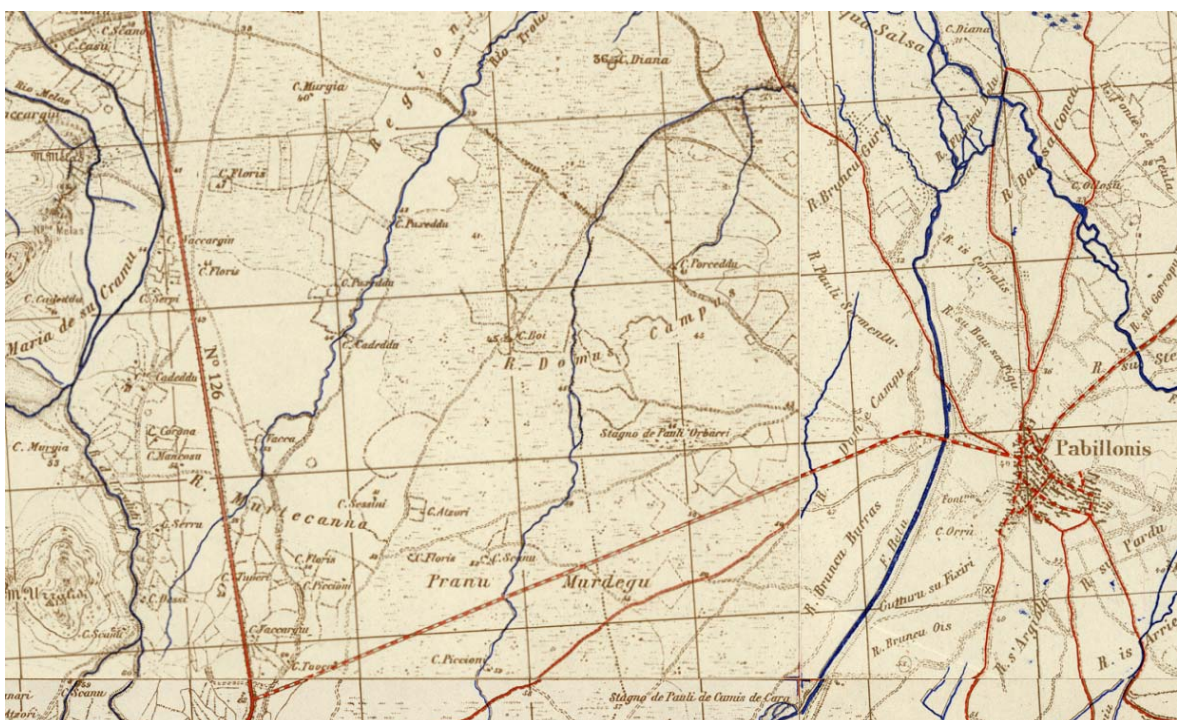
4.10.1.6	Valutazioni statistiche e correlazioni .....	49
4.10.2	Pressione ammissibile.....	49
4.10.3	Correlazioni geotecniche terreni incoerenti.....	49
4.10.4	Correlazioni geotecniche terreni coesivi .....	51
4.11	IL MODELLO GEOTECNICO.....	53
4.12	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	54
4.12.1	PARAMETRI GEOMECCANICI RISULTANTI DALLE PROVE PENETROMETRICHE .....	54
4.12.2	PARAMETRI GEOMECCANICI RISULTANTI DALLA MASW .....	54
4.12.3	PARAMETRI GEOMECCANICI ADOTTATI .....	56
4.13	COMPATIBILITÀ GEOTECNICA.....	56
5	COMPATIBILITÀ.....	57

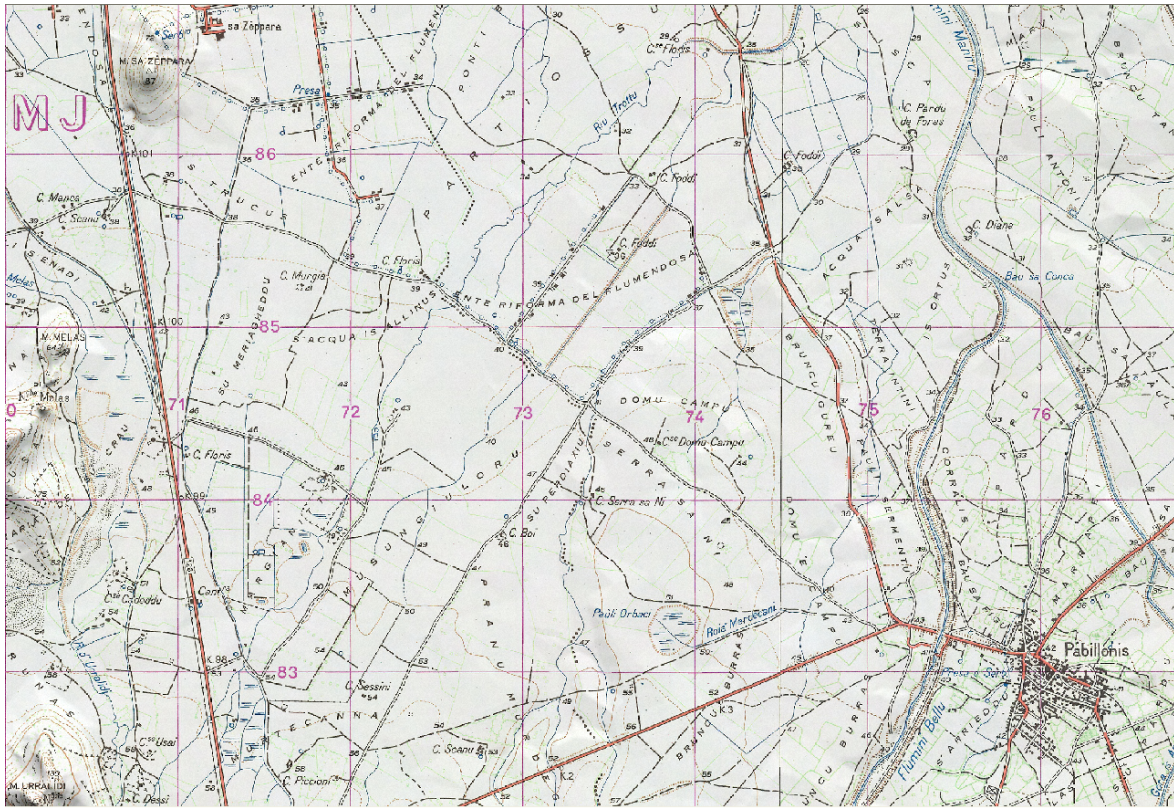
## 1 PREMESSA

Questo elaborato costituisce il rapporto geotecnico esteso all'area del proposto impianto Agrovoltaico in area su Perdiaxiu, tra i territori comunali di Guspini e Pabillonis.



*L'area nella cartografia IGM 1888 sopra e USAF su IGM1943 sotto*





L'area nella cartografia IGM 1960 e Real Corpo 1840 sotto



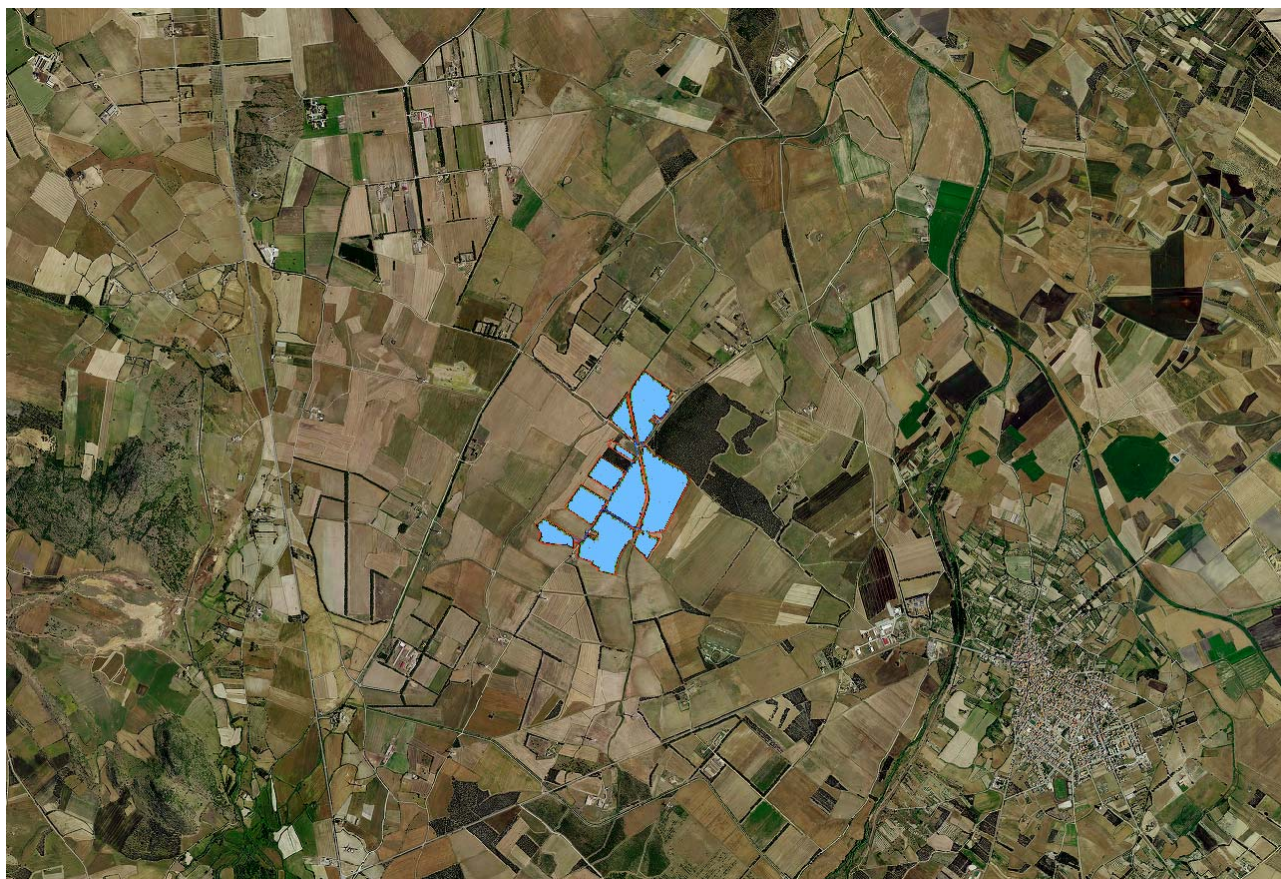
Il settore è posto in un'area subpianeggiante, a cavallo tra i territori comunali di Guspini e Pabillonis, tra la strada provinciale che conduce a Pabillonis e la SS 126, in area debolmente elevata sulla piana circostante.

## 2 DESCRIZIONE DELLE AREE DI STUDIO

Il territorio studiato, tra i territori comunali di Guspini e Pabillonis, è parte integrante del settore del Sud Ovest della Sardegna ed è posto al margine occidentale del Campidano.

Lo studio geologico è composto di una relazione analitica, di 7 tavole grafiche al 1:5.000:

- Tav 1.1 Carta geolitologica
- Tav 1.2 Carta geomorfologica
- Tav 1.3 Carta idrogeologica
- Tav 1.4 Carta geotecnica
- Tav 1.5 Carta PAI inviluppo pericolosità geologica
- Tav 1.6 Carta PAI inviluppo pericolosità idraulica
- Tav 1.7 Carta delle fasce di Tutela ex art 8 e 30 ter NTA PAI



***Posizione dell'intervento nell'area di su Perdiaxiu***



### 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO DI SETTORE

Il presente documento è redatto secondo quanto richiesto dalla normativa vigente ed in particolare, è conforme a quanto richiesto da:

- dal punto H del D.M. 11.3.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle terre e delle opere di fondazione";
- dal DM 17-01-2018 NTC2018;
- dagli Eurocodici EC7 ed EC8.

In particolare, il D.M. 17.01.2018 entrato in vigore a partire dal 01-07-2018 stabilisce le Norme Tecniche per le Costruzioni o meglio le norme per la progettazione ed il dimensionamento delle strutture.

Tale documento, come anche precisato dalla successiva Circolare Applicativa del 21.01.2019, con tutti gli ovvi risvolti sulle fasi preliminari della progettazione, è quindi riferito alla fase esecutiva della progettazione.

Per quanto riguarda la sfera attinente la professionalità del geologo vengono richiesti all'interno della progettazione 3 documenti:

- relazione geologica
- relazione geotecnica
- relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base.

La relazione geologica deve contenere le indagini, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito in riferimento all'opera ed analizzare la pericolosità geologica del sito in assenza ed in presenza delle opere. La valenza di questo documento è fondamentale non solo per la progettazione esecutiva dell'opera ma per stabilire in fase di progettazione architettonica o preliminare se l'opera si "può fare" e quali saranno le problematiche relative alla stabilità dei terreni ed all'assetto idrogeologico dell'intorno.

La relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del solo "volume significativo" e deve valutare l'interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento.

La relazione sulla modellazione sismica deve valutare la pericolosità sismica di base del sito, tale documento riveste importanza per la valutazione della "pericolosità" e quindi va inserito non solo nel livello di progettazione definitivo ma già fin dal livello di progettazione preliminare. Dato che tale documento specie per la trattazione degli effetti di sito assume un carattere prettamente "geologico", lo stesso può essere redatto in forma indipendente o essere inserito nella relazione geologica.

In particolare la normativa generale presa a riferimento è costituita da:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni".  
Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7/ C.S.LL.PP., 21.01.2019,  
Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- UNIEN 1998 5:2005 Eurocodice 8 (rev 2005)  
Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture  
Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- UNIEN 1997 1:2005 Eurocodice 7.1 (rev 2005)  
Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali
- UNIEN 1997 2:2002 Eurocodice 7.2 (rev 2002)



Progettazione geotecnica – Parte I : Progettazione assistita da prove di laboratorio

- EC 1-20120 UNIEN 1997 2:2007 Eurocodice 7.2 (rev 2007)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito

- Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico
- Piano di Assetto Idrogeologico (NTA agg. 08.03.2023)
- Piano delle Fasce Fluviali
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale
- Piani Territoriali di coordinamento (Cagliari)
- Piani Urbanistici di Guspini e Pabillonis e relativi Regolamento edilizio e Norme Tecniche di Attuazione
- D.M. 11.03.1988 (pur obsoleto)

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità e dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione



## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area di indagine è posta al margine occidentale del Campidano.

Al fine di avere un quadro generale degli eventi e poter meglio comprendere l'attuale assetto geologico-morfologico della zona di studio, di seguito vengono riportati brevemente i principali eventi geologico-strutturali responsabili della formazione e dell'evoluzione del sistema *graben-horst* del Campidano, che si sviluppa dal Golfo di Oristano al Golfo di Cagliari.



**Mappa – L'area di progetto (cerchio viola) sulla carta geologica del La Marmora**

Gli eventi più antichi sono legati all'orogenesi ercinica che imprime al batolite granitico le principali linee strutturali attraverso deformazioni, metamorfismo ed un rilevante magmatismo effusivo e intrusivo. La zonazione tettonometamorfica del basamento sardo (Carmignani et al., 1980/1982), considerata "identica" a quella delle catene collisionali, è data da:

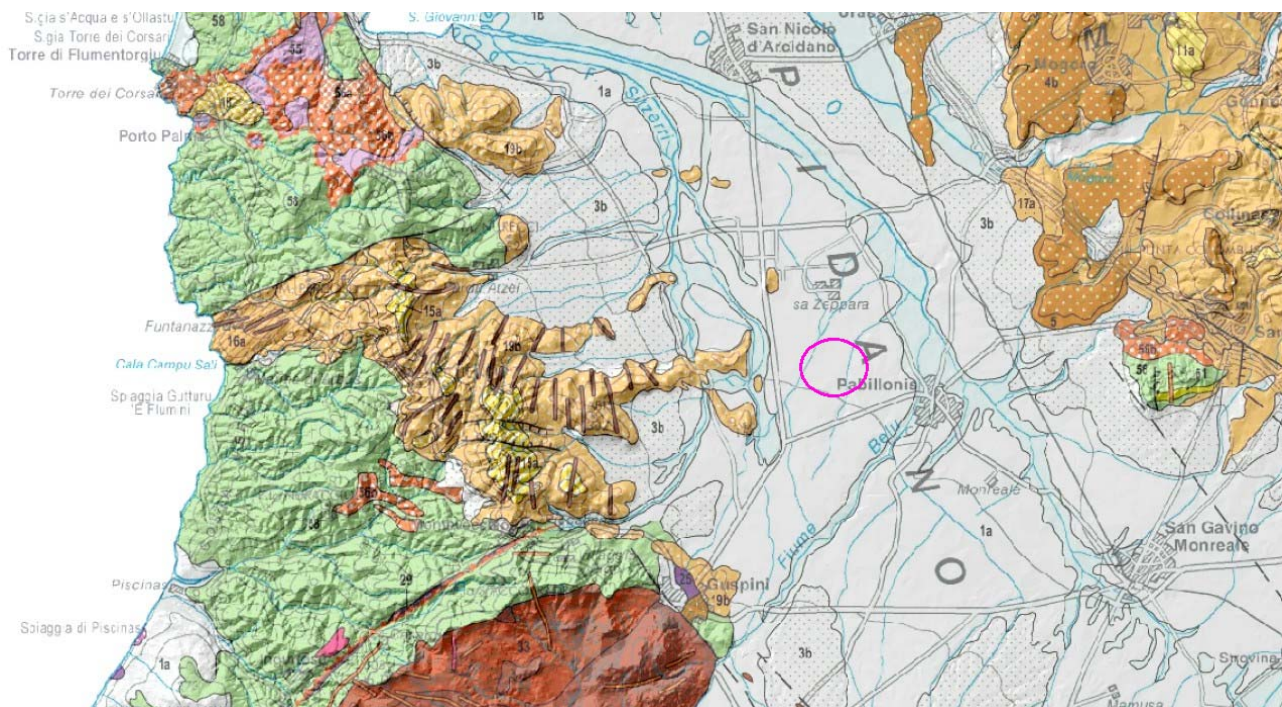
- Sardegna settentrionale e Corsica meridionale: rappresentano la parte più interna della catena (migmatiti e gneiss migmatitici in facies anfibolitica di pressione intermedia).
- Sardegna centrale: localizzata tra la linea Posada-Asinara e l'Iglesiente, è caratterizzata da falde erciniche vergenti a S-W e da metamorfismo epizonale.
- Settore sud-occidentale (Iglesiente-Sulcis): costituisce la "Zona Esterna", con successioni paleozoiche e metamorfismo anchi-epizonale.

Alla luce di questa osservazione alcuni autori sostengono che il basamento sardo sia un segmento della catena collisionale ercinica sudeuropea, interessata da subduzione di crosta oceanica e da metamorfismo di alta pressione nel Siluriano; mentre durante il Devoniano e il Carbonifero si sarebbe verificata una collisione continentale con sovrascorrimento della placca armoricana e con un importante appilamento dei frammenti strappati al margine subdotto del continente del Gondwana.

Su quest'ultimo si erano depositate varie sequenze sedimentarie costituite da depositi lagunari ed epicontinentali terrigeni e carbonatici, di oltre 3000 m di spessore, classicamente suddivisi nelle Formazioni

di Bithia, di Nebida, di Gonnessa e di Cabitza.

Nell'Ordoviciano si ha una situazione di arco vulcanico testimoniata dalla deposizione, al di sopra di questa sequenza sedimentaria, di prodotti lavici e piroclastici ad affinità calcialina con composizione da acida ad intermedia. Contemporaneamente il substrato del complesso vulcanico è interessato da intrusioni di tipo granitoidi cui sono attribuiti anche gli ortogneiss di Capo Spartivento-Monte Filau; in tale zona queste rocce presentano un metamorfismo ercinico di alta pressione e bassa temperatura e affiorano come *core complex*. A loro volta gli ortogneiss sono intrusi negli "Scisti di Monte Settiballas". Al piegamento della successione del Cambiano-Ordoviciano inferiore nell'ambito di un bacino di retroarco e alla sua emersione (Fase Sarda), seguì un'imponente fase erosiva sviluppatasi anteriormente al Caradociano. I prodotti di tale erosione costituiscono i potenti depositi sintettonici della "Puddinga", un conglomerato poligenico, a cemento ematitico-filossilicatico, discordante rispetto alla Formazione di Cabitza o sulle formazioni cambriane precedenti. A questi depositi seguono i metasedimenti relativi alla "Trasgressione caradociana". L'assenza di vulcanismo calcialino a partire dall'Ordoviciano superiore testimonia l'interruzione della subduzione; sono invece presenti prodotti vulcanici di tipo basico alcalino tipici di ambiente sottomarino. A partire dal Carbonifero inferiore si assiste alla ripresa di attività tettonica di tipo trascorrente e alla comparsa di fenomeni vulcanici basico alcalini che vengono considerati come prodromi dell'orogenesi ercinica. All'orogenesi sono associate le varie facies intrusive presenti in Sardegna. Il sistema filoniano legato a questo magmatismo si sviluppa in due fasi principali ed è formato essenzialmente da porfidi, porfiriti e diabasi.



**Mappa – La geologia dell'area dalla Carta Geologico-strutturale (Carmingani et alii 2011)**

Successivamente all'acme compressivo si sviluppa una fase distensiva evidenziata sia dalle intrusioni dei granitoidi che da metamorfismo di alta temperatura e bassa pressione che interessano le rocce di facies anfibolica del *core complex* di Monte Filau. Sono inoltre presenti faglie dirette a basso ed alto angolo che si manifestano nei livelli superficiali.

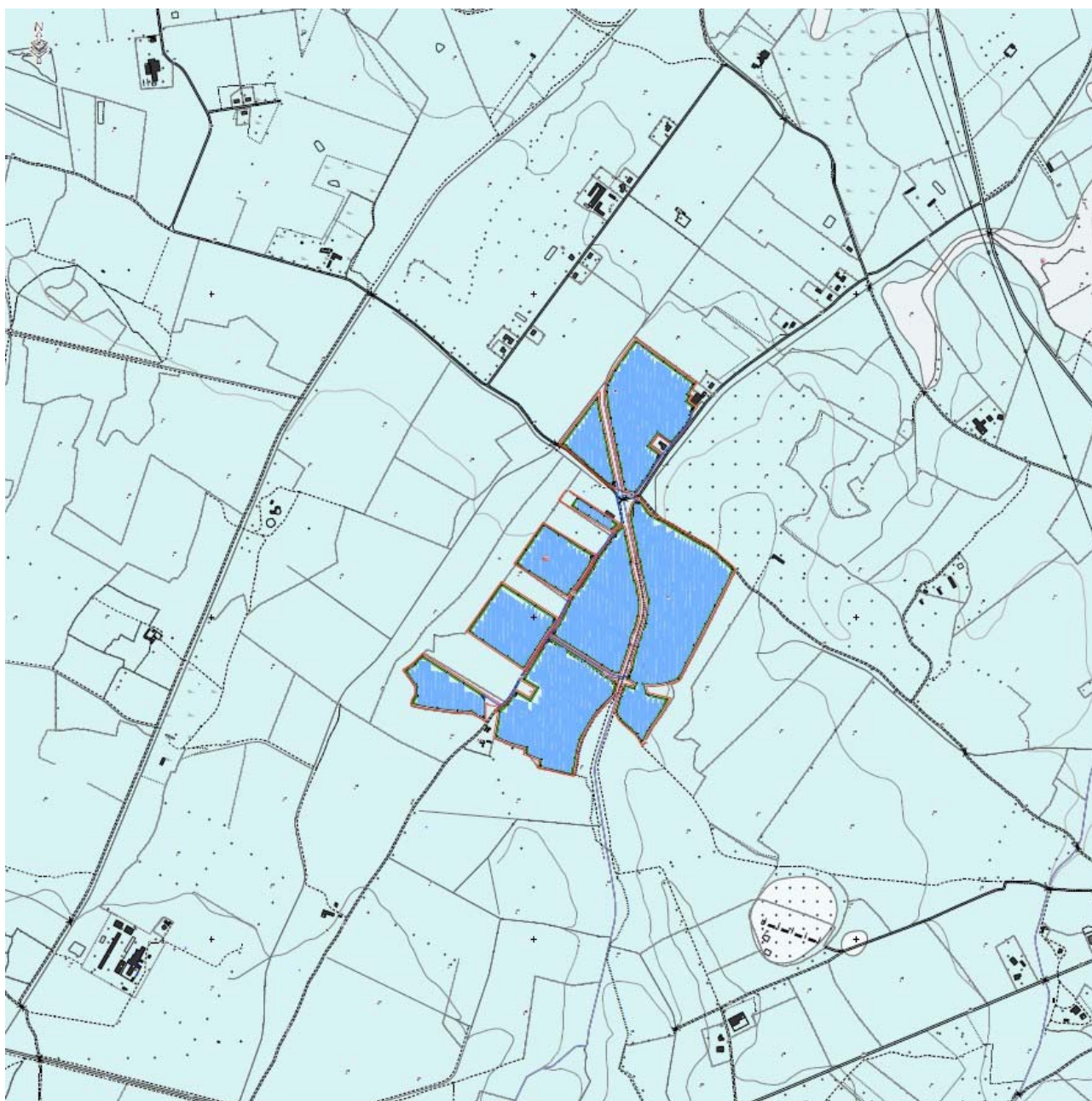
Mentre l'evoluzione tettonica distensiva post-collisionale volge al termine, sulla nuova terra emersa è già in atto l'azione erosiva e modellatrice degli agenti esogeni. La fase continentale si protrae fino al Trias inferiore ed in questo lasso di tempo il rilievo ercinico viene largamente eroso, mentre vaste aree assumono la

configurazione di un penepiano.

La Formazione del Cixerri è la prima testimonianza sedimentaria terziaria presente nella zona; è da evidenziare la totale assenza dei sedimenti marini ed epicontinentali del Mesozoico altrove presenti.

La formazione del Cixerri poggia in discordanza sul basamento paleozoico; la causa di questa discordanza è la fase Pirenaica, una fase compressiva attiva a partire dall'Eocene medio. I sedimenti costituenti la Formazione sono di ambiente continentale, principalmente di tipo arenaceo siltoso e conglomeratico.

L'importanza di questa formazione è anche di tipo paleogeografico, in quanto è considerata come l'ultimo episodio continentale testimoniante la continuità della Sardegna meridionale con il settore iberico, prima dell'apertura del bacino Balearico.



**Tavola – La cartografia geologica dell'area di progetto**

Questa situazione geodinamica distensiva interessa la Sardegna nell'Aquitaniense-Burdigaliano. Questa fase è



riferibile al sistema di *rift* che interessa tutto il Mediterraneo occidentale di cui il bacino oligo-miocenico sardo ("Fossa Sarda") rappresenterebbe l'estremo margine orientale.

E' sempre in questo periodo che si assiste alla deriva del blocco sardo-corso in accordo con l'apertura del bacino mediterraneo e con un vulcanismo calcalkalino. Il *rift* sardo, impostatosi nella parte mediana dell'Isola si sviluppa in lunghezza da sud (Golfo i Cagliari) a nord (Golfo dell'Asinara).

Verso Sud esso continua nel mare del Golfo di Cagliari, estendendosi anche nel settore marino prospiciente l'area in esame. In particolare l'area del Campidano di Cagliari subisce, nel Messiniano, nell'ambito di un generale contesto tettonico distensionale, degli eventi compressivi di bassa intensità ma che generano tipiche strutture a *Flower* (Casula et al. 2001). Un intenso vulcanismo subaereo, a carattere calco-alkalino, precede e accompagna la formazione del rift sardo e continua in ambiente marino fino al Miocene medio.

Alla tettonica distensiva plio-quadernaria, collegata con l'origine del bacino oceanico del Tirreno centro-meridionale, va ricondotta in Sardegna la formazione del *graben* del Campidano e la diffusa attività vulcanica prevalentemente basaltica, di tipo alcalino, che non investe però le zone più meridionali del *rift* sardo. Nello stesso tempo gli *horst* del Sarrabus-Gerrei e del Sulcis vengono interessati da dislocazioni differenziali, con basculamenti.

Dal Pleistocene medio la Sardegna acquista una certa stabilità tettonica. Le oscillazioni climatiche del Quaternario, a partire dal Pleistocene, e il susseguirsi delle variazioni eustatiche, generano nell'Isola degli evidenti mutamenti morfologici.

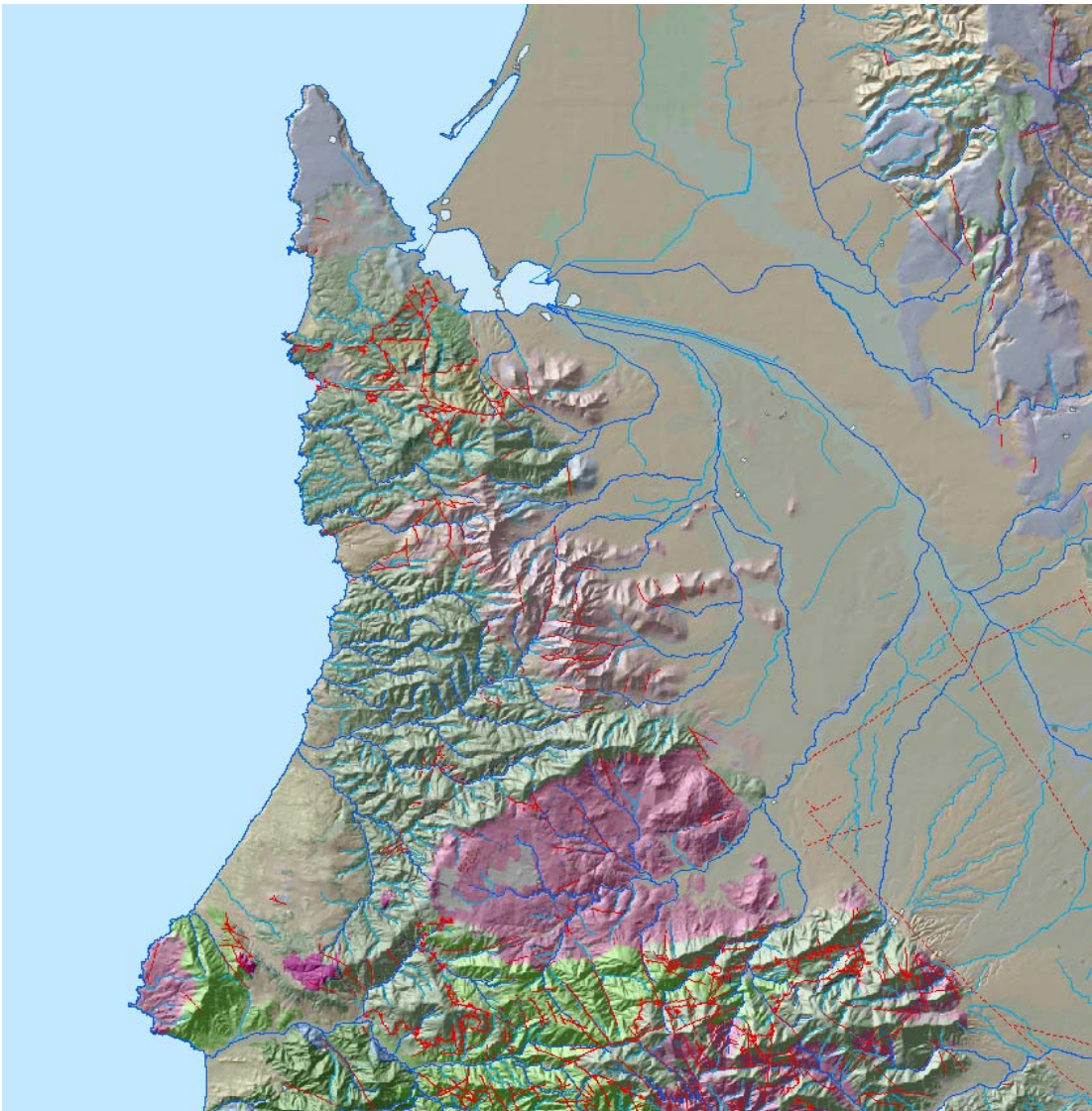
Nell'Olocene, infine, assistiamo alla deposizione di sedimenti (alluvioni, depositi litorali, dune etc.) che conferiscono alla Sardegna l'attuale aspetto morfologico.

Riassumendo, in riferimento agli aspetti tettonici, l'area è caratterizzata dalle due grandi depressioni tettoniche: la piana del Campidano (semigraben pliocenico) e la valle del Cixerri (blanda sinclinale tardo paleogenica). I lineamenti fisiografici sono dettati dalla tettonica cenozoica anche se la maggior impronta deformativa è riferibile alle rocce paleozoiche interessate dall'Orogenesi ercinica.

#### **4.1 SCHEMA GEOLOGICO DELL'AREA INCLUDENTE IL TERRITORIO VASTO**

La sequenza stratigrafica complessiva dell'area nella quale si inserisce il settore è rappresentata dal basso in alto da:

- Metamorfiti paleozoiche;
- Intrusioni granitiche;
- Formazioni filoniane tardive, spesso mineralizzate;
- Formazioni mesozoiche
- Sedimenti marini miocenici e eocenici;
- Sedimenti continentali pliocenici;
- Vulcaniti basaltiche plio-quadernarie;
- Depositi alluvionali quaternari;
- Depositi eluvio-colluviali olocenici-attuali;
- Detriti di falda;
- Limi palustri



**Mappa – Geologia dell'area sul DTM**

Le metamorfite paleozoiche costituiscono il termine più antico che affiora nell'area. Esse costituiscono il margine della gran parte del limite occidentale della fossa.

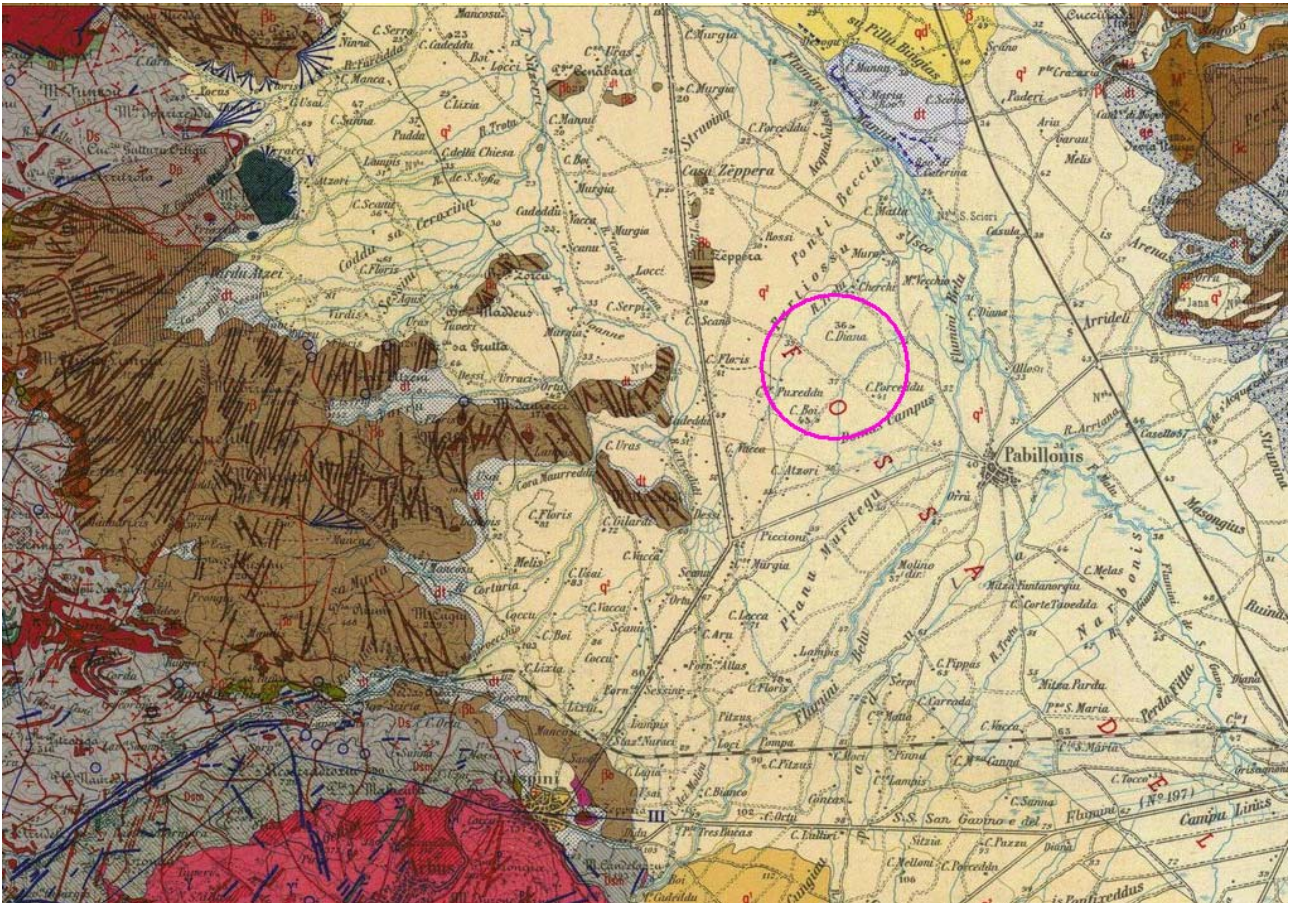
Le rocce paleozoiche sono rappresentate da un complesso metamorfico, costituito da filladi e filladi carboniose del Silurico, da metavulcaniti da intermedie ad acide dell'Ordoviciano (?) e presumibilmente metarenarie e filladi del Cambro-Ordoviciano (?).

Il complesso metamorfico, secondo la ricostruzione di Carmignani et alii (1987) costituisce un lembo della cosiddetta Unità dell'Arburese, interpretata come una delle unità intermedie della zona a falde della catena ercinica.

Al nucleo del complesso metamorfico, affiora il batolite arburese, costituito da vasti affioramenti di granito a biotite, tormalina schorlitzite, e pegmatiti. Si tratta di intrusioni post-tettoniche del complesso plutonico ercinico che comprendono anche filoni ed ammassi di porfidi rossastri e grigiastri presenti nell'area di Montevecchio, Ingurtosu ed in tutto il massiccio del Linas.

Le formazioni metamorfiche paleozoiche presenti nell'area fanno capo all'Unità alloctona del "Post-Gotlandiano AA.". Si tratta di una sequenza sedimentaria, generalmente priva di resti fossili, di genesi e caratteristiche eterogenee costituita prevalentemente da metasiltiti e metarenarie.

Alla sua sommità stratigrafica giace una serie di livelli a vulcanoclastiti sormontanti un complesso di depositi sedimentari con caratteristiche granulometriche varianti dalle siltiti alle arenarie ed ai conglomerati.



**L'area di studio sulla carta ufficiale 1:100.000 del Servizio Geologico Italiano**

Le metavulcaniti hanno età ordovicianiana mentre le sottostanti formazioni sedimentarie hanno età cambro-ordovicianiana.

Le formazioni suddette sono state successivamente metamorfosate e si presentano attualmente in veste di

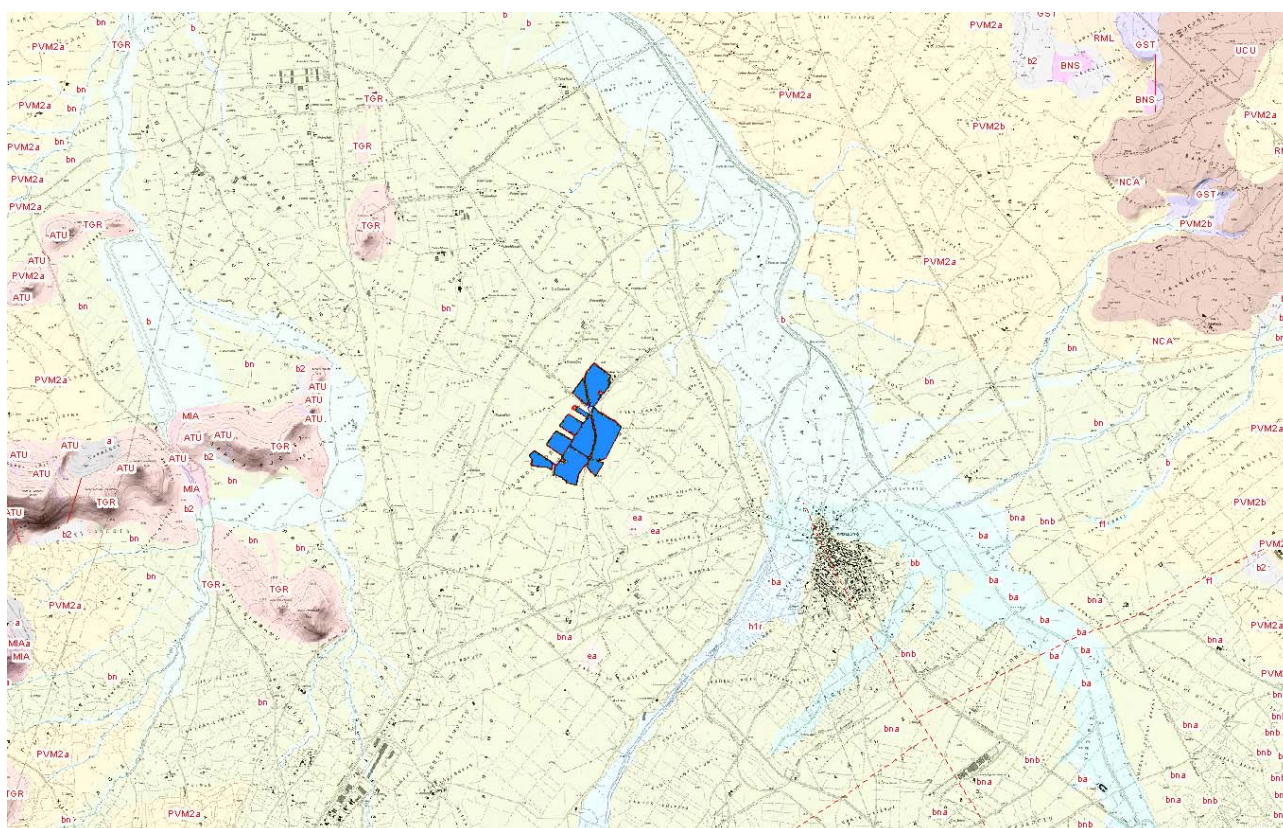
formazioni scistose di colore variabile dal verdastro al verde-nocciola, al grigio, in funzione del contenuto in ossidi di Fe e del loro stato di alterazione.

In alcuni casi le rocce sono fortemente silicizzate per impregnazione di SiO<sub>2</sub>, e talvolta intimamente percorse da venuzze di quarzo, iniettatosi lungo i piani di discontinuità (fratturazione e scistosità).

Sulla grande scala, le iniezioni di fluidi iuvenili caratterizzano il margine del batolite e, ricche di mineralizzazioni, quanto tangenziali e generalmente povere quando radiali, hanno costituito il sistema filoniano sfruttato per circa 300 anni.

Tali formazioni sono generalmente molto resistenti e mostrano buona consistenza lapidea.

La scistosità è localmente molto marcata e costituisce, soprattutto nella facies più alterate della massa rocciosa, la guida all'avanzamento della disagregazione della massa rocciosa.



**L'area di studio sulla carta geologica della RAS**

## 4.2 LE UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE

Le unità presenti nell'area vasta, stratigraficamente, dall'alto verso il basso, sono le seguenti:

- ha Depositi antropici. Manufatti antropici. OLOCENE
- h1m Depositi antropici. Discariche minerarie. OLOCENE
- h1r Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE
- PVM2b Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.

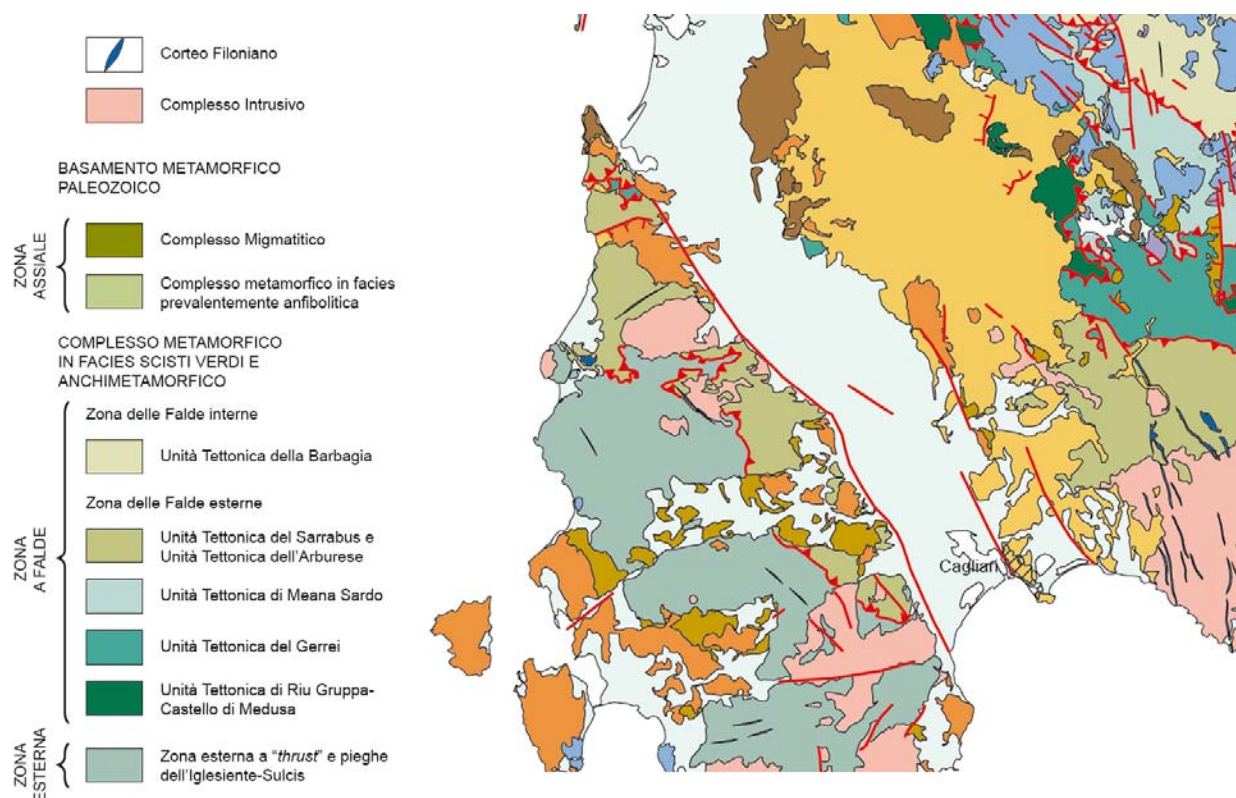


- PVM2a Litofacies nel Subsintema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
- b2 Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli pi" o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE
- a Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. OLOCENE
- b Depositi alluvionali. OLOCENE
- ba Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
- bn Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE
- bnb Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE
- e5 Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE
- ea Depositi lacustri, palustri. Argille molto plastiche, localmente ricche di materia organica, talvolta con sottili intercalazioni di sabbie contenenti gusci di bivalvi (Cerastoderma edule), di gasteropodi polmonati (Hydrobia ventrosa) e ostracodi (Cypride)
- g2 Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE
- g Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero. Spessore: fino a 3-4 m. ?PLEISTOCENE SUP. - ?OLOCENE
- UCU UNITA' DI CUCCURU ASPRU. Basalti subalcalini generalmente ipocristallini da afirici a porfirici per fenocristalli di Pl, Opx, Cpx, Ol; in colate. Basalti da alcalini a transizionali, generalmente olocristallini, da subafirici a porfirici per fenocristalli
- ZEP BASALTO DI CUCCURU ZEPPARA. Hawaiiite, con inclusi frammenti magmatici di origine mantellica, da millimetrici a centimetrici; in giacitura di neck. PLIO-PLEISTOCENE
- SMR FORMAZIONE DI CAPO SAN MARCO. Siltiti argillose e arenacee, calcari bioermali a Cardidae, Mytilidae, foraminiferi planctonici (Globorotalia acostaensis). MESSINIANO INF.
- VLG CALCARI DI VILLAGRECA. Calcari bioclastici e biocostruiti (bioherme a coralli -Porites- e briozoi, e biostromi ad alghe -Lithothamnium- e molluschi -Ostrea edulis lamellosa-). AQUITANIANO INF.
- USS FORMAZIONE DI USSANA. Conglomerati e brecce, grossolani, eterometrici, prevalentemente a spese di basamento cristallino paleozoico, carbonati giurassici, vulcaniti oligomioceniche; livelli argilloso-arenacei rossastri talora prevalenti nella base; rari I
- USSa Litofacies nella FORMAZIONE DI USSANA. Brecce poligeniche a clasti e blocchi eterometrici, con matrice arenacea grossolana clastosostenuta e blocchi di metamorfiti e magmatiti erciniche alterate (loc. M.Sa Frissa); intercalazioni di conglomerati, arenari
- ATU UNITA' DI CUCCURU PIRASTU. Basalti e subordinate andesiti basaltiche, in filoni e sills. (K/Ar 18-16 Ma: Assorgia et alii, 1985). BURDIGALIANO
- RCU UNITA' DI MONTE ARCUENTU. Prevalenti andesiti in colate autoclastiche, con intercalazioni di brecce, scorie saldate e livelli di ôbase surgeö a laminazione piano-parallela in facies distale. BURDIGALIANO
- JOR UNITA' DI MONTE MAJORE. Andesiti basaltiche ed andesiti in colate di brecce e mega-brecce, anche di ambiente subacqueo con frammenti di pillows e pillows-brecchia, con intercalate colate laviche di ambiente subacqueo a pillows. (K/Ar 21-18 Ma Assorgia et slii)
- MIA UNITÀ DI SCHINA SERRA MIANA. Lave da basaltico ad andesitiche, con prevalenza di andesiti basaltiche, con giacitura in colate, di ambiente sub-acqueo, a pillows, talora passanti a facies ialoclastiche e colate di brecce caotiche poligeniche, di ambiente sub-acqueo con frammenti di pillows e



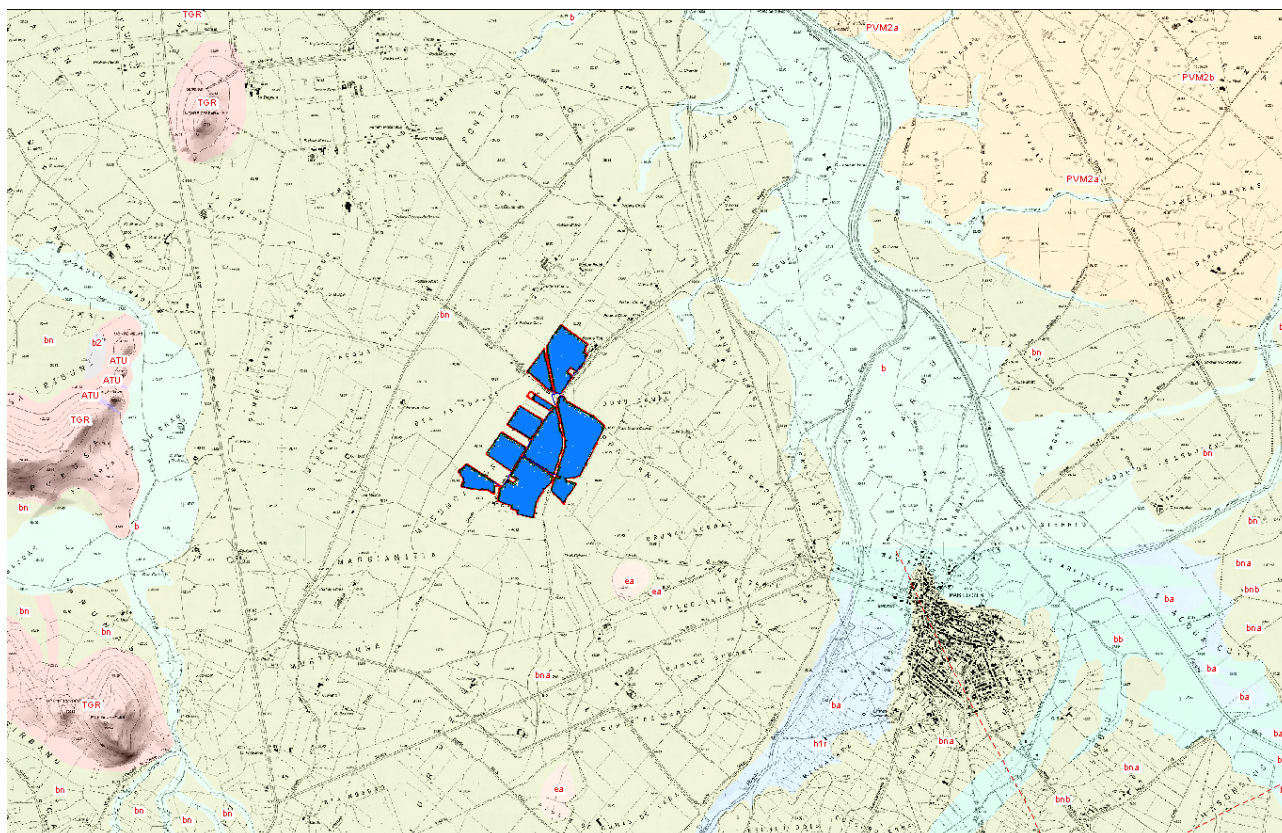
locali pillows breccia; corpi subvulcanici (K/Ar 24-21 Ma: Assorgia et al., 1985) AQUITANIANO-BURDIGALIANO

- MIAa Litofacies nell'UNITA' DI SCHINA SERRA MIANA. Tufi e tufiti spesso fossiliferi, a grana da fine a media, con laminazioni piano-parallele o incrociate a basso angolo, con locali intercalazioni di livelli pomicei a gradazione inversa. AQUITANIANO-BURDIGALIA
- TGR UNITÀ DI MONTE TOGORO. 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: Assorgia et al., 1985) AQUITANIANO-BURDIGALIANO
- IRU UNITA' DI CASE CILIRUS. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica a chimismo riolitico, debolmente saldati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Qtz, Bt, con tufiti associate. AQUITANIANO-BURDIGALIANO
- ECI UNITA' DI NURECI. Plutoniti gabbro-dioritiche talora con strutture di layering magmatico. OLIGOCENE SUP.? - AQUITANIANO
- ATZ UNITA' DI PARDU ATZEI. Basalti ed andesiti basaltiche, con giacitura in cupole di ristagno e colate. (K/Ar 30-24 Ma: Assorgia et alii, 1985). OLIGOCENE SUP. - AQUITANIANO



**Mappa – Schema strutturale con evidenza della presenza delle unità a falde dell'Arburese, del Sarrabus e del Gerrei**

### 4.3 GEOLOGIA DELL'AREA RISTRETTA



Le unità presenti nell'area ristretta, stratigraficamente, dall'alto verso il basso, sono le seguenti:

- b, Depositi alluvionali. OLOCENE
- bn, Depositi alluvionali terrazzati. OLOCENE
- ea, Depositi lacustri, palustri. Argille molto plastiche, localmente ricche di materia organica, talvolta con sottili intercalazioni di sabbie contenenti gusci di bivalvi (*Cerastoderma edule*), di gasteropodi polmonati (*Hydrobia ventrosa*) e ostracodi (*Cyprideis*). OLOCENE
- PVM2a Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.
- ATU UNITA' DI CUCCURU PIRASTU. Basalti e subordinate andesiti basaltiche, in filoni e sills. (K/Ar 18-16 Ma: Assorgia et alii, 1985). BURDIGALIANO
- TGR, UNITÀ DI MONTE TOGORO. 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 breccie non saldati. (K/Ar 24-21 Ma: Assorgia et al., 1985) AQUITANIANO-BURDIGALIANO

In particolare, il sedime dell'impianto si estende sulla sola unità **bn**, costituita da depositi alluvionali terrazzati reinciati dai diversi corsi d'acqua nel corso dell'ultima parte dell'Olocene, localmente fortemente cementati, ma comunque addensati.

All'interno delle reinciisioni, come per il non lontano Flumini Bellu adiacente, sono presenti depositi, sempre olocenici, ma più recenti, raramente cementati, eterogenici, eterometrici, scarsamente classati.

#### **4.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Al fine di poter caratterizzare appropriatamente i terreni sono state effettuate numerose ricognizioni e sono state reperite indagini ed analisi relative ad interventi operati nell'area, su substrati aventi caratteristiche similari.

Nel quadro delle necessità di conseguimento di un livello informativo adeguato sul volume significativo coinvolto dal proposto Progetto, sono state effettuate:

- **1 prova sismica tomografica**
- **1 prova MASW**
- **2 prove penetrometriche**

## 4.5 PROVA SISMICA TOMOGRAFICA

L'indagine è stata eseguita in prossimità degli insediamenti dell'area PIP del Comune di Guspini, in prossimità di un filare di piante frangivento.

La posizione dell'indagine, localizzata all'interno dell'area da investigare, è stata scelta sia per poter operare in aree "vergini" sia per evitare eventuali interferenze prodotte dalla presenza di una linea elettrica.

Le operazioni hanno comportato l'acquisizione dei dati sismici lungo un allineamento di 24 geofoni spazati di 2.00 metri (necessari per la ricostruzione di una tomografia sismica) e nell'esecuzione di una prova di sismica attiva MASW.

L'indagine rispondente ai dettati della normativa vigente per quanto concerne la classificazione sismica dei terreni ai sensi del *D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018)* ha consentito di definire la conformazione del sottosuolo del sito e di quantificare il parametro  $V_{s,eq}$  in funzione della risposta sismica a una sollecitazione indotta artificialmente.

### 4.5.1 LA TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

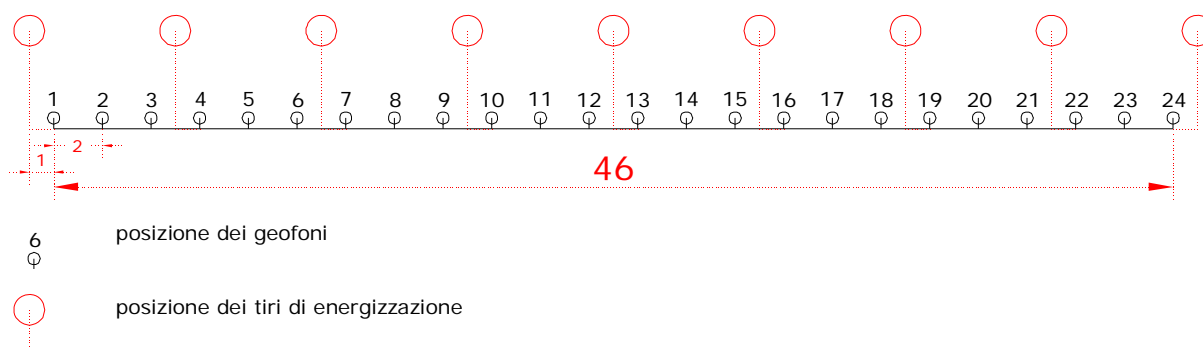
Il metodo della *tomografia sismica di superficie* è una tecnica d'indagine che permette di superare alcune limitazioni di cui soffre sia la classica sismica a rifrazione sia la *tomografia sismica s.s. (cross-hole)*.

Infatti, mediante una differente distribuzione dei punti di *energizzazione* lungo lo *stendimento sismico*, è possibile l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo che offre la possibilità di ricostruire anomalie localizzate e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione della velocità delle onde sismiche al di sotto della superficie, basandosi sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione.

Al fine di acquisire la quantità di dati necessari per il corretto impiego delle tecniche di interpretazione tomografica, la levata è stata eseguita mediante la predisposizione di 9 punti di energizzazione disposti lungo lo stendimento secondo il seguente schema:

### stendimento tipo



Quindi mediante la differente distribuzione dei punti di energizzazione si ricostruisce un modello di velocità che, mediante un software dedicato, è migliorato attraverso successive iterazioni. La fase di calcolo termina quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati per il modello proposto e quelli

misurati dall'operatore geofisico.

Il processing dei dati, che in questo caso è stato eseguito con l'impiego del software RAYFRACT, prosegue con un processo di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Poi, mediante la successiva fase di imaging, nell'elaborazione della quale si fa ricorso a un software dedicato (*Surfer 10*), si ottiene la sezione sismica tomografica che rappresenta la variazione della velocità di propagazione dell'onda sismica lungo l'allineamento investigato.

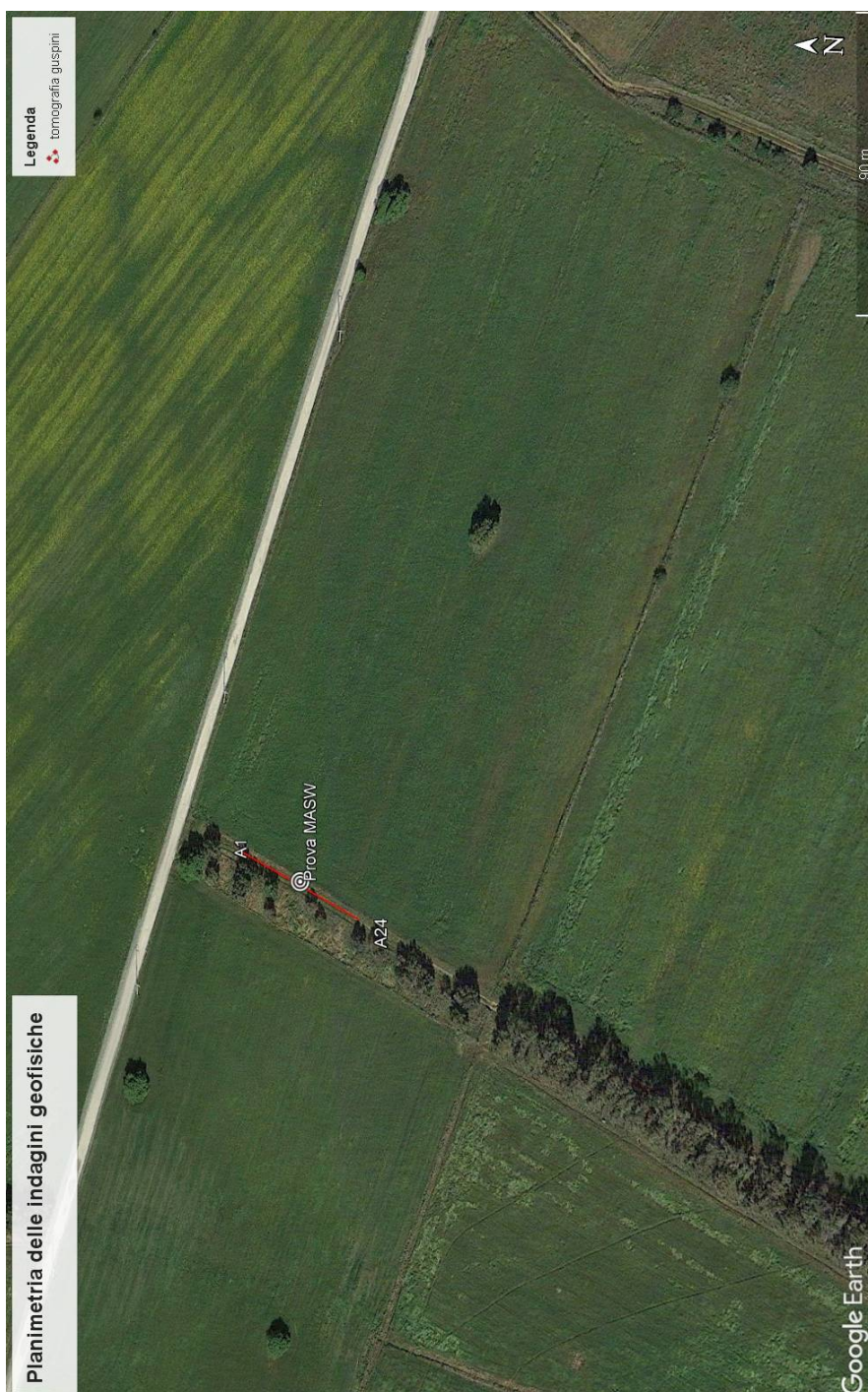


Foto n. 1 Area d'indagine

#### 4.5.1.1 SISTEMA DI ACQUISIZIONE

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione



*foto 1 Il sismografo utilizzato per questa indagine*

#### 4.5.1.2 ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione dei dati si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

- a) formazione di un database contenente la geometria della linea sismica (posizione altimetrica e planimetrica dei geofoni e degli scoppi) e i tempi di primo arrivo per ciascuno scoppio.
- b) conversione dei dati in formato ASCII.
- c) inversione Delta t-V per la ricostruzione dei profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
- d) ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (*Wavepath Eikonal Traveltime*), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.
- e) controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
- f) output grafico della sezione tomografica in formato *Surfer*.

Nelle immagini che seguono è rappresentata la registrazioni del dato sismico acquisito in ciascuna posizione di energizzazione come indicato nello Stendimento tipo.

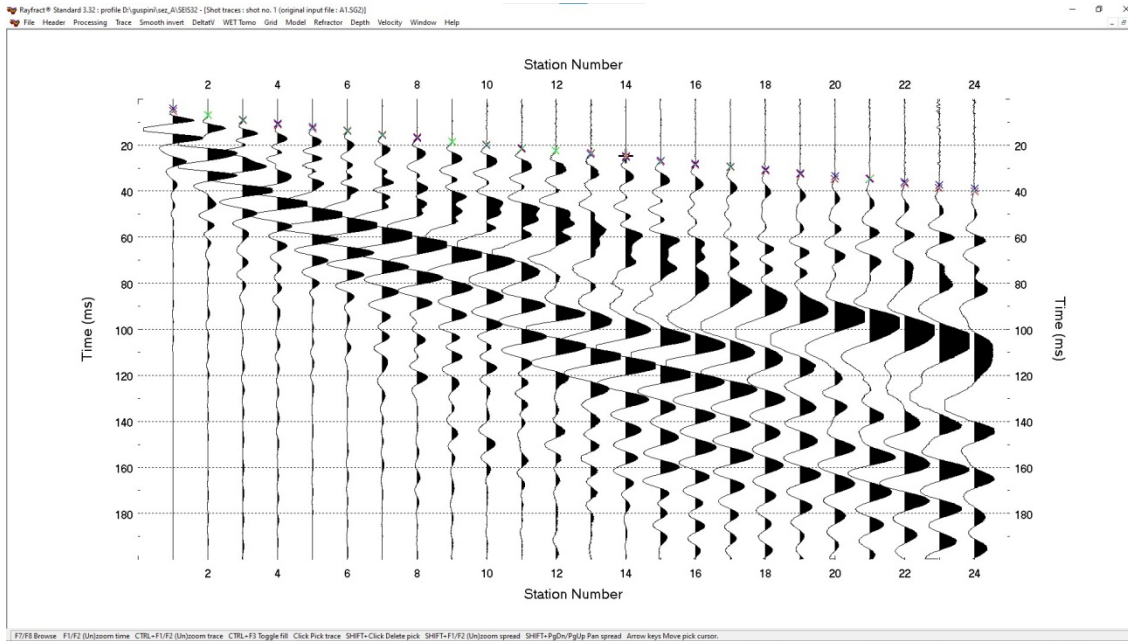


Grafico n. 1 La registrazione della tracce nella posizione A1

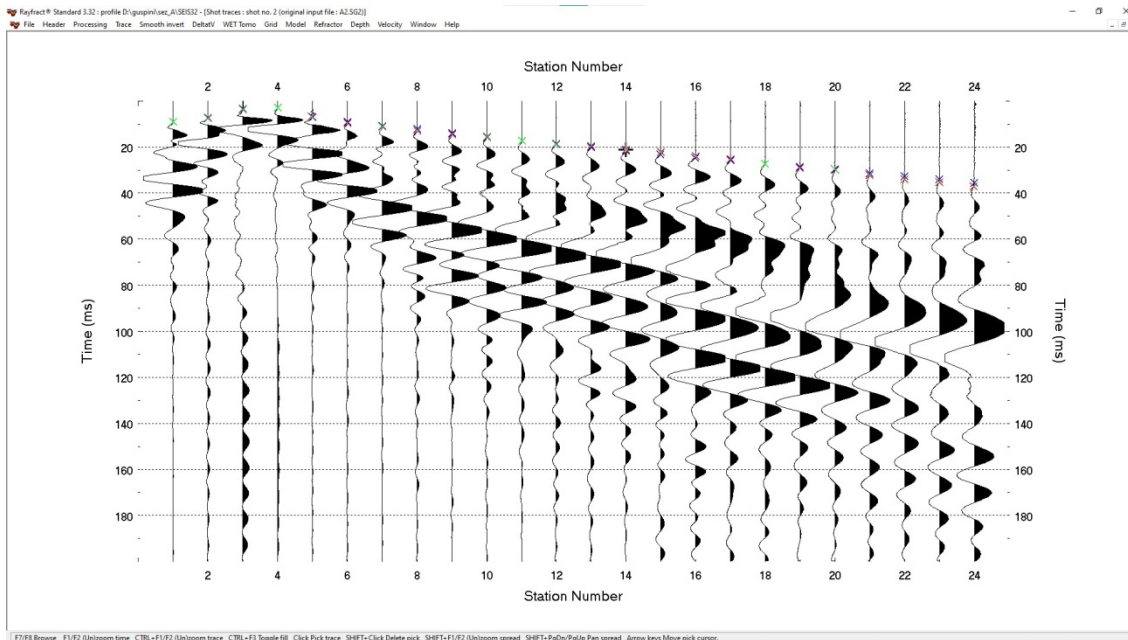


Grafico n. 2 La registrazione nella posizione A3

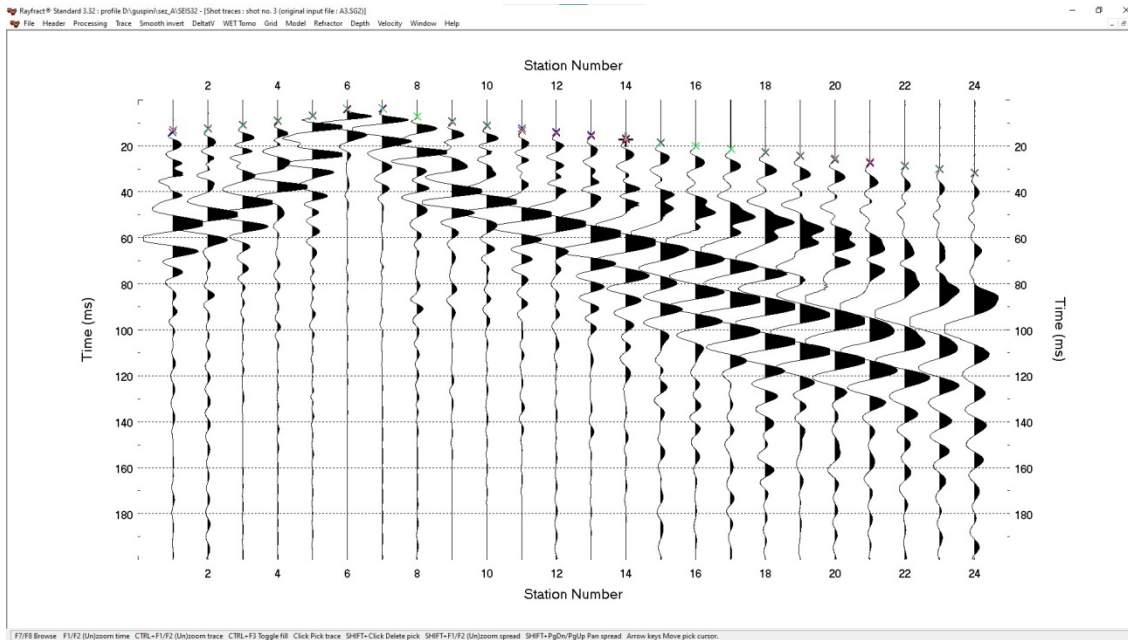


Grafico n. 3 La registrazione nella posizione A6

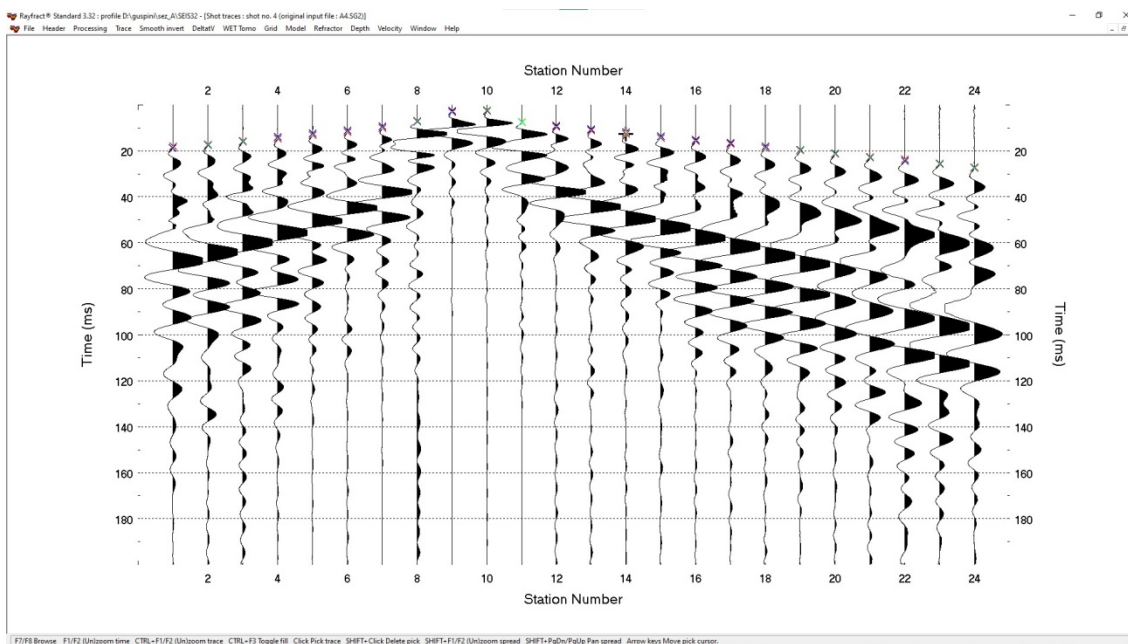


Grafico n. 4 La registrazione nella posizione A9



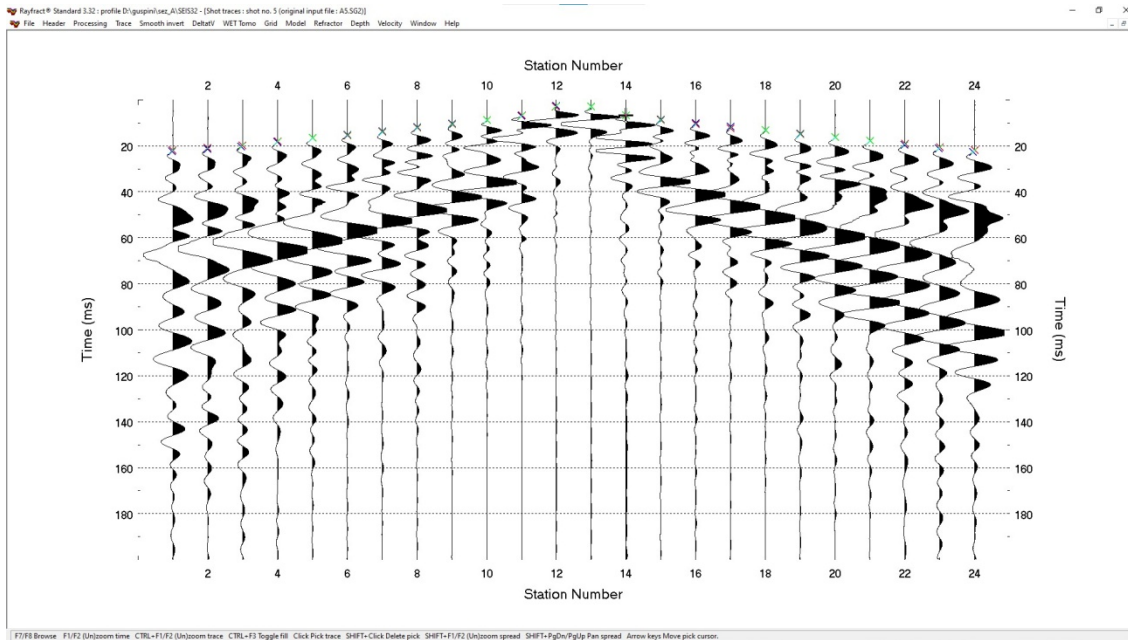


Grafico n. 5 La registrazione nella posizione A12

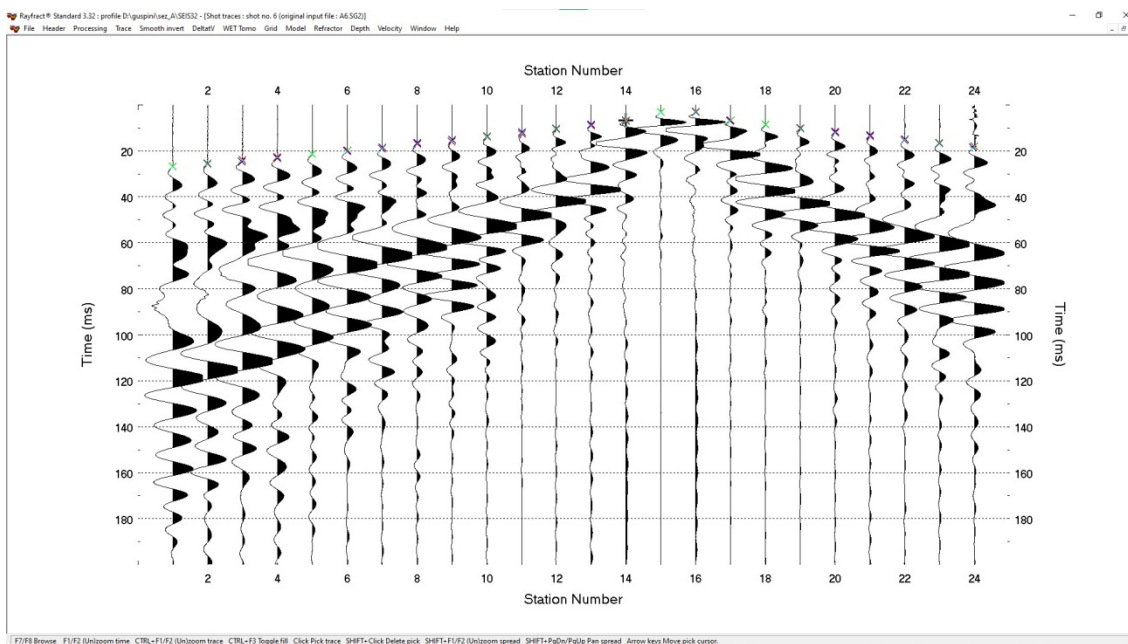


Grafico n. 6 La registrazione nella posizione A15

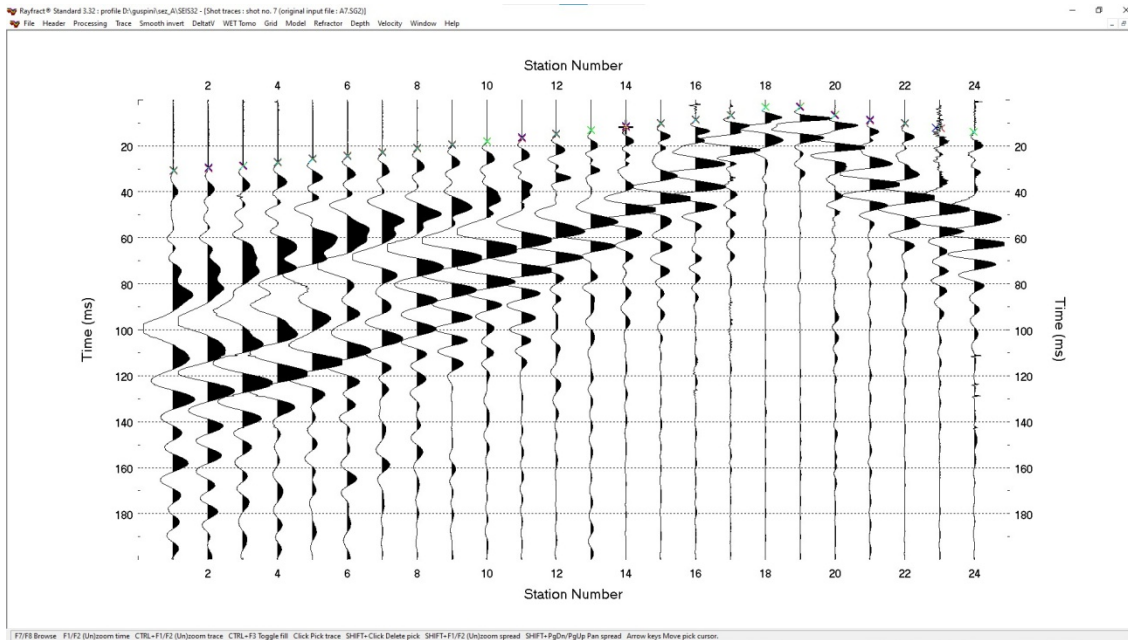


Grafico n. 7 La registrazione nella posizione A18

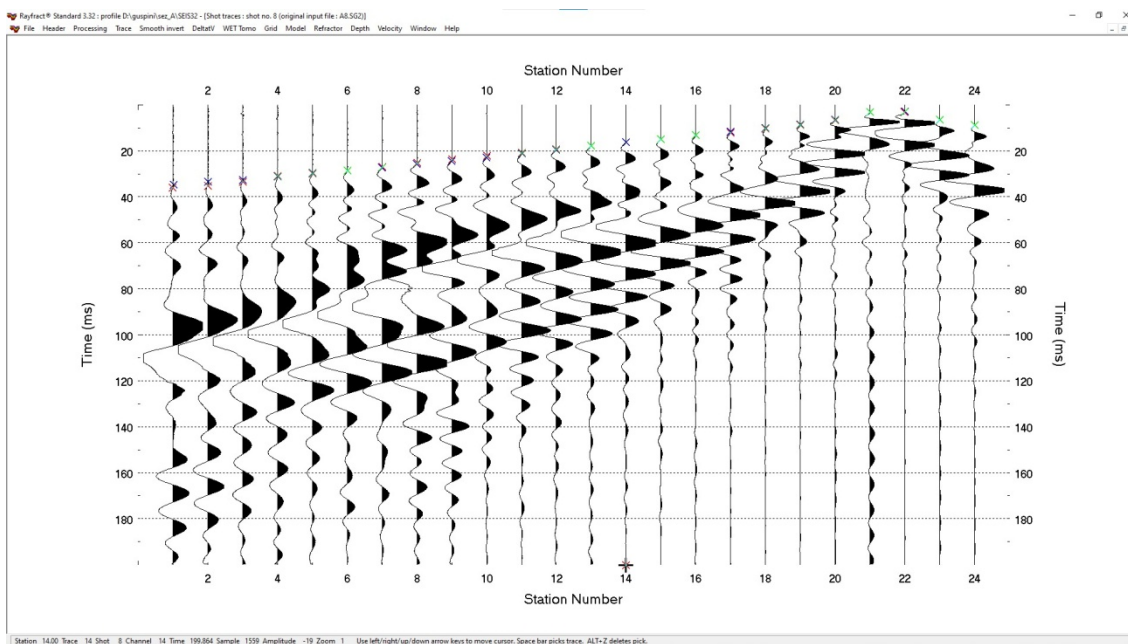


Grafico n. 8 La registrazione nella posizione A21

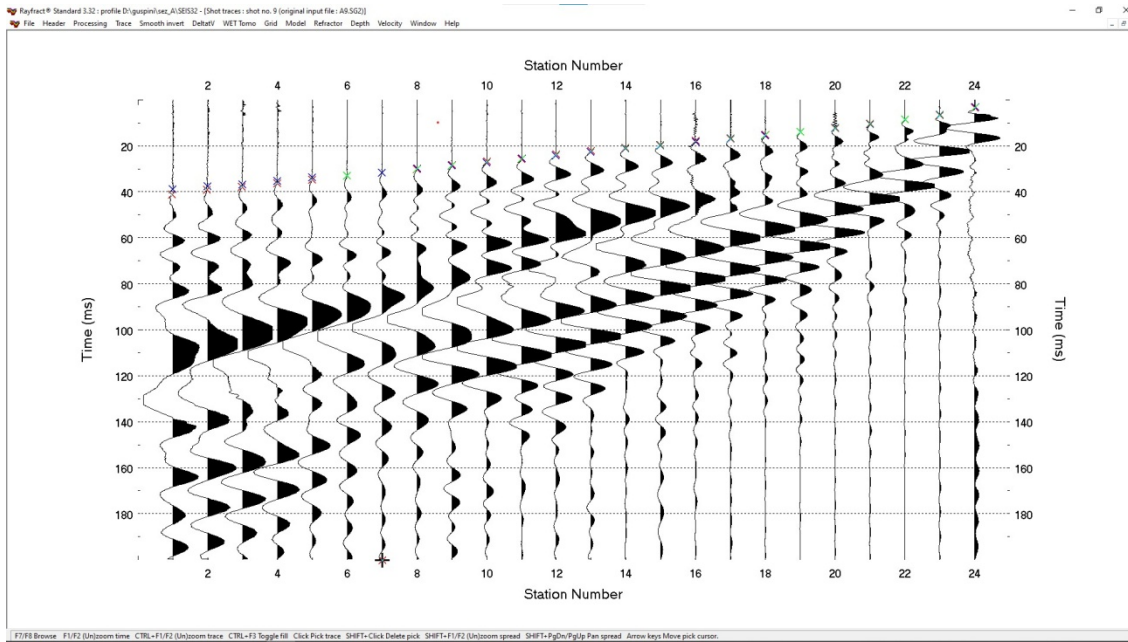


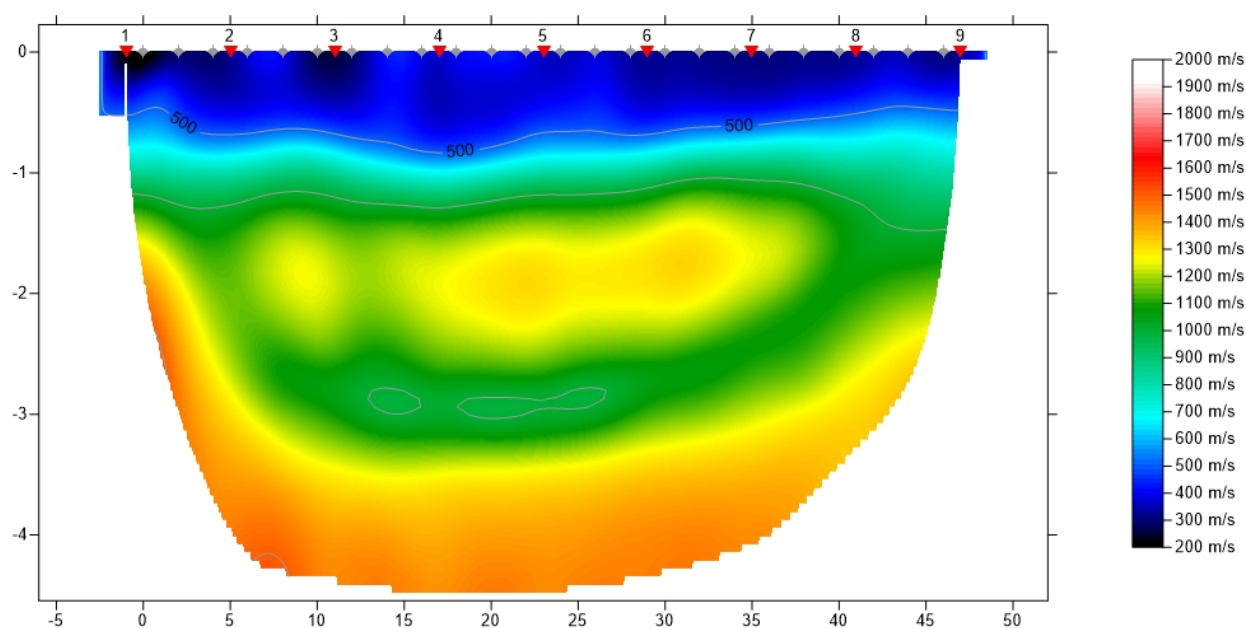
Grafico n. 9 La registrazione nella posizione A24

## 4.5.2 RISULTATO DELLA SISMICA TOMOGRAFICA DI SUPERFICIE

Il risultato che si consegue con una prova di sismica tomografica è costituito da una sezione a scala colorimetrica che individua le differenti caratteristiche meccaniche dei materiali presenti lungo la sezione, nella quale:

in ascisse è indicata la lunghezza dello stendimento e in ordinata la profondità d'indagine.

Indagine geofisica  
Tomografia sismica



Guspini 20/04/2023

il tecnico geofisico  
dott. Luciano Puddu

Sezione sismica tomografica, 200 WET iterations, RMS error 1.3 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.32

Analizzando il tomogramma si osserva la regolarità delle variazioni della  $V_p$  sia lungo l'asse orizzontale sia in quello verticale.

In linea di massima si può osservare:

- un primo orizzonte di spessore circa 0.50 metri con  $V_p < 500$  m/s, che individua lo spessore della porzione di suolo agrario; l'orizzonte è presente in tutta la lunghezza dello stendimento;
- un secondo orizzonte con  $V_p$  compresa tra 500 e 1000 m/s, anch'esso di spessore decimetrico, che potrebbe essere rappresentativo della *porzione umida* del suolo;
- in seguito la  $V_p$  tende a crescere con la profondità, pur senza raggiungere i valori caratteristici del substrato roccioso.

La profondità d'indagine è stata di circa 6.00 metri.

## 4.6 LA PROVA MASW

Com'è noto, l'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh mediante la prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è un'efficiente e accreditata metodologia di sismica attiva ampiamente utilizzata per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

Tale metodologia utilizza le onde superficiali di Rayleigh generate artificialmente e registrate da una serie di geofoni disposti lungo uno stendimento rettilineo e collegato a un normale sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, registrate lungo lo stendimento di geofoni, sono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato del terreno.

La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica MASW prevede quattro passi fondamentali:

1. Acquisizione multicanale dei segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_s$  (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posto nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Eventuale ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle  $V_s$  dei terreni con approccio multicanale (qualora si eseguissero almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

Quando sono generate onde sismiche usando una sorgente impattante, come un martello su una piastra, sono generate sia onde di volume (P ed S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde sono riflesse e disperse e diventano rumore quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.).

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

### 4.6.1 Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica, il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale.

L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato, dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio  $f-k$  è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

A partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, è possibile simulare la curva di dispersione teorica che lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno.

I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda.

Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### 1.1.1 Profilo Sismico "M.A.S.W."

L'indagine, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle Onde di taglio (Onde S), è stata condotta secondo la metodologia MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves").

Tale metodologia sismica permette, tramite l'acquisizione di registrazioni multicanale delle onde superficiali di Rayleigh generate da masse battenti, la generazione di un profilo  $V_s$  in funzione della profondità.

L'intero processo ha comportato tre passi successivi:

- acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali ("ground roll") mediante idonea strumentazione sismica;
- costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità.

Per ottenere un profilo  $V_s$  è necessario produrre un treno di onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

L'inversione della curva di dispersione è stata realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta sia per la procedura dei minimi quadrati.

### 4.6.2 Sistema di acquisizione

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando le stesse apparecchiature già viste nella descrizione della sismica tomografica.

Per una maggiore sensibilità nell'acquisizione del segnale sismico si è provveduto all'impiego di geofoni con frequenza propria di 4.5.

### 4.6.3 Risultati della prova

Qui di seguito sono descritti i risultati conseguiti con la prova M.A.S.W. dove, mediante tabelle e grafici, è illustrata la successione degli step interpretativi dal dato di partenza sino al risultato intermedio e finale dell'indagine effettuata.

#### Dati generali

<b>Committente</b>	dott. Fausto Pani
<b>Cantiere</b>	Su Perdiaxiu
<b>Località</b>	Guspini
<b>Responsabile</b>	Luciano Puddu
<b>Zona</b>	Guspini
<b>Data</b>	20/04/2023 10:24
<b>Latitudine</b>	39.5690
<b>Longitudine</b>	8.6756

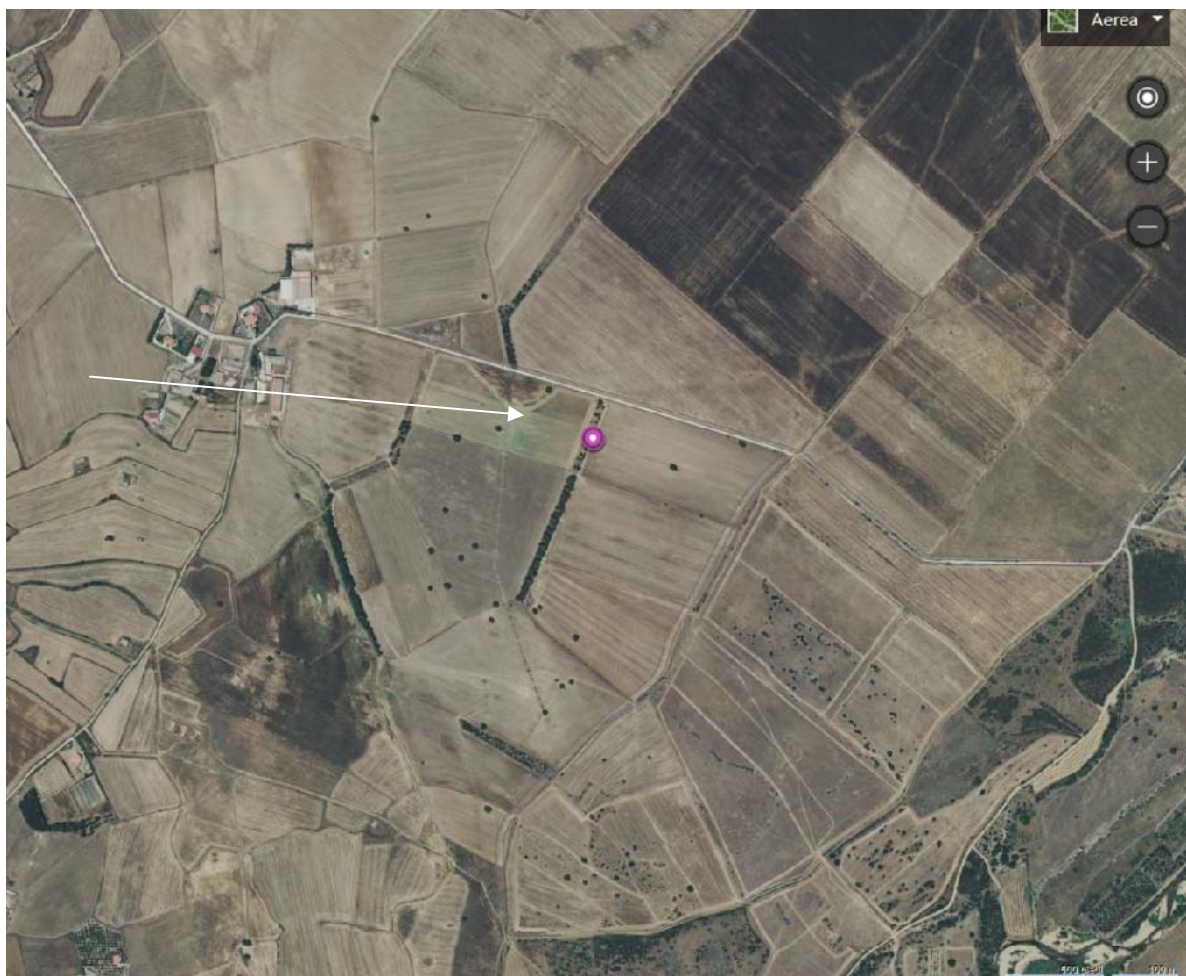


Foto n. 2 Localizzazione dell'area d'intervento (da Google Earth)



Foto n. 3 L'allineamento dei geofoni visto dal geofono A1 (lato ingresso).







Foto n. 4 La stesa geofonica vista dal geofono A12

#### 4.6.4 Tracce

**N. tracce** 24  
**Durata acquisizione [msec]** 1996.8  
**Interdistanza geofoni [m]** 2.0  
**Periodo di campionamento [msec]** 0.128

Committente: dott. Fausto Pani  
Cantiere: Guspini Aerogeneratori  
Località: Guspini  
Responsabile: Luciano Puddu  
Data: 20/04/2023  
Latitudine: 39.5690°, Longitudine: 8.6756°

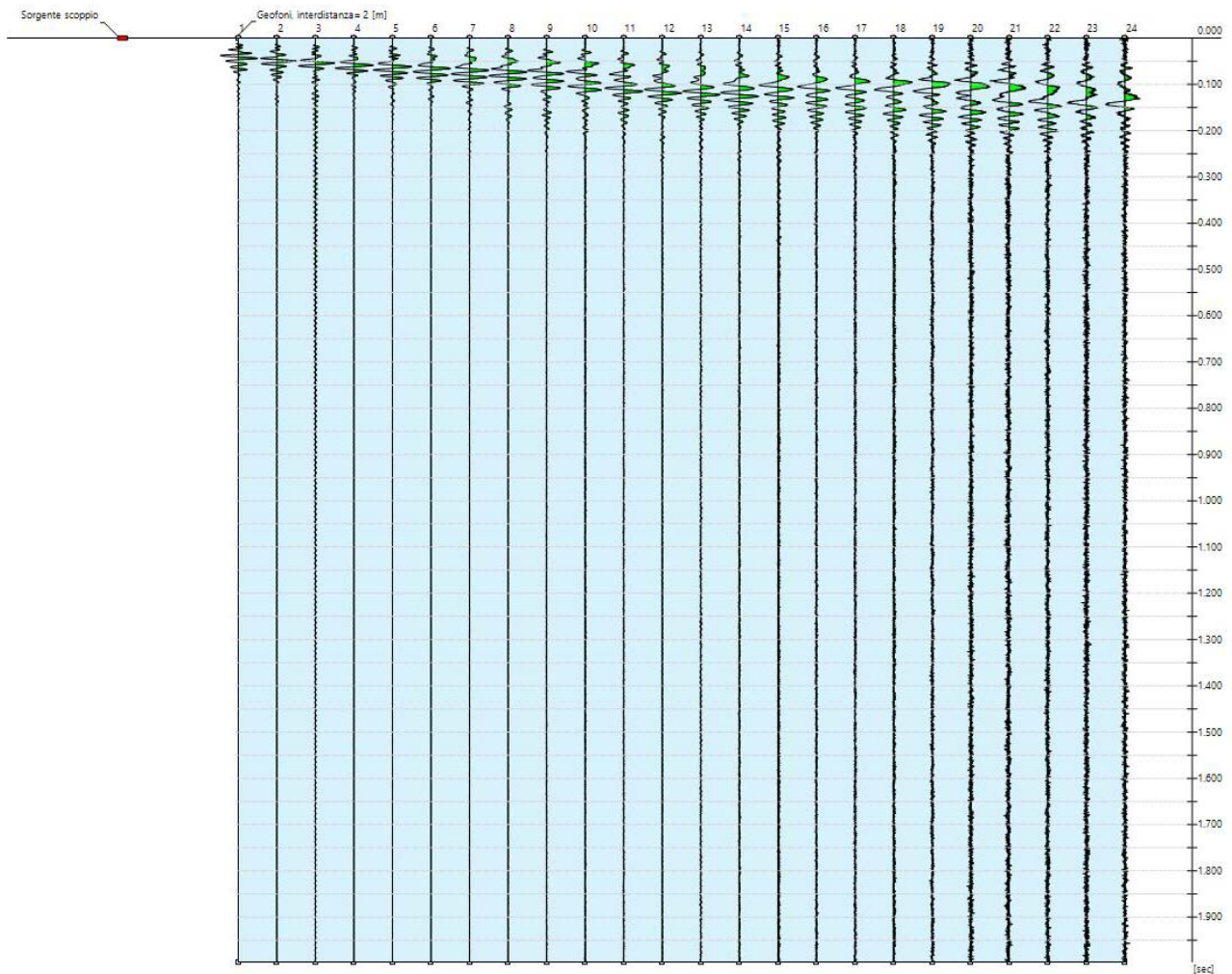
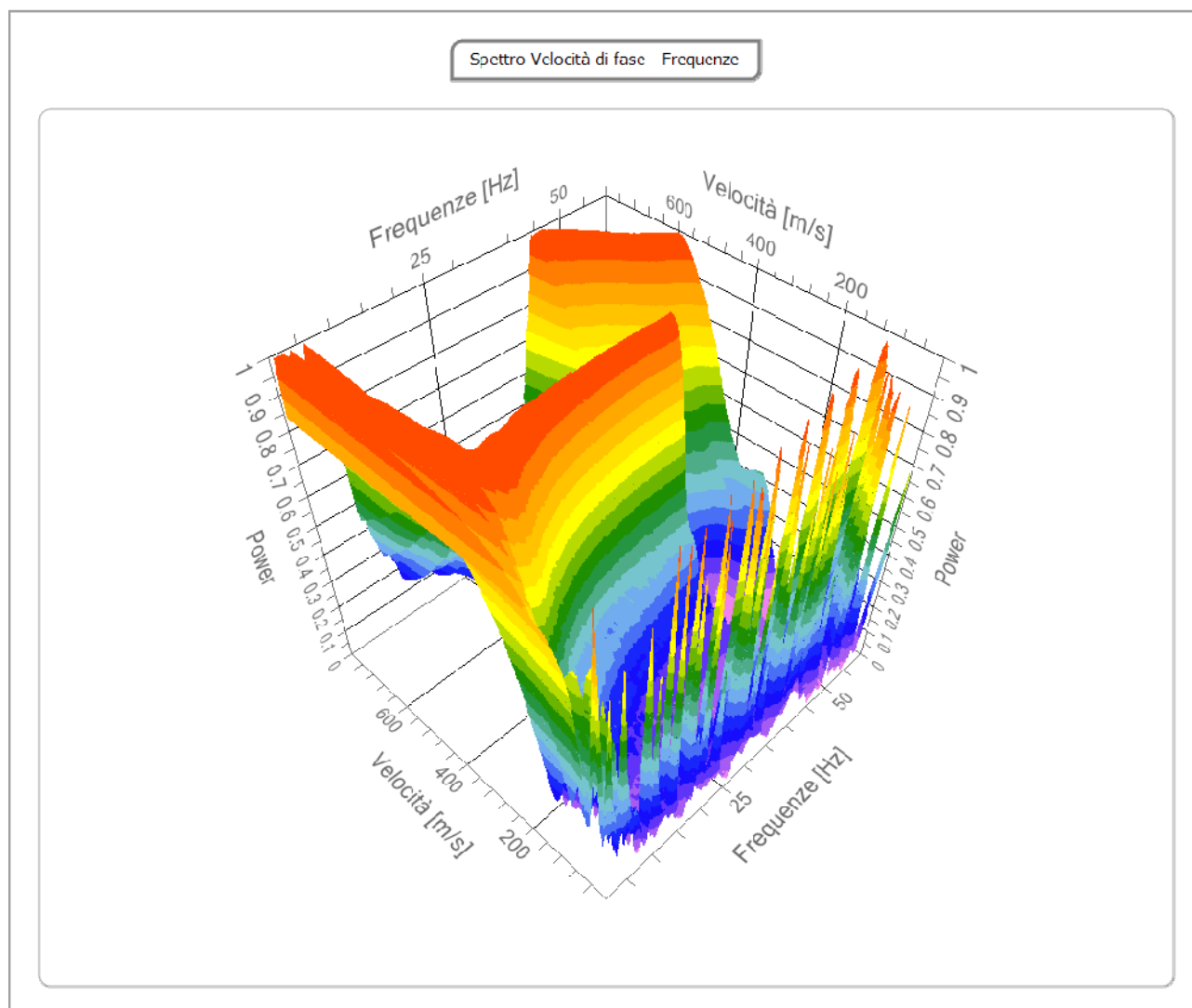


Grafico n. 10 Le tracce sismiche acquisite per l'elaborazione della prova MASW

#### 4.6.5 Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



#### 4.6.6 Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	1.7	699.3	0
2	3.8	546.3	0
3	6.0	449.9	0
4	8.1	395.4	0
5	10.2	370.5	0
6	12.3	365.0	0
7	14.4	367.8	0
8	16.6	373.2	0
9	18.7	378.9	0
10	20.8	383.6	0
11	22.9	386.8	0
12	25.0	388.3	0
13	27.2	388.5	0
14	29.3	388.1	0
15	31.4	387.7	0
16	33.5	387.9	0
17	35.7	389.0	0
18	37.8	390.7	0
19	39.9	391.8	0
20	42.0	390.1	0

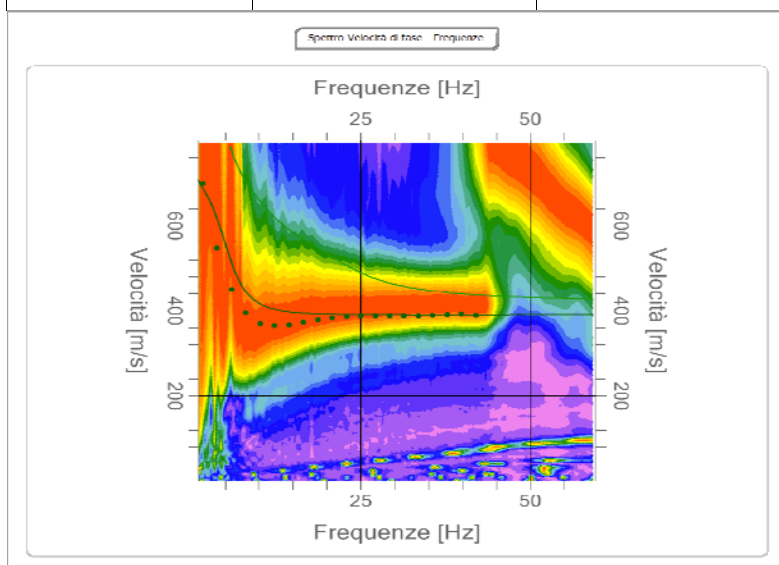


Grafico n. 12 Rappresentazione 2D del grafico velocità di fase – frequenze.

#### 4.6.7 Inversione

n.	Descrizione	Prof. [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coeff. Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	suolo	1.00	1.00	1800.0	0.30	No	781.1	417.5
2	areato superficiale con ghiaie	4.04	3.04	1800.0	0.30	No	1476.1	789.0
3	argille e sabbie	5.11	1.07	1800.0	0.30	No	375.2	200.5
4	argille e ghiaie	23.85	18.74	1800.0	0.20	No	630.2	385.9
5	sabbie	53.65	29.81	1800.0	0.20	No	892.7	546.7
6	substrato lapideo	oo	oo	1800.0	0.30	No	1567.4	837.8

Percentuale di errore

0.011 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.010

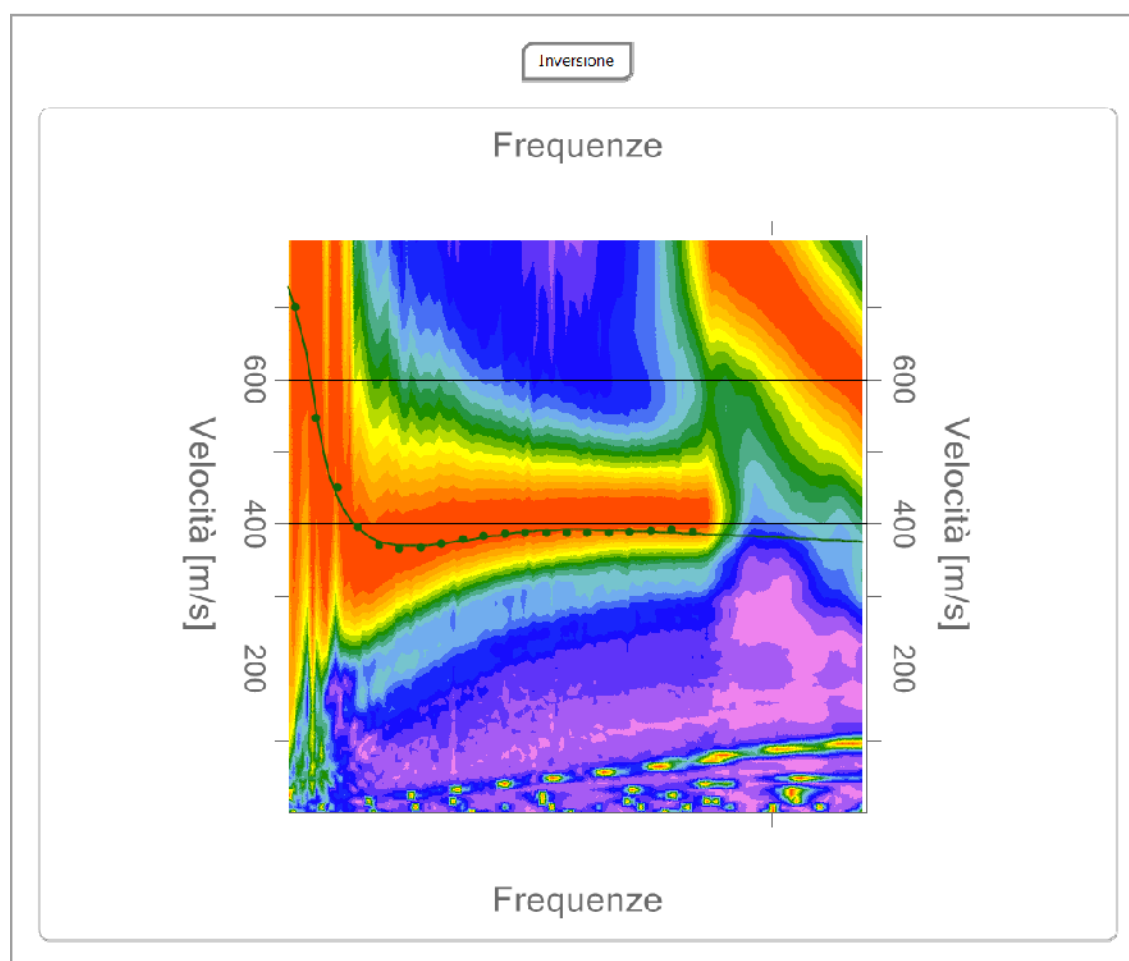
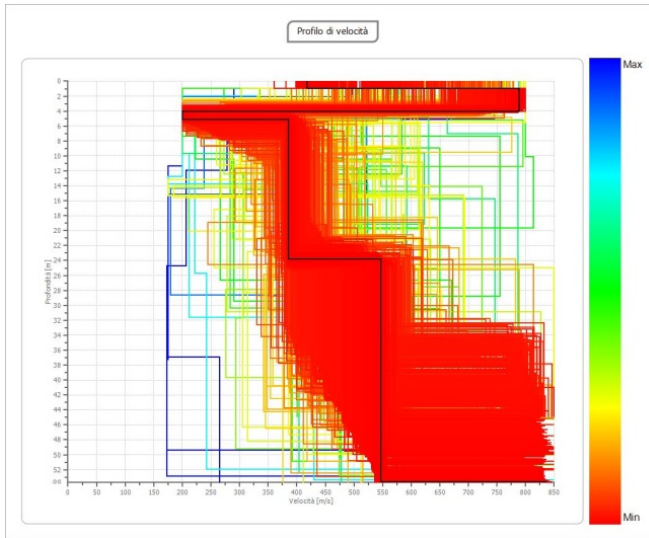


Grafico n. 13 Rappresentazione del risultato ottenuto dal processo di inversione

#### 4.6.8 Profilo di velocità e sismostratigrafia



I grafici che seguono rappresentano il risultato dell'analisi spettrale e delle successive elaborazioni, dove in ascissa è rappresentata la velocità della Vs e in ordinata la profondità.

Il profilo indicato con il colore nero è quello con il minimo errore percentuale; con i colori dal rosso al blu (vedi scala colorimetrica) sono rappresentati tutti i profili analizzati.

Grafico n. 14 Rappresentazione di tutti i profili

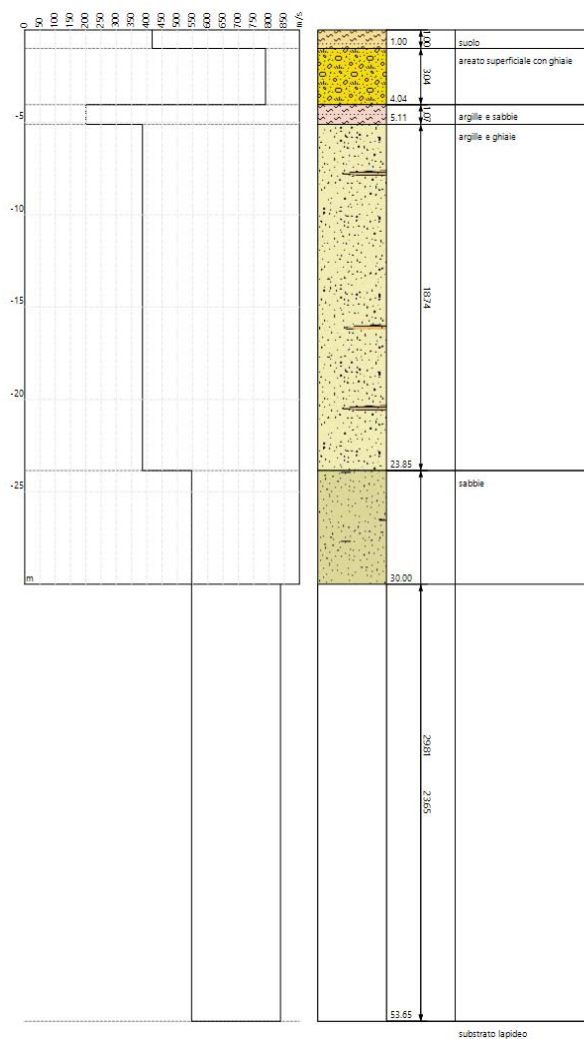


Grafico n. 15 Questo grafico ipotizza la successione stratigrafica del sito, così come desumibile dall'associazione dei dati sismici con quanto noto sulla situazione geologica locale.

#### 4.7 CALCOLO DEL MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

Come si evince dalla sezione *Risultati*, per la determinazione del profilo sismico si è proceduto al calcolo del periodo ( $T$ ) e delle  $V_{s30}$ , utilizzando le formule proposte dalla normativa, dove quest'ultima prevede che il calcolo del periodo  $T$  necessario all'utilizzo della scheda di valutazione sia calcolato utilizzando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore delle  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/s e utilizzando l'equazione:

$$T = \frac{4x \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n V_{s,i} x h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nella descrizione della prova eseguita, è stato calcolato il valore delle  $V_{s30}$ , che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il suo calcolo si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005, nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni") e nel D.M. 17.01.2018 ("Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"), secondo cui la classificazione del sottosuolo si esegue in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s30,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.


Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Da cui, a seguito dell'analisi sismica eseguita, applicando quanto previsto dalla NTC 2018, per una fondazione posta alla profondità di 0.00 m dal piano di campagna, si ottiene il seguente risultato:

Profondità piano di posa [m]	<b>0.00</b>
$V_{s,eq}$ (m/sec) (H=30.00 m)	<b>420.21</b>
Categoria del suolo	<b>B</b>

**Suolo di tipo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la

BALTEX PROGETTI S.r.l.	Relazione Tecnica Impianto Agrovoltaico Progetto Definitivo "SARDEGNA 14 GUSPINI"	Rev.00 del 28/06/2023
		Pag. 40 a 57

profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

#### 4.7.1 Altri parametri geotecnici

(ottenuti per interpolazione di dati risultanti)

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	417.53	781.12	1800.00	0.30	313.79	1098.27	679.88	815.86	N/A	N/A
2	4.04	3.04	789.00	1476.08	1800.00	0.30	1120.53	3921.86	2427.82	2913.38	N/A	N/A
3	5.11	1.07	200.53	375.16	1800.00	0.30	72.38	253.35	156.83	188.20	92	770.73
4	23.85	18.74	385.92	630.20	1800.00	0.20	268.08	714.87	357.44	643.38	N/A	N/A
5	53.65	29.81	546.68	892.72	1800.00	0.20	537.94	1434.50	717.25	1291.05	N/A	N/A
6	oo	oo	837.82	1567.41	1800.00	0.30	1263.48	4422.19	2737.55	3285.05	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young

#### 4.8 PARAMETRIZZAZIONE Vs, eq

Ai fini della definizione del valore del parametro Vs,eq secondo le nuove "Norme Tecniche NTC 2018 per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni", sulla base della prova MASW eseguita, per un **piano di posa posto alla quota di 0,00 m** (riferito al piano di campagna), i materiali presenti lungo la sezione investigata sono classificati come suoli di **classe B**.

<i>Prospezione sismica attiva</i>	<i>H</i> (m)	<i>Vs,eq</i> (m/s)	<i>Categoria Suoli di Fondazione</i> (D.M. 17 gennaio 2018)
<b>MASW 01</b>	<b>30.00</b>	<b>420.21</b>	<b>B</b>

E' comunque da tenere nella dovuta considerazione che, per la presenza di materiali poco addensati nella porzione più superficiale del sito investigato, all'approfondirsi del piano di posa non corrisponde un progressivo miglioramento delle proprietà meccaniche, almeno sino a 4.00 m dal piano di campagna, però, come evidenziato nella sottostante tabella, la categoria dei suoli di fondazione resta costante sino a profondità maggiori di 5.00 m dal piano di campagna.

Prospezione sismica attiva MASW			
profondità del piano di posa (m)	H (m)	Vs,eq (m/sec)	Categoria del suolo





1.00	30.00	423.57	<b>B</b>
1.50	30.00	421.90	<b>B</b>
2.00	30.00	420.24	<b>B</b>
3.00	30.00	416.95	<b>B</b>
4.00	30.00	413.72	<b>B</b>
5.00	30.00	431.64	<b>B</b>

## 4.9 PROVA DPL\_02

Strumento utilizzato... Penny 20 10cmq 90°  
 Prova eseguita in data 20/01/2021  
 Profondità prova ,70 mt  
 Falda non rilevata

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	6	0,857	11,61	13,56	0,58	0,68
0,20	18	0,805	32,73	40,68	1,64	2,03
0,30	36	0,703	57,17	81,36	2,86	4,07
0,40	38	0,701	60,18	85,88	3,01	4,29
0,50	42	0,649	61,59	94,92	3,08	4,75
0,60	56	0,647	81,88	126,55	4,09	6,33
0,70	60	0,645	87,48	135,59	4,37	6,78

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 1	4,59	0,20	25,08	53,2	60,87	19,73
Strato 2	27,54	0,70	64,49	100	65,36	60,9

#### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbur n-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasa ki & Iwasaki
Strato 1	4,59	0,20	4,59	28,31	21,31	29,29	0	31,5	0	<30	23,3	28,38	32,3	24,58
Strato 2	27,54	0,70	27,54	34,87	27,87	35,71	0	39,1	42	32-35	35,32	35,26	47,92	38,47

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (1977) (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	4,59	0,20	4,59	---	36,72	---	---	---
Strato 2	27,54	0,70	27,54	374,59	220,32	325,67	386,55	212,70

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	4,59	0,20	4,59	---	36,89	32,59	58,47
Strato 2	27,54	0,70	27,54	165,24	84,03	195,53	160,83

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	4,59	0,20	4,59	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Strato 2	27,54	0,70	27,54	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
----------	-------	------	-------	-----------------------------	-------------------------

**Peso unità di volume**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	4,59	0,20	4,59	Meyerhof ed altri	1,52
Strato 2	27,54	0,70	27,54	Meyerhof ed altri	2,11

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	4,59	0,20	4,59	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,88
Strato 2	27,54	0,70	27,54	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	4,59	0,20	4,59	(A.G.I.)	0,34
Strato 2	27,54	0,70	27,54	(A.G.I.)	0,3

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 1	4,59	0,20	4,59	272,28	317,16
Strato 2	27,54	0,70	27,54	1467,17	947,82

**Velocità onde**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità (m/s)
Strato 1	4,59	0,20	4,59	Ohta & Goto (1978) Limi	57,097
Strato 2	27,54	0,70	27,54	Ohta & Goto (1978) Limi	104,065

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	4,59	0,20	4,59	Navfac 1971-1982	0,89
Strato 2	27,54	0,70	27,54	Navfac 1971-1982	5,26

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	4,59	0,20	4,59	Robertson 1983	9,18
Strato 2	27,54	0,70	27,54	Robertson 1983	55,08

## 4.10 PROVA DPL\_01

Strumento utilizzato... Penny 20 10cmq 90°  
Prova eseguita in data 27/02/2023  
Profondità prova .80 mt  
Falda non rilevata

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	9	0,857	17,42	20,34	0,87	1,02
0,20	23	0,755	39,22	51,98	1,96	2,60
0,30	41	0,653	60,48	92,66	3,02	4,63
0,40	46	0,651	67,65	103,95	3,38	5,20
0,50	58	0,649	85,05	131,07	4,25	6,55
0,60	60	0,647	87,73	135,59	4,39	6,78
0,70	60	0,645	87,48	135,59	4,37	6,78
0,80	60	0,643	87,23	135,59	4,36	6,78

### TERRENI INCOERENTI

#### Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
Strato 1	6,88	0,20	33,05	65,09	62,72	25,67
Strato 2	31,36	0,50	68,71	100	66,74	64,86

#### Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornbur n-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
Strato 1	6,88	0,20	6,88	28,97	21,97	29,93	0	32,45	0	<30	25,16	29,06	35,83	26,73
Strato 2	31,36	0,50	31,36	35,96	28,96	36,78	0	39,96	42	32-35	36,69	36,41	49,06	40,04

#### Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
Strato 1	6,88	0,20	6,88	---	55,04	---	---	---
Strato 2	31,36	0,50	31,36	399,72	250,88	370,75	415,20	231,80

#### Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
Strato 1	6,88	0,20	6,88	---	41,60	48,85	68,68
Strato 2	31,36	0,50	31,36	188,16	91,88	222,66	177,87

#### Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

#### Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato	Nspt corretto per	Correlazione	Gamma
--	------	--------------	-------------------	--------------	-------

		(m)	presenza falda		(t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Meyerhof ed altri	1,62
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Meyerhof ed altri	2,15

**Peso unità di volume saturo**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,90
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,50

**Modulo di Poisson**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato 1	6,88	0,20	6,88	(A.G.I.)	0,34
Strato 2	31,36	0,50	31,36	(A.G.I.)	0,29

**Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
Strato 1	6,88	0,20	6,88	398,33	406,14
Strato 2	31,36	0,50	31,36	1657,70	1026,11

**Velocità onde**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità (m/s)
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Ohta & Goto (1978) Limi	61,238
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Ohta & Goto (1978) Limi	101,391

**Modulo di reazione Ko**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Navfac 1971-1982	1,07
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Navfac 1971-1982	4,55

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato 1	6,88	0,20	6,88	Robertson 1983	10,72
Strato 2	31,36	0,50	31,36	Robertson 1983	45,90



#### 4.10.1 FORMULE ADOTTATE E BIBLIOGRAFIA

##### 4.10.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING) - DPSH – DPM (... scpt ecc.)

###### Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:


- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- 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)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8

BALTEX PROGETTI S.r.l.	Relazione Tecnica Impianto Agrovoltaiico Progetto Definitivo "SARDEGNA 14 GUSPINI"	Rev.00 del 28/06/2023
		Pag. 47 a 57

Medio	DPM (Medium)	10<M <40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40≤M <60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M≥60	25

#### 4.10.1.2 Penetrometri in uso in Italia

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha= 60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento/ fango bentonitico : talora previsto.

#### 4.10.1.3 Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:



$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

$\delta$  = passo di avanzamento.

#### 4.10.1.4 Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo ( $\delta/N$ );

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

#### 4.10.1.5 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 resistenza alla punta.

#### 4.10.1.6 Valutazioni statistiche e correlazioni

##### **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

##### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Media + s**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

##### **Media - s**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### 4.10.2 Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, 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 pari a 1 mt. ed immersione  $d = 1$  mt..

#### 4.10.3 Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

##### *Liquefazione*

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello



strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

*Correzione  $N_{spt}$  in presenza di falda*

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

*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-marnosifessurati, 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)  $\geq 5$  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)  $\geq 15$  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)  $s > 15$  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 da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % 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  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

***Modulo Di Young ( $E_y$ )***

Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaie 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.

**Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\sigma_d$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

**Velocità onde di taglio  $V_s$  (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 (K<sub>o</sub>)**

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

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q<sub>c</sub>)**

Robertson 1983 Q<sub>c</sub>

## 4.10.4 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-grad



di plasticità).

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c=20$  e  $Q_c/N_{spt}=2$ .

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), 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.

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

Robertson 1983  $Q_c$

#### **Modulo Edometrico-Confinato( $M_o$ )**

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 - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).

Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte (  $N_{spt}<30$ ) medie e molli (  $N_{spt} <4$ ) e argille sabbiose (  $N_{spt}=6-12$ ).

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

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

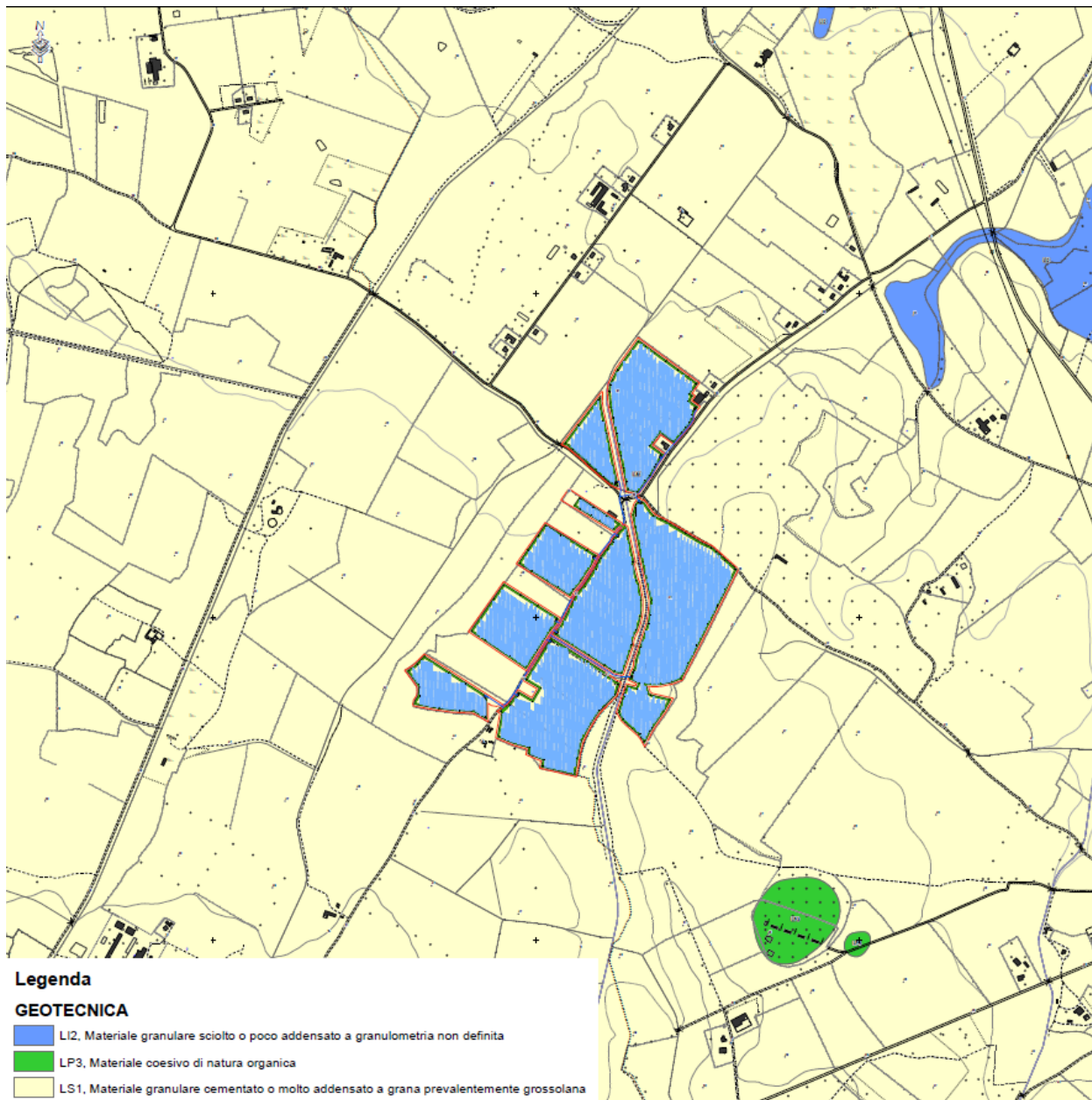
#### **Peso di Volume Gamma**

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 ( $N_{spt}=0$ ) a 0,545 ( $N_{spt}=28$ )

## 4.11 IL MODELLO GEOTECNICO



**Mappa – Carta litogeotecnica dell'area di sedime del progetto**

Il settore del proposto sedime che ospiterà l'impianto è costituito da un settore displuviale in sinistra del Flumini Bellu, che afferisce il Rio Sitzzerri, formato da una sequenza deposizionale di formazioni sedimentarie detritiche riferibili alle alluvioni terrazzate bn.

- **h1r**, Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE (localmente)
- **da 0.10 -0.20 a 0.60 m, suoli**
- **da 0.60 a 30.00 m, alternanze di ba**, Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE e **bn**, Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

## 4.12 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le principali formazioni presenti nell'area di progetto sono:

- Terreni di copertura quaternari (**suoli**);
- **ba** ,Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE
- **bn** ,Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

I terreni di copertura quaternari ricadenti nella unità litostratigrafiche sono classificati come terre.

La formazione rinvenuta mostra una stratificazione sub orizzontale e un'alternanza di livelli più teneri e più competenti.

I dati utilizzati per la modellizzazione, derivano da dati di prova su terreni eseguiti in loco appositamente.

### 4.12.1 PARAMETRI GEOMECCANICI RISULTANTI DALLE PROVE PENETROMETRICHE

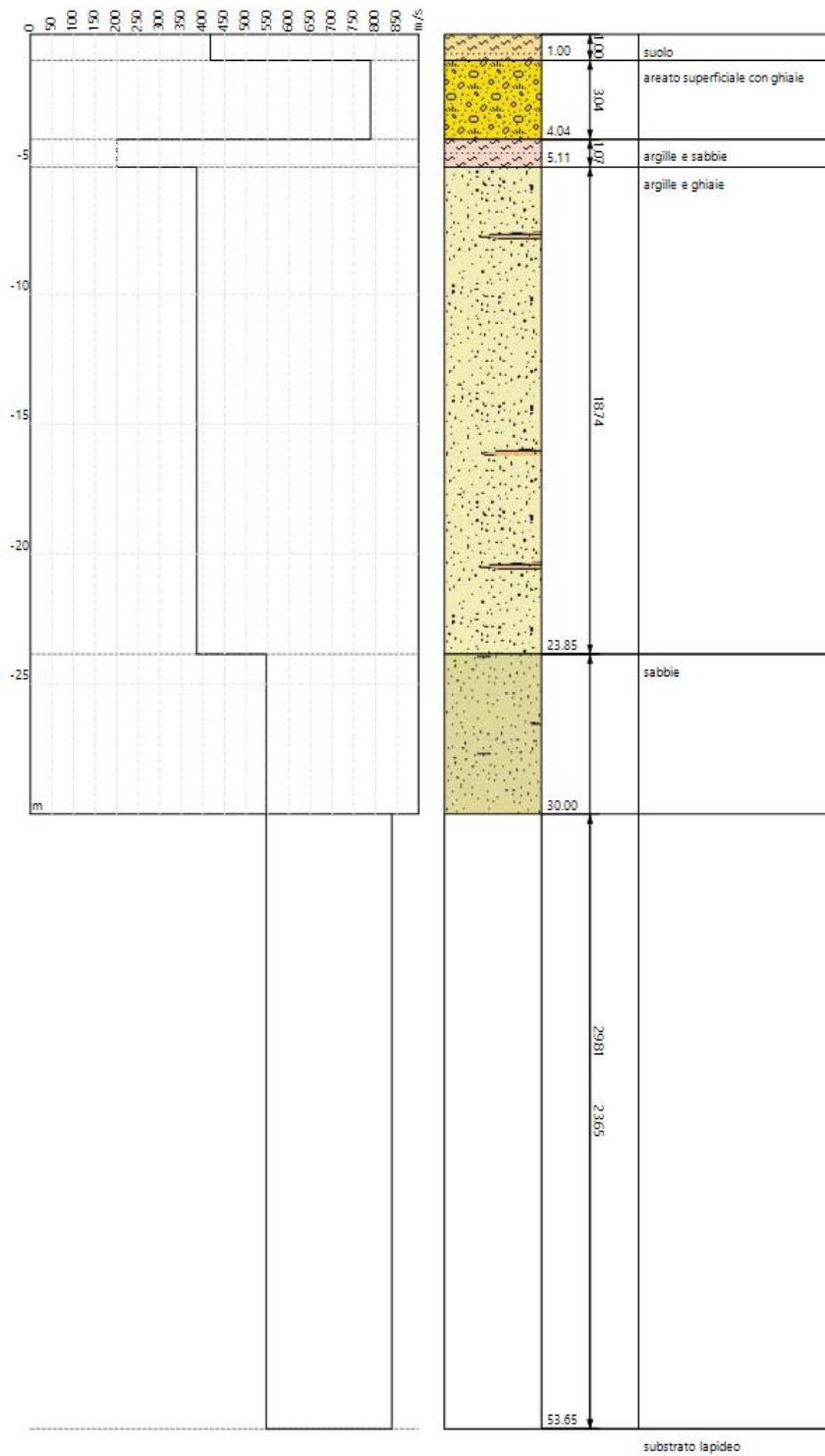
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Ang. °	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT
1	0.10	0.50	30	1900.00	0.33	70.00	-	130.00	11
2	0.60	> 1.00	35	2150.00	0.30	160.00	680.00	210.00	28

### 4.12.2 PARAMETRI GEOMECCANICI RISULTANTI DALLA MASW

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	417.53	781.12	1800.00	0.30	313.79	1098.27	679.88	815.86	N/A	N/A
2	4.04	3.04	789.00	1476.08	1800.00	0.30	1120.53	3921.86	2427.82	2913.38	N/A	N/A
3	5.11	1.07	200.53	375.16	1800.00	0.30	72.38	253.35	156.83	188.20	92	770.73
4	23.85	18.74	385.92	630.20	1800.00	0.20	268.08	714.87	357.44	643.38	N/A	N/A
5	53.65	29.81	546.68	892.72	1800.00	0.20	537.94	1434.50	717.25	1291.05	N/A	N/A
6	∞	∞	837.82	1567.41	1800.00	0.30	1263.48	4422.19	2737.55	3285.05	0	N/A



Relazione Tecnica Impianto Agrovoltaico  
 Progetto Definitivo  
 "SARDEGNA 14 GUSPINI"



### 4.12.3 PARAMETRI GEOMECCANICI ADOTTATI

La sequenza geotecnica in sito è la seguente:

**[A] SUOLO ORGANICO** non parametrizzato perché da superare con lo scavo;

- potenza: 0.10- 0.20 m

**[B] ba/bn**

**alternanze di ba**, Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie. OLOCENE e **bn**, Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie le proprietà geotecniche di tale strato sono solo leggermente inferiori allo strato inalterato di base per cui risulta:

- potenza: 0.20- 4.00 m circa
- Peso di volume naturale  $\geq 18.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume saturo  $\geq 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di resistenza al taglio  $\geq 33/35^\circ$
- Coesione  $c = 0.05 \div 0.02 \text{ daN/cm}^2$
- Modulo elastico  $E_{el} = > 450 \text{ daN/cm}^2$

### 4.13 COMPATIBILITÀ GEOTECNICA

L'intervento in progetto si inserisce in una area pedecollinare, su depositi quaternari detritici poggianti su depositi cenozoici detritici, in parte alterati, ma generalmente cementati, poligenici ed eterometrici, non classati e caratterizzati da modelli deposizionali vari.

Il sito è stabile e non sono presenti elementi geologici che ne facciano presupporre una evoluzione nel medio termine.





## 5 COMPATIBILITÀ

Il progetto proposto è compatibile con le caratteristiche geologiche e geotecniche dell'area e non ha controindicazioni tecniche di natura geologica, idrogeologica e geologico-tecnica.

L'intervento proposto, così come ipotizzato, non interferisce negativamente con strutture pubbliche o private esistenti.

Le opere non ricadono in aree la cui pericolosità per prossimità alla costa, per instabilità del versante o per inondabilità, sia stata evidenziata in studi alcuni (SCAI, AVI, PAI, IFFI o PSFF) o lo sia per esperienza diretta o notizia alcuna, o comunque ove marginalmente presente, sia di nocumento alle opere o produca effetti su altre opere.

I terreni presenti mostrano caratteristiche meccaniche atte a sopportare le sollecitazioni previste.

La portanza dei terreni attraversati è generalmente sufficiente alle necessità progettuali.

La stabilità dei versanti incontrati è buona e non viene turbata dall'attuazione del progetto proposto.

I cedimenti dei terreni hanno entità ridotte o comunque compatibili con la tipologia delle opere previste nell'area.

**Geologo Roberta Maria Sanna**