

**IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA DA
FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA CON ACCUMULO
DENOMINATO "SASSARI 01"**

**REGIONE SARDEGNA
PROVINCIA di SASSARI
COMUNI di SASSARI e PORTO TORRES**

PROGETTO DEFINITIVO

Tav.:

Titolo:

R12a

**Relazione Geologica
Area Impianto**

Scala:

Formato Stampa:

Codice Identificatore Elaborato

n.a.

A4

R12a_RelazioneGeologicaFV_12a

Progettazione:

Committente:

DOTT. ING. Fabio CALCARELLA

Via Bartolomeo Ravenna, 14 - 73100 Lecce
Mob. +39 340 9243575
fabio.calcarella@gmail.com - fabio.calcarella@ingpec.eu
P. IVA 04433020759

Whysol-E Sviluppo S.r.l.

Via Meravigli, 3 - 20123 - MILANO
Tel: +39 02 359605
info@whysol.it - whysol-e.sviluppo@legalmail.it
P. IVA 10692360968

Geoprove S.r.l.

Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Marcello DE DONATIS
Via Benedetto Falcone, ZI - 73049 Ruffano (LE)
Tel. 0833 692992 - 329 3599093
info@geoprove.eu



Data	Motivo della revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Marzo 2021	Prima emissione	MDD	FC	WHYSOL-E Sviluppo s.r.l.

INDICE

PREMESSA.....	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
CARATTERI MORFOLOGICI.....	4
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DEL TERRITORIO	8
CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDRAULICI DEL SITO.....	14
INDAGINE GEOGNOSTICA	17
<i>Sismica con metodologia Masw (multichannel analysis of surface waves)...</i>	<i>17</i>
<i>Pericolosità sismica.....</i>	<i>25</i>
<i>Profili sismici a rifrazione</i>	<i>28</i>
VERIFICA DEGLI STATI ULTIMI (SLU)	32
CONCLUSIONI	39

PREMESSA

La società Geoprove s.r.l. di Ruffano (Le) è stata incaricata dall'Ing. Fabio Calcarella per conto della società di ingegneria WHYSOL-E SVILUPPO SRL nel mese di febbraio 2021, per eseguire uno studio geologico-tecnico di supporto ad un progetto di un impianto fotovoltaico denominato "Sassari 01", ripartito in tre aree: ad est della SS 131 in località Ponti Pizzinnu e ad est e ad ovest della S.P. n. 42 dei Due Mari, nel territorio comunale di Porto Torres (provincia di Sassari).

Il presente studio ha mirato ad accertare la successione stratigrafica e le proprietà fisico-meccaniche dei terreni interessati secondo quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018.

Dopo aver eseguito un rilievo geologico ed idrogeologico di superficie è stata eseguita la seguente campagna di indagini geognostiche:

- esecuzione di n. 5 indagini sismiche a rifrazione;
- esecuzione di n.2 profili sismici Masw per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione.

Al termine delle indagini è stata redatta la presente relazione geologica che, avvalendosi di tutti i risultati acquisiti, ha consentito di caratterizzare il terreno fondale.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area indagata è ubicata ad est della SS 131 in località Ponti Pizzinnu nel territorio comunale di Porto Torres a circa 2 Km a Sud del centro abitato.

Una seconda area interessata dal progetto è ad est della S.P. n. 42 dei Due Mari; una terza area è a circa 1.0 km ad ovest della S.P. n. 42.

Le aree interessate dal progetto presentano tutte una morfologia pianeggiante e sub-pianeggiante sebbene a livello di area vasta si denota una morfologia degradante verso est, passando da 55 a 32 m s.l.m.



Area di indagine, immagine da Google Earth ®

CARATTERI MORFOLOGICI

L'area vasta della zona in studio appartiene al Logudoro (Sardegna settentrionale) ed è costituita geologicamente da un basamento rappresentato da una successione vulcanica epiclastica Oligo-miocenica a sua volta ricoperto da una potente successione sedimentaria depositatasi tra il Burdigaliano sup. ed il Messiniano inf.. Successivamente le colate basaltiche plio-pleistoceniche hanno ricoperto con estensione non uniforme le rocce vulcaniche e sedimentarie Mioceniche precedentemente citate.

In generale la geomorfologia del territorio è caratterizzata soprattutto da rilievi tabulari suborizzontali, immersi in direzione NW, che raggiungono approssimativamente la stessa altezza, separati da valli con versanti dolci e poco acclivi, delimitati talora da scarpate e rientranze lungo i fianchi in funzione della maggiore o minore competenza delle formazioni mioceniche sottostanti, a seconda della zona, il tabulato calcareo o basaltico.

La presenza delle forme e dei paesaggi presenti nell'area di studio, è la risultante della complessa evoluzione morfostrutturale subita, nel corso dei periodi geologici, dal territorio in esame: tale evoluzione è stata fortemente condizionata dall'interazione degli eventi geodinamici, legati all'orogenesi ercinica prima, e a quella alpina poi.

L'evoluzione geomorfologica della regione è il risultato della combinazione dei processi di natura endogena ed esogena e come tale è influenzata dalla struttura geologica, intesa, sia come caratteristiche mineralogico-petrografiche delle rocce, sia come giacitura e diversa

competenza in relazione alla resistenza che esse oppongono agli agenti di modellamento.

La morfologia ricalca pertanto fedelmente la distribuzione areale e i caratteri giaciturali della formazione geologica predominante, costituita dalla potente successione marina e continentale miocenica.

Nelle aree in cui affiora il basamento carbonatico cretaceo si è in presenza di piccoli alti strutturali, sebbene la morfologia dell'area è solo leggermente ondulata.



Morfologia sub-pianeggiante



Aree interessate dall'istallazione dell'impianto fotovoltaico





Area interessata dall'istallazione dell'impianto fotovoltaico

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DEL TERRITORIO

Il territorio in esame occupa il settore settentrionale del quadrante nord-occidentale dell'Isola.

Questo settore settentrionale, nel periodo tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano(?)- Messiniano, è stato sede di importanti eventi tettonici e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini, in parte coalescenti, fra loro differenziati in quanto caratterizzati da due differenti orientazioni strutturali e da differenti evoluzioni tettonosedimentarie. Tali bacini costituiscono quello che viene tradizionalmente definito come Fossa sarda ("Rift sardo"), interpretata come un lineamento tettonico orientato N-S, che attraversa tutta l'Isola, legato ad un'estensione crostale orientata E-W avvenuta durante la rotazione del Blocco sardo-corso (Oligocene superiore). Secondo le più recenti interpretazioni i bacini miocenici della Sardegna settentrionale sono contraddistinti da due diverse strutturazioni successive: la prima con fosse orientate prevalentemente N60° (bacini di Chilivani-Berchidda, Anglona, Ottana definiti come Bacini transtensivi aquitaniani, di età Oligocene superiore-Aquitano); la seconda con fosse orientate NNW (bacini del Logudoro e di Porto Torres, definiti come Bacini burdigaliani, di età Burdigaliano-Tortoniano(?)-Messiniano). Si tratta dei due bacini che sono definiti come bacini sin-rift e postrift. I Bacini transtensivi aquitaniani occupano la porzione più orientale dell'Isola, dove trasgrediscono sul basamento ercinico caratterizzato prevalentemente da granitoidi intrusi in metamorfiti di medio e basso grado. Sono impostati lungo faglie trascorrenti

sinistre, orientate N60°, hanno caratteristica forma allungata parallela alle faglie principali ed una successione sedimentaria con sedimenti di ambiente prevalentemente continentale, in genere depositi lacustri, con intercalati prodotti vulcanici e vulcanoclastici, alternati a depositi alluvionali e con associati depositi sintettonici in prossimità delle faglie. Localmente la successione continentale evolve a marina (zona di Castelsardo e Anglona). I Bacini burdigaliani sono più recenti, hanno direzione circa NNW ed interessano la parte occidentale della Sardegna settentrionale, dal Golfo dell'Asinara a nord, fino all'altopiano di Campeda, a sud.

Dal punto di vista strutturale si configurano come semi-graben con faglie principali su bordi opposti, connessi da zone di taglio trascorrenti ad orientamento EW che trasferiscono la deformazione estensionale da un fianco all'altro del bacino.

Nella successione stratigrafica è possibile distinguere tre sequenze deposizionali:

Sequenza 1 Burdigaliano superiore – Langhiano;

Sequenza 2 Serravalliano – Tortoniano(?)-Messiniano;

Sequenza 3 Messiniano superiore.

Le prime due sono caratterizzate dal passaggio da depositi clastici di ambiente fluvio-deltizio a depositi carbonatici marini di piattaforma. La terza sequenza è caratterizzata da depositi clastici grossolani di ambiente fluviale.

L'evoluzione sedimentaria nella Sardegna Settentrionale è caratterizzata da numerosi cicli trasgressivo-regressivi, fra loro alternati. Durante il Burdigaliano superiore – Langhiano l'innalzamento del livello del mare porta alla deposizione della Sequenza 1, dove, in successione verticale, ai depositi

continentali, prevalentemente sabbiosi, seguono depositi marini di piattaforma prossimale (calcarei algali) e distale (marne). La caduta del livello del mare nel Langhiano superiore-Serravalliano inferiore è responsabile dell'accentuata erosione dei depositi della Sequenza 1. In questa fase si sviluppano profonde valli incise (100 m). Nel successivo periodo di risalita del livello del mare si deposita la Sequenza 2. Lungo il margine del bacino si sviluppano sistemi deltizi mentre, al margine della piattaforma si depositano le sabbie quarzoso-feldspatiche che vanno a colmare le valli precedentemente formatesi. Nel Serravalliano inferiore, a seguito di un'ulteriore trasgressione, si forma una vasta piattaforma carbonatica. Nel Messiniano la caduta del livello del mare porta alla formazione, lungo tutto il margine della piattaforma, di numerosi valli incise fra le quali si ricorda la valle del Riu Mannu.

Di seguito si riporta lo stralcio della Carta Geologica della Sardegna, in scala 1:200.000, in cui si evidenzia la continuità del substrato carbonatico marino miocenico (9c) nell'area interessata dal progetto, PER LA PARTE ORIENTALE; QUI Stratigraficamente il complesso sedimentario miocenico è delimitato al tetto dalle litologie continentali quaternarie, e alla base dalle vulcaniti del ciclo "calcalalino" oligo-miocenico.

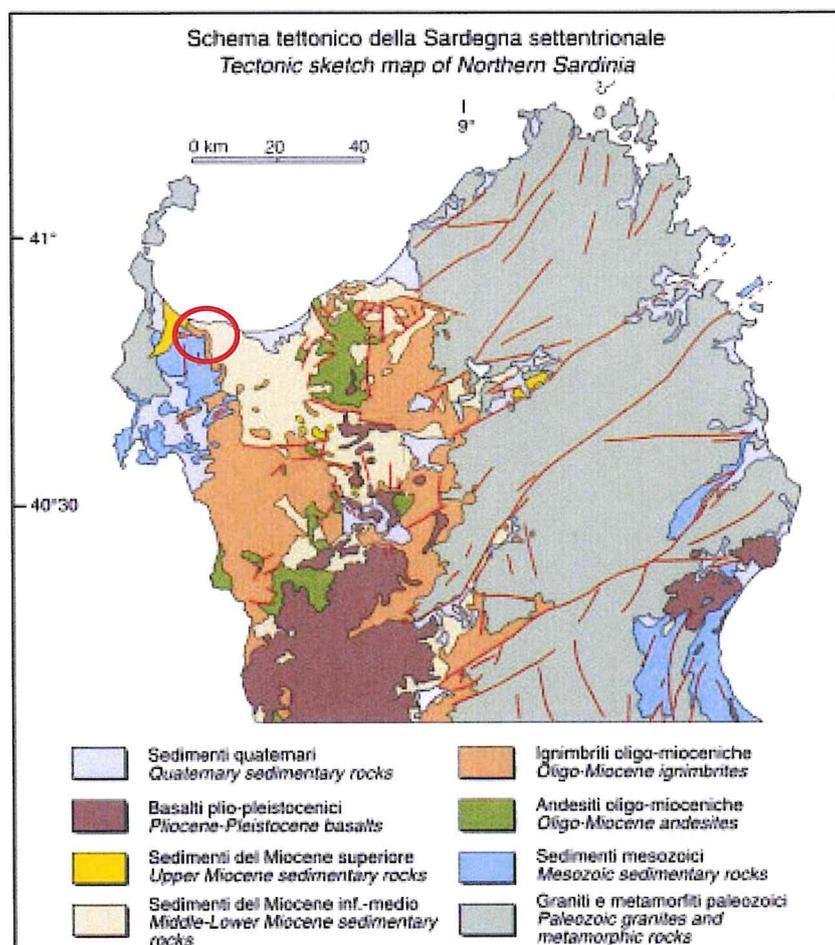
Nella porzione occidentale, invece, in affioramento, sebbene mascherato da una copertura di terreno vegetale, si rinviene un basamento carbonatico cretaceo.

Il territorio di Porto Torres si sviluppa sul margine occidentale di un semi-graben, di età terziaria noto in letteratura come bacino di Porto Torres

(Thomas & Gennesseaux, 1986), colmato da vulcaniti e sedimenti di ambiente marino di età compresa tra l'Oligocene sup ed il Miocene sup.

La geometria di questa importante struttura tettonica è tale per cui sul lato occidentale emergono le formazioni più antiche rappresentate dal basamento paleozoico e dalle coperture mesozoiche della Nurra, mentre sul lato orientale prevalgono i sedimenti marini miocenici.

Nella figura a lato si riporta lo schema tettonico della Sardegna Settentrionale tratto da: A. Funedda, G. Oggiano, S. Pasci: The Logudoro basin: a key area for the tertiary tectono-sedimentary evolution of North Sardinia



Stratigrafia dell'area orientale

La successione stratigrafica nell'area in esame è costituita da litologie del complesso sedimentario carbonatico marino, di età miocenica, ricoperto da spessori variabili di sedimenti e depositi quaternari.

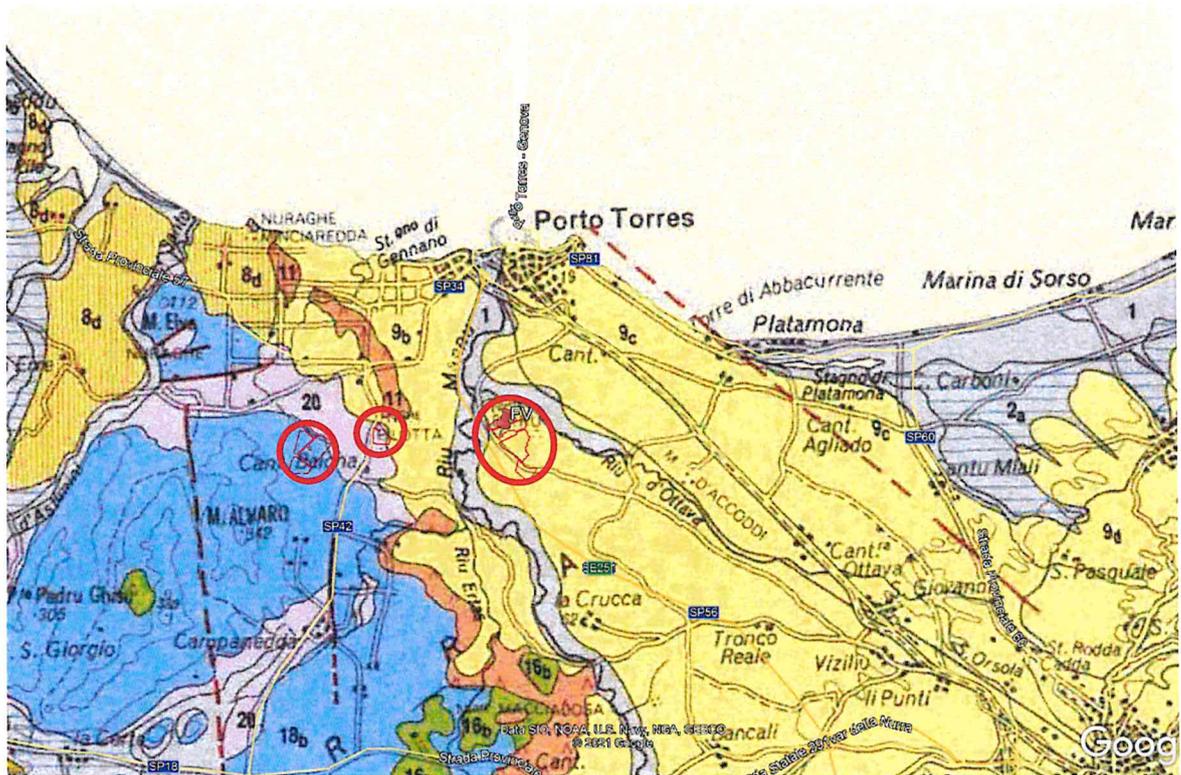
Il basamento, che struttura la regione con la caratteristica morfologia piano-collinare, è costituito da calcari detritici organogeni, grossolani, passanti verso la parte basale a depositi marnosi in genere a giacitura orizzontale o debolmente inclinata.

Subordinatamente si rinvencono, intercalate a queste litologie, livelli di calcari arenacei, arenarie e "sabbioni". Lo spessore del basamento raggiunge potenze ragguardevoli nell'ordine del centinaio di metri.

Le coperture quaternarie sono rappresentate da alluvioni recenti, presenti lungo l'alveo e nelle piane del Riu Mannu, mentre nelle aree più prossime alla linea di costa i sedimenti miocenici sono ricoperti, quando non affioranti, di spessori variabili di depositi eolici post-tirreniani costituiti da sabbioni e granuli silicei, ben cementati, a stratificazione incrociata.

Stratigrafia dell'area occidentale

La porzione occidentale, ad ovest del riu mannu è caratterizzata dalla presenza in affioramento di Depositi carbonatici di piattaforma, dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari oolitici, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne; dolomie, dolomie marnose e marne con gessi ed argille. Depositi carbonatici di piattaforma, calcari dolomitici e dolomie, dolomie arenacee, calcari e calcari marnosi con rare intercalazioni gessose. Trias medio-superiore e Lias.



Stralcio della *Carta Geologica della Sardegna, in scala 1:200.000*

-  Marne arenace e siltose, arenarie, conglomerati, calcareniti e sabbie silicee sublitoli-epibatiali (Langhiano-Serravalliano) Formazione che nella nomenclatura più recente (progetto Carg) è conosciuta come formazione di Monte Santo
-  Depositi carbonatici di piattaforma, dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari oolitici, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne. Alla sommità dolomie e calcari dolomitici. Lias.
-  Dolomie, dolomie marnose e marne con gessi ed argille. Depositi carbonatici di piattaforma, calcari dolomitici e dolomie, dolomie arenacee, calcari e calcari marnosi con rare intercalazioni gessose. Trias medio-superiore.

CARATTERI IDROGEOLOGICI ED IDRAULICI DEL SITO

I corsi d'acqua principali che si rilevano nell'area in esame sono il Rio Mannu, con il suo affluente destro Rio d'Ottava ed il Fiume Santo; entrambi a carattere permanente.

Il rio Mannu ed il Rio d'Ottava drenano la porzione di territorio impostata sulle formazioni marnoso arenacee Terziarie.

Il reticolo idrografico su queste litologie è impostato su un sistema di valli e compluvi, dal fondo piatto, spesso delimitati da scarpate rocciose originatesi a seguito di processi di dilavamento e scalzamento al piede non più attivi nelle condizioni attuali.

Il pattern di distribuzione del reticolo è estremamente semplice e poco ramificato in stretta relazione con l'elevata capacità di infiltrazione delle acque superficiali tipico di contesti carsici.

Il territorio in esame costituisce un complesso idrogeologico ben caratterizzato in funzione dei suoi aspetti morfologici e geologici.

L'assetto idrogeologico del territorio è fondamentalemente costituito da varie formazioni litologiche che vengono identificate e accorpate, in base alla loro permeabilità, nella zona di interesse di due unità idrogeologiche principali:

U.I.	Litologia o Formazione	Grado di Permeabilità
1	Depositi alluvionali quaternari	Variabile per porosità da AP a MP
	Formazione delle sabbie di Florinas	
	Formazione delle sabbie di Nuova Oppia	
2	Successione vulcanica basaltica plio-pleistocenica	Variabile per fratturazione da MP a SP
	Calcari di M.Santo	
	Calcari di Mores	
	Successione vulcanica ignimbratica oligo-miocenica	
	Marne di Borutta	

Grado di permeabilità:

Sigla	Permeabilità	Grado di Permeabilità
AP	Altamente permeabile	$K > 10 \text{ cm/sec}$
MP	Mediamente permeabile	$10^{-4} < K < 10 \text{ cm/sec}$
SP	Scarsamente permeabile	$10^{-7} < K < 10^{-4} \text{ cm/sec}$
IMP	Impermeabile	$K < 10^{-7} \text{ cm/sec}$

In generale i diversi gradi di permeabilità delle litologie precedentemente elencate si riflettono sull'andamento della circolazione idrica sub-superficiale e sotterranea determinando la formazione di acquiferi con importanza e caratteristiche diverse:

- le vulcaniti oligo-mioceniche sono da considerarsi come rocce scarsamente permeabili; la cui permeabilità è legata al chimismo e allo stato di fratturazione e di alterazione della roccia. In ogni caso la mobilità delle acque è limitata (fessurazione) e con bassa capacità di immagazzinamento;
- i calcari miocenici e le colate basaltiche plio-pleistoceniche presentano una bassa permeabilità per porosità e fratturazione e una bassa capacità di accumulo;
- le successioni sabbiose della formazione di Oppia Nuova e delle sabbie di Florinas presentano elevati valori di permeabilità con spessori in media superiori ai 40 m che sono sede di importanti acquiferi con buone capacità di immagazzinamento;
- le coperture quaternarie presentano valori variabili di permeabilità da media ad alta, anche se gli spessori in genere abbastanza ridotti non permettono la formazione di acquiferi rilevanti e favoriscono fenomeni di

immagazzinamento solo in prossimità di aree sub-pianeggianti dove i livelli freatici sono fortemente influenzati dalla piovosità.

Nello specifico l'assetto idrogeologico del territorio in esame è caratterizzato dalla presenza predominante di un acquifero costituito dalla formazione delle sabbie di Oppia Nuova che presenta nel complesso una buona permeabilità per porosità.

Nella porzione occidentale, laddove affiorano formazioni calcareo-dolomitiche cretacee la permeabilità è per fratturazione.

In ogni caso non si hanno falde che possano interferire con le opere fondali dell'impianto da realizzare; livelli superficiali si possono avere nella formazione sedimentaria sabbiosa intervallata da vari livelli limo-argillosi, nel quale sono state identificate due principali falde acquifere intorno a 20.0 e a 50.0 m dal p.c..

INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi occorrenti per la previsione del comportamento dell'opera in rapporto alle caratteristiche del terreno.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di:

- 5 profili sismici a rifrazione, realizzati con un'interdistanza di 3 metri;
- n 2 indagini sismiche con metodologia Masw, in due aree diverse, per individuare la categoria sismica di suolo di fondazione.

Sismica con metodologia Masw (multichannel analysis of surface waves)

Per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione è stata eseguita un'indagine di sismica con metodologia MASW nell'area indagata.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni (da 4.5 Hz) e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

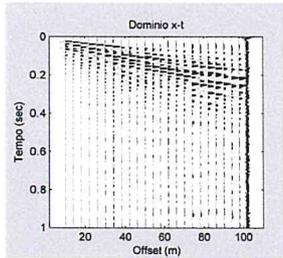
La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede almeno i seguenti passi:

- Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni
- Estrazione dei modi dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;
- Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali delle VS.

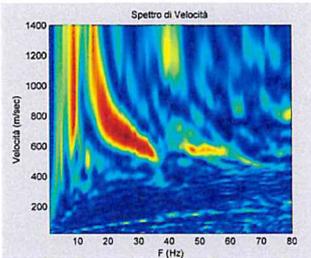
Prima parte: determinazione curva di dispersione

Determinazione Spettro di Velocità

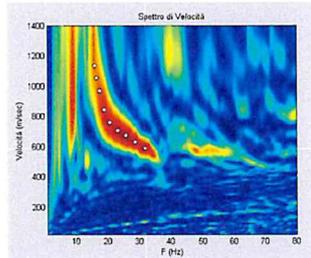
A) Caricamento dati



B) Calcolo spettro di velocità



C) Picking della curva di dispersione



Seconda parte: inversione della curva di dispersione

Inversione delle Curve di Dispersione

A) Fissare parametri di inversione

secondo passo - definizione numero di strati:

3 numero di strati

menu genetico:

50 numero di individui (min 5 - max 10000)

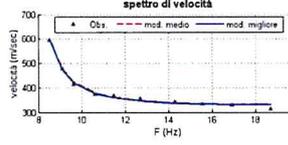
40 numero di generazioni (min 10 - max 400)

	velocità		spessori	
	velocità minima (m/sec)	velocità massima (m/sec)	spessore minimo (m)	spessore massimo (m)
1° strato	257.948	572.878	0.16174	17.4894
2° strato	208.043	1021.82	0.16174	17.4894
semispazio	196.337	1570.66	Semispazio	

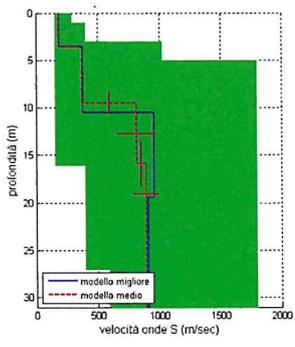
annulla salva

B) Lanciare l'inversione ed attendere il risultato

spettro di velocità



modello migliore VS30: 715 m/sec
modello medio VS30: 681 m/sec



profondità (m)

velocità onde S (m/sec)

Gli algoritmi genetici rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta infatti ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

Le NTC18 effettuano la classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{nV_{S,i}}}$$

Con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

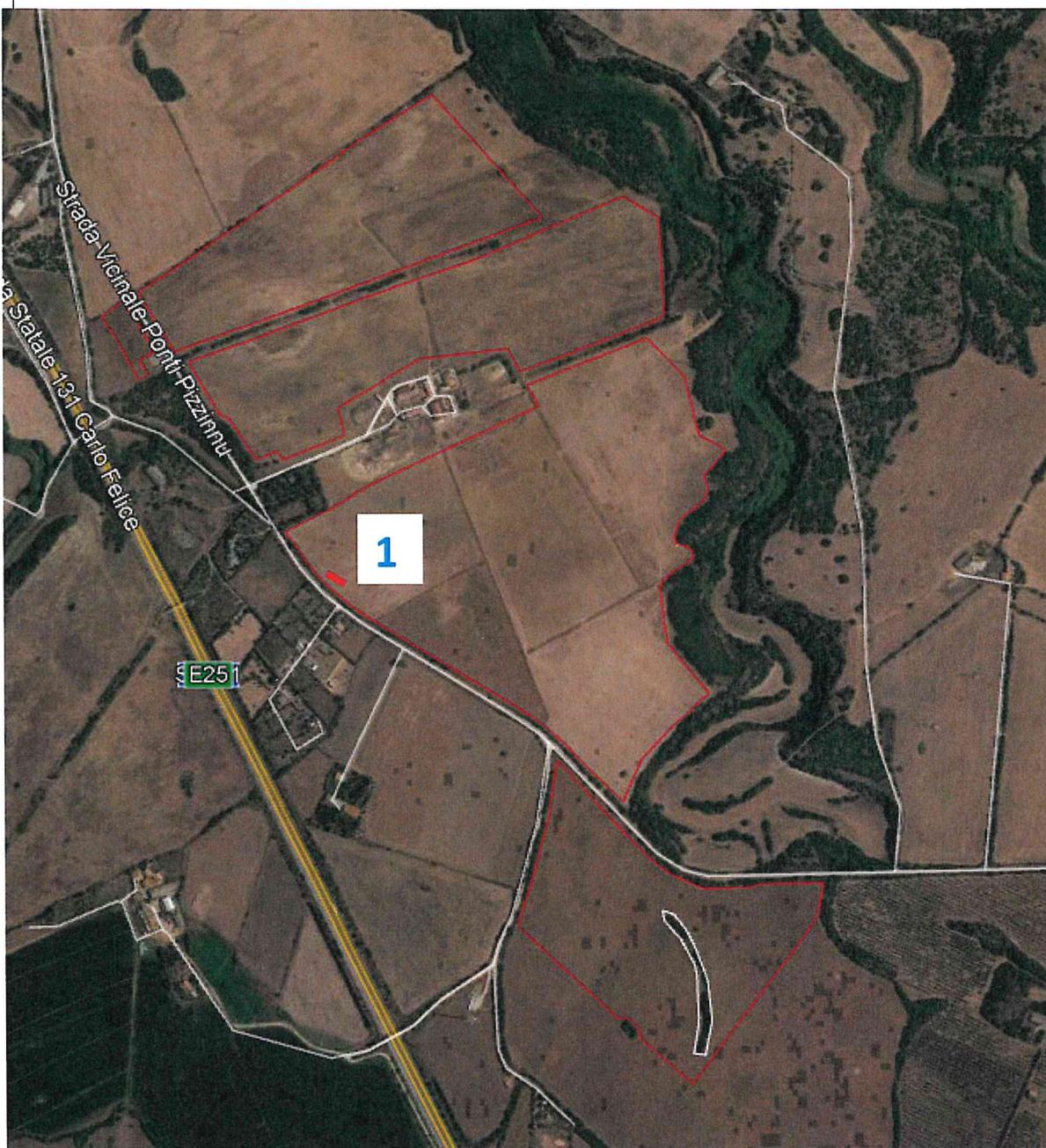
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

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

Con l'indagine Masw n. 1, eseguita in località Ponti Pizzinnu è stato individuato un substrato sismico a 15 metri di profondità, quindi la $V_{s, eq}$ è stata calcolata per uno spessore di 15 m. Dal calcolo delle $V_{s, eq}$, avendo ottenuto un valore di 512 m/sec; ne scaturisce che la categoria sismica di sottosuolo rilevata è la B. Si tratta pertanto di un suolo sismico caratterizzato da ***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.

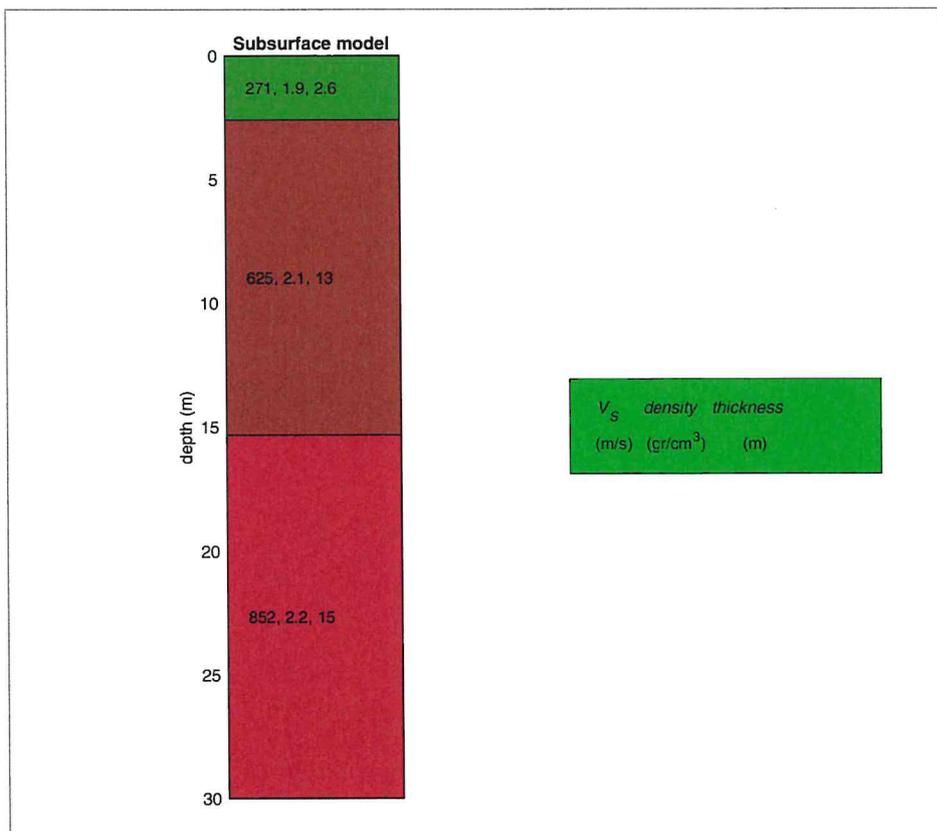
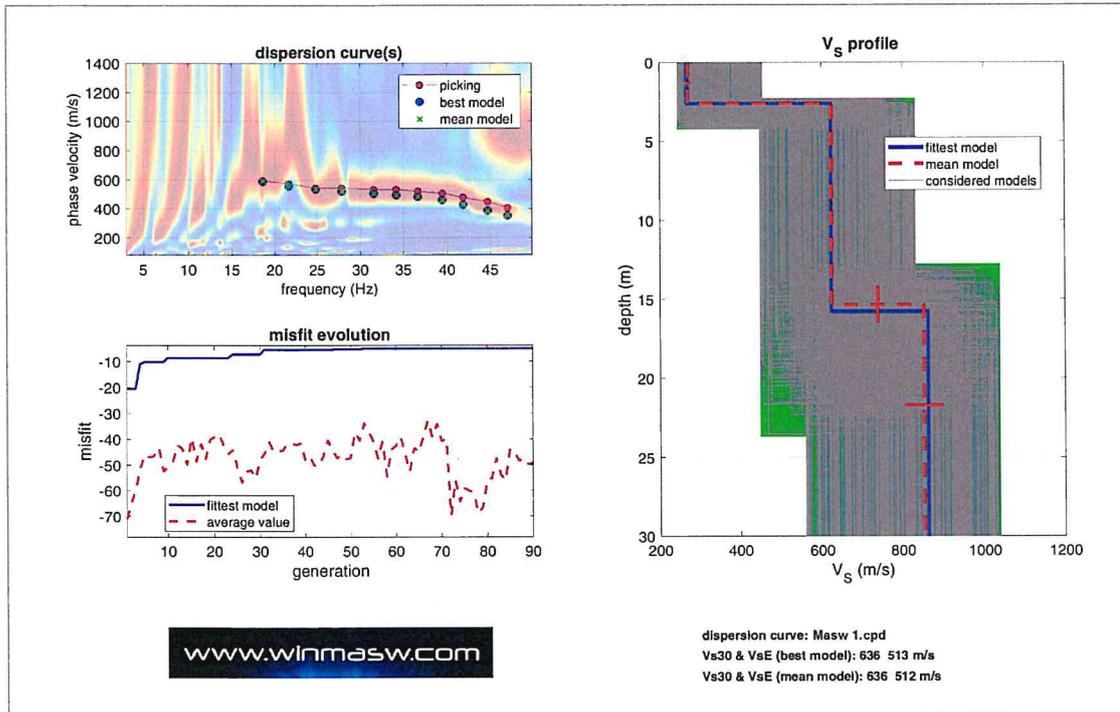
Con l'indagine Masw n.2, eseguita ad ovest della S.P. n. 42 dei Due Mari è stato individuato il bedrock già a partire dai primi metri dal p.c., ciò significa che il suolo sismico è caratterizzato da ***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*** e quindi il suolo di fondazione rientra nella ***categoria A***.

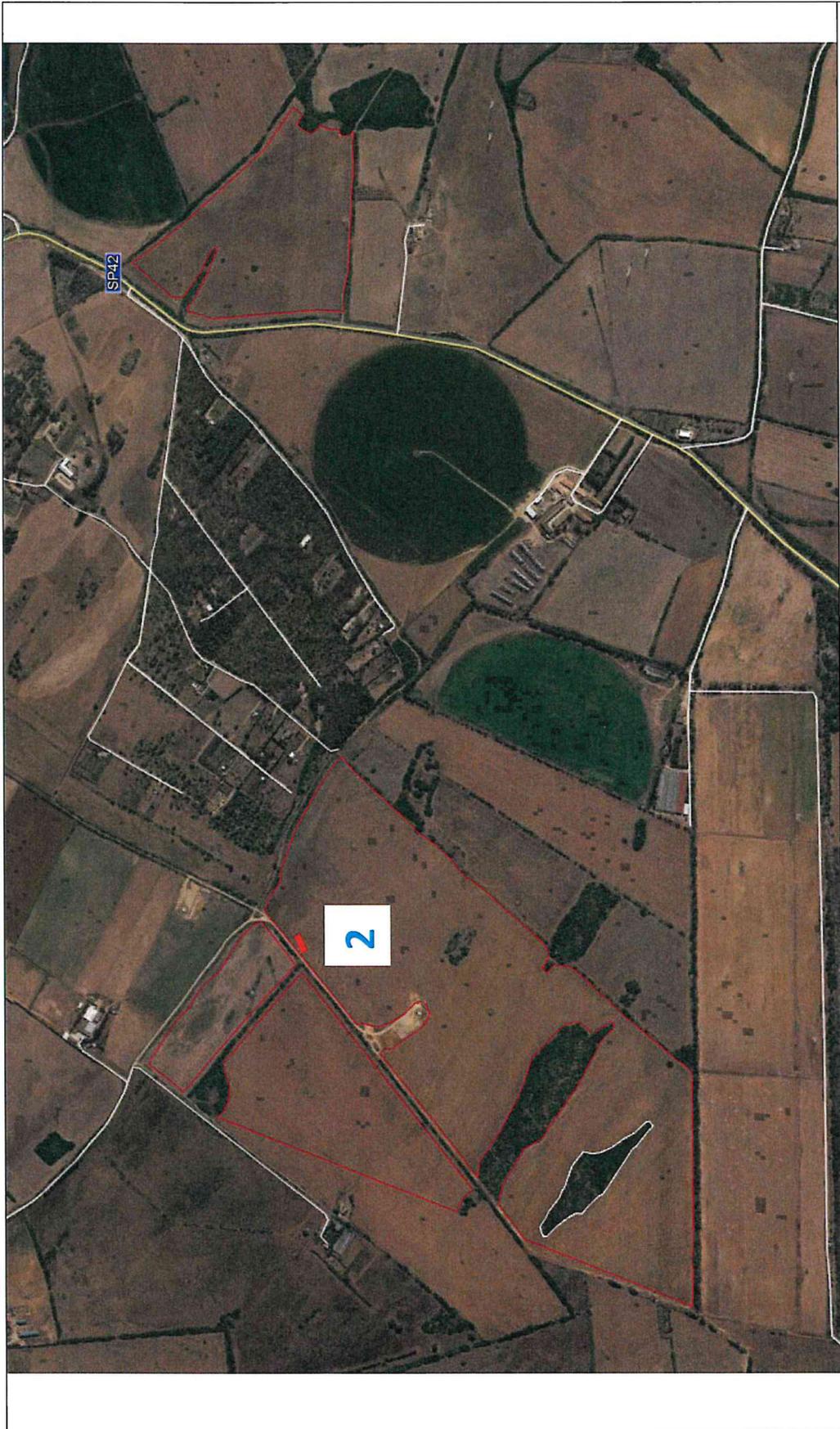
UBICAZIONE PROFILI SISMICI MASW



Profilo sismico Masw

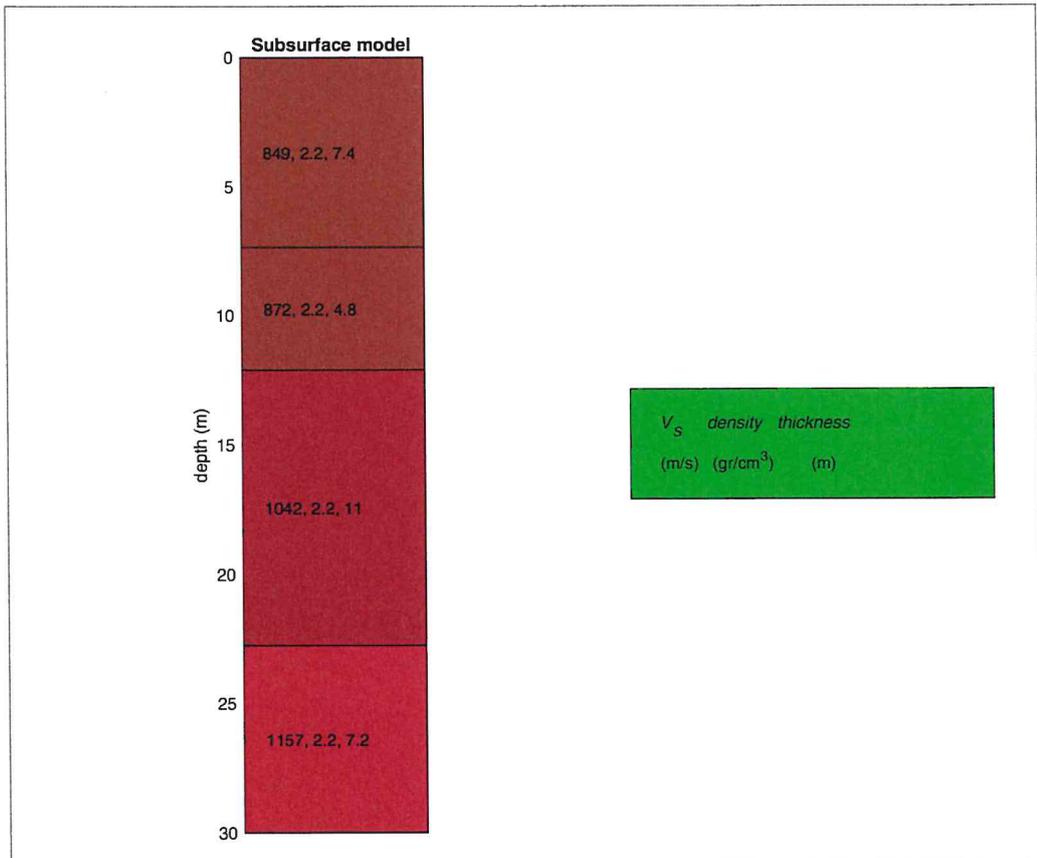
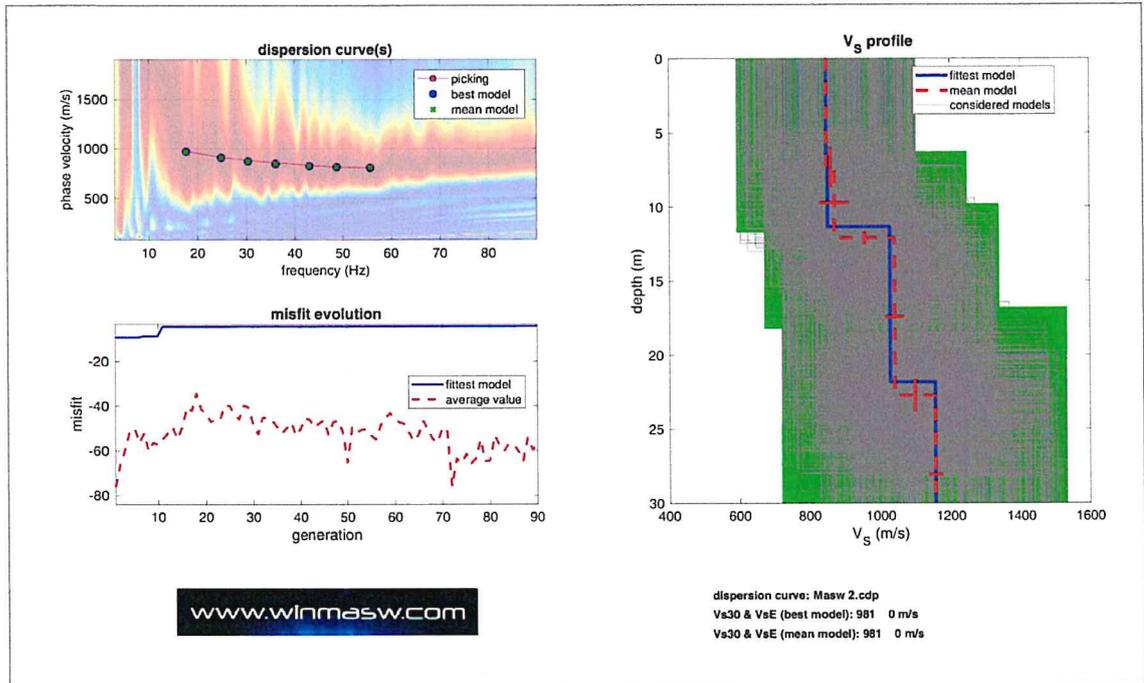
MASW 1 (loc. Ponti Pizzinnu)





— Profilo sismico Masw

MASW 2 (ad ovest della S.P. n. 42)



CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Le categorie di sottosuolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante "Norme Tecniche per le costruzioni" sono le seguenti:

- A) ***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*** caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B) ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana 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.

Sulla base della classificazione topografica il sito in esame rientra nella categoria topografica T1 di Pendii con inclinazione minore di 15°.

The screenshot displays a software interface with three main sections:

- Map:** A satellite view of a rural landscape with a red pin marking a specific location.
- Stati limite:** A table with the following data:

Stato Limite	T ₁ [min]	A ₁ [g]	F ₀	T ₂ [s]
Operatività (SLD)	0	0.000	0.000	0.000
Diario (SLD)	0	0.000	0.000	0.000
Salvaguardia via (SLV)	0	0.000	0.000	0.000
Prevenzione collasso (SLC)	0	0.000	0.000	0.000
Periodo di riferimento per l'azione sismica	0			
- Coefficienti sismici:** A table with the following data:

	SLD	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione sismografica	1.00	1.00	1.00	1.00
CC Coeff. funz. canopora	1.00	1.00	1.00	1.00
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00
Coeff. sismici	SLD	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.000	0.000	0.000
kv	0.000	0.000	0.000	0.000
Ames [m/s]	0.000	0.000	0.000	0.000
Beta	0.100	0.100	0.100	0.100

Immagine della maglia elementare del reticolo di riferimento

The screenshot displays a software interface with three main sections:

- Map:** A satellite view of a rural landscape with a red pin marking a specific location.
- Stati limite:** A table with the following data:

Stato Limite	T ₁ [min]	A ₁ [g]	F ₀	T ₂ [s]
Operatività (SLD)	0	0.000	0.000	0.000
Diario (SLD)	0	0.000	0.000	0.000
Salvaguardia via (SLV)	0	0.000	0.000	0.000
Prevenzione collasso (SLC)	0	0.000	0.000	0.000
Periodo di riferimento per l'azione sismica	0			
- Coefficienti sismici:** A table with the following data:

	SLD	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione sismografica	1.00	1.00	1.00	1.00
CC Coeff. funz. canopora	1.00	1.00	1.00	1.00
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00
Coeff. sismici	SLD	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.000	0.000	0.000
kv	0.000	0.000	0.000	0.000
Ames [m/s]	0.000	0.000	0.000	0.000
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Pericolosità' sismica

Le norme tecniche per le costruzioni (NCT) adottano un approccio prestazionale alla progettazione e alla verifica delle strutture nuove e di quelle esistenti.

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.

La pericolosità sismica deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NCT e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

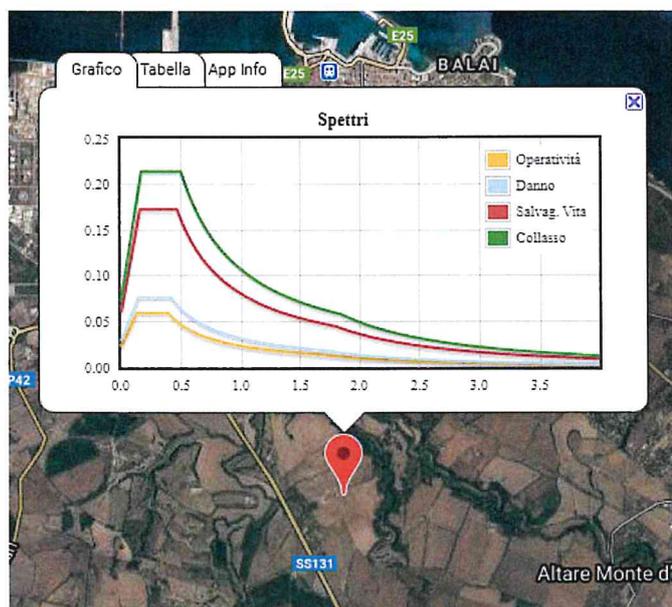
- In termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri di riferimento i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro ;
- Per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni estremi esclusi;

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NCT, dalle accelerazioni a_g , e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NCT sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

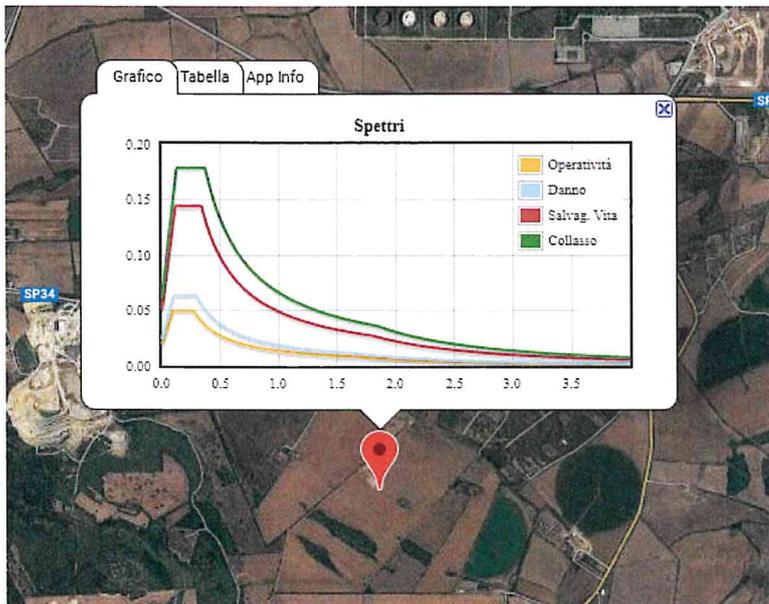
- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri di pericolosità sismica di base dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico Porzione orientale:



Stato Limite	T_r	$a_g = A_g/g$	F_0	T_c^*
<i>Operatività (SLO)</i>	30	0.019	2.61	0.273
<i>Danno (SLD)</i>	50	0.024	2.67	0.296
<i>Salvag. Vita (SLV)</i>	475	0.05	2.88	0.34
<i>Collasso (SLC)</i>	975	0.06	2.98	0.372

I parametri di pericolosità sismica di base dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico Porzione orientale:



Stato Limite	T_r	$a_g = A_g/g$	F_0	T_c^+
<i>Operatività (SLO)</i>	30	0.019	2.61	0.273
<i>Danno (SLD)</i>	50	0.024	2.67	0.296
<i>Salvag. Vita (SLV)</i>	475	0.05	2.88	0.34
<i>Collasso (SLC)</i>	975	0.06	2.98	0.372

Profili sismici a rifrazione

Per individuare la successione stratigrafica e le caratteristiche geotecniche del terreno fondale, si è proceduto con l'esecuzione di 5 profili sismici a rifrazione, distribuiti sull'area interessata dal progetto.

La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo la linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P), al fine di determinare la velocità (V_p) con cui tali onde coprono le distanze tra la sorgente ed i vari ricevitori.

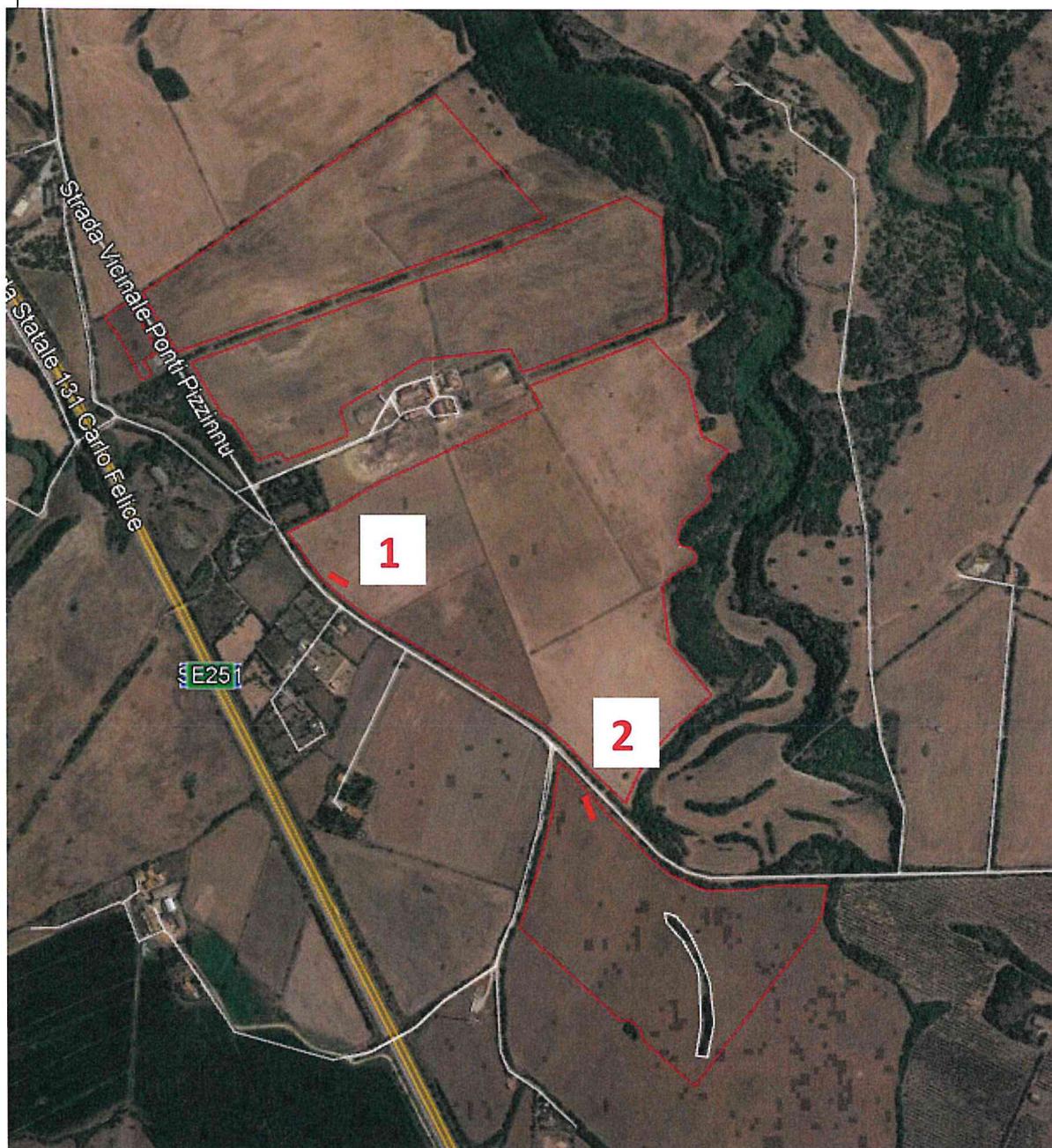
I dati, così ottenuti, si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge di Snell, ci permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati.

Sono stati eseguiti quattro profili sismici coniugati, adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza battente del peso di 5 kg che batte su una piastra rettangolare

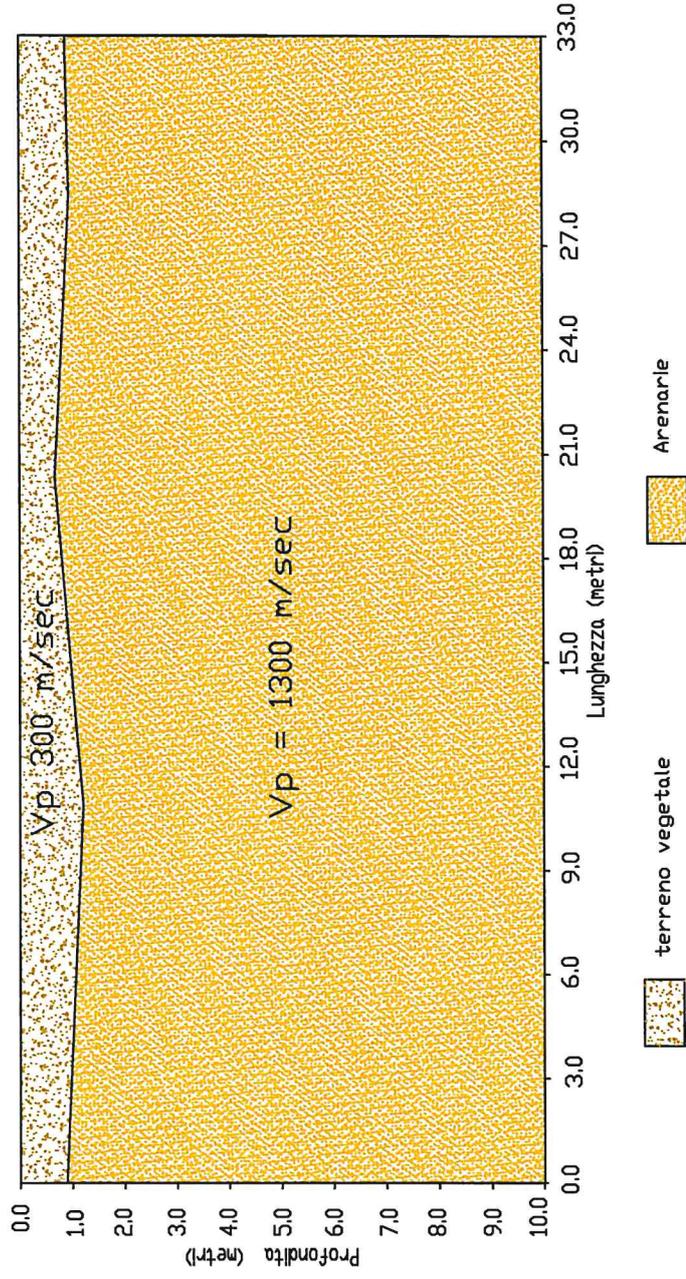
Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod. Geode, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo.

UBICAZIONE PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE

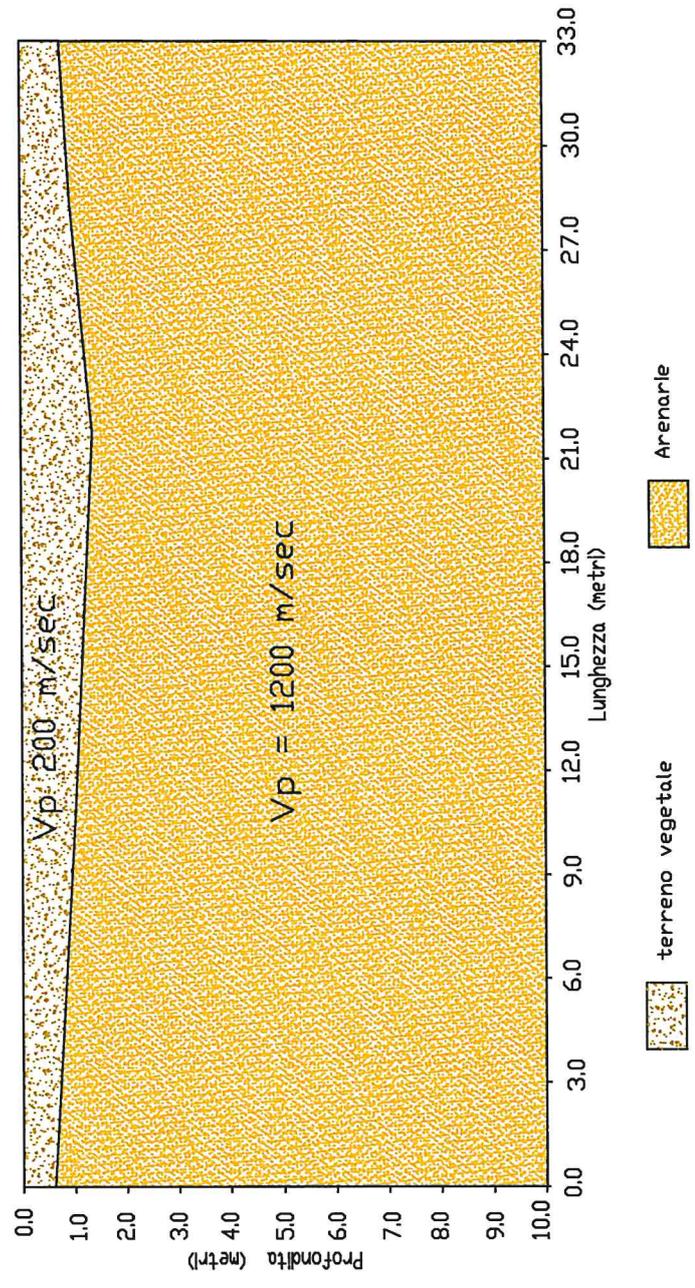


Profilo sismico a rifrazione di 33 metri

PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE
LOCALITA' PORTO TORRES (SS) - Profilo 1



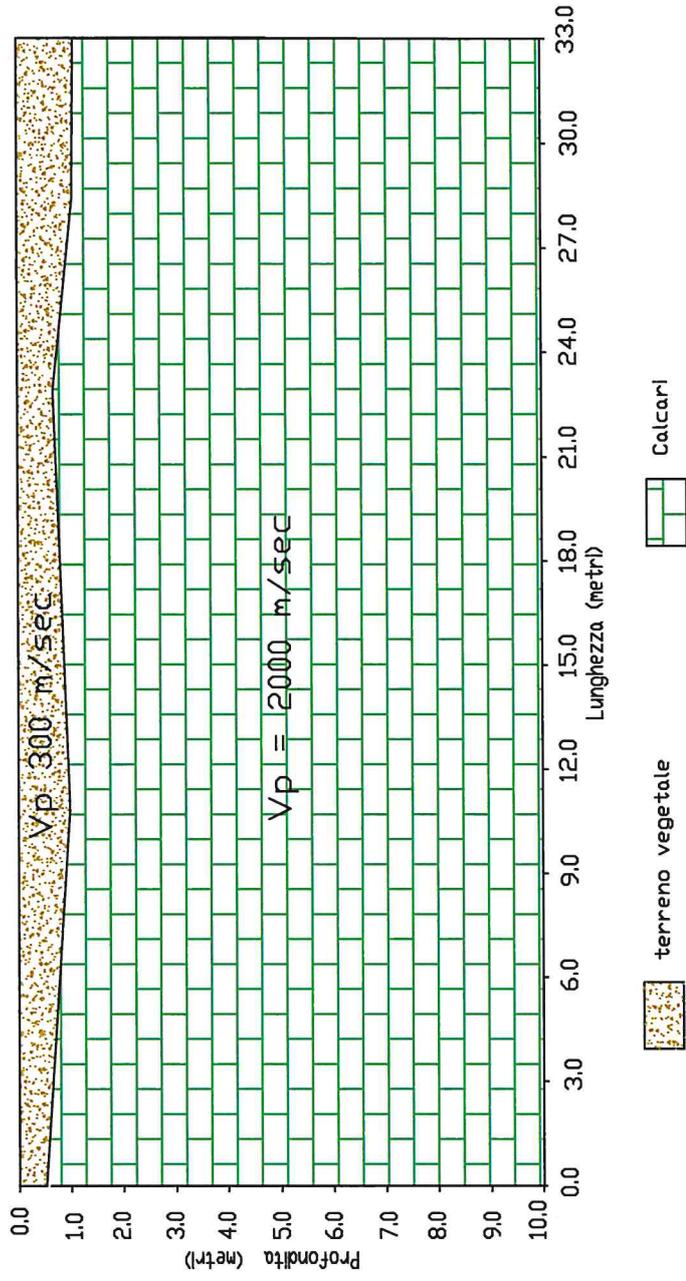
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE
LOCALITA': PORTO TORRES (SS) - Profilo 2



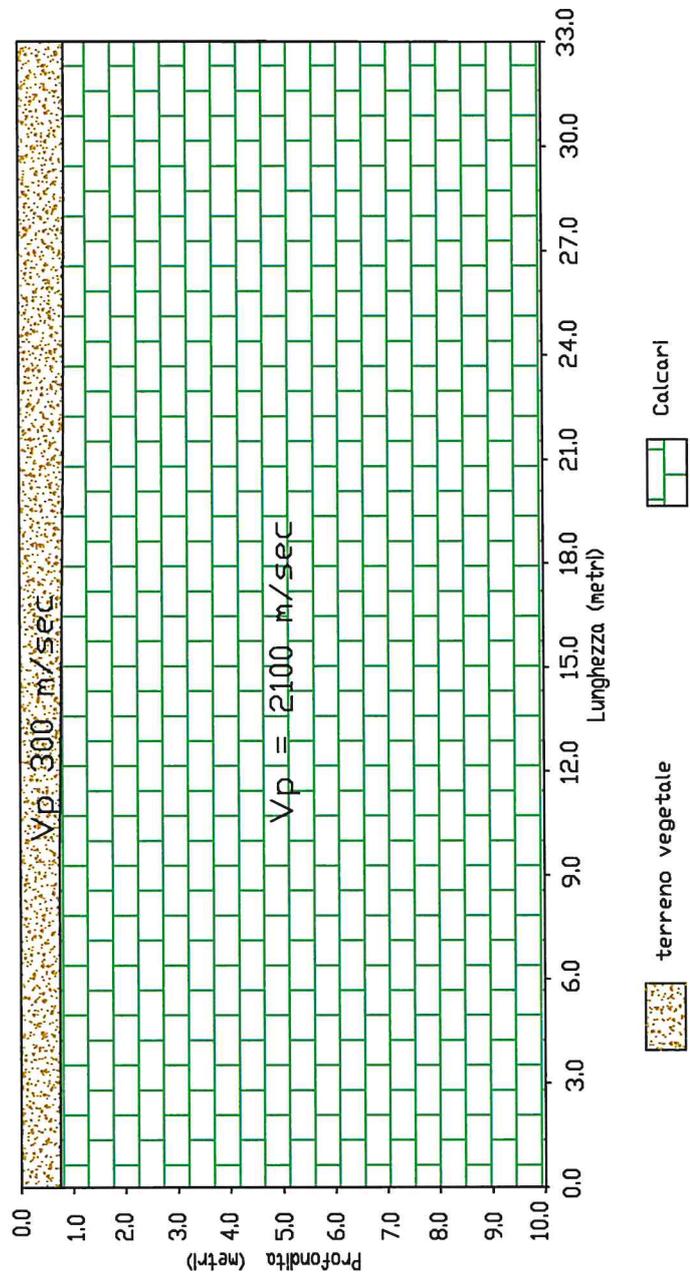


— Profilo sismico a rifrazione di 33 metri

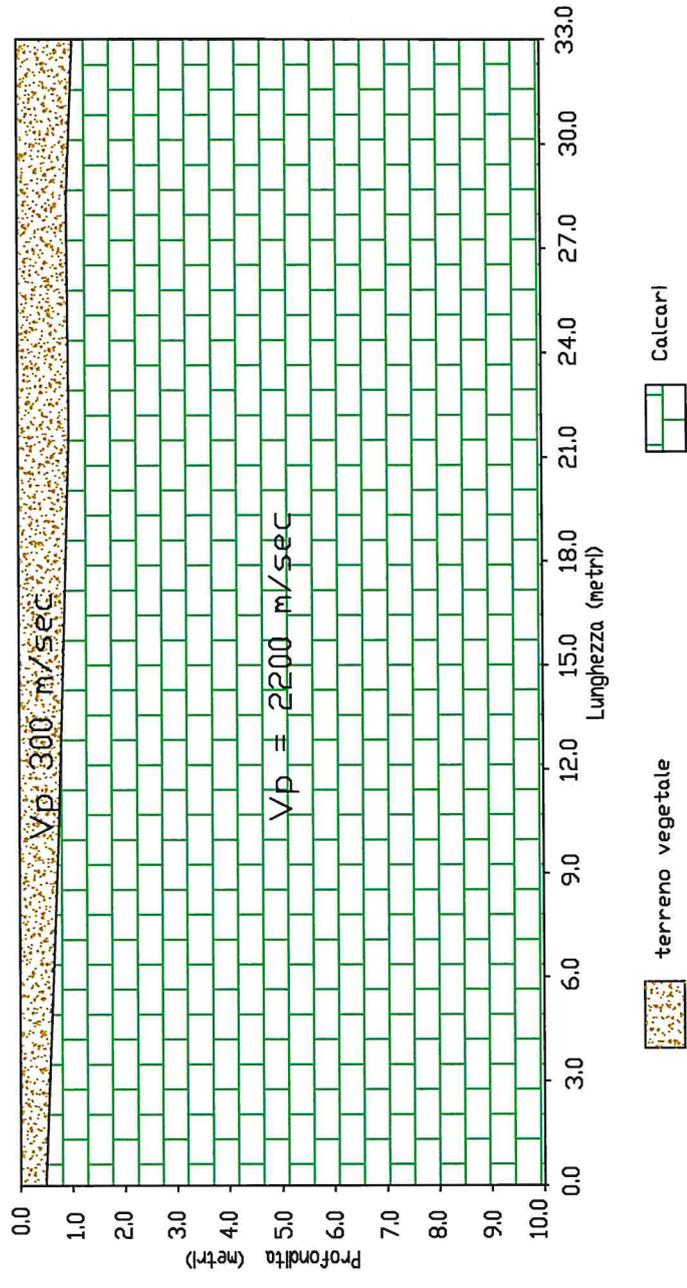
PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE
LOCALITA': PORTO TORRES (SS) - Profilo 3



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE
LOCALITA': PORTO TORRES (SS) - Profilo 4



PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE
LOCALITA': PORTO TORRES (SS) - Profilo 5



L'interpretazione dei dati di campagna è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo di Palmer e delle intercette.

Analisi dei risultati

Profilo n. 1

Il profilo sismico ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità di 300 m/sec ed uno spessore variabile da 0.7 a 1.0 metri, segue il secondo sismostrato che con una velocità pari a 1300 m/sec è assimilabile ad arenarie.

Profilo n. 2

Il profilo sismico ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità di 200 m/sec; ad una profondità variabile da 0.6-1.2 m si registra una discontinuità sismostratigrafica: le velocità registrate sono di 1200 m/sec, perciò riconducibili ad arenarie.

Profilo n. 3

Con il profilo sismico n. 3, eseguito ad est della S.P. n. 42 è stato possibile rilevare il primo sismostrato che presenta uno spessore di 0.4-1.0 m ed una velocità di 300 m/sec; segue il secondo sismostrato che è caratterizzato da una velocità di 2000 m/sec, è assimilabile a calcari marnosi.

Profilo n. 4

Il profilo sismico ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità di 300 m/sec ed uno spessore di circa 0.8 m, seguono dei calcari marnosi caratterizzati da una velocità di 2100 m/sec.

Profilo n. 5

Il profilo sismico ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità di 300 m/sec ed uno spessore di 0.5-1.0 metri, segue il secondo sismostrato che con una velocità pari a 2200 m/sec è assimilabile dei calcari marnosi.

Dalla misurazione delle velocità V_p e V_s si è risaliti ai moduli elastici e meccanici del terreno fondale.

La porzione orientale dell'impianto è caratterizzata dai seguenti parametri:

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	ν	E (Kg/cmq)	γ (gr/cmc)	c (Kg/cmq)	ϕ (°)
1	200	-		-	-	-	-
2	1200	290	0.45	43.000	1.86	0.06	31

V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; ν = modulo di Poisson; E = modulo di elasticità;

γ = peso per unità di volume; c = coesione; ϕ = angolo di attrito

La porzione occidentale dell'impianto è caratterizzata dai seguenti parametri:

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	v	E (Kg/cmq)	γ (gr/cmc)	c (Kg/cmq)	φ (°)
1	300	-		-	-	-	-
2	2100	810	0.31	125.000	2.10	0.09	33

V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; v = modulo di Poisson; E = modulo di elasticità;

γ = peso per unità di volume; c = coesione; φ = angolo di attrito

VERIFICA DEGLI STATI ULTIMI (SLU)

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismo di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alla condizione di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico

- *collasso per carico limite*
- *collasso per scorrimento sul piano di posa*
- *stabilità globale*

SLU di tipo strutturale

- *raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali*

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d$$

Dove E_d = valore di progetto delle azioni o effetto dell'azione

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico
(terreno)

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti:

- per le azioni (A1 e A2)
- per i parametri geotecnivi (M1 e M2)
- per le resistenze (R1, R2, R3)

Azioni

Il valore di progetto (E_d) delle azioni si calcola moltiplicando le azioni per i coefficienti della tabella 1

Tabella 1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Resistenze

La resistenza R_d del terreno si calcola utilizzando i valori caratteristici dei parametri geotecnici del terreno divisi per i coefficienti parziali γ_m della tabella 2:

Tabella 2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo resistenza al taglio	$\tan \phi'k$	$\phi'k$	1.0	1.25
Coesione efficace	$c'k$	$\gamma c'$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	C_{uk}	γc_u	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma\gamma$	1.0	1.0

Per le rocce, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniassiale (q_u) deve essere applicato un coefficiente parziale di 1.6.

Il valore di progetto dei parametri di resistenza (c' e ϕ') devono essere impiegati sia per la determinazione dei fattori di capacità portante, N_c , N_q , N_γ , sia per la determinazione dei coefficienti correttivi, ove tali coefficienti intervengono. I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono stati scelti nell'ambito di approcci progettuali distinti ed alternativi.

Approccio 1

Si basa sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziale e considera due famiglie di combinazioni (una combinazione di tipo strutturale STR "scenario

A1+M1+R1" e una combinazione di tipo Geotecnico GEO, "scenario A2+M2+R2" generalmente con le seguenti modalità:

- **combinazione 1 (A1+M1+ R1) combinazione di tipo strutturale STR**
- **combinazione 2 (A2+M2+R2) combinazione di tipo geotecnico GEO**

dove

A = coefficiente di amplificazione dei carichi;

M = coefficiente di riduzione dei parametri geotecnici;

R = coefficiente di riduzione delle resistenze (portanza, scorrimento ecc..)

La prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opera a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Approccio 2

In questo tipo di approccio è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali che nelle verifiche geotecniche:

(A1 + M1 + R3) (STRU-GEO)

In questo tipo di combinazione vengono incrementati le azioni permanenti e variabili (A1) con i coefficienti parziali sulle azioni, vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno (M1), mentre la resistenza (R3) assume valori ridotti o invariati in relazione al tipo di verifica (GEO-STR).

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale (STR), il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

In definitiva, la norma dà la facoltà di scegliere in alternativa l'Approccio 1 verificando entrambe le combinazioni, oppure l'approccio 2 – combinazione unica.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1: combinazione 2: (A2+M2+R2) tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabella 1 e nella 3 per le azioni e i parametri geotecnici e dei coefficienti parziali γ_R delle resistenze (tab. 4).

Le rimanenti verifiche (rottura per carico limite e per scorrimento) devono essere effettuate tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 1, 2 e 3 seguendo almeno uno dei due approcci:

Tabella 3: Coefficienti e al variare di $\tan\theta$, dove $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$

$\tan\theta$	FATTORI DI CAPACITA' PORTANTE			COEFFICIENTI RIDUTTIVI		
	N_{qE}	$N_{\gamma E}$	N_{cE}	e_q	e_γ	e_c
0	16.51	23.76	26.86	1.00	1.00	1.00
0.807	12.86	15.34	20.55	0.78	0.65	0.77
0.176	9.84	9.45	15.31	0.60	0.40	0.57
0.268	7.30	5.36	10.90	0.44	0.23	0.41
0.364	5.12	2.61	7.14	0.31	0.11	0.27
0.466	3.21	0.88	3.83	0.19	0.04	0.14
0.577	1.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00

Tabella 4: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

Tab. 5: I parametri caratteristici di progetto sono risultati i seguenti:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m arenarie	
	M1	M2
Tan ϕ'	31	25.67
Cu	0.06	0.048
γ	1.86	1.86

Tan ϕ' = tangente dell'angolo di resistenza al taglio (°);
 γ = peso dell'unità di volume (g/cmc); c' = coesione non drenata (kg/cmq).

Tab. 6: I parametri caratteristici di progetto sono risultati i seguenti:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m <i>calcarei</i>	
	M1	M2
Tan ϕ'	33	27.45
Cu	0.09	0.072
γ	2.10	2.10

Tan ϕ' = tangente dell'angolo di resistenza al taglio ($^{\circ}$);
 γ = peso dell'unità di volume (g/cmc); c' = coesione non drenata (kg/cm²).

CONCLUSIONI

Lo scrivente, nel mese di febbraio 2021, ha eseguito un'indagine geognostica e sismica a supporto di un progetto di impianto fotovoltaico denominato "Sassari 01", ripartito in tre aree: ad est della SS 131 in località Ponti Pizzinnu e ad est e ad ovest della S.P. n. 42 dei Due Mari, nel territorio comunale di Porto Torres (provincia di Sassari).

Dal rilievo di superficie è emerso che:

- le aree interessate dal progetto presentano tutte una morfologia pianeggiante e sub-pianeggiante sebbene a livello di area vasta si denota una morfologia degradante verso est, passando da 55 a 32 m s.l.m.; in ogni caso la morfologia è pianeggiante con categoria topografica T1.
- La formazione affiorante nell'area, mascherata da una copertura di terreno vegetale dello spessore variabile di 0.5-1.00 metri, è quella delle Marne arenacee e siltose, arenarie, calcareniti e sabbie silicee nella porzione orientale dell'area (loc. Ponti Pizzinnu); affiorano invece dei calcari marnosi e dolomie cretacee nella porzione occidentale.
- I rilievi di superficie eseguiti hanno portato ad escludere la presenza di falde che possano interferire con le opere fondali dell'impianto da realizzare, la permeabilità infatti è buona in ogni area: laddove affiorano le arenarie e sabbie calcarenitiche è una permeabilità per porosità; laddove affiorano le rocce carbonatiche si ha una permeabilità per fratturazione.

L'indagine geognostica è consistita nell'esecuzione di 5 profili sismici a rifrazione della lunghezza ciascuno di 33 metri, e di due profili sismici di tipo Masw (eseguiti sullo stendimento n. 1 e sullo stendimento n. 5).

I profili sismici a rifrazione hanno permesso di caratterizzare il terreno fondale e di attribuire alle sabbie silicee con livelli calcareo arenacei i seguenti parametri fisici e meccanici:

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	v	E (Kg/cmq)	γ (gr/cmc)	c (Kg/cmq)	φ (°)
1	200	-		-	-	-	-
2	1200	290	0.45	43.000	1.86	0.06	31

V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; v = modulo di Poisson; E = modulo di elasticità;

γ = peso per unità di volume; c = coesione; φ = angolo di attrito

La porzione occidentale dell'impianto, dove affiorano le rocce carbonatiche, è caratterizzata dai seguenti parametri:

Strato	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	v	E (Kg/cmq)	γ (gr/cmc)	c (Kg/cmq)	φ (°)
1	300	-		-	-	-	-
2	2100	810	0.31	125.000	2.10	0.09	33

V_p = vel. longit.; V_s = vel trasv.; v = modulo di Poisson; E = modulo di elasticità;

γ = peso per unità di volume; c = coesione; φ = angolo di attrito

Le nuove norme tecniche ordinano che, nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, per tener conto di eventuali indeterminazione, si devono

dividere i valori dei parametri geotecnici, per i coefficienti parziali. Di seguito vengono riportati i coefficienti M1 ed M2 per le arenarie:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m <i>arenarie</i>	
	M1	M2
Tan ϕ'	31	25.67
Cu	0.06	0.048
γ	1.86	1.86

Tan ϕ' = tangente dell'angolo di resistenza al taglio (°);
 γ = peso dell'unità di volume (g/cmc); c' = coesione non drenata (kg/cmq).

e per i calcari:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m <i>calcari</i>	
	M1	M2
Tan ϕ'	33	27.45
Cu	0.09	0.072
γ	2.10	2.10

Tan ϕ' = tangente dell'angolo di resistenza al taglio (°);
 γ = peso dell'unità di volume (g/cmc); c' = coesione non drenata (kg/cmq).

Dalle sismiche eseguite con metodologia Masw è stata calcolata una V_{seq} di 512 m/sec la prova n. 1 (loc. Ponti Pizzinnu) ne scaturisce che la categoria sismica di sottosuolo rilevata è la B, suolo sismico caratterizzato da **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.

Nella porzione più occidentale, prova Masw n. 2 ha permesso di osservare che il bedrock è presente già a partire dai primi metri dal p.c., ciò significa che il suolo sismico è caratterizzato da ***Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*** e quindi il suolo di fondazione rientra nella ***categoria A***.

Ruffano, febbraio 2021

IL GEOLOGO

dr. Marcello DE DONATIS

