

COMMITTENTE



GRV WIND SARDEGNA 6 S.R.L.  
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159  
20122 Milano PEC: grwindsardegna6@legalmail.it



PROGETTISTI



INSE S.r.l.  
Viale Michelangelo,71  
80129 Napoli

Tel. 081.579.7998  
Mail: tecnico@inse.it

Amm. Francesco Di Maso  
Ing. Nicola Galdiero  
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:  
Geol. S.Trastu  
Dott. F. Mascia  
Dott. M. Medda  
Ing. V. Triunfo  
Arch. C. Gaudiero  
Arch. C. Prisco  
Ing. F. Quarto



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SASSARI



ITTIRI

PROGETTO

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "LUXI" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 7.2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 36 MW SITO NEL COMUNE DI ITTIRI (SS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ITTIRI (SS)**

ELABORATO

Titolo:

**RELAZIONE GEOLOGICA E DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA**

Tav. / Doc:

GE 01

Codice elaborato:

**CS266-GE01-R**

Formato:

A4

01

APRILE 2023

PRIMA EMISSIONE

INSE Srl

INSE Srl

GRV WIND SARDEGNA 6 Srl

REV.

DATA

DESCRIZIONE

ELABORAZIONE

VERIFICA

APPROVAZIONE

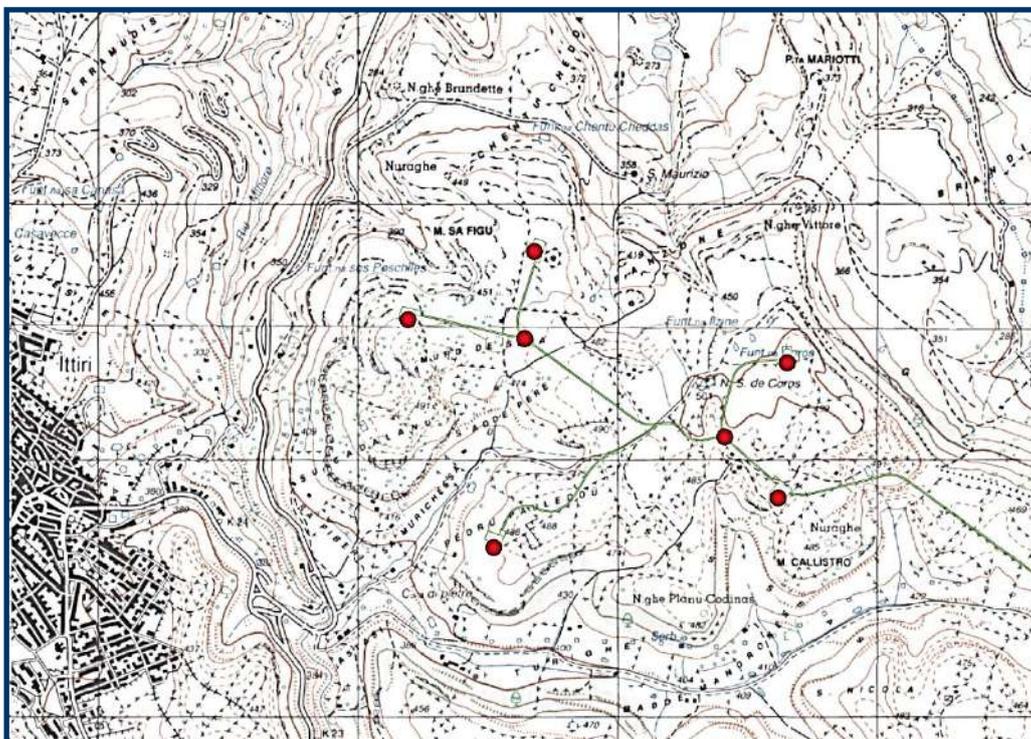
## **INDICE**

<b>1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 COMPATIBILITÀ CON IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. CONDIZIONI CLIMATICHE GENERALI.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 PIOVOSITÀ TEMPERATURE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 EVAPOTRASPIRAZIONE.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 CLIMATOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
<b>3. ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....</b>	<b>16</b>
<b>4. GEOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 TETTONICA.....</b>	<b>30</b>
<b>6. GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>7. GEOLOGIA DI DETTAGLIO.....</b>	<b>32</b>
<b>8. INDAGINI GEOLOGICHE "IN SITU".....</b>	<b>32</b>
<b>9. PERICOLOSITA' SISMICA.....</b>	<b>6</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>813</b>

## 1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal Parco Eolico ricade nel territorio del comune di Ittiri

- Carta IGM scala 1:25.000 Foglio 471 sez. I ITTIRI;
- Carta tecnica Regione Autonoma della Sardegna scala 1:10.000:
  - MONTE CORONA E TEULA 459160
  - DIGA E SU BIDIGHINZU 479040



Inquadramento IGM

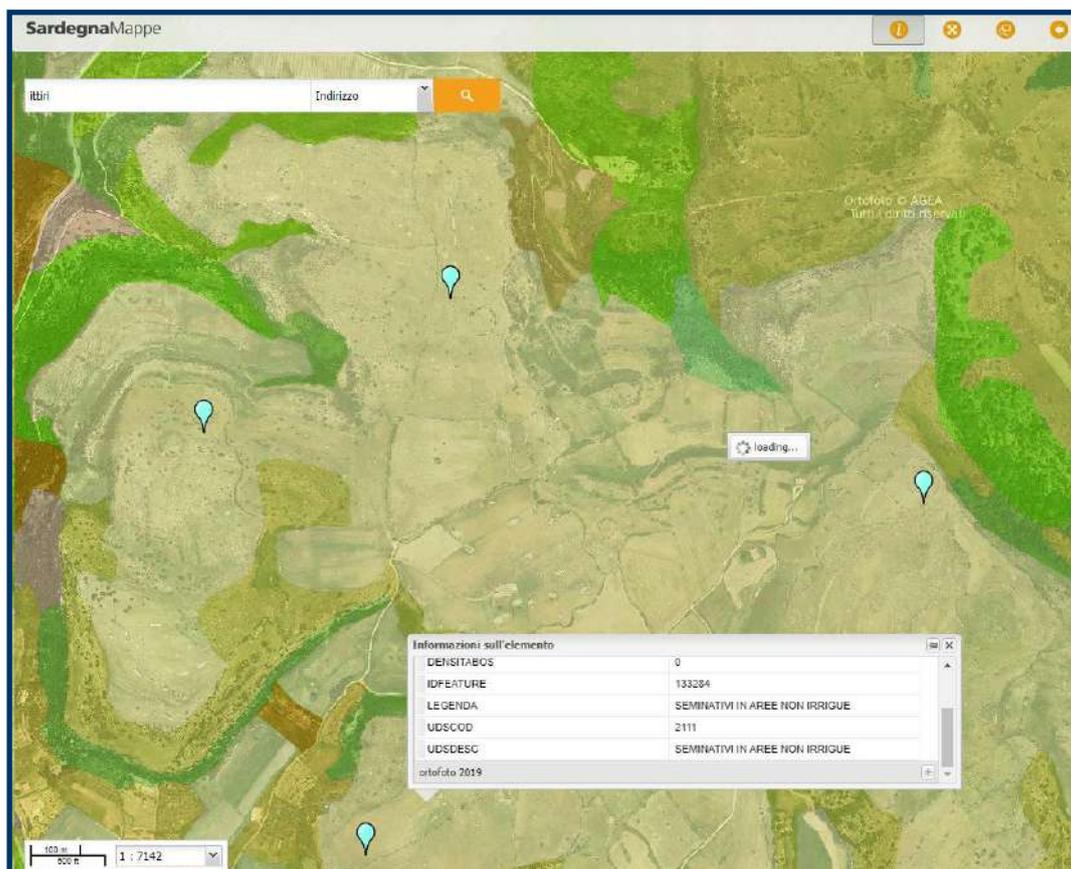


Posizionamento pale eoliche

Il Parco eolico è collocato in un ambito caratterizzato prevalentemente da aree a uso agricolo. Al fine di stimare gli effetti indotti dalla costruzione dell'impianto sul

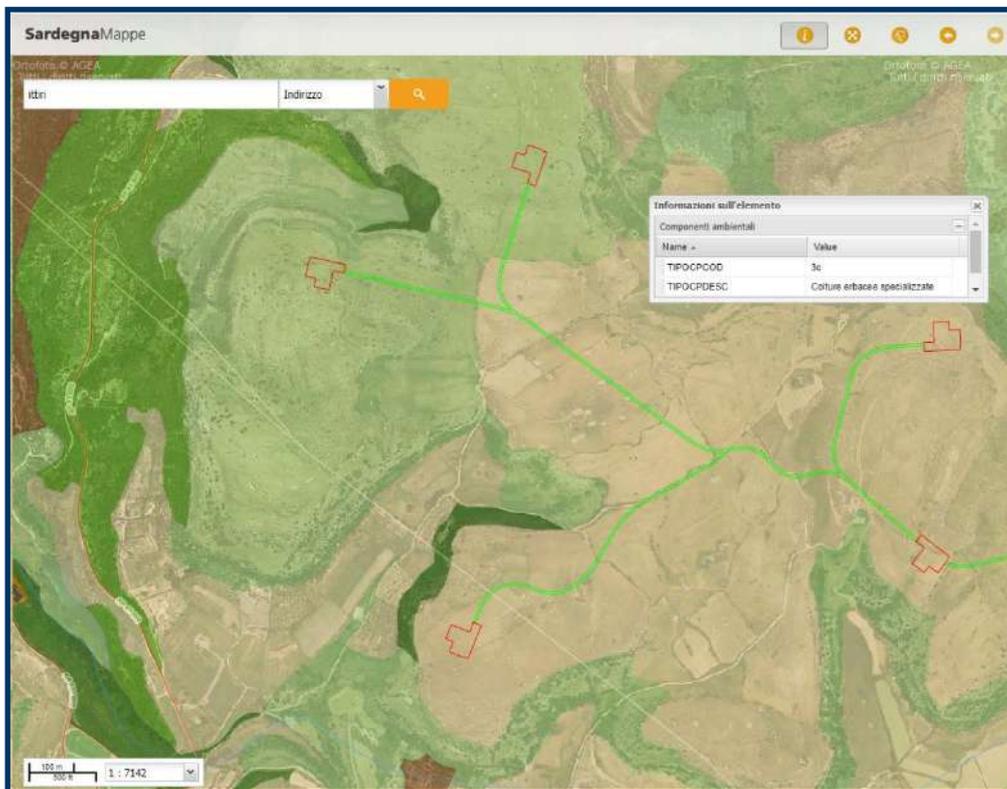
sistema ambientale, sono stati analizzati i principali caratteri geomorfologici, litologici, geopedologici, idrologici e idrogeologici dell'area interessata dal Parco eolico.

Lo studio è stato realizzato principalmente su base bibliografica, prendendo in esame (secondo le normative vigenti), oltre al sito direttamente interessato dall'opera in progetto, un'area vasta intorno ad esso, nell'intento di comprendere al meglio i sistemi ambientali coinvolti, direttamente o indirettamente, dalla realizzazione dell'impianto eolico.



#### Uso del suolo Fonte RAS

All'interno dell'area esaminata prevalgono le aree seminative con roccia affiorante e suoli con spessori limitati; sono praticamente assenti i boschi.



**Componenti ambientali - Fonte RAS**

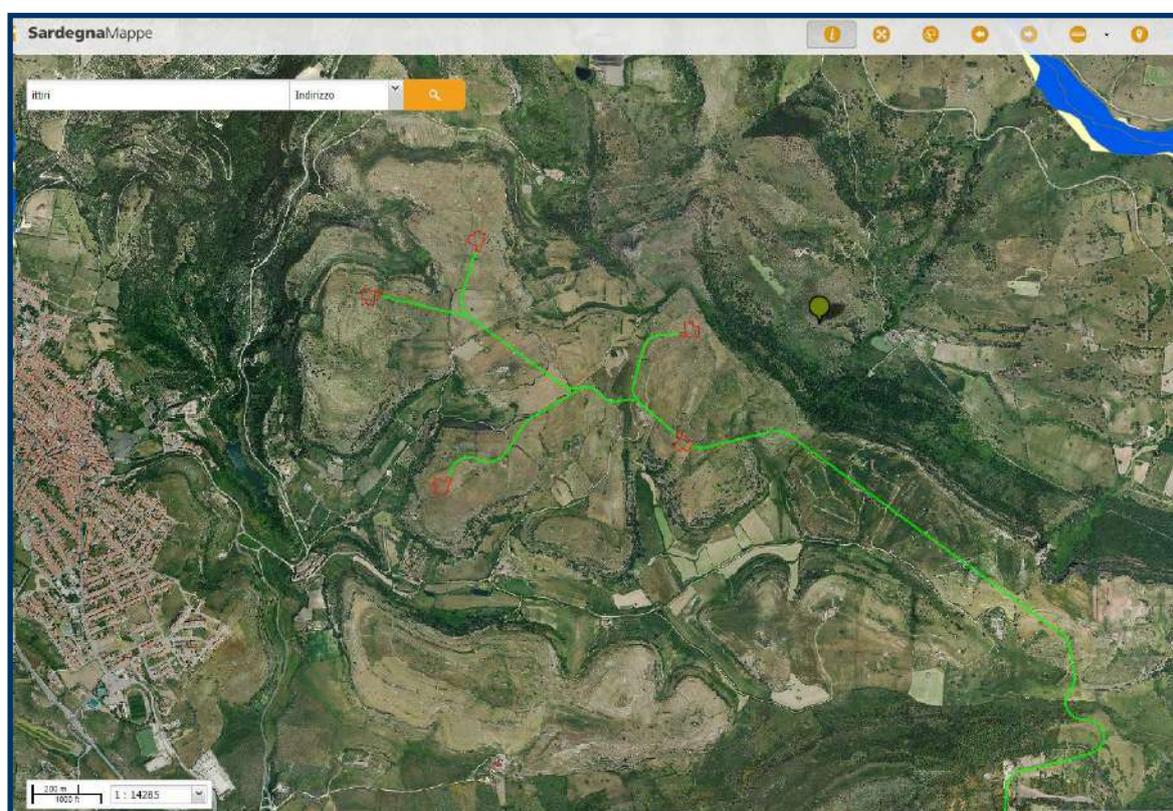
### **1.1 Compatibilità con il Piano di Assetto Idrogeologico**

Il Piano di Assetto Idrogeologico adottato dalla Regione Sardegna fornisce il quadro dell'attuale "rischio" idrogeologico rilevato nel territorio isolano. Secondo la definizione del D.P.C.M. 29 settembre 1998, "il rischio è il prodotto di tre fattori: la pericolosità, il valore degli elementi esposti al rischio, la vulnerabilità dell'elemento, dove per pericolosità si intende la probabilità di accadimento dell'evento calamitoso; per elementi l'insieme costituito dalle persone, dai beni localizzati, dal patrimonio ambientale; per vulnerabilità la capacità dell'elemento di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento".

Ponendo l'accento sull'aspetto geomorfologico, il P.A.I. contiene, inoltre, la graduazione del rischio su quattro livelli (R1, R2, R3 e R4).

Oltre alla delimitazione delle aree a rischio, il Piano contiene la cartografia con la delimitazione delle "aree pericolose per fenomeni di piena o di frana" che consente di evidenziare il livello di pericolosità che insiste sul territorio e, inoltre, individua gli interventi strutturali, di prima approssimazione, necessari alla mitigazione delle situazioni di rischio idraulico o di frana.

Rischio di frana totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
Rg1	Moderato	$\leq 0.25$	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
Rg2	Medio	$\leq 0.50$	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
Rg3	Elevato	$\leq 0.75$	Sono possibili problemi con l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
Rg4	Molto elevato	$\leq 1.00$	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche



**Perimetrazione PAI - Fonte RAS**

Le aree interessate dal posizionamento delle pale eoliche non ricadono all'interno delle perimetrazioni delle aree a rischio frana e a rischio idraulico cartografate dal P.A.I.

## **2. CONDIZIONI CLIMATICHE GENERALI**

Il clima, inteso come fattore ambientale, concorre in modo determinante nella caratterizzazione di un particolare territorio.

Il regime pluviometrico è stato definito elaborando ed analizzando le osservazioni giornaliere rilevate dal 1922 al 1992 nelle stazioni meteorologiche di Porto Torres, Sassari e Alghero). Il clima della Nurra è caratterizzato da inverni miti ed estati calde. Questo insieme di fattori le fa attribuire il carattere mediterraneo. L'umidità è rilevante soprattutto durante l'estate rendendo il clima molto afoso in concomitanza con l'elevata temperatura. Le precipitazioni sono distribuite nella stagione autunnale e invernale presentando massimi o minimi caratteristici ma non rilevanti.

La stazione meteo posizionate nel settore in esame rilevano:

- temperatura atmosferica
- precipitazioni
- umidità relativa
- radiazione solare

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i valori medi mensili delle precipitazioni espressi in millimetri di pioggia nell'intervallo considerato ed i valori medi mensili delle temperature relativi all'area in esame.

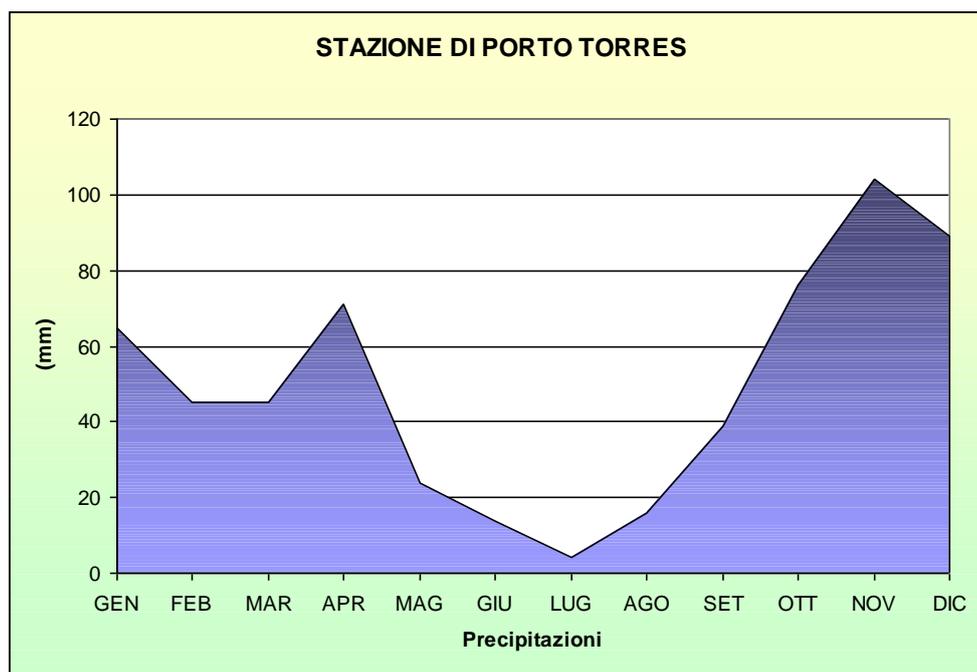
## 2.1 Piovosità temperature

L'elemento forse più caratteristico del clima è la piovosità, dalla osservazione dei dati esposti, si evidenziano valori inferiori rispetto a tutte le stazioni dell'area vasta, evidentemente influenzati dalle caratteristiche di insularità. I valori medi mensili evidenziano che il mese più piovoso è novembre con una media di 104 mm. Il mese più siccitoso è luglio con un valore di circa 4 mm in media.

### STAZIONE DI PORTO TORRES

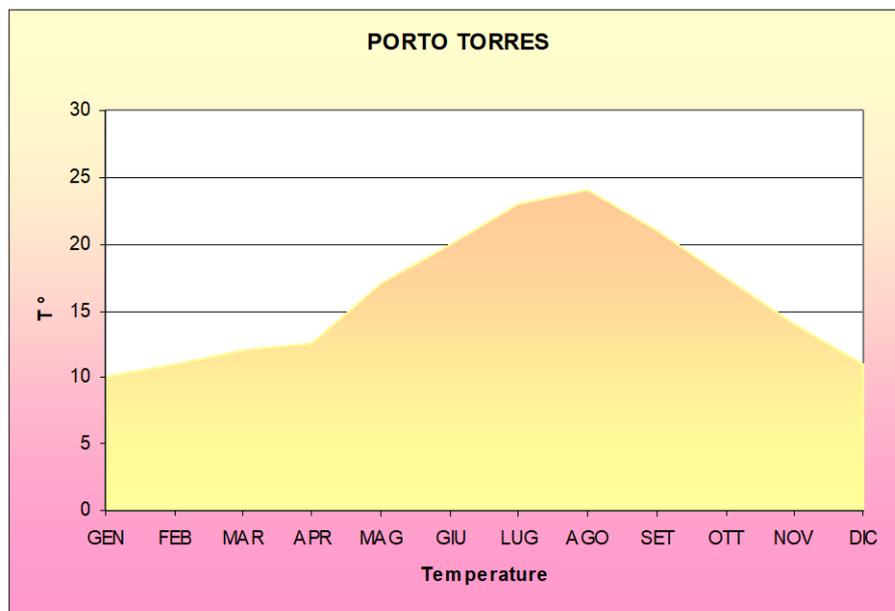
#### PRECIPITAZIONI

	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>L</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
<b>P (mm)</b>	65	45	45	71	24	14	4	16	39	76	104	89



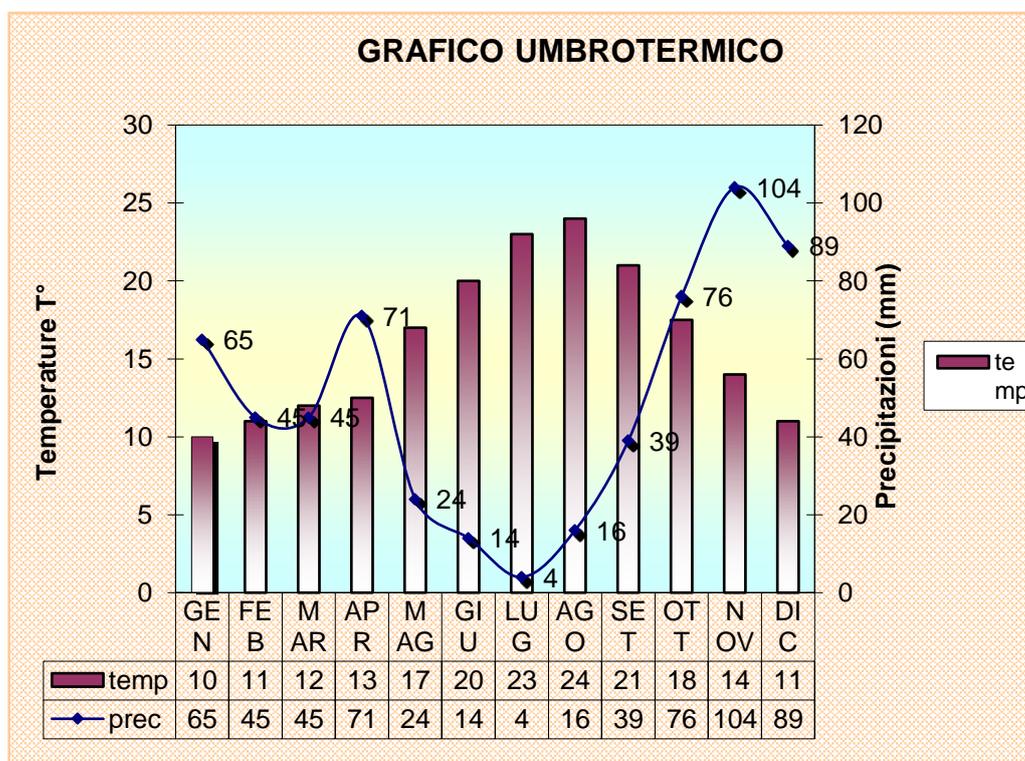
Il valore annuo delle precipitazioni rilevate nella stazione di "Porto Torres" è di 582 mm; le precipitazioni stagionali espresse in mm nel periodo di osservazione sono le seguenti:

<b>INVERNO</b>	<b>PRIMAVERA</b>	<b>ESTATE</b>	<b>AUTUNNO</b>
199	140	34	219



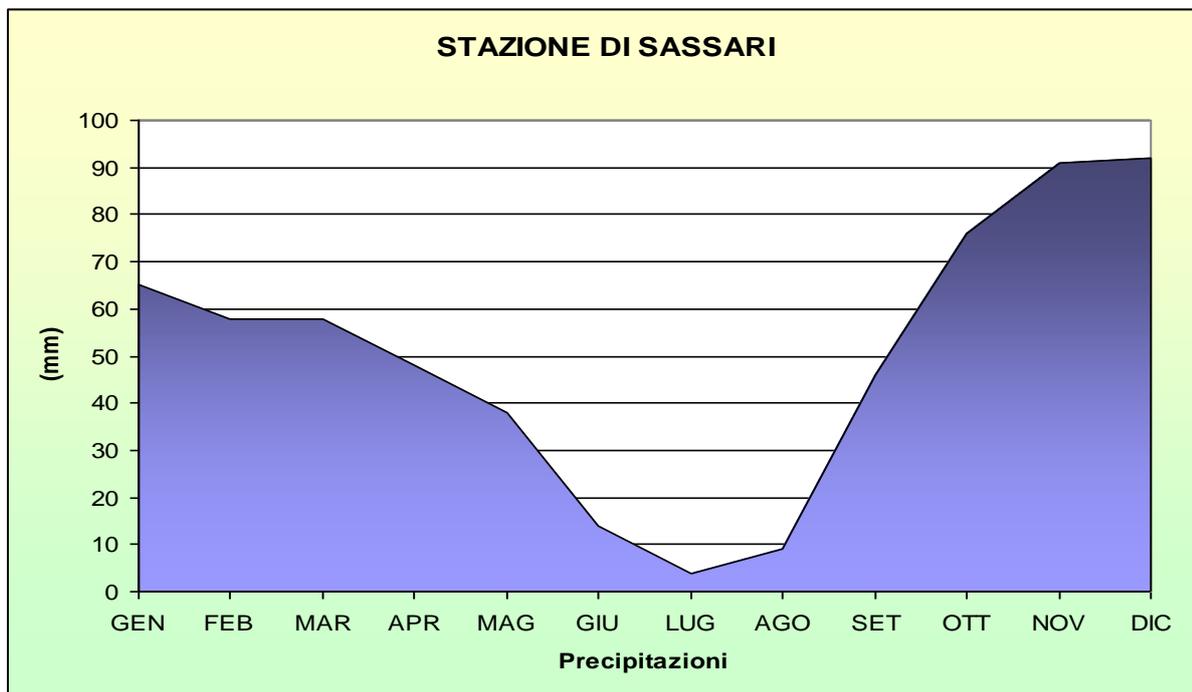
Il valore medio annuo delle temperature rilevate nella stazione di "Porto Torres" è di 17°; le temperature medie stagionali espresse nel periodo di osservazione sono le seguenti:

INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
10,6°	13,8°	22,3°	17,5°



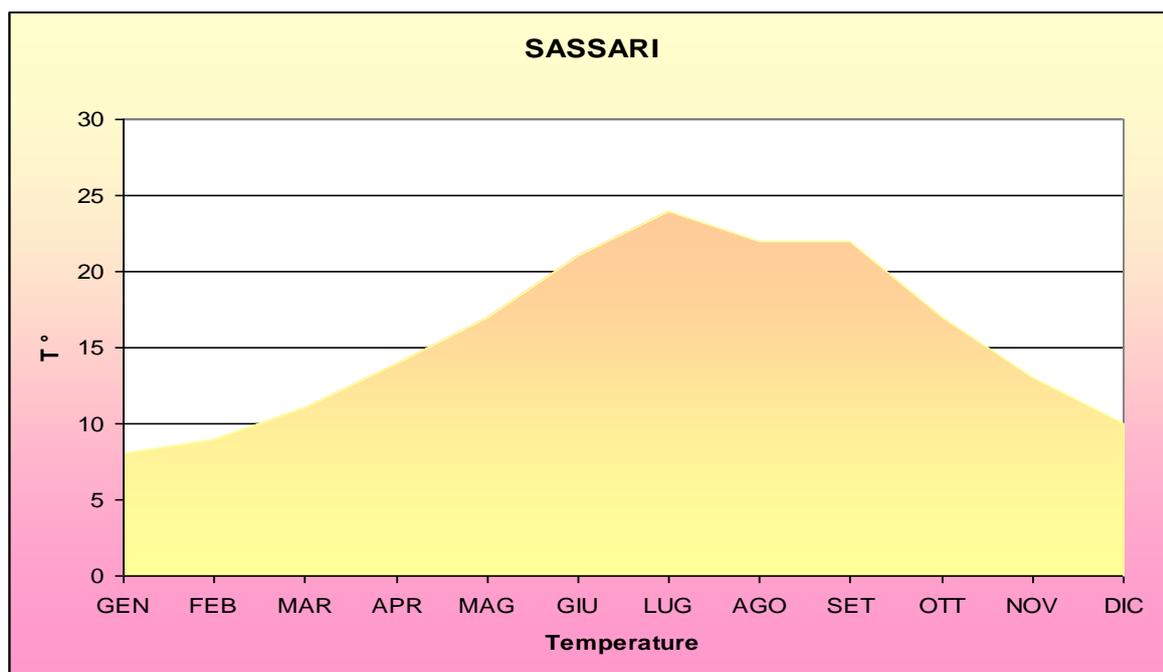
### STAZIONE DI SASSARI

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
P (mm)	65	58	58	48	38	14	4	9	46	76	91	92



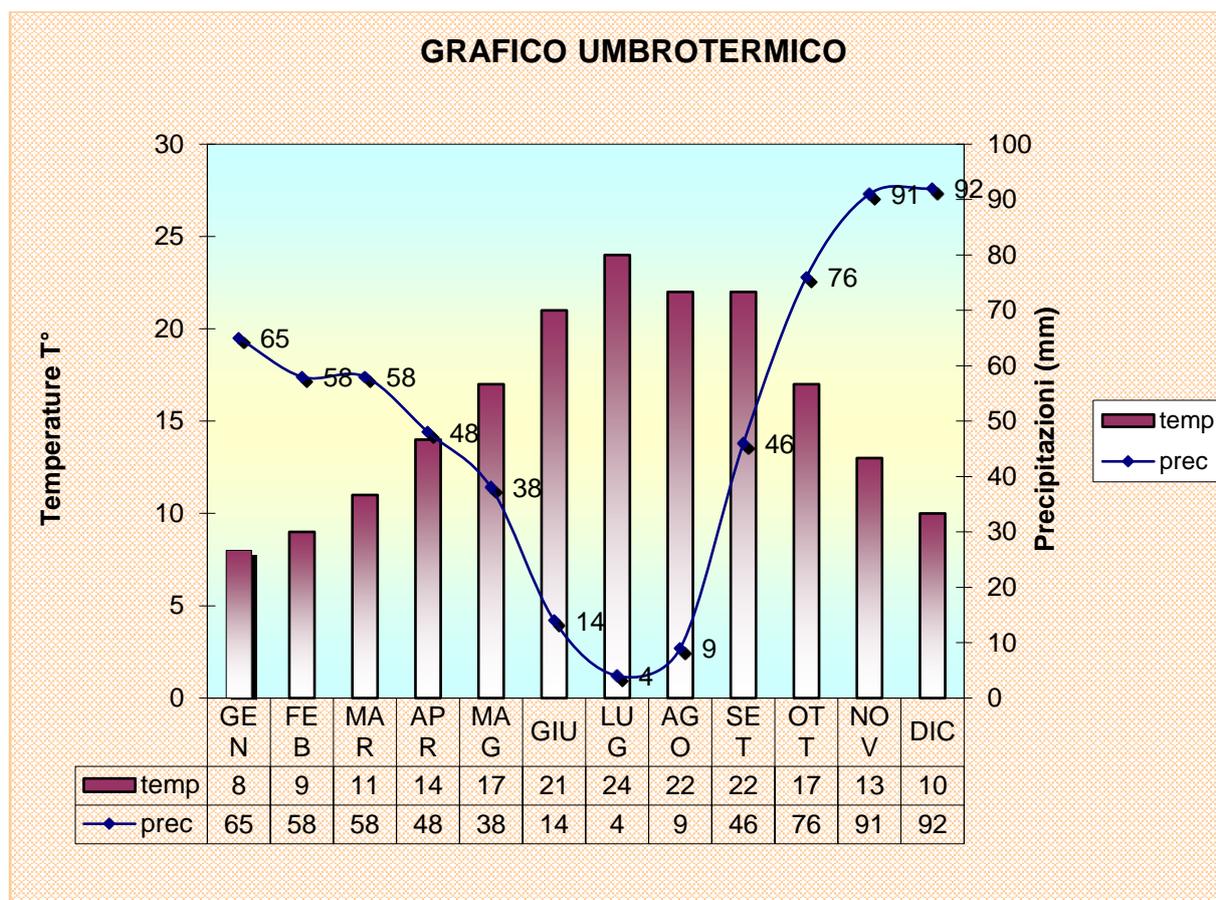
Il valore annuo delle precipitazioni rilevate nella stazione di "Sassari " è di 599 mm; le precipitazioni stagionali espresse in mm nel periodo di osservazione sono le seguenti:

INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
215 mm	144 mm	27 mm	213 mm



Il valore medio annuo delle temperature rilevate nella stazione di "Sassari" è di 17°; le temperature medie stagionali espresse nel periodo di osservazione sono le seguenti:

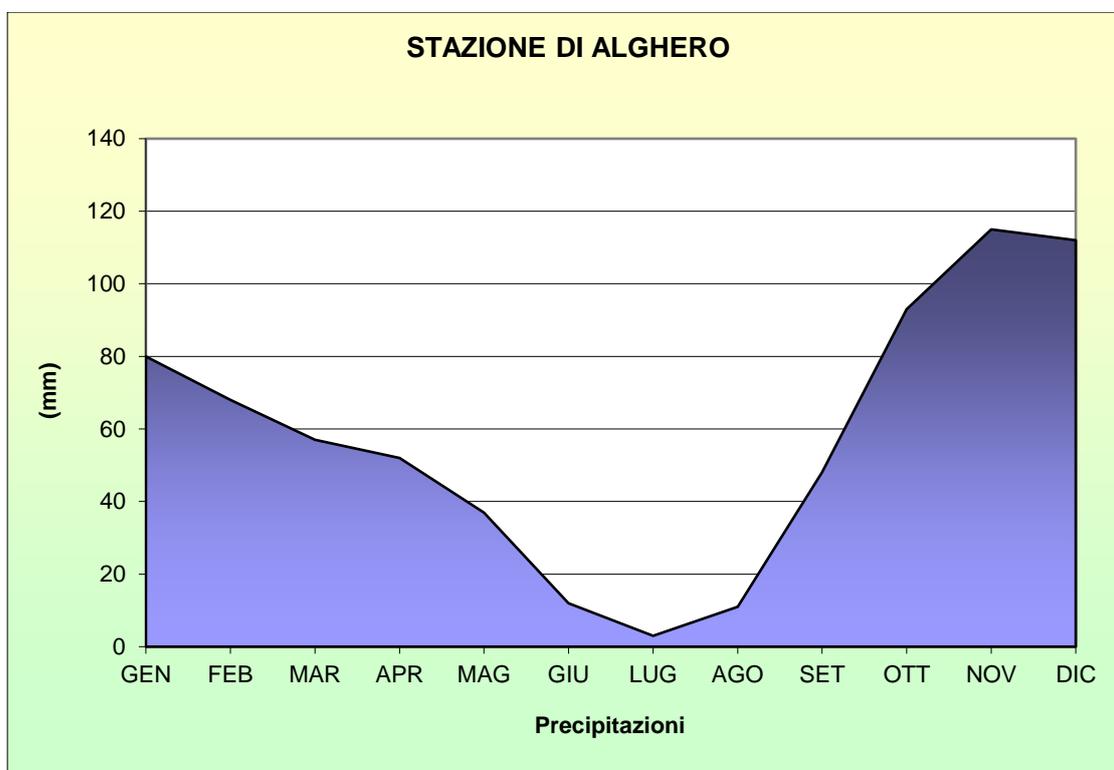
INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
9°	14°	22°	17°



## STAZIONE DI ALGHERO

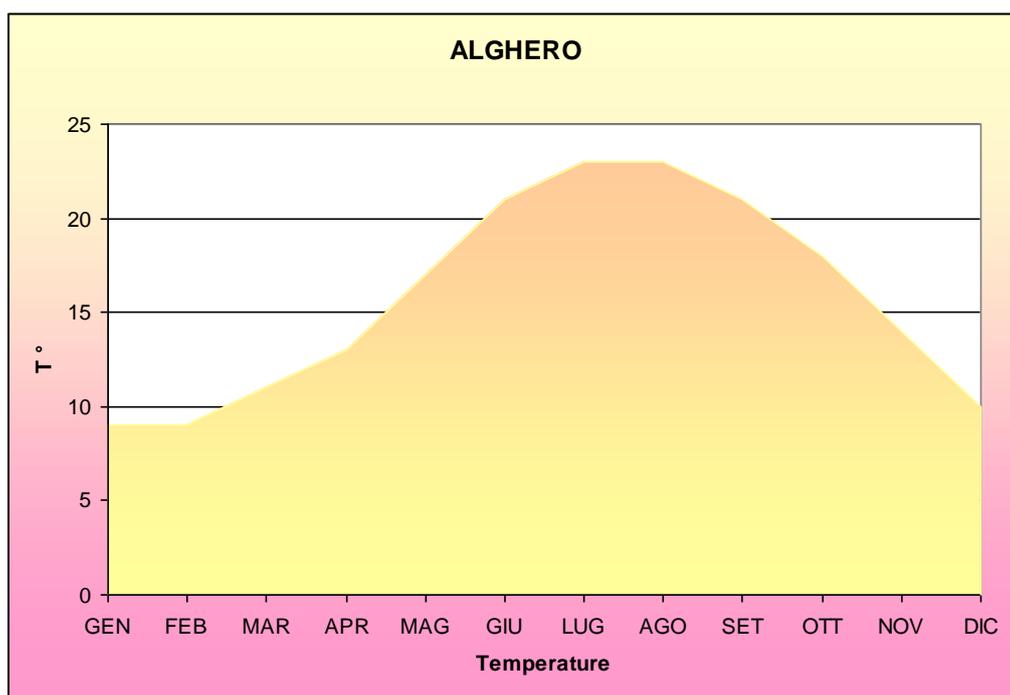
### PRECIPITAZIONI

	<b>G</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>L</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>
<b>P (mm)</b>	80	68	57	52	37	12	3	11	48	93	115	112



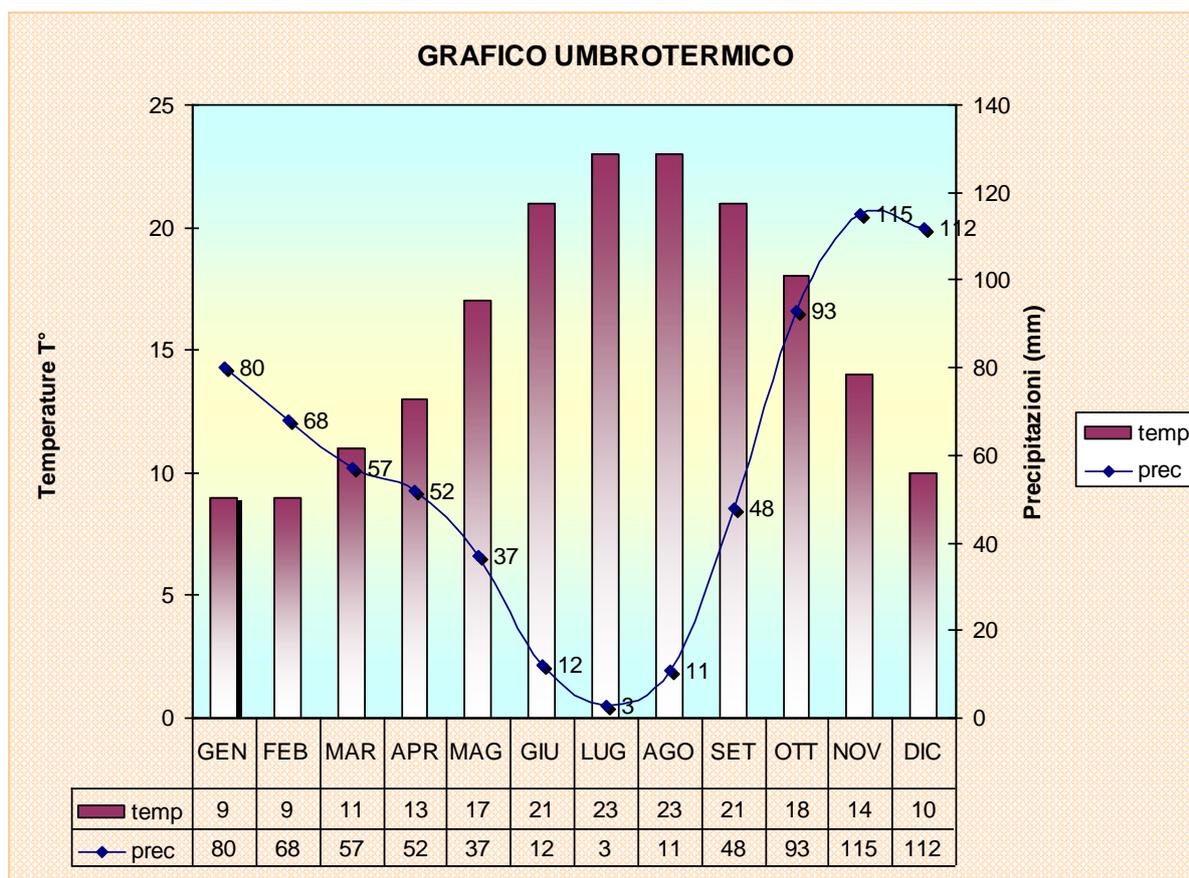
Il valore annuo delle precipitazioni rilevate nella stazione di "Alghero" è di 688 mm; le precipitazioni stagionali espresse in mm nel periodo di osservazione sono le seguenti:

<b>INVERNO</b>	<b>PRIMAVERA</b>	<b>ESTATE</b>	<b>AUTUNNO</b>
260 (mm)	146 (mm)	26 (mm)	256 (mm)



Il valore medio annuo delle temperature rilevate nella stazione di "Alghero" è di 17°; le temperature medie stagionali espresse nel periodo di osservazione sono le seguenti:

INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
9°	14°	22°	18°



Nel territorio in esame le temperature minime annue oscillano intorno ai 10°C ed i 12°C, la media massima è di 26.2°C e di 18° C la notturna nel mese di luglio. La media delle temperature minime è di 12°C (temperatura diurna) e 4°C la notturna nel mese di gennaio.

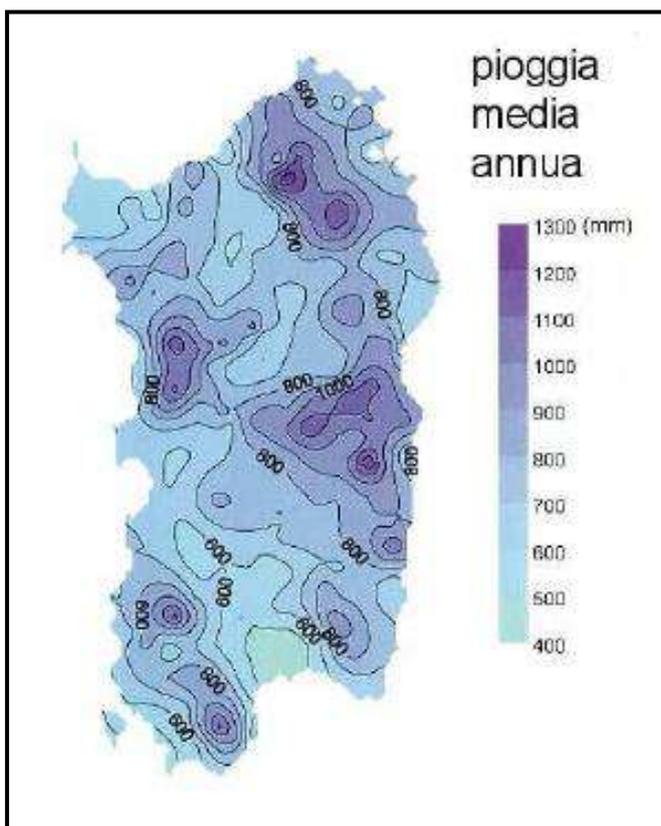
	PORTO TORRES	SASSARI	ALGHERO	Media
T MIN (mese)	6	5,6	6,5	6,0
T MAX (mese)	29,4	29,7	28,2	29,1

P MIN (mese)	1,58	4,1	3,4	2,9
P MAX (mese)	83,6	92,6	112,1	96,1

Le variazioni giornaliere della temperatura mostrano un andamento sinusoidale con un picco di minima nel primo mattino (temperatura minima diurna) ed uno di

massima (temperatura massima diurna) che si registra poco dopo il mezzogiorno locale.

La pluviometria varia tra i 550 e i 680 mm/anno, mentre la piovosità massima giornaliera è di 112 mm, con media annua di giorni piovosi tra i 5 ed i 10 giorni. Le precipitazioni sono concentrate nel periodo metà autunno-inverno, mentre il periodo fine primavera-estate è caratterizzato da un'accentuata aridità. L'analisi dei dati pluviometrici indica che l'area in esame è compresa tra l'isoieta dei 400 mm/anno della zona costiera e l'isoieta dei 600 mm/anno delle zone interne.



Il regime pluviometrico risulta irregolare con forti variazioni tra anno ed anno. Per tutte le stazioni considerate le precipitazioni sono generalmente concentrate nel periodo autunno-invernale e, come risulta dall'elaborazione delle medie mensili, il maggior quantitativo di pioggia cade nel mese di dicembre. Il periodo estivo è caratterizzato per tutte le stazioni da una accentuata aridità, con anni nei quali il periodo secco si prolunga anche per otto mesi. Nel periodo invernale, nel mese di gennaio e talvolta di febbraio, si possono verificare

alcune settimane di tempo secco, le cosiddette secche di gennaio.

All'andamento tipico mediterraneo ogni tanto si alterna quello mediterraneo di transizione caratterizzato da due periodi piovosi, uno in inverno e l'altro in primavera. I valori annui delle precipitazioni aumentano man mano che si passa da stazioni ubicate in pianura, a quote altimetriche basse, a quelle ubicate in collina e sui rilievi, altimetricamente più elevate, e man mano che aumenta la distanza dal mare.

## 2.2 Evapotraspirazione

Sulla base dei dati della stazione di Porto Torres caratterizzante il settore del Parco eolico è stata redatta una tabella che evidenzia le caratteristiche di evapotraspirazione potenziale e reale di un suolo tipo, avente una capacità di immagazzinamento di circa 200 mm utilizzando la formula di Thornthwaite.

La formula di Thornthwaite (1948) si basa sulla relazione esponenziale esistente tra l'evapotraspirazione potenziale e la temperatura media mensile dell'aria. Tale relazione è stata definita da questo Autore in base ad esperienze condotte nelle regioni umide centrali ed orientali degli USA.

In idrogeologia è più utilizzata rispetto a quella di Turc (1961) in quanto i dati termometrici sono più facilmente reperibili rispetto a quelli della radiazione solare.

$$E_{pi} = K [1,6 (10 T_i / I)^a]$$

dove;

$E_{pi}$  = evapotraspirazione media mensile (cm)

K = coefficiente di correzione di latitudine riferito al mese i-esimo, pari al rapporto tra le ore diurne e la metà (12) delle ore giornaliere

$T_i$  = temperatura media dell'aria del mese i-esimo (C°)

a = fattore f (I)

I = indice annuo di calore

**Calcolo Evapotraspirazione potenziale media mensile e totale annua secondo Thornthwaite  
Località Sassari**

<b>Calcolo <math>E_{pi}</math> e <math>E_p</math> annua totale</b>
<b>Sassari</b>
indice annuo di calore I = 71.836
coefficiente a = 1.632
$E_{p1}$ = 23.1 (mm)
$E_{p2}$ = 22.8 (mm)
$E_{p3}$ = 33.0 (mm)
$E_{p4}$ = 46.8 (mm)
$E_{p5}$ = 80.9 (mm)
$E_{p6}$ = 106.4 (mm)
$E_{p7}$ = 135.7 (mm)
$E_{p8}$ = 135.2 (mm)
$E_{p9}$ = 95.8 (mm)
$E_{p10}$ = 62.7 (mm)
$E_{p11}$ = 39.5 (mm)
$E_{p12}$ = 26.0 (mm)
$E_p$ totale annuale = 807.8 (mm)

Evapotraspirazione totale annua (mm) = 807.8

Indice annuo di calore I = 71.836

Coefficiente a = 1.632

### 2.3 Climatologia

L'area in esame ricade nella fascia climatica del clima temperato da sub-umido a sub-arido, tipicamente mediterraneo, con estati asciutte ed inverni miti e debolmente piovosi.

Secondo la classificazione climatica di Thornthwaite, si tratta di un clima mesotermico, B2, da sub-umido a sub-arido, con eccedenza idrica invernale da moderata e scarsa.

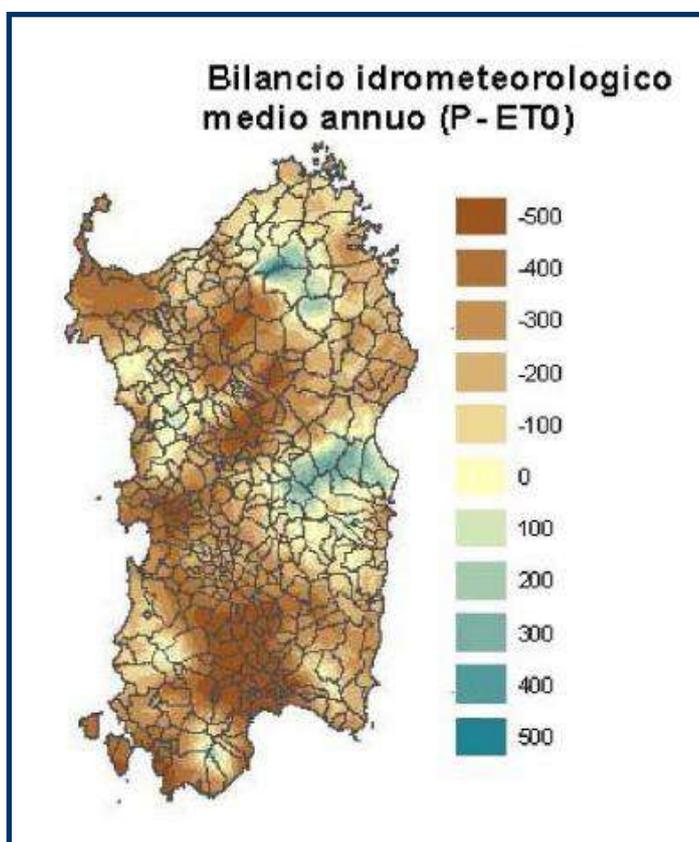
I caratteri essenziali del clima di tipo mediterraneo sono:

- inverni miti;
- insolazione effettiva che raggiunge una percentuale molto alta rispetto all'insolazione possibile, soprattutto nella stagione estiva;
- concentrazione delle precipitazioni nei mesi più freddi;
- estate calda e arida.

Sulla base della temperatura che si registra nel mese più caldo questo tipo di clima viene suddiviso in due sottotipi:

- sottotipo 1 caratterizzato da temperature medie del mese più caldo superiori ai 22°C;
- sottotipo 2 caratterizzato da temperature medie del mese più caldo inferiori ai 22°C.

L'area del parco ricade nel primo sottotipo di clima mediterraneo, denominato anche temperato caldo con estati asciutte in quanto i valori di temperatura media del mese più caldo sono sempre superiori ai 22°C, anche nelle aree altimetricamente più elevate.



### 3. ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

L'area interessata dal Parco eolico, risulta compresa nel bacino idrografico del Rio Mannu di Porto Torres e relativi affluenti minori che, per le sue portate relativamente abbondanti, risulta il corso d'acqua più importante del settore.



Il bacino idrografico è definito come quella porzione di territorio il cui deflusso idrico superficiale viene convogliato verso una fissata sezione di un corso d'acqua che è definita sezione di chiusura del bacino. Il bacino idrografico così inteso può essere definito anche idro-erosivo in quanto i processi di modellazione della superficie terrestre che lo vengono a formare sono dovuti principalmente proprio all'azione erosiva delle acque che scorrono in superficie. Riferendosi alla sola raccolta delle acque di precipitazione si parla di bacino imbrifero.



Nel primo articolo delle "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" (Legge 18 maggio 1989, n. 183) si definisce così il bacino idrografico: "il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi

rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente; qualora un territorio possa essere allagato dalle acque di più corsi d'acqua, esso si intende ricadente nel bacino idrografico il cui bacino imbrifero montano ha la superficie maggiore".

Il bacino del Mannu è situato nella parte Nord Occidentale della Sardegna ed interessa la provincia di Sassari. Il territorio del bacino si estende in direzione Sud-Est, Nord-Ovest fra il bacino del Rio Silis e il bacino del fiume Catala. Comprende la zona pianeggiante prospiciente il Golfo dell'Asinara e i rilievi montuosi di M. Santo (733 m), Monte Pelao (730 m) e M. Nostra Signora di Bonaz (767 m). Nel bacino, avente una superficie complessiva di circa 670 Km<sup>2</sup>, ricadono venti comuni tra cui la città di Sassari e Porto Torres. Nel territorio scorre il Rio Mannu di Porto Torres, senz'altro il corso d'acqua più importante della zona; che ha origine nella zona comunale di Cheremule e Bessude. I principali affluenti del Rio Mannu sono: in destra, il Rio Bidighinzu, il Rio Mascari e il Rio di Ottava; in sinistra il Rio Minore e il Rio Ertas.

Lungo il Rio Bidighinzu è stato realizzato l'invaso omonimo avente una capacità di circa 10 milioni di m<sup>3</sup>. Nel territorio hanno sede altresì due invasi, i laghi di Bunnari, ubicati nella parte alta del Rio Scala di Giocca, affluente del Rio Mascari.

La rete idrografica è completata da alcuni rii minori che si sviluppano perpendicolarmente alla linea di costa.

L'asta fluviale del Rio Mannu è interessata da un insieme di processi in relazione alla formazione del litorale sabbioso, a partire dall'alimentazione attraverso i fondovalle alluvionali del fiume ed allo smantellamento delle formazioni geologiche esterne e l'azione di contenimento e stabilizzazione della prateria di posidonia e della vegetazione riparia e psammofila.

Il bacino del Rio Mannu di Porto Torres, si sviluppa in una vasta area della Sardegna Nord-Occidentale, all'interno dell'area denominata "Fossa Sarda", quest'ultima è stata interessata in diversi periodi da ripetute trasgressioni e regressioni marine e da numerose manifestazioni vulcaniche.

A seguito dei movimenti che hanno dato origine alla "Fossa Sarda", questo territorio è stato invaso dal mare e ricoperto da imponenti coltri sedimentarie dalla cui emersione si è originato un esteso altopiano.

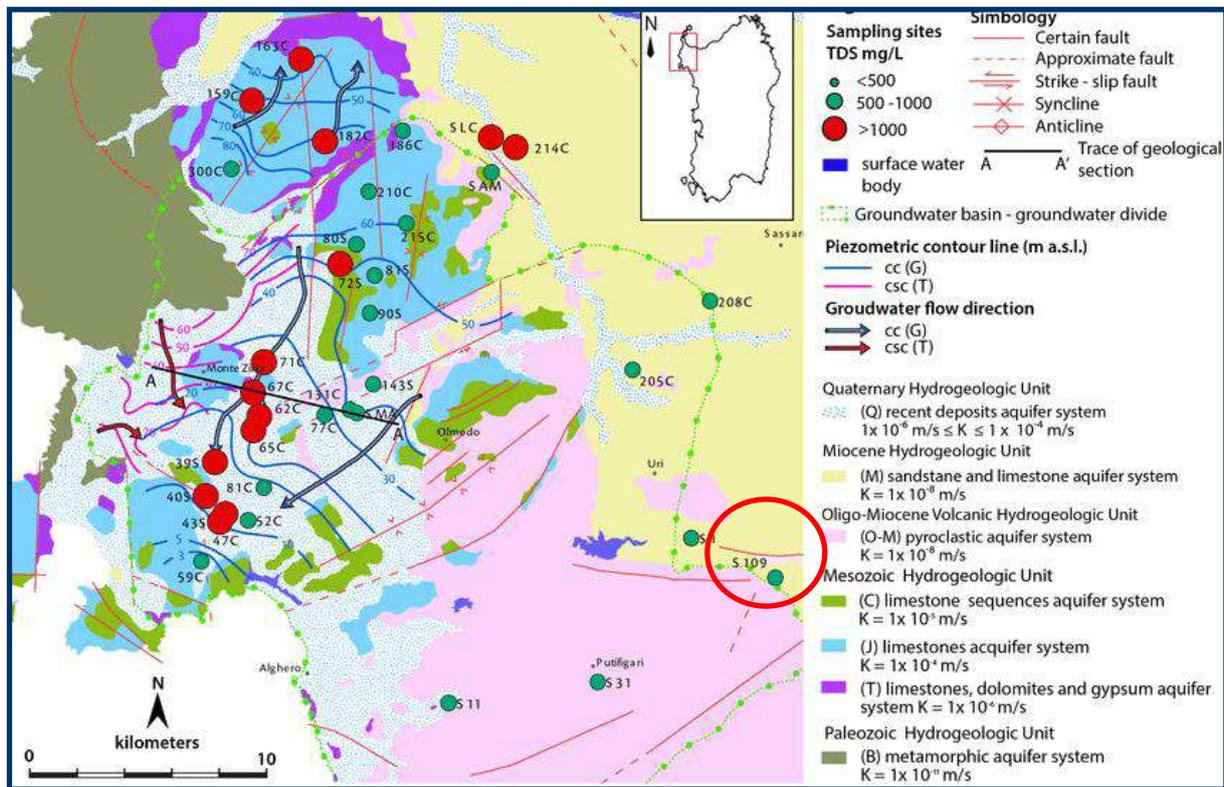
L'area nel quale si sviluppa il corso d'acqua è caratterizzata da una serie di colline di media altezza, da falsipiani e tavolati modellati nei sedimenti calcarei di età miocenica. In alcuni punti i calcari poggiano sulle vulcaniti Oligo-mioceniche costituite da Rioliti, Riodaciti, Daciti.

Nella parte Nord-Ovest del bacino sono presenti dei depositi carbonatici di piattaforma costituiti da calcari e dolomie e calcari dolomitici di età Trias medio-Cretaceo sup..

Sulla base del quadro conoscitivo attuale, sono stati individuati i complessi acquiferi principali, costituiti da una o più Unità Idrogeologiche con caratteristiche idrogeologiche sostanzialmente omogenee.

Di seguito, si riportano gli acquiferi che interessano il bacino idrografico del Rio Mannu di Porto Torres:

1. Acquifero dei Carbonati Mesozoici della Nurra
2. Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese
3. Acquifero delle Vulcaniti Oligo-Mioceniche della Sardegna Nord Occidentale
4. Acquifero delle Vulcaniti Plio-Pleistoceniche del Logudoro
5. Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario della Nurra



Il Sub\_Bacino Coghinas-Mannu-Temo si estende per 5402 Km<sup>2</sup>, pari al 23% del territorio regionale; in esso sono presenti nove opere di regolazione in esercizio e cinque opere di derivazione. I corsi d'acqua principali sono i seguenti.

- Rio Mannu di Porto Torres, sul quale confluiscono, nella parte più montana, il Rio Bidighinzu con il Rio Funtana Ide (detto anche Rio Binza 'e Sea).
- Il Rio Minore che si congiunge al Mannu in sponda sinistra.
- Rio Carrabusu affluente dalla sinistra idrografica.
- Fiume Temo, regolato dall'invaso di Monte Leone Roccadoria, riceve i contributi del Rio Santa Lughia, Rio Badu 'e Ludu, Rio Mulino, Rio Melas, affluenti di sinistra che si sviluppano nella parte montana del bacino. Negli ultimi chilometri il Temo, unico caso in Sardegna, è navigabile con piccole imbarcazioni; il suo sbocco al mare, sulla spiaggia di Bosa Marina, avviene tramite un ampio estuario. In particolari situazioni meteomarine il deflusso del Temo viene fortemente condizionato causando non rari allagamenti della parte bassa dell'abitato di Bosa; per gli stessi motivi riveste particolare rilevanza il reticolo idrografico che circonda il centro urbano, il cui torrente principale è rappresentato dal Rio Sa Sea.
- Il Rio Sa Entale, che si innesta nel Temo in destra idrografica, e il Rio Ponte Enas, in sinistra, costituiscono gli affluenti principali per estensione del rispettivo bacino.
- Fiume Coghinas, il cui bacino occupa una superficie di 2.453 Km<sup>2</sup> ed è regolato da due invasi, riceve contributi dai seguenti affluenti: Rio Mannu d'Ozieri, Rio Tilchidde, Rio Butule, Rio Su Rizzolu, Rio Puddina, Rio Gazzini, Rio Giobaduras.

E' da annoverare, inoltre, una serie di rii minori che si sviluppa nella Nurra e nell'Anglona, e, segnatamente:

- Rio Barca
- Fiume Santo
- Rio Frigiano
- Mannu di Sorso.

Il Sub\_Bacino Coghinas-Mannu-Temo può essere suddiviso in tre grandi sottoinsiemi:

il settore Orientale e Sud-Orientale è prevalentemente paleozoico; una sequenza vulcano-sedimentaria permiana ricopre i terreni paleozoici e depositi detritici quaternari delimitano ad ovest il corpo intrusivo suddetto. La sequenza stratigrafica dell'area è chiusa dai depositi alluvionali del fiume Coghinas, da sabbie litorali e localizzati depositi eluvio-colluviali e di versante. Le alluvioni del Coghinas sono presenti con continuità tra i rilievi di Badesi - La Tozza - Monte Ruiu - Monte Vignola e la linea di costa. Lungo la costa i depositi francamente alluvionali lasciano il posto ad eolianiti e sabbie litorali. I depositi eluvio-colluviali, prodotti dal disfacimento delle litologie presenti nell'area, localmente pedogenizzati, rivestono, con sottili spessori i versanti e localmente lasciano il posto a detrito di versante.

Il potente complesso vulcanico Oligo-miocenico, che occupa quasi interamente e senza soluzione di continuità il settore centrale, costituisce il substrato della regione e poggia in parte sulla piattaforma carbonatica mesozoica della Nurra, ribassata di circa 2000 m dal sistema di faglie che ha dato origine alla "Fossa sarda", ed in parte sul basamento cristallino Paleozoico. Il Complesso vulcanico Oligo-miocenico è stato ricoperto dalla "Serie sedimentaria miocenica (un complesso lacustre di transizione ai depositi marini calcareo-arenacei e marnoso-arenacei). Infine i prodotti del vulcanismo Plio-quaternario e i depositi detritici quaternari in corrispondenza delle incisioni vallive ed in prossimità dei corsi d'acqua o il settore Nord-Occidentale è costituito dallo zoccolo cristallino dell'horst della Gallura paleozoico e dalle formazioni carbonatiche mesozoiche che culminano con i rilievi del Doglia e del sistema di Punta Cristallo e di Capo Caccia. Le intrusioni granitiche erciniche affiorano solo nella propaggine settentrionale, costituita dall'isola dell'Asinara.

Dal punto di vista geomorfologico, le creste rocciose, le dorsali e i massicci rocciosi, separati da vaste zone di spianamento ed incisioni fluviali, seguono l'andamento delle principali linee tettoniche e sono il risultato dell'azione congiunta dei processi

di alterazione chimica e meccanica ad opera degli agenti atmosferici, e di dilavamento ad opera delle acque superficiali. Nel settore Orientale, le forme tipiche che ne risultano sono i "Tor", rilievi rocciosi, emergenti da qualche metro ad alcune decine di metri dalla superficie circostante, suddivisi in blocchi dalle litoclasti allargate dai fenomeni di disfacimento, e le "cataste di blocchi sferoidali"; nel settore centrale, vi è l'alternanza di rilievi vulcanici, dalla forma conica e smussata in cima, da colline tronco-coniche, vaste aree ondulate, modellate nei sedimenti miocenici, separati da numerose valli tortuose e strette e vaste conche di erosione pianeggianti.

#### **4. GEOLOGIA**

Nell'area interessata dal Parco eolico prevalgono le formazioni di età compresa tra il Mesozoico ed il Terziario.

L'attuale contesto geologico è il risultato di una fase tettonica disgiuntiva attiva avvenuta durante il Terziario che ha dato luogo all'apertura di un bacino subsidente con geometria a semigraben che si approfondisce verso Ovest, successivamente colmato da sedimenti marini e continentali Terziari.

L'area si viene a collocare sul margine di questa struttura; sul lato Ovest affiorano le formazioni vulcaniche, anch'esse di età Terziaria, messe in posto durante le prime fasi della tettonica Terziaria.

Le sequenze Mesozoiche comprendono formazioni che vanno dal Trias med. (Muschelkalk) al Giurassico sup. (Malm); sono rappresentate in prevalenza da calcari e dolomie, in genere ben cementate, disposte in strati di media potenza.

Tutta la sequenza Mesozoica è interessata da un blando piegamento, ad assi Est Nord Est che determina un sistema di sinclinali e anticlinali aperte, a loro volta intersecate da faglie distensive dirette N 60° o Nord Sud. Sono prevalenti giaciture e sub-orizzontali o poco inclinate.

Al di sotto della sequenza sedimentaria Miocenica è presente il basamento Mesozoico costituito da ignimbriti a composizione riodacitica; le vulcaniti, sono state datate all'Oligocene sup. sono composte da litologie generalmente ben saldate disposte in banchi di spessore metrico, con intercalati episodi cineritico pomicei talvolta interessati da una alterazione anche intensa.

La sequenza sedimentaria miocenica affiora per tutto il settore. Sono distinguibili diversi litotipi che rappresentano diversi ambienti deposizionali che si sono susseguiti sia in ordine temporale, marcando un progressivo approfondimento del bacino miocenico che in senso trasversale in relazione alla reciproca collocazione all'interno del bacino stesso.

Alla base la sequenza ed in prossimità del margine del bacino si ritrovano dei sedimenti clastici continentali caratterizzati da conglomerati, depositi di spiaggia o depositi lacustri, passanti lateralmente e verso l'alto a biocalcareni e calciruditi caratteristici di ambienti di più alta energia, seguiti ancora da sedimenti marnoso arenacei finemente stratificati che testimoniano l'istaurarsi di un ambiente di mare più profondo.

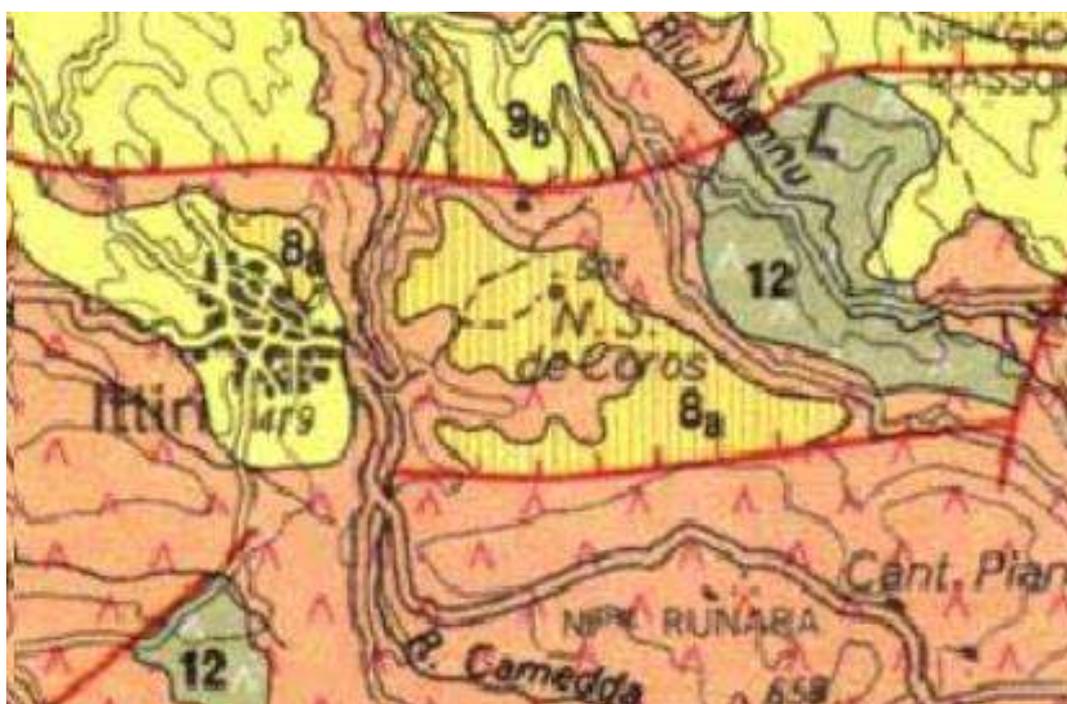
L'età di queste formazioni può essere inquadrata tra il Burdigaliano e il Serravalliano.

La roccia presenta in genere una fratturazione spaziata che suddivide l'ammasso roccioso in blocchi di grandi e medie dimensioni.

In riferimento alla resistenza, questi litotipi possono essere classificati al più come una roccia tenera o molto tenera. L'ammasso roccioso nel suo insieme si presenta molto compatto, attraversato da pochi giunti di fratturazione, molto spazati e persistenti.

Nelle valli principali che ospitano i corsi d'acqua più importanti si individuano infine dei depositi alluvionali attuali e recenti composti in prevalenza da sabbie, limi e limi argillosi. I terreni e le rocce affioranti nell'area interessata dal Parco eolico sono di età Mesozoica attribuibili alle formazioni calcaree mesozoiche e limitatamente ad un settore geografico depositi recenti e alluvioni Plio-pleistoceniche, conglomerati ed al complesso vulcanico.

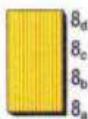
#### SCHEMA GEOLOGICO



Schema geologico – Carta Geologica scala 1:200.000

## Successione marina e depositi continentali del Miocene superiore

### Upper Miocene marine succession and continental deposits



Conglomerati a matrice argillosa e arenarie di sistema alluvionale (Nurra; Logudoro: Oschiri) **8<sub>d</sub>**. Calcari vacuolari e brecciate sopratidali e intertidali, con Foraminiferi bentonici (*Anomia beccarii*, *Asterigerinita planorbis*, *Elphidium crispum*, etc.), Echinoidi, Molluschi, Balanidi, Alghe (formazione di Torre Del Sevo Auct.) (Sinis); calcari microcristallini di ambiente evaporitico, marne e calcari organogeni subltorali, con Foraminiferi della zona N 17 e Molluschi (*Modiolus barbatus*, *Corbula gibba*, *Pecten benedictus*, etc.) (formazione dei Calcari Laminati del Sinis e formazione di Capo S. Marco Auct.) **8<sub>c</sub>**. **Messiniano**. Calcari e arenarie marnose di piattaforma, con Molluschi (*Gigantopecten latissimus*, *G. albinus*, *Fiabellopecten caraitanus*, etc.) (Pietra Cantone, Tramezzano, Pietra Forte di Cagliari, formazione dei Calcari di Cagliari Auct.) **8<sub>b</sub>**. **Tortoniano - Messiniano inf.**. Arenarie marnose con Foraminiferi della zona N 16, Molluschi (*Aequipeecten vigolenensis*, *Pecten benedictus*, *Neopycnodonte navicularis*, *Corbula gibba*, etc.), Brachiopodi (*Megerlia truncata*) e Anellidi (*Ditrupe arietina*) (Sinis); calcari con Coralli hermatipici, Lamellibranchi, Foraminiferi e Alghe (Calcari superiori Auct.) (Logudoro: M. Santo, M. Peiso) **8<sub>a</sub>**. **Tortoniano**.

*Conglomerates with clayey matrix and sandstones of alluvial environment (Nurra; Logudoro: Oschiri) 8<sub>d</sub>. Fenestrate-rich limestones and breccias of supratidal and intertidal environment, with benthic Foraminifera (Anomia beccarii, Asterigerinita planorbis, Elphidium crispum, etc.), Echinoidea, Mollusca, Balanidae, Algae (Torre Del Sevo formation Auct.) (Sinis); evaporitic fine-grained limestones, sublittoral marls and bioclastic limestones, with Foraminifera of the N 17 zone and Mollusca (Modiolus barbatus, Corbula gibba, Pecten benedictus, etc.) (Calcari Laminati del Sinis formation: Capo S. Marco formation Auct.) 8<sub>c</sub>. Messinian.*

*Shelf limestones and marly sandstones, with Mollusca (Gigantopecten latissimus, G. albinus, Fiabellopecten caraitanus, etc.) (Pietra Cantone, Tramezzano, Pietra Forte di Cagliari, Calcari di Cagliari formation Auct.) 8<sub>b</sub>. Tortonian - Lower Messinian. Marly sandstones with Foraminifera of the N16 zone, Mollusca (Aequipeecten vigolenensis, Pecten benedictus, Neopycnodonte navicularis, Corbula gibba, etc.), Brachiopods (Megerlia truncata) and Annelidae (Ditrupe arietina) (Sinis); limestones with hermatypic Corals and Lamellibranchia, Foraminifera and Algae (Calcari superiori Auct.) (Logudoro: M. Santo, M. Peiso) 8<sub>a</sub>. Tortonian.*

## Successione marina e depositi continentali del Miocene inf.-medio

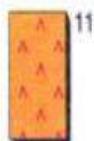
### Lower-Middle Miocene marine succession and continental deposits



Arenarie marnose, siltiti, calcareniti subltorali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 12 e N 13, Molluschi (*Amussiopecten spinulosus*, *Fiabellopecten fraterculus*, *Pecten benedictus*) (formazione delle Arenarie di Pirri Auct.) (Campidano: Cagliari; Sassarese; Logudoro) **9<sub>d</sub>**. **Serravalliano medio - ? sup.**. Marne e marne arenacee epibatiali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 8 - N 11 / N 12, Molluschi pelagici (*Vaginella austriaca*, *Clio distefanoi*, *C. caraitana*, *C. pulcherrima*), Molluschi bentonici (*Abra longicaulis*, *Ficus conditus*), Coralli Bianchi (formazione di Fangario Auct.) (Campidano: Cagliari; Logudoro; Marmilla) **9<sub>c</sub>**. **Langhiano medio-sup. - Serravalliano inf.**

Marne arenacee e siltose, arenarie, conglomerati, calcareniti e sabbie silicee subltorali-epibatiali, con Foraminiferi planctonici delle zone N 7 e N 8, Molluschi pelagici (*Vaginella austriaca*, *V. rotundata*, *Clio pulcherrima*), Molluschi bentonici (*Gigantopecten zozinae*, *Pecten jossilingi*, *Amussiopecten baranensis*, *Aequipeecten submahinae*, *Ficus conditus*, *Abra longicaulis*, etc.), Echinoidi (*Schizaster* sp.), Coralli Bianchi; (formazione delle Marne di Gesturi, formazione della Marmilla p.p. Auct.) (Marmilla, Troxenta, Campidano, Sassarese, Logudoro, Gallura) **9<sub>b</sub>**. **Burdigaliano sup. - Langhiano medio-sup.**

Conglomerati e sabbie a matrice argillosa, con elementi del basamento ercinico e subordinate vulcaniti terziarie (Logudoro: Oppia Nuova, Tuia); conglomerati e arenarie deltizi (Baronie: Crosei) **9<sub>a</sub>**. **Burdigaliano**



Rioliti, riolaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole di ristagno e rare colate, a cui si associano prodotti freatomagmatici ("fall" e "surge"); talora livelli epiclastici intercalati (Sulcis; Mandrolisai; Alai; Asuni; Ruinas; Oristanese; Paulatinu; Valle del Tirso; Fordongianus; Logudoro; Angiona; Pianargia) **11**. **Oligocene sup. - Miocene inf. medio**.

*Ignimbrites, lava domes and rare lava flows of rhyolitic, rhyodacitic, dacitic and locally comenditic composition, with fall and surge deposits; intercalations of sedimentary and epiclastic deposits (Sulcis; Mandrolisai; Alai; Asuni; Ruinas; Oristanese; Paulatinu; Valle del Tirso; Fordongianus; Logudoro; Angiona; Pianargia) 11. Upper Oligocene - Lower Middle Miocene.*



Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità tholeiitica e calcicalcina, talora brecciate, in colate, cupole di ristagno (Pianargia: Montessa, Tresnuraghes; Oristanese: Bauladu; Marmilla: Aies; Sulcis: Narcao; S. Antoco); lave dacitiche e andesitiche in cupole e filoni (Valle del Cixerri; Campidano: Monastri; Pianargia: C. Marargiu; Sulcis: Pula, Carbonia; Sarròch); andesiti, basalti andesitici e latiti ad affinità da calcicalcina alta in K a shoshonitica (Angiona); localmente gabbrì e gabbronoriti in corpi ipoabissali (Arburese: M. Arcuentu, M. Nureci); quarzodioriti porfiriche (porfiriti di alghero Auct.) (Nurra: Calabona) **12**. **Oligocene sup. - Miocene inf.**

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Durante il Mesozoico la Sardegna attraversa una assoluta tranquillità ambientale non lasciandosi più sommergere completamente dal mare. Il Mesozoico ed il Cenozoico sardo saranno quindi caratterizzati da un'alternanza di ingressioni e regressioni marine.

Il Trias, di facies germanica, è caratterizzato da serie di tipo sedimentario in ambiente prima lagunare poi marino-litorale, quindi marino di mare aperto, per ritornare a facies litorali, poi lagunari evaporitiche. La serie completa, rinvenibile

solo nella Nurra di Alghero, è caratterizzata dal basso verso l'alto, per circa 400 m, da arenarie rosse continentali, da dolomie e calcari marnosi, da calcari micritici, da dolomie cariate, da calcari dolomitici e da marne ed argille con lenti ed ammassi di gesso. Altri rinvenimenti si hanno nell'Anglona, nel Sulcis, nel Sarcidano e nella valle del Flumendosa.

La serie giurassica, che ha una potenza di circa 700 m, porta a distinguere due distinti bacini marini, probabilmente separata da una dorsale meridiana, che porta a definire tre differenti zone di sedimentazione: il bacino occidentale, quello orientale ed una zona intermedia detta dei "tacchi". Il bacino occidentale, che si sviluppa dalla Nurra fino all'isola di Sant'Antioco, ha una serie costituita da calcari selciferi, dolomie, calcari, calcari marnosi, e si presenta fortemente dislocata. Il bacino orientale (Baronie di Dorgali, Siniscola, Posada, Isola di Tavolara) presenta una serie costituita da orizzonti clastici di base in facies fluvio-palustre, sovrastati da dolomie, calcari dolomitici e calcari marini molto fossiliferi, poggiata direttamente sul penepiano ercinico. La zona dei Tacchi è caratterizzata da formazioni tabulari a piccoli altopiani (Barbagia di Seui, Barbagia di Belvi, Sarcidano). Il Giurese è qui rappresentato da formazioni arenacee e conglomeratiche di base, associate a lenti di argille di facies lacustre, sovrastate da orizzonti calcareo-dolomitici. Nel Cretaceo permane la divisione in due bacini dell'isola. La serie del bacino occidentale inizia con un livello di calcari selciferi, prosegue con calcari dolomitici, talvolta molto fossiliferi, calcari marnosi, marne di facies lacustre e lagunare, calcari neritici e pelagici, seguiti da depositi clastici (brecce organogene), marne ed argille marine e bauxiti a seguito di un periodo di breve emersione (Olmedo). Nel bacino orientale (Golfo di Orosei, Monti di Oliena, Monte Albo) la sequenza è costituita da calcari, depositi marnoso-selciferi e calcarenitici, conglomerati e calcari terrosi.

Finora non è stato rinvenuto nell'isola il Paleocene mentre il periodo Eocenico è largamente presente e notevolmente importante sotto il profilo minerario in quanto durante questo periodo, si è avuta la formazione dei complessi carboniferi del Sulcis. L'Eocene è rinvenibile in generale in tutta la Sardegna meridionale e nella Baronia di Orosei. La serie Eocenica del Sulcis, potente circa 250 m, inizia con un conglomerato trasgressivo basale (disgregazione delle formazioni Mesozoiche), seguito da calcari a fossili di ambiente salmastro e quindi formazioni lignifere di ambiente lacustre. Nel Gerrei è formata da arenarie e conglomerati basali, da sedimenti calcarei ed arenaceo-marnosi e chiusa da depositi arcocici grossolani. Simile è la stratigrafia nel Golfo di Orosei con arenarie e conglomerati basali (con clasti di origine paleozoica) seguite da sedimenti calcarei ed arenaceo marnosi di

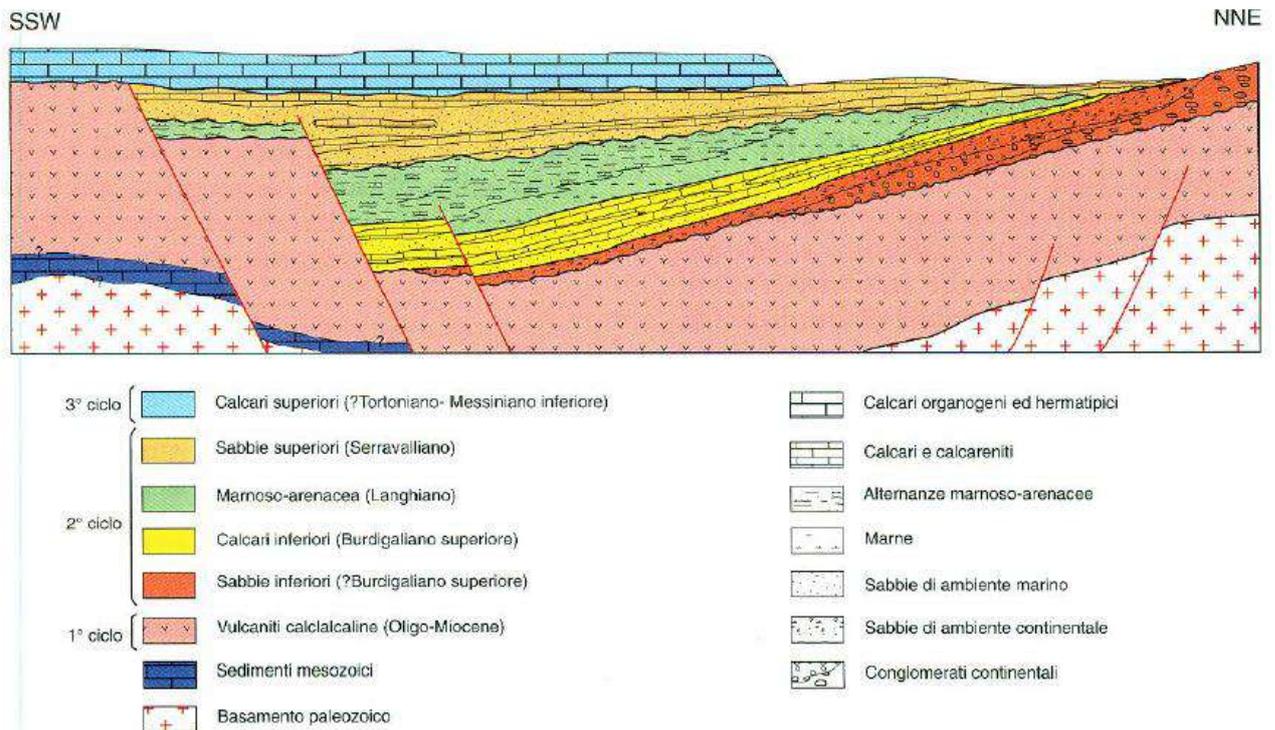
facies epicontinentale. A cavallo tra l'Eocene e l'Oligocene si riconosce la "Formazione del Cixerri" costituita da arenarie-quarzose, spesso conglomeratiche e da marne ed argille siltose di ambiente fluvio-lacustri e lagunare potente fino a 300 m.

L'Oligocene è stato nell'isola un periodo di continentalità durante il quale la Sardegna è raggiunta dall'urto delle forti tensioni orogenetiche del corrugamento Alpino. L'antico massiccio, con le sovrastanti coperture parzialmente conservate, si smembra in tre parti: la Nurra, il Sulcis-Iglesiente e la Sardegna orientale, creando una profonda depressione tettonica secondo la direzione Nord-Sud dal Golfo dell'Asinara a quello di Cagliari (fossa tettonica sarda). Questo periodo è caratterizzato da una notevole attività vulcanica di tipo andesitico e riodacitico, con ignimbriti e tufi a carattere alcalicalcico che hanno prodotto, nella Sardegna Nord e Sud Occidentale e in parte del graben campidanese, formazioni con potenze fino a 1000 m. Caratteristiche di questo periodo sono inoltre alcune formazioni di facies da fluvio-lacustre a lagunare costituito da conglomerati, arenarie ed argille talora siltose di color giallo-rossastro o rosso-violaceo (Formazione di Ussana). Il periodo più rappresentato della serie Cenozoica sarda è senz'altro il Miocene. Durante questo periodo si completa l'ingressione marina nella fossa sarda, iniziata nel tardissimo Oligocene, che induce un periodo di sedimentazione in facies marina di tipo marnoso-arenacea o tufacea cui si intercalano frequenti eruzioni vulcaniche di tipo andesitico. Mentre però nella Sardegna centro-settentrionale la sedimentazione è interrotta da una fase continentale in cui si hanno bacini lacustri a tufi pomicei e strati silicei, nella parte meridionale dell'isola questa va avanti producendo una serie di circa 800 m di potenza. La stratigrafia tipica del Miocene sardo, rinvenibile tanto nel Sassarese che nel Campidano, i colli su cui si è sviluppata la città di Cagliari sono le ultime tracce del vasto bacino di sedimentazione, è costituita da una formazione di argille basali, seguita da marne fossilifere e da sabbie e arenarie quarzose, per continuare con un calcare tufaceo marnoso, seguito da un calcare organogeno compatto molto fossilifero.

La sedimentazione marina prosegue anche nel Pliocene, nel Campidano e nel Golfo di Orosei, con il deposito di sabbie, marne, conglomerati ed argille, provocando così la completa colmatura della fossa sarda. Questa è oggetto di un marcato scostamento dalla pendice meridionale del Monte Ferru sino al Golfo di Cagliari con rigetti verticali di oltre 2000 m creando la fossa tettonica campidanese.

Quest'ultima diventa quindi sede di accumulo dei detriti provenienti dallo smantellamento dei massicci che la affiancano, materiali che vanno a formare uno strato di oltre 500 m che costituisce la base delle formazioni del Campidano. Ai

bordi settentrionali della fossa si hanno, invece, manifestazioni vulcaniche, che si protraggono sino al Quaternario, a cui risalgono le formazioni eruttive del Montiferru, della Marmilla (Giare), di Campeda e del Logudoro e del Golfo di Orosei.



Schema dei rapporti stratigrafici dei cicli sedimentari miocenici nella Sardegna settentrionale (Logudoro), non in scala (da: FUNEDDA *et alii*, 2000).

I terreni e le rocce affioranti nell'area interessata dal Parco eolico sono di età quaternaria attribuibili a depositi recenti e alluvioni Plio-pleistoceniche, al complesso carbonatico dolomitico del Mesozoico.

L'area vasta, trovandosi al centro di un settore che è stata oggetto di importanti deformazioni e dislocazioni strutturali, come risultato delle diverse fasi tettoniche che hanno interessato la Sardegna dal Paleozoico fino ai giorni nostri, è caratterizzata da una geologia assai complessa.

Il rilievo costituisce un'area Miocenica e Terziaria, dove sono stati messi a nudo dalle erosioni gli eventi tettonici antichi paleozoici.

Il quadro evolutivo di questo settore è stato delineato da Carmignani *et al.*, 1979, e da Franceschelli *et al.* 1989. Questi autori individuarono nell'insieme Nurra-Paleozoica un settore di basamento ercinico in cui sia il metamorfismo che la deformazione polifasica aumentano di intensità procedendo da Sud verso Nord.

L'area oggetto di studio è situata nelle regioni dell'Anglona e della Nurra (Sardegna centro-settentrionale) lungo un transetto tra il complesso di medio e di alto grado

metamorfico. Un problema nello studio di questa area è rappresentato dalla frammentazione dei complessi metamorfici presenti. A causa sia della vasta estensione del batolite sardo, sia della presenza di estese coperture Permiane e Quaternarie. In questo modello la tettonica estensionale giocherebbe un ruolo secondario nell'esumazione delle rocce, limitato agli stadi finali dell'evoluzione tettono-metamorfica a livelli alto crostali.

### Mesozoico

I terreni mesozoici sono rappresentati da facies di transizione tra l'ambiente continentale e quello marino. I depositi più antichi sono attribuiti al Permo-Trias, depositi in un momento di continentalità della regione. Si rinvencono argille rosso-violacee, arenarie quarzoso-micacee e conglomerati di piana alluvionale, con intercalazioni di calcari silicizzati, conglomerati, arenarie, breccie vulcaniche, calcari con selci lacustri e lenti di antracite, e argilliti con piante.

Nel Trias med. con l'ingressione marina si hanno depositi di piattaforma formati da calcari dolomitici e dolomie, calcari e calcari marnosi.

Nel Trias sup. si hanno ancora dolomie e dolomie marnose, marne con intercalati depositi di gessi e argille.

Il Giurassico così come il Trias è caratterizzato da depositi carbonatici di piattaforma: dolomie e calcari dolomitici, calcari oolitici, calcari ad oncoidi, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne; alla sommità dolomie e calcari dolomitici scuri lacustri. Queste formazioni si ritrovano anche nelle successioni del Cretaceo che chiude l'era Mesozoica. Gli affioramenti Triassici, rappresentati sia da depositi continentali sia da depositi francamente marini, sono ubicati per quanto riguarda il Trias inf. e med. nel settore Sud-Occidentale della Nurra, lungo l'attuale linea di costa.

Si rinvencono inoltre argille siltose rosso-viola arenarie quarzose e conglomerati di piana alluvionale, a testimonianza di una estesa fase di continentalità a partire dal Permiano sup. fino al Trias med..

Nel Trias med. si hanno le prime evidenze di un'ingressione marina, con depositi carbonatici di piattaforma, in prevalenza calcari, calcari dolomitici e dolomie, calcari marnosi e rari depositi di ambiente evaporitico.

Il Trias sup. è caratterizzato ancora da depositi carbonatici fossiliferi, nei quali prevalgono le dolomie e le marne. All'interno di questa formazione sono presenti intercalazioni di gessi e depositi di argille.

### Cenozoico

La successione sedimentaria miocenica è costituita alla base da depositi continentali fluviali e di piana alluvionale, sedimenti deltizi e marini di piattaforma. I depositi fluviali sono formati da conglomerati eterometrici sia monogenici (calcareao dolomitici o vulcanici) che poligenici, a matrice arenacea prevalentemente bioclastica o vulcanoclastica che nel territorio studiato sono intercalati agli episodi vulcanici del ciclo magmatico calcalcalino dell'Oligocene superiore.

I depositi alluvionali sono costituiti da sabbie medio-fini ed argille sabbiose giallastre intercalate a sabbie grossolane e conglomerati.

I depositi marini sono formati da calcari nodulari, calcareniti, calciruditi e marne.

### Quaternario

Il Quaternario è rappresentato in gran parte da depositi in facies continentale mentre i subordinati depositi marini danno luogo ad affioramenti discontinui e di debole spessore e vengono attribuiti al Tirreniano, essendo gli unici che forniscano una sicura datazione in base al contenuto paleontologico.

Per quanto riguarda l'età dei depositi continentali, questa è in genere definita solo in base ai rapporti con quelli marini Tirreniani. Il Quaternario antico (Pleistocene) è rappresentato principalmente dalle "Alluvioni antiche Auct" diffuse in tutta l'Isola. Si tratta prevalentemente di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, rappresentati da conglomerati, ghiaie e sabbie più o meno costipate, spesso con abbondante matrice siltoso-argillosa arrossata e variamente ferrettizzate.

Si tratta di depositi alluvionali sciolti Olocenici ed attuali, prevalentemente ciottolosi, localizzati negli alvei o nelle anse dei corsi d'acqua principali. Non hanno mai spessori significativi. Nella cartografia geologica questi depositi risultano associati a depositi alluvionali antichi, probabilmente di età Pleistocenica.

La presenza di una elevata componente ciottoloso-arenacea vulcanica ha favorito l'alterazione di questi depositi alluvionali che spesso si distinguono malamente dalla coltre detritica eluvio-colluviale presente nei fondovalle. Localmente sono presenti tracce di piccoli terrazzi fluviali. Non si hanno dati sufficienti per definire lo spessore del complesso alluvionale antico e recente ma è probabile che esso, soprattutto in prossimità delle aste fluviali principali possa superare i 4-5m.

I sedimenti quaternari comprendono, a partire dai più antichi, conglomerati, sabbie, argille più o meno cementate che costituisce la serie delle "Alluvioni antiche Auct" del Plio-Pleistocene, mentre le formazioni più recenti, dell'Olocene, formano i depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi e limo-argillosi dei corsi d'acqua principali ed i depositi sabbiosi delle spiagge e delle dune sabbiose.

Altri depositi continentali Pleistocenici, a diversa facies (alluvioni fluviali) hanno particolare sviluppo nel bacino del Rio Mannu: si tratta di depositi ciottolosi alluvionali, in diversi ordini di terrazzi.

### **5.1 Tettonica**

Nell'area, giacciono principalmente, sedimenti marini Miocenici, costituiti da conglomerati ed arenarie marnose, calcareniti, generalmente ben cementate, a cemento carbonatico, aventi facies calcaree ricche di molluschi marini.

Questi depositi affiorano dal sottosuolo, dove non sono ricoperti dai depositi eolici Wurmiani.

Seguono dei depositi continentali del Pleistocene-Olocene, costituiti da conglomerati fluviali a grossi elementi a matrice sabbioso-argillosa, legati da sabbie, ubicati in valli inattive e depositi sabbiosi a granuli silicei, generalmente ben cementati, con una stratificazione pseudo incrociata, senza fossili (riferibili a depositi eolici post Tirreniani) che presentano spesso intercalazioni carbonatiche.

Nella Nurra i lavori più recenti (Carmignani et al., 1979; Oggiano e Di Pisa, 1984; Franceschelli et al., 1990; Di Pisa et al., 1993) descrivono tutte le due fasi principali di deformazione e fasi tardive di minore intensità. La prima si accompagna ad un metamorfismo in facies degli scisti verdi, generando pieghe isoclinali con associata scistosità di piano assiale pervasiva. La direzione degli assi è intorno a N-NE e con vergenza verso Sud Ovest. La seconda fase sembra mostrare un aumento di intensità da Sud verso Nord (Carmignani et al) fino alla completa trasposizione delle strutture legate alla prima fase; le sue direzioni assiali si attestano intorno a E-W e/o NW-SE, e la vergenza è verso i quadranti settentrionali.

A queste due principali fasi tettoniche, fanno seguito fasi tardive che si manifestano con kink a direzione assiale sub meridiana e/o pieghe crenulanti le cui direzioni seguono quelle della seconda fase. L'acme metamorfico viene collocato tra la prima e seconda fase deformativa ercinica. Infatti come in tutto il basamento della Sardegna settentrionale (Carmignani et al.1979; Franceschelli et al., 1982) le principali blastesi di tipo Barroviano crescono staticamente sulle strutture di prima fase (scistosità), ma sono a loro volta deformate o contemporanee alle strutture della seconda fase.

L'importanza delle fasi tardive in relazione al metamorfismo dovrebbe essere decisamente minore, anche se vengono segnalate blastesi albitiche successive e/o contemporanee alla seconda fase ercinica (Oggiano e Di Pisa, 1984; Franceschelli, 1990). Sono comunque queste ultime fasi che determinano la giacitura degli elementi strutturali precedenti, quali scistosità e assi di pieghe.

Il basamento ercinico così strutturato è stato intruso dai graniti tardo tettonici. Sebbene sia evidente una certa fluidità planare, marcata dall'orientazione dei cristalli di K-feldspato, non sono chiare le relazioni tra la tettonica tardo ercinica e le intrusioni stesse. Mancando ogni altro terreno post ercinico, nell'isola è difficile datare con precisione la tettonica disgiuntiva che taglia sia le strutture erciniche che i filoni pegmatitici. Alcune indicazioni circa l'età di tali faglie (M.te Elve) possono essere dedotte assimilandole a quelle ad eguale direzione e ben datate, perché i loro rigetti interessano terreni recenti in aree adiacenti, mesozoiche come la Nurra o mioceniche come il Turritano.

## **6. GEOMORFOLOGIA**

Alla scala locale il territorio è dominato dalla formazione carbonatica e marginalmente dai depositi quaternari che concorrono a formare dei rilevati collinari di modesta altitudine tra i quali sono individuabili piccole vallecole di varia direzione assiale a realizzare un reticolo idrografico di superficie nel quale prevale il regime torrentizio stagionale. In effetti i modestissimi rii sono asciutti per buona parte dell'anno e solo in occasione di piogge eccezionali contribuiscono a drenare le acque meteoriche verso il Rio Mannu e i suoi affluenti.

Nel complesso la vegetazione è poco sviluppata, anche perché da sempre soggetta alla piaga degli incendi estivi. Prevalgono le specie endemiche della macchia mediterranea quali cisto, lentischio, erica, fillirea, ginepro etc. e le specie erbacee ed arbustive termofile dei climi caldi mediterranei quali l'asphodelo etc.

Dal punto di vista geomorfologico l'area appartiene al bacino della Nurra ed è caratterizzata prevalentemente da rocce carbonatiche di età Terziaria, su cui poggiano in discordanza le formazioni superficiali quaternarie.

Le formazioni superficiali quaternarie sono rappresentate essenzialmente da depositi eolici e fluviali; i primi costituiti da sabbie di natura quarzoso-calcareo, di colore bianco-giallastro, spesso stratificate; i secondi costituiti da ciottoli e sabbie. Le sabbie sono spesso ricoperte da depositi terrigeni con componente argillosa mista a sabbia ed elementi mesozoici.

La regione in esame presenta una notevole completezza dal punto di vista geomorfologico, in essa, infatti, si riconoscono le morfologie proprie del sistema fluviale, nonché le forme tipiche delle aree collinari.

Nel territorio sono presenti processi poco accentuati di dilavamento dei versanti dovuti principalmente al ruscellamento diffuso.

## **7. GEOLOGIA DI DETTAGLIO**

### FORMAZIONE DI MONTE SANTO (NST)

Si tratta di calcari che mostrano una larga variabilità di facies e giaciture; poggiano, talora in eteropia, sia sulle marne della formazione di Borutta (RTU) che sulle sabbie della formazione di Florinas (LNS,) mentre a Ittiri poggiano direttamente sulle vulcaniti. In genere gli affioramenti sovrastanti la formazione di Florinas sono grainstone che denotano elevata energia, presentano stratificazione incrociata o cliniformi, presenza di abbondanti alghe calcaree (*Rodophyllum* e *Lithophyllum*) talvolta in accumuli di algal ball, oltre a coralli del genere *Tarbellastrea* e *Porites* (NST). Tra i componenti dell'abbondante paleofauna si rilevano gasteropodi, lamellibranchi, resti di echinidi, macroforaminiferi dei generi *Heterostegina* e *Amphistegina*.

Generalmente questi calcari poggiano sulle sottostanti marne della formazione di Borutta (RTU) in giacitura caotica ed erosiva con la presenza di slumping e mega brecce, come ad esempio a Sennori dove il passaggio avviene attraverso l'interposizione di livelli caotici a blocchi di calcare (olistostromi), la cui matrice marnosa ha fornito foraminiferi ancora del Burdigaliano superiore (BOSSIO et alii, 2006) a denotare un rimaneggiamento dei sottostanti sedimenti marnosi Burdigaliani.

Localmente si rinvengono all'interno della formazione delle intercalazioni silico-clastiche più o meno potenti costituite da sabbie quarzoso-feldspatiche (NSTa).

Lo spessore è variabile, fino ad un massimo di 50 metri.

## **8. INDAGINI GEOLOGICHE "IN SITU"**

Le indagini "in situ" sono state eseguite nell'ambito della progettazione preliminare mediante una campagna di rilevamento diretto e l'esecuzione di un'indagine geofisica per determinare la classe di suolo dalla prova Masw e stimare le principali caratteristiche elastiche dei terreni dalle correlazioni con le onde Vs e Vp.

L'uso sempre più frequente di prove geofisiche in situ (sismica a rifrazione, MASW etc) finalizzate generalmente alla misura delle velocità sismiche e alla caratterizzazione del sottosuolo, consente di procedere anche alla definizione dei principali parametri geotecnici dei terreni tramite l'applicazione di correlazioni empiriche con le velocità sismiche.

In particolare le misure di Vp e di Vs hanno permesso di stimare alcuni parametri per ciascuna area nella quale verrà installata la pala eolica.

Scopo dell'indagine Masw è quello di valutare, per l'area in oggetto, il profilo delle velocità delle onde di taglio con la profondità ( $V_s$ -z) e il calcolo della  $V_s$ ,eq.

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 17.01.2018).

Il metodo MASW consiste in tre fasi (V. Roma, 2002):

- 1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
- 2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
- 3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ .

Modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$ ), è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ , la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo omogeneo.

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.5 m. Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico.

La sorgente è stata posta ad una distanza di 5 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey", Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

Per eseguire la prova MASW è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo a 24 canali (Dolang mod. Jea 247 Esac), 24 bit;
- 24 geofoni a frequenza propria di 4.5Hz;
- spaziatura tra geofoni 1.5 m;
- tempo di acquisizione 2 s;
- offset di 5m;

- sorgente impulsiva: mazza battente da 10 kg.

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e interpretati attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (MASW Vers. 2022 della GEOSTRU).

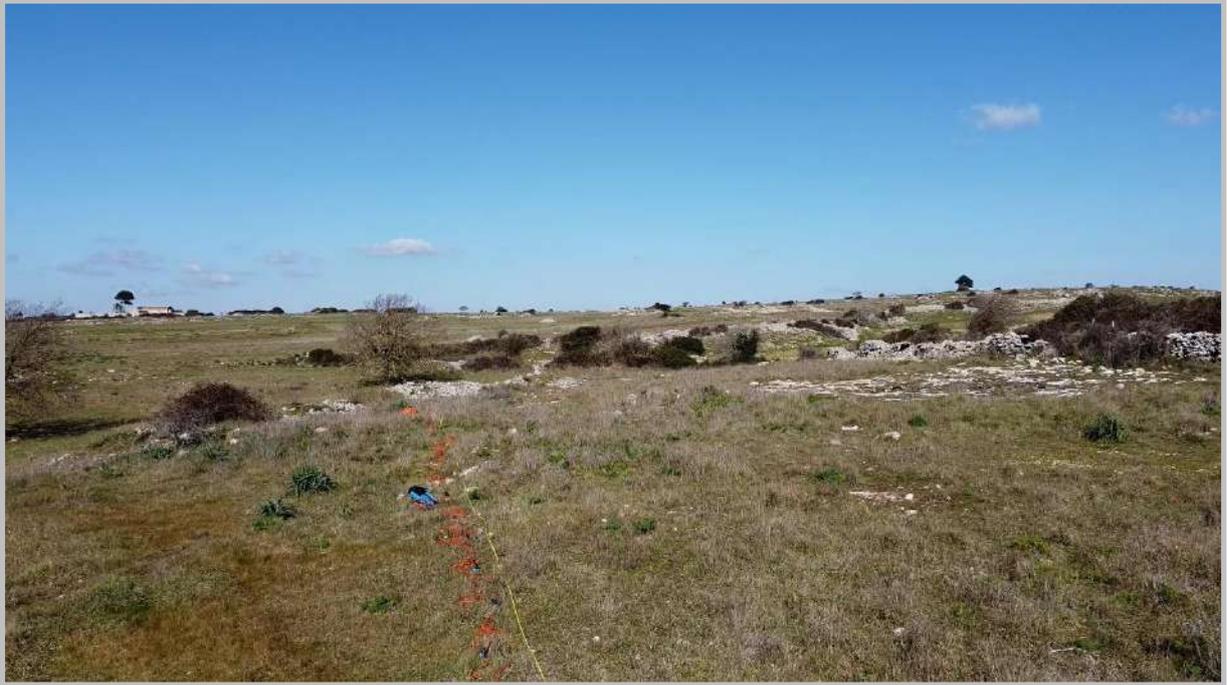
Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti con il metodo attivo. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione combinata presentata in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.





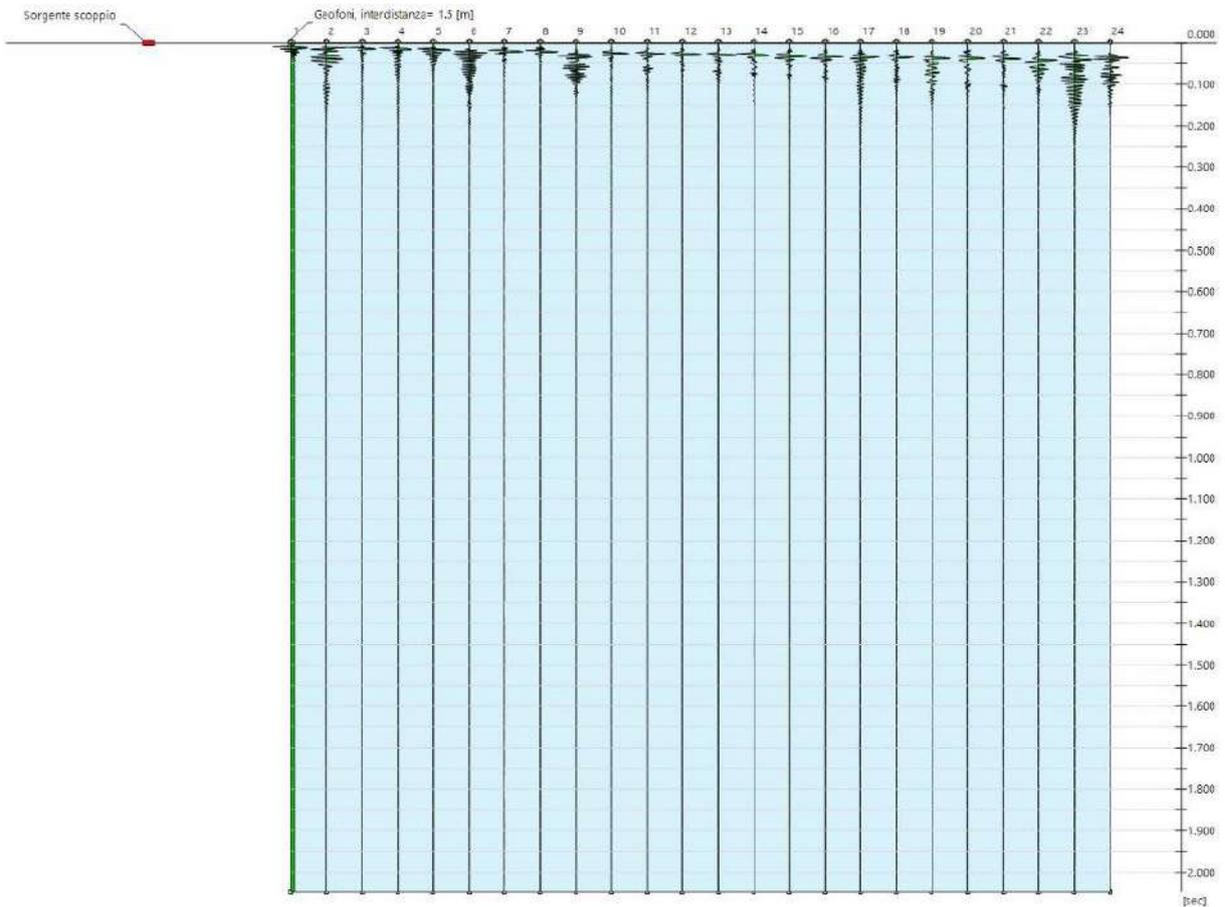
**DATI GENERALI MASW 1 (WTG 01)**

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

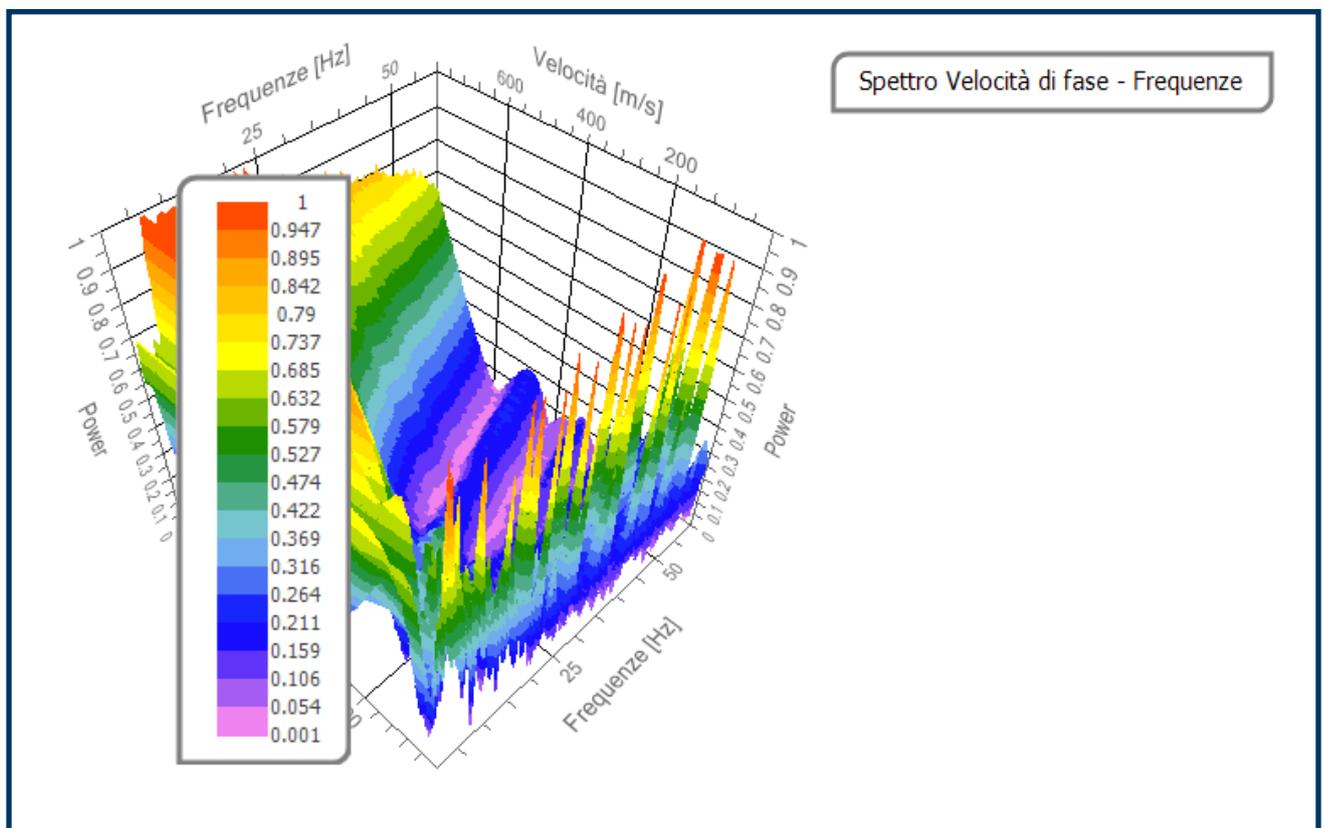
<b>Analisi spettrale</b>	
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



**Esecuzione Masw 1 (WTG 01)**



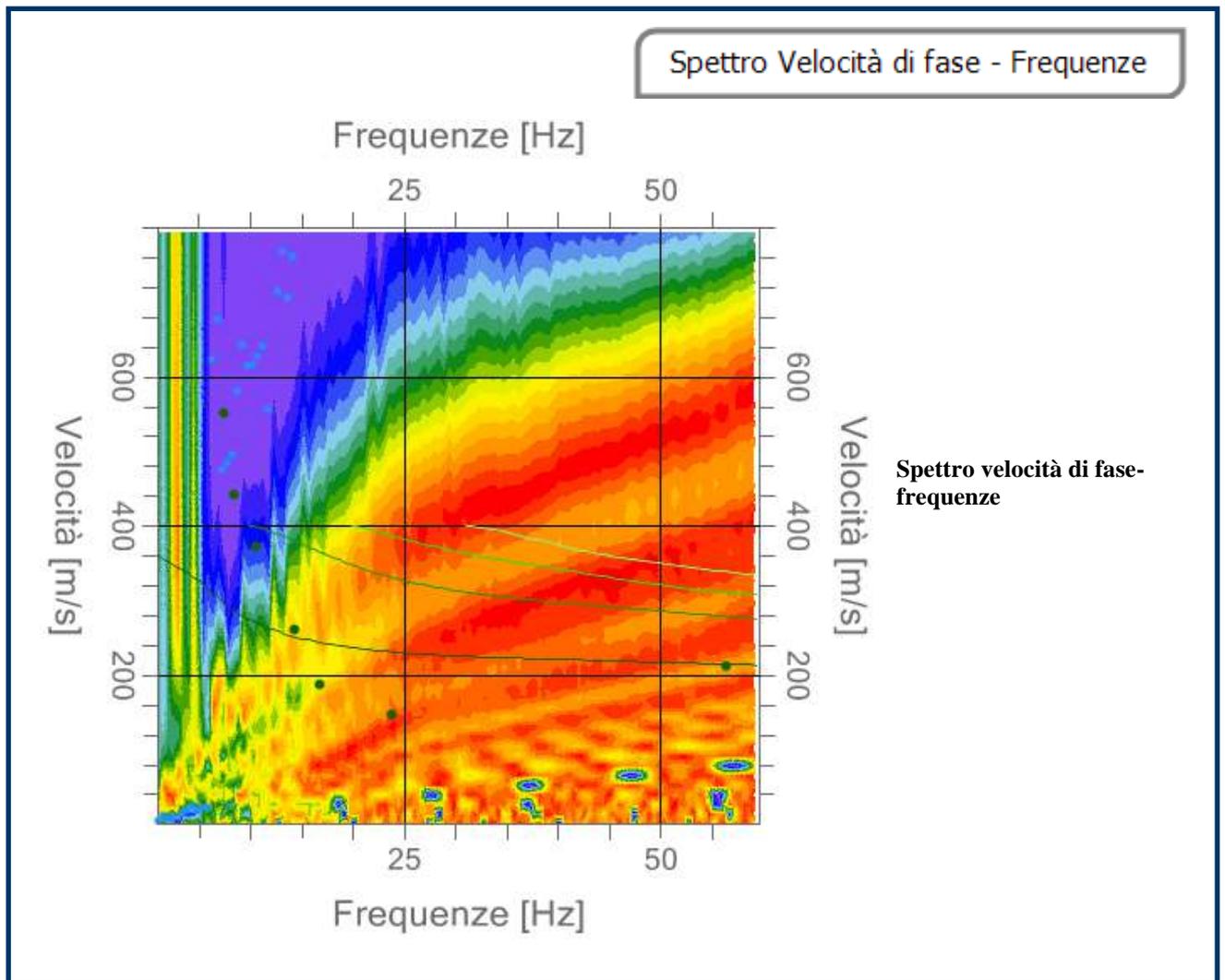
Tracce ottenute dall'indagine Masw 1 con 24 geofoni ad interdistanza di 1.5 m



Visualizzazione 3D Spettro velocità di fase-frequenze

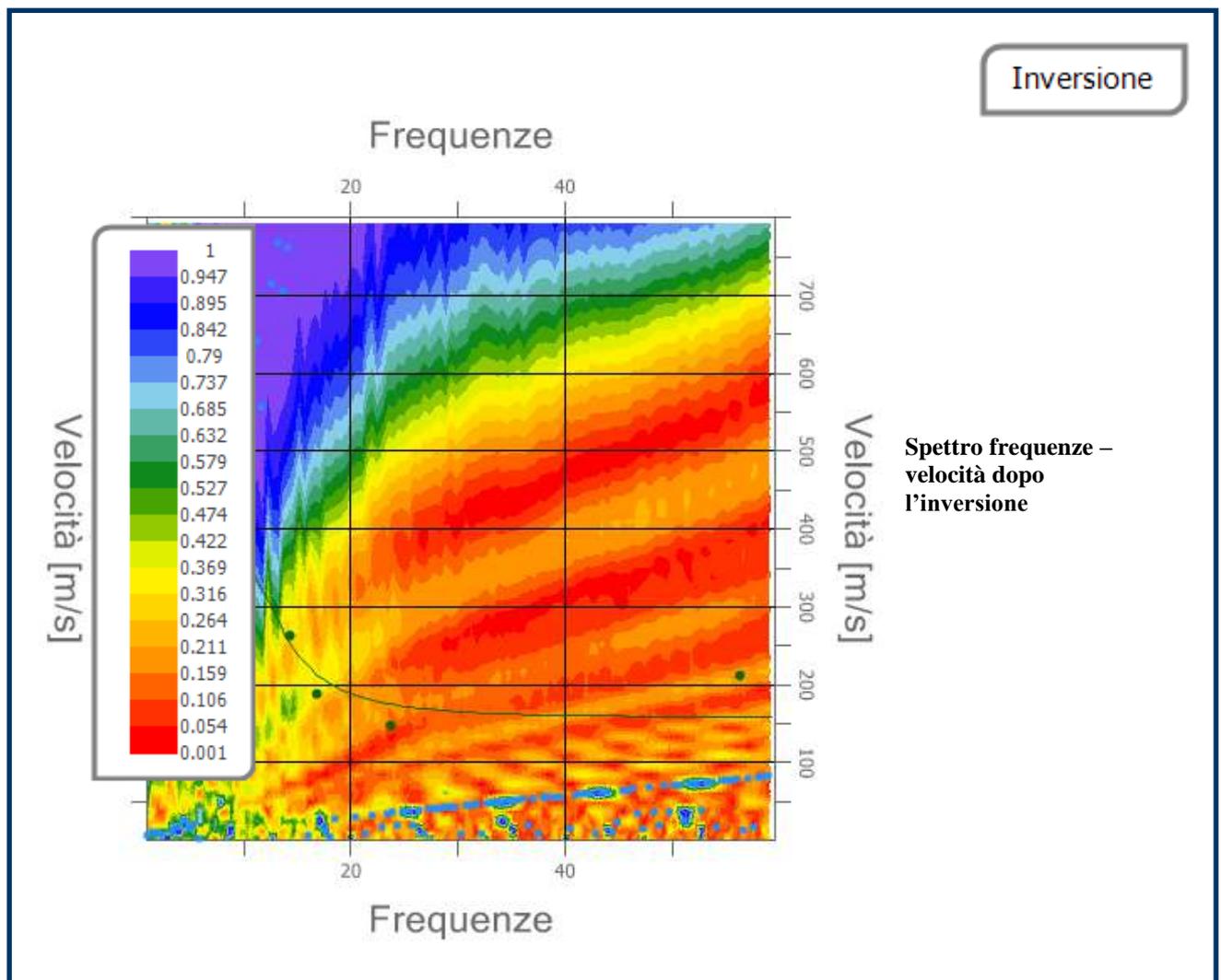
**Curva di dispersione**

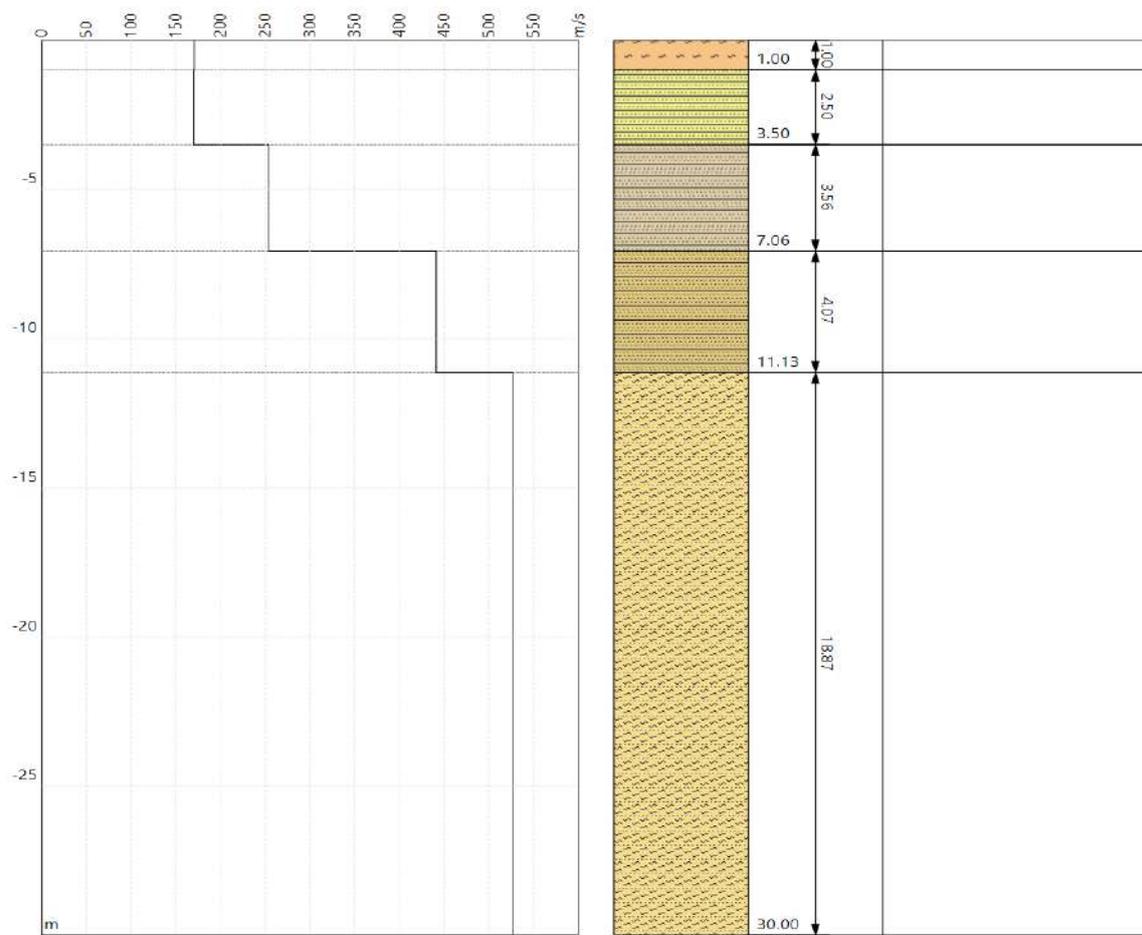
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	7.4	551.1	0
2	8.5	442.0	0
3	10.6	373.2	0
4	14.4	261.8	0
5	16.8	188.3	0
6	23.8	148.0	0
7	56.5	212.0	0



**Inversione**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800.0	0.30	No	318.7	170.3
2	3.50	2.50	1800.0	0.30	No	317.5	169.7
3	7.06	3.56	1800.0	0.30	No	475.5	254.2
4	11.13	4.07	1800.0	0.30	No	825.4	441.2
5	∞	∞	1800.0	0.30	No	985.1	526.6





**Profilo delle velocità e Modello stratigrafico**

## Risultati

Profondità piano di posa [m]	n.d.
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	<b>376.51</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 profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1.00	170	318	1800	0.30	52.22	182	113.15	135.78
2	3.50	2.50	169	317	1800	0.30	51.83	181	112.30	134.76
3	7.06	3.56	254	475	1800	0.30	116.2	407	251.97	302.36
4	11.13	4.07	441	825	1800	0.30	350.3	1226	759.14	910.97
5	oo	oo	526	985	1800	0.30	499.0	1746	1081.34	1297.61

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

CORRELAZIONI SISMICHE EMPIRICHE  
Da Masw

**Tabella A (velocità calcolate da sismica a rifrazione e Masw)**

N. Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Poisson (-)	Vs (m/s)
1.00	1.00	1.00	318.00	0.25	183.60
2.00	3.50	2.50	320.00	0.25	184.75
3.00	7.00	3.50	470.00	0.25	271.35
4.00	11.00	4.00	985.00	526.00	985.47

**Tabella B Correlazioni SPT –Vs**

Uma Maheswari et al (2010)	$V_s = 89.31 N^{0.358}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from MASW
Dikmen (2009)	$V_s = 44 N^{0.48}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from field geoseismic tests
Hasancebi and Ulusay (2007)	$V_s = 97.89 N^{0.269}$	Developed for Cohesive Soils - Vs found from field geoseismic tests
Jafari et al (2002)	$V_s = 27 N^{0.73}$	Developed for Cohesive Soils - Vs from seismic refraction, downhole and SASW

N. Strati	Profondità (m)	Nspt
1	1.00	12
2	3.50	24
3	7.00	39
4	11.00	---

**Tabella C**

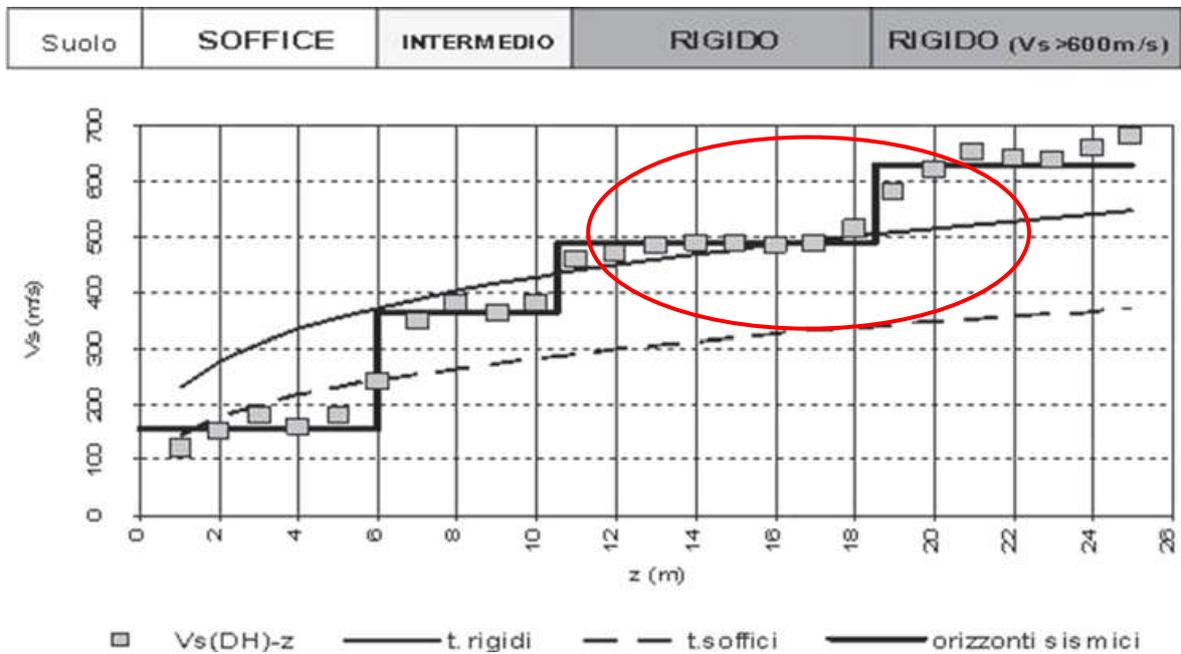
N. Strati	M. edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. attrito (gradi)	Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )
1.00	170.40	33.97	0.18
2.00	85.20	28.42	0.63
3.00	276.90	39.19	1.26
4.00	710.00	>40	1.99

*Teoria di calcolo per l'angolo di attrito: De Mello*

*Teoria di calcolo per la densità relativa: Schultze & Menzenbach*

**Tabella D Profilo di rigidezza del sottosuolo in situ**

Il profilo sismico, rilevato attraverso l'indagine in situ (sismica MASW), consente di identificare lo spessore di orizzonti con valori di Vs a diversa rigidità.

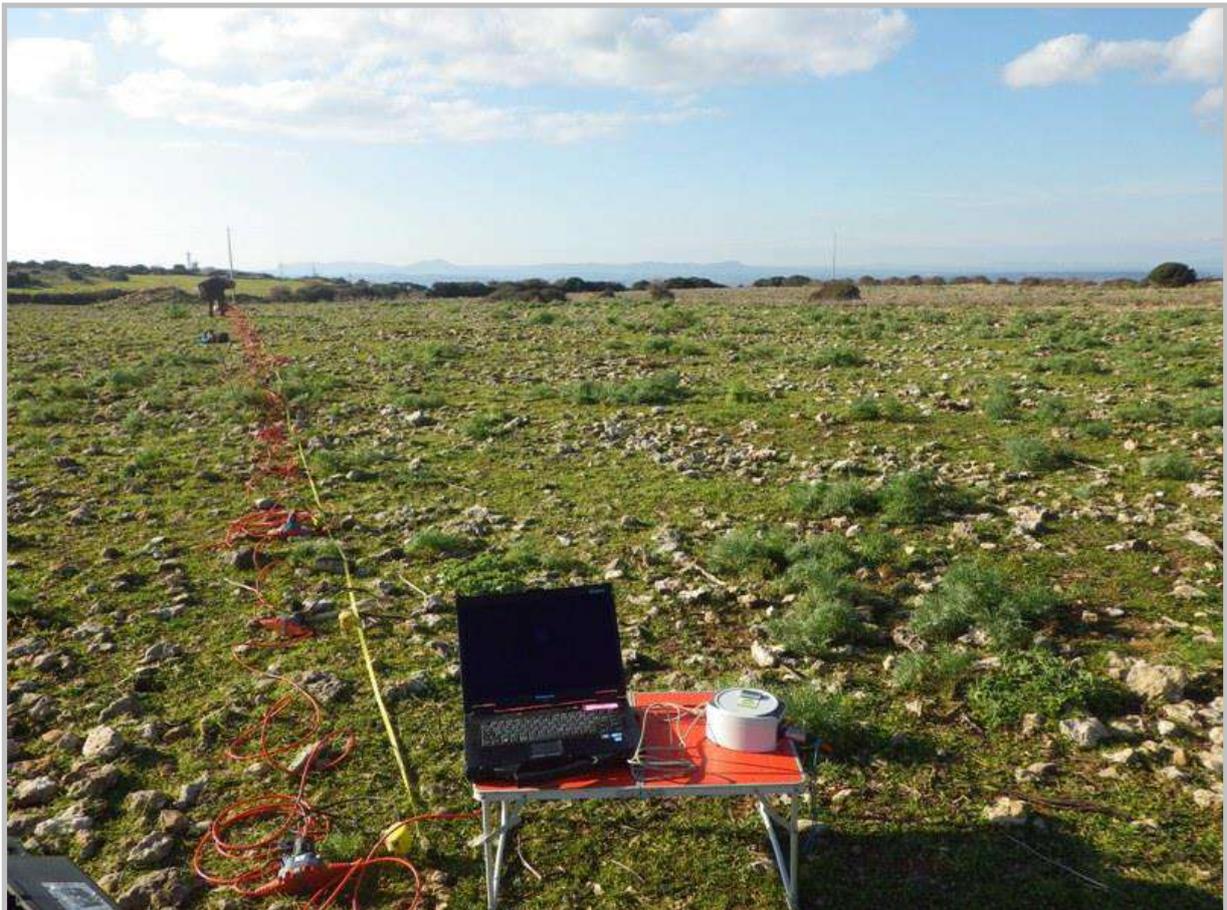


I suoli rinvenuti presentano velocità sismiche  $V_s$  superiori a 400 m/s da una profondità di circa 7 metri dal piano di campagna pertanto da un punto di vista sismico si può considerare un suolo rigido.

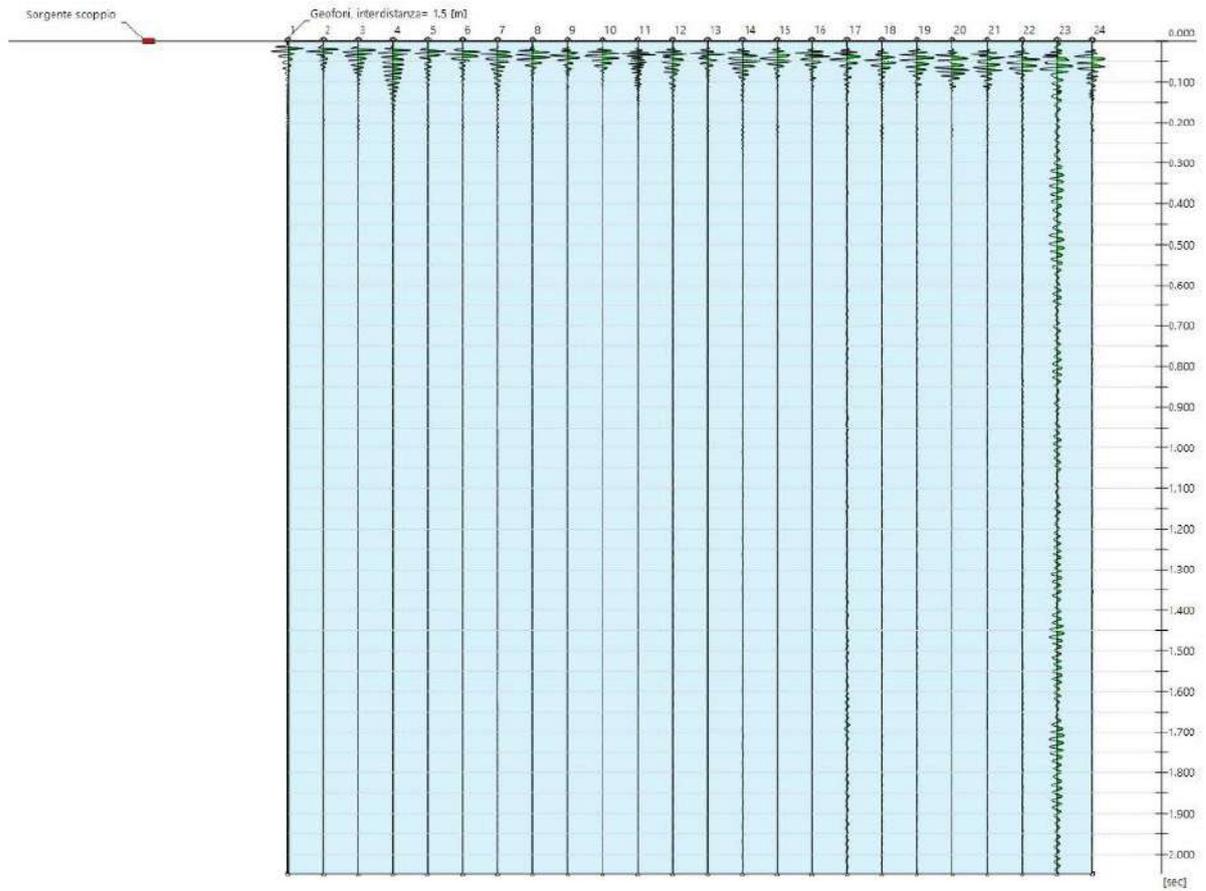
## DATI GENERALI MASW 2 (WTG 02)

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

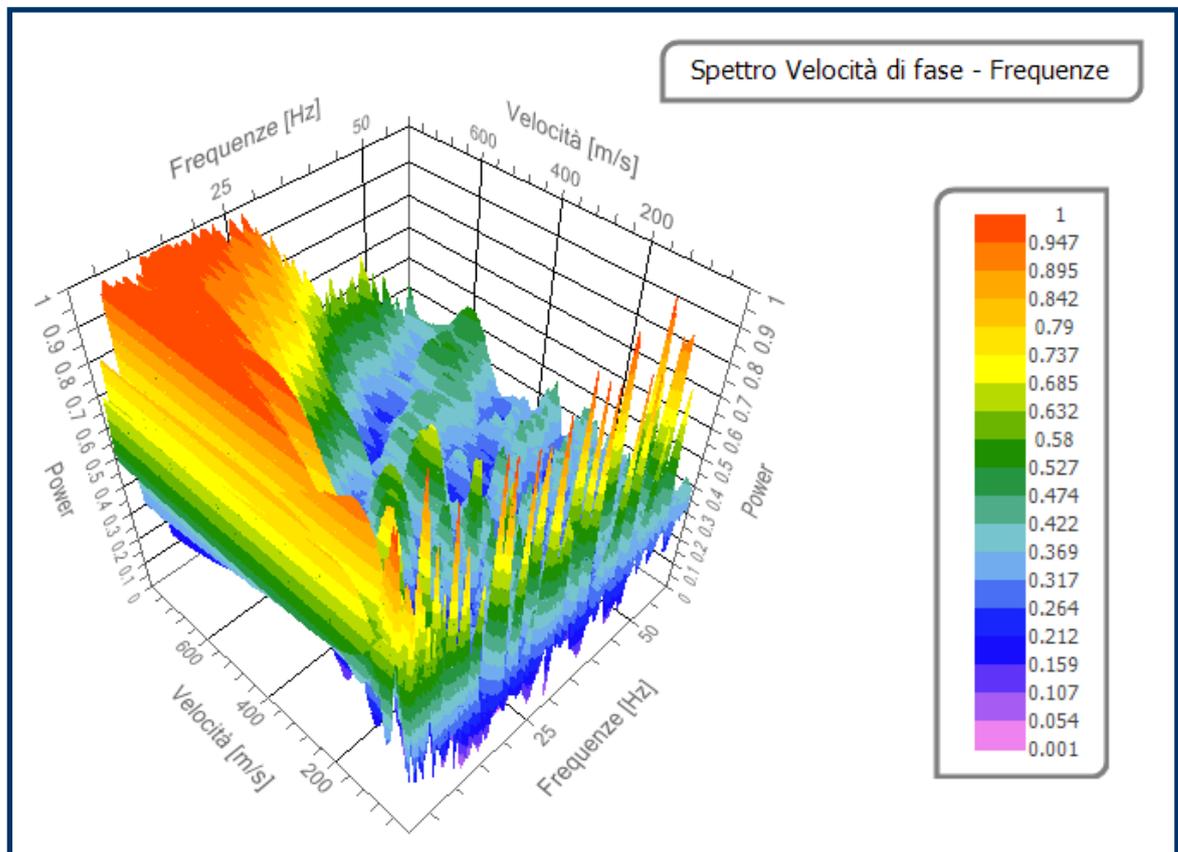
Analisi spettrale	
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Esecuzione Masw 2 (WTG 02)



Tracce ottenute dall'indagine Masw 2 con 24 geofoni ad interdistanza di 1.5 m

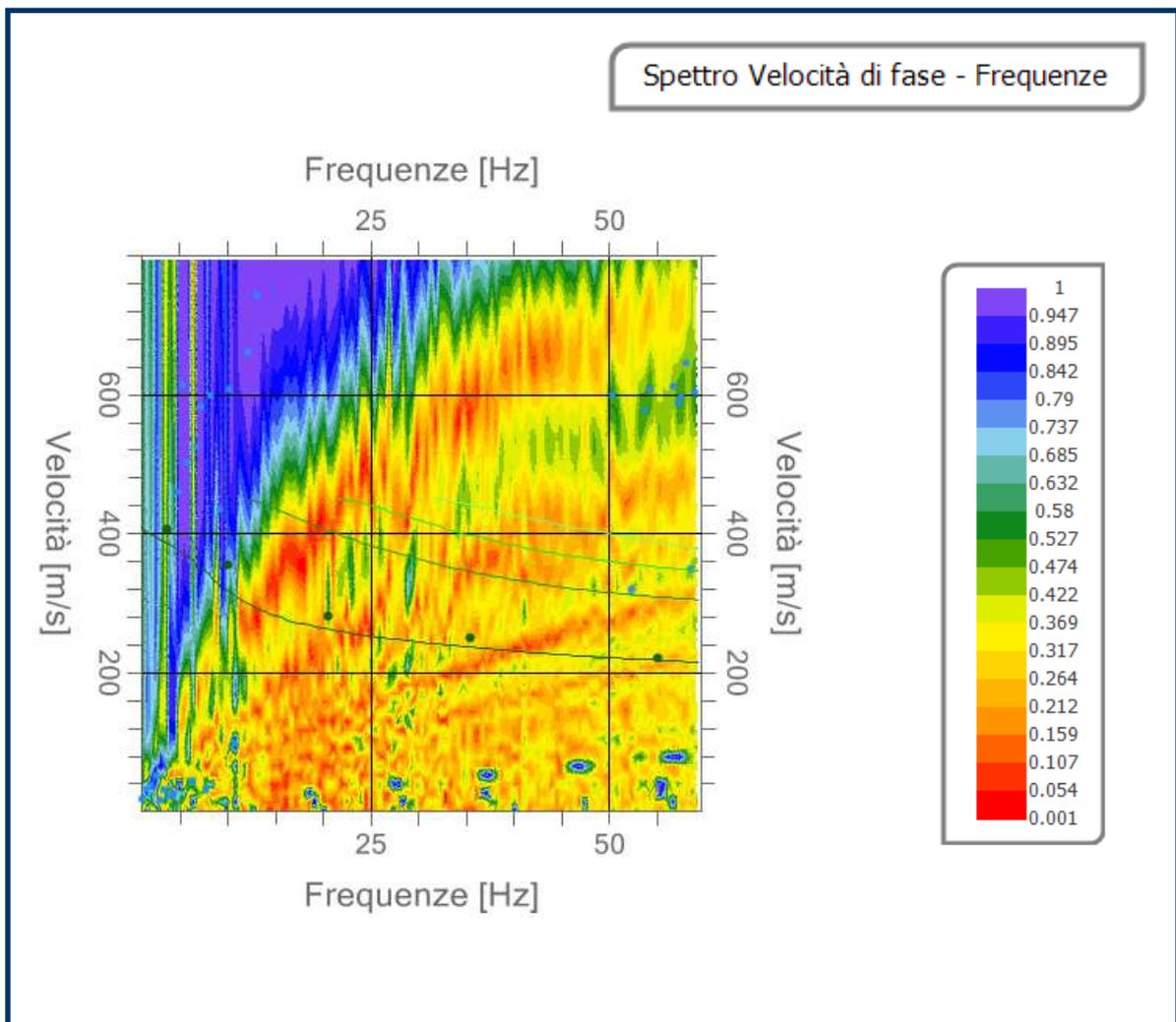


Visualizzazione 3D Spettro velocità di fase-frequenze



## Curva di dispersione

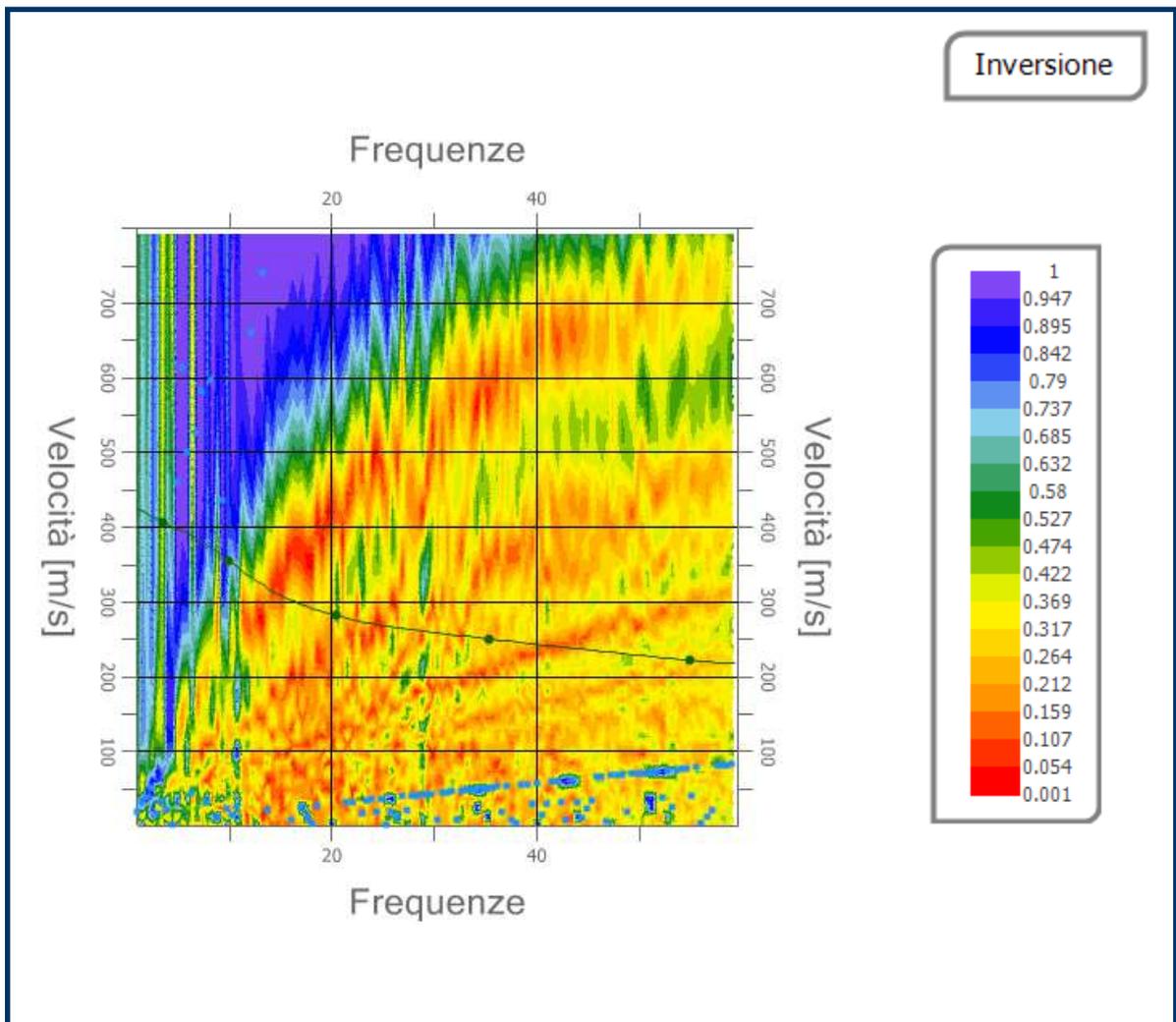
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.6	406.4	0
2	10.0	354.3	0
3	20.5	280.8	0
4	35.4	249.9	0
5	55.1	221.5	0



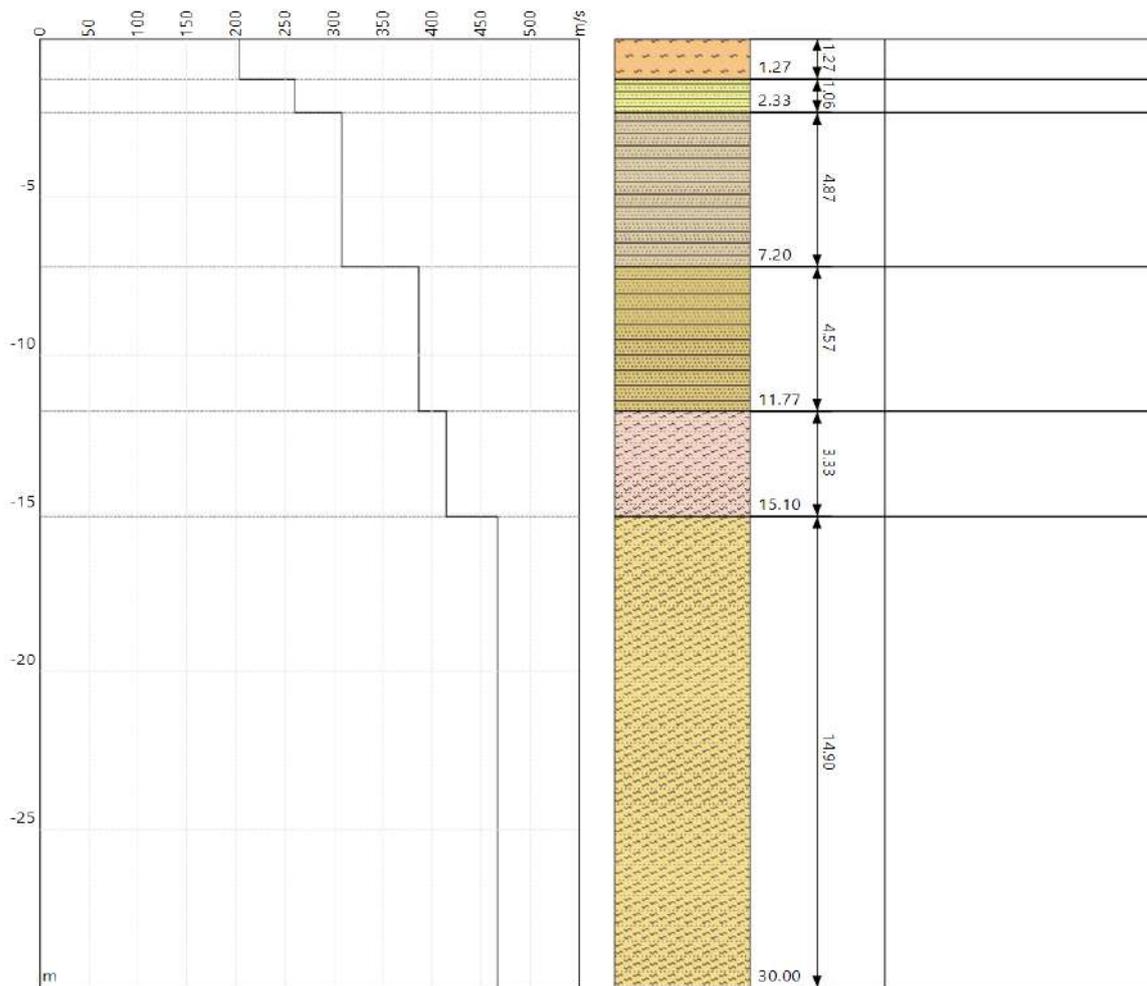
Spettro velocità di fase-frequenze

### Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.27	1.27	1800.0	0.30	No	381.7	204.0
2	2.33	1.06	1800.0	0.30	No	486.8	260.2
3	7.20	4.87	1800.0	0.30	No	575.5	307.6
4	11.77	4.57	1800.0	0.30	No	723.5	386.7
5	15.10	3.33	1800.0	0.30	No	776.0	414.8
6	oo	oo	1800.0	0.30	No	873.1	466.7



**Spettro frequenze – velocità dopo l'inversione**



Profilo delle velocità e Modello stratigrafico

## Risultati

Profondità piano di posa [m]	n.d.
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	<b>385.13</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 profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.27	1.27	204	381	1800	0.30	74.94	262.29	162.37	194.84
2	2.33	1.06	260	486	1800	0.30	121.89	426.63	264.10	316.93
3	7.20	4.87	307	575	1800	0.30	170.35	596.24	369.10	442.92
4	11.77	4.57	386	723	1800	0.30	269.19	942.16	583.24	699.89
5	15.10	3.33	414	775	1800	0.30	309.66	1083.81	670.93	805.12
6	oo	oo	466	873	1800	0.30	392.04	1372.13	849.42	1019.30

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

CORRELAZIONI SISMICHE EMPIRICHE  
Da Masw

**Tabella A (velocità calcolate da sismica a rifrazione e Masw)**

N. Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Poisson (-)	Vs (m/s)
1.00	1.27	1.27	381.00	0.25	219.97
2.00	2.33	1.06	486.00	0.25	280.59
3.00	7.20	4.87	575.00	0.25	331.98
4.00	12.00	4.80	723.00	0.25	417.42
5.00	15.00	3.00	873.00	0.25	504.03

**Tabella B Correlazioni SPT –Vs**

Uma Maheswari et al (2010)	$V_s = 89.31 N^{0.358}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from MASW
Dikmen (2009)	$V_s = 44 N^{0.48}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from field geoseismic tests
Hasancebi and Ulusay (2007)	$V_s = 97.89 N^{0.269}$	Developed for Cohesive Soils - Vs found from field geoseismic tests
Jafari et al (2002)	$V_s = 27 N^{0.73}$	Developed for Cohesive Soils - Vs from seismic refraction, downhole and SASW

N. Strati	Profondità (m)	Nspt
1.00	1.27	32
2.00	2.33	45
3.00	7.20	48
4.00	12.00	---

**Tabella C**

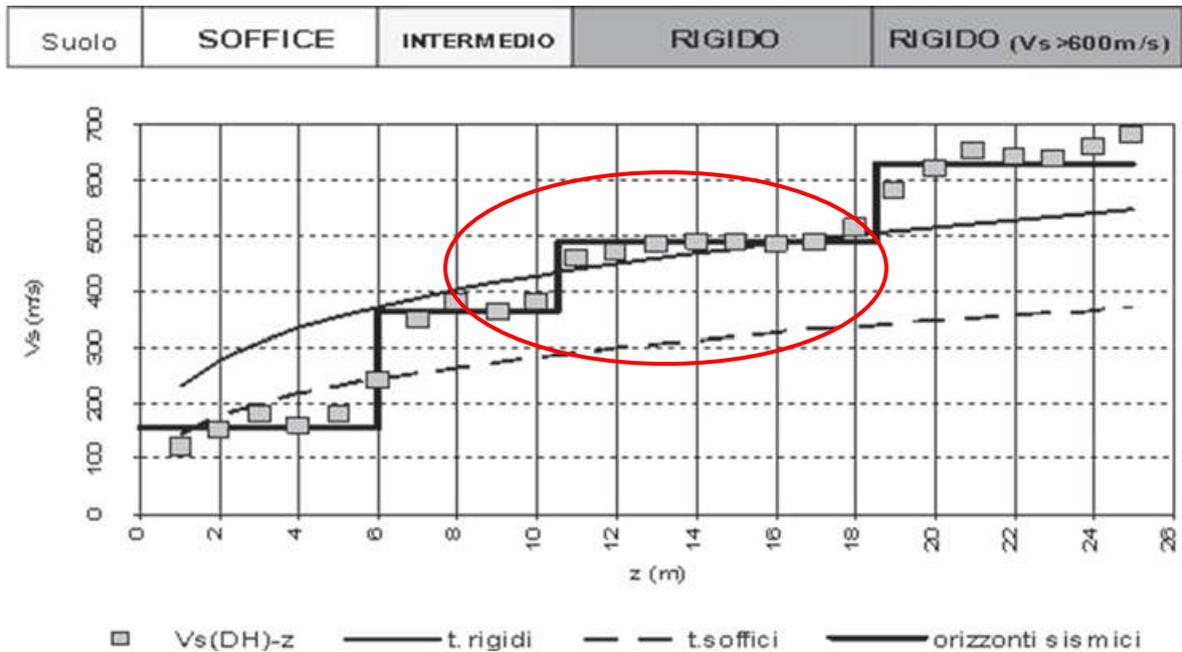
N. Strati	M. edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. attrito (gradi)	Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )
1.00	156.20	30.58	0.23
2.00	241.40	36.09	0.42
3.00	340.80	38.26	1.30
4.00	710.00	>40	2.16

*Teoria di calcolo per l'angolo di attrito: De Mello*

*Teoria di calcolo per la densità relativa: Schultze & Menzenbach*

### Tabella D Profilo di rigidezza del sottosuolo in sito

Il profilo sismico, rilevato attraverso l'indagine in situ (sismica MASW), consente di identificare lo spessore di orizzonti con valori di  $V_s$  a diversa rigidità.



I suoli rinvenuti presentano velocità sismiche  $V_s$  superiori a 500 m/s da una profondità di circa 7,2 metri dal piano di campagna pertanto da un punto di vista sismico si può considerare un suolo rigido.

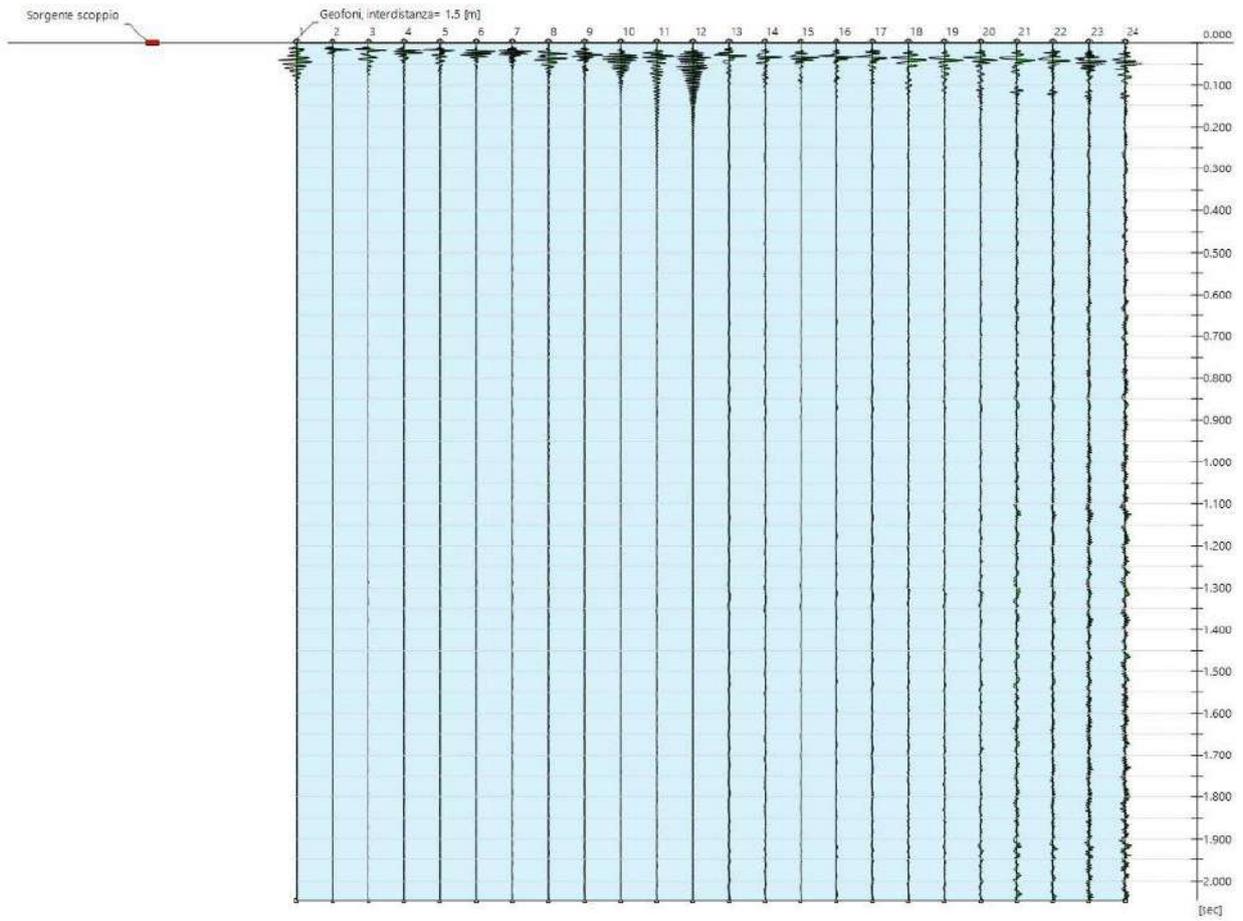
### DATI GENERALI MASW 3 (WTG 03)

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1.5
Periodo di campionamento [msec]	1.00

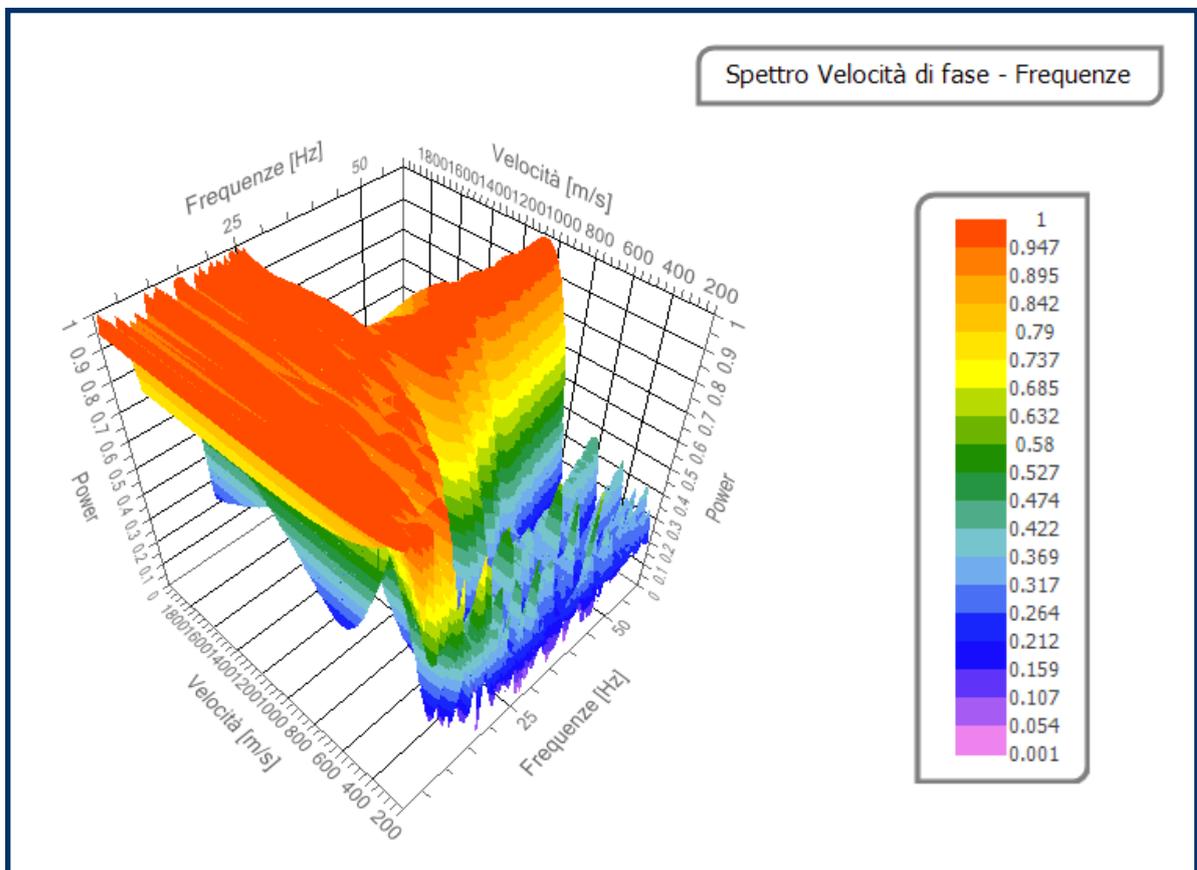
Analisi spettrale	
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	200
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	2000
Intervallo velocità [m/sec]	1



Esecuzione Masw 3 (WTG 03)



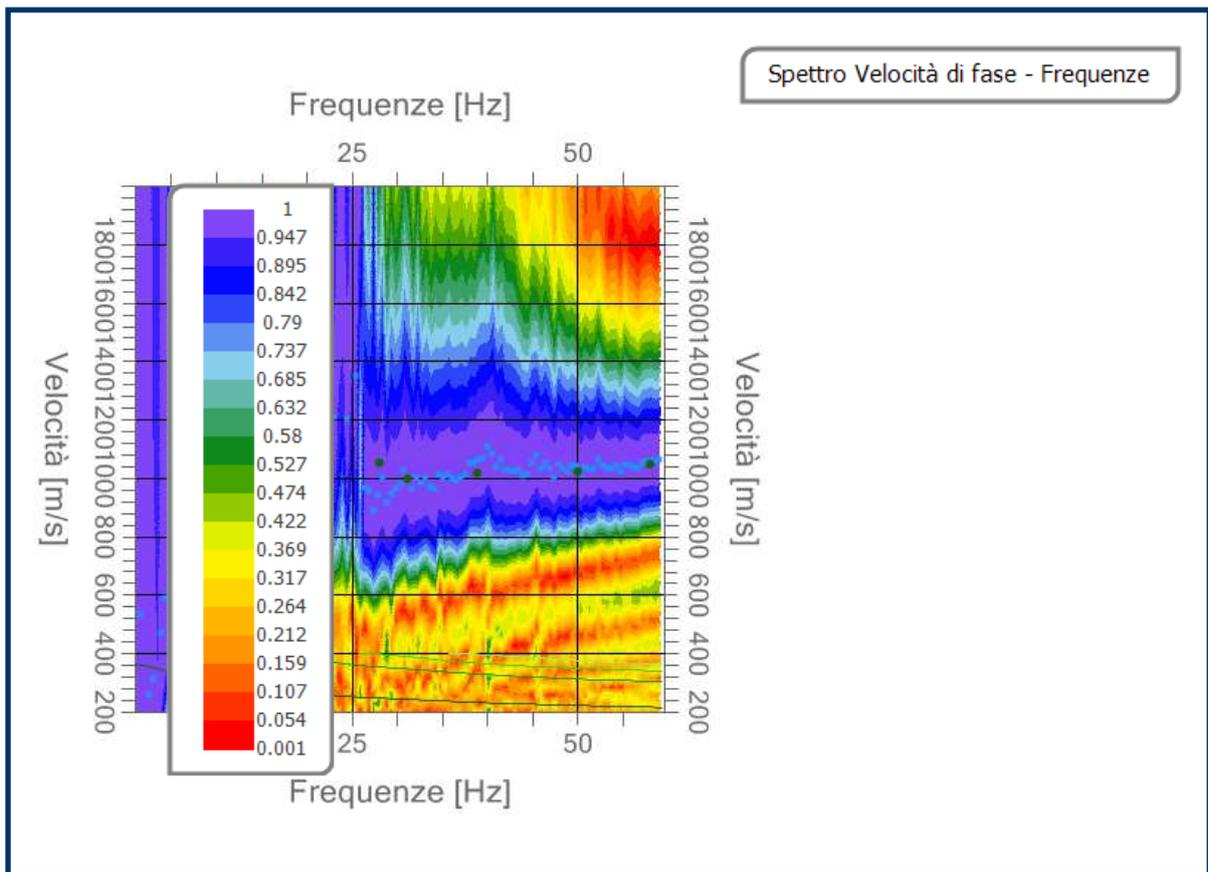
Tracce ottenute dall'indagine Masw 3 con 24 geofoni ad interdistanza di 1.5 m



### Visualizzazione 3D Spettro velocità di fase-frequenze

#### Curva di dispersione

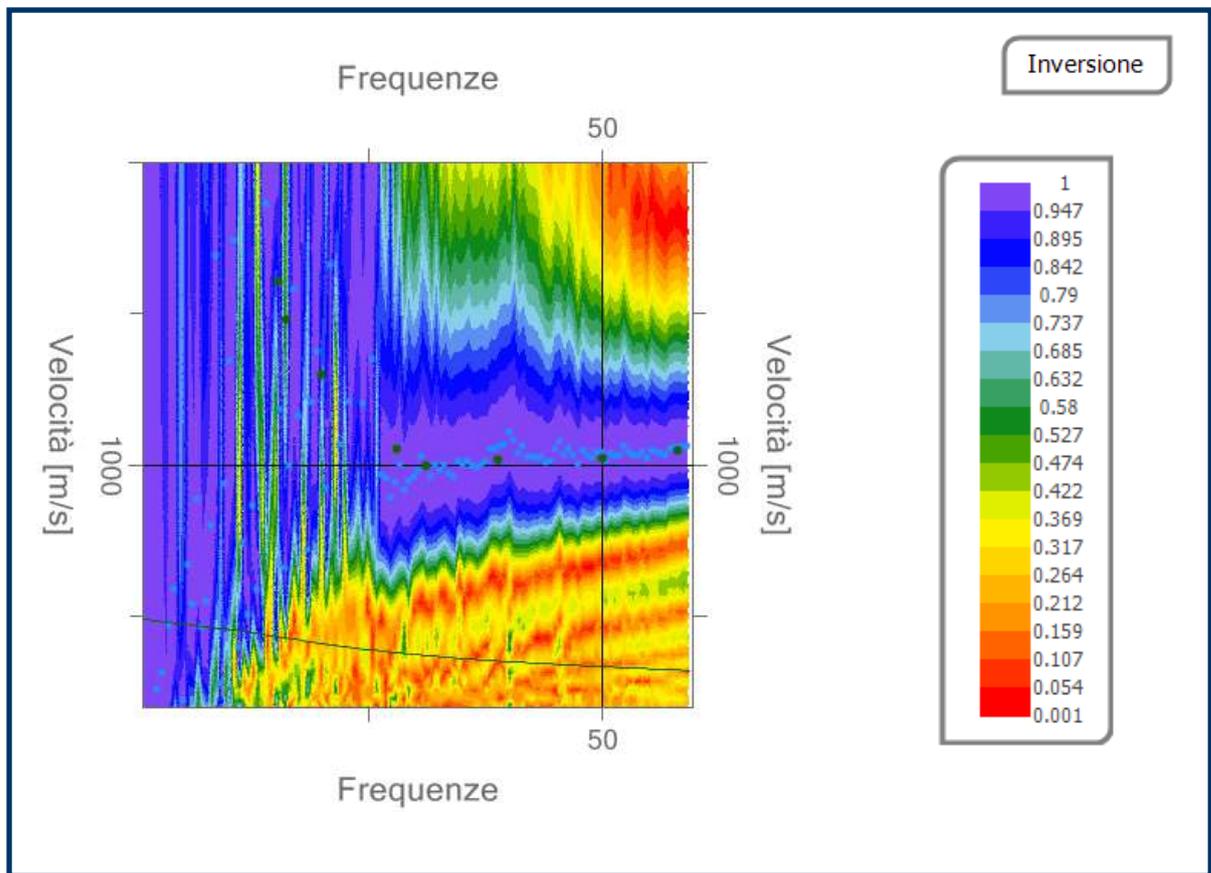
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.4	1604.7	0
2	16.3	1481.9	0
3	20.1	1300.3	0
4	28.1	1054.6	0
5	31.3	995.8	0
6	38.9	1017.2	0
7	50.0	1022.6	0
8	58.0	1049.3	0



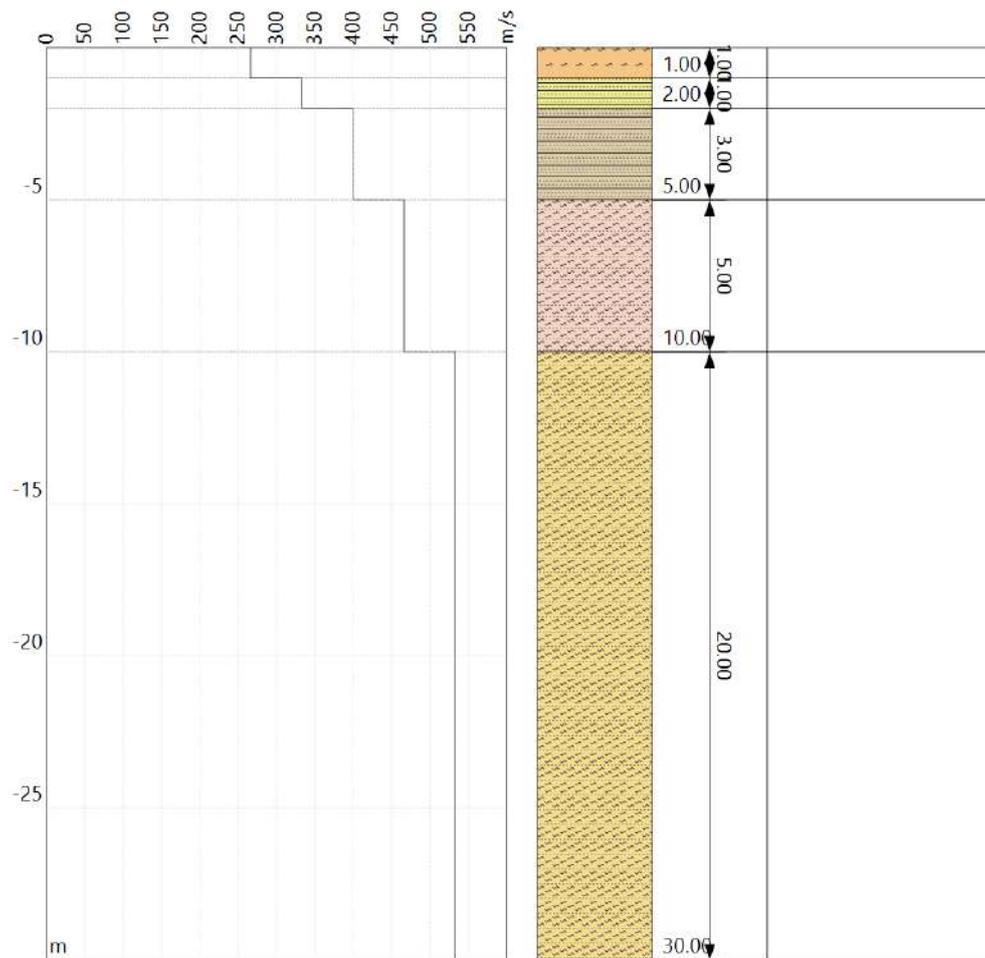
Spettro velocità di fase-frequenze

**Inversione**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800.0	0.30	No	498.9	266.7
2	2.00	1.00	1800.0	0.30	No	623.6	333.3
3	5.00	3.00	1800.0	0.30	No	748.3	400.0
4	10.00	5.00	1800.0	0.30	No	873.1	466.7
5	∞	∞	1800.0	0.30	No	997.8	533.3



**Spettro frequenze – velocità dopo l'inversione**



**Profilo  
velocità  
Modello stratigrafico**

delle  
e

### Risultati

Profondità piano di posa [m]	n.d.
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	<b>480.27</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 profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

### Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1.00	266	498	1800	0.30	128	448	277.33	332.80
2	2.00	1.00	333	623	1800	0.30	200	700	433.33	520.00
3	5.00	3.00	400	748	1800	0.30	288	1008	624.00	748.80
4	10.00	5.00	466	873	1800	0.30	392	1372	849.33	1019.2
5	oo	oo	533	997	1800	0.30	512	1792	1109.33	1331.2

G0: Modulo di deformazione al taglio;  
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
 Ey: Modulo di Young;

### CORRELAZIONI SISMICHE EMPIRICHE da Masw

**Tabella A (velocità calcolate da sismica a rifrazione e Masw)**

N. Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Poisson (-)	Vs (m/s)
1.00	1.00	1.00	498.00	0.25	287.52
2.00	2.00	1.00	623.00	0.25	359.69
3.00	5.00	3.00	873.00	0.25	504.03
4.00	10.00	5.00	997.00	0.25	575.62

**Tabella B Correlazioni SPT –Vs**

Uma Maheswari et al (2010)	$V_s = 89.31 N^{0.358}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from MASW
Dikmen (2009)	$V_s = 44 N^{0.48}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from field geoseismic tests
Hasancebi and Ulusay (2007)	$V_s = 97.89 N^{0.269}$	Developed for Cohesive Soils - Vs found from field geoseismic tests
Jafari et al (2002)	$V_s = 27 N^{0.73}$	Developed for Cohesive Soils - Vs from seismic refraction, downhole and SASW

N. Strati	Profondità (m)	Nspt
1	2.00	29
2	4.00	36
3	7.00	38
4	10.0	---

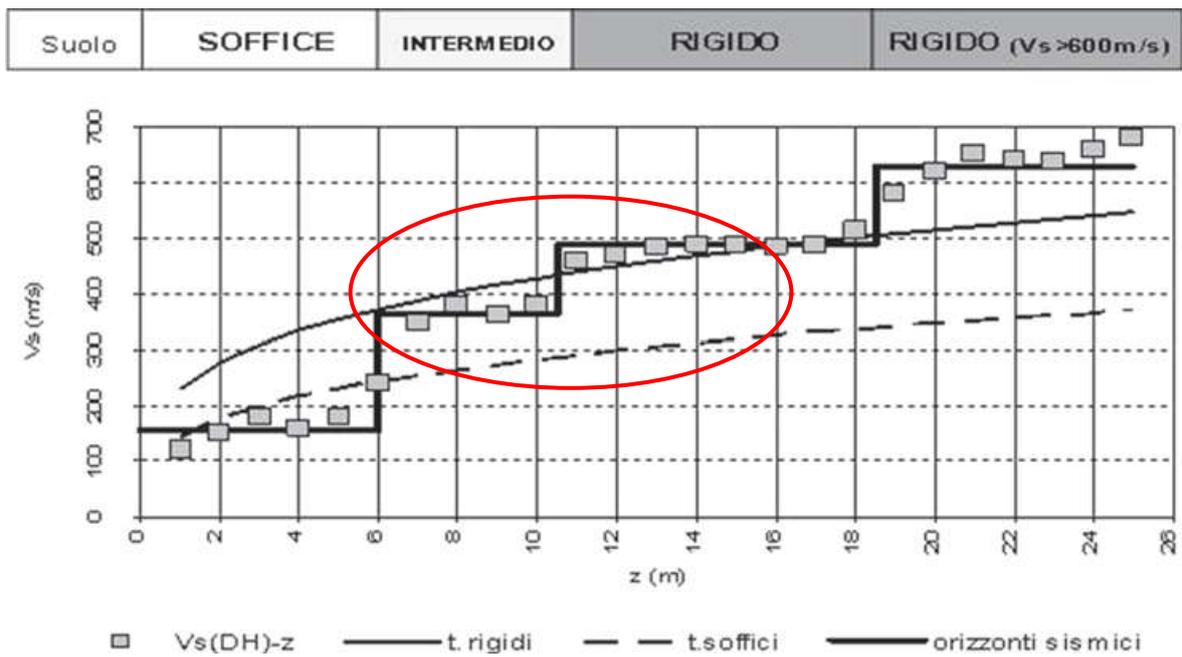
**Tabella C**

N. Strati	M. edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. attrito (gradi)	Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )
1.00	234.30	36.44	0.18
2.00	255.60	37.28	0.36
3.00	269.80	37.84	0.90
4.00	284.00	38.40	1.80

Teoria di calcolo per l'angolo di attrito: De Mello  
 Teoria di calcolo per la densità relativa: Schultze & Menzenbach

### Tabella D Profilo di rigidezza del sottosuolo in sito

Il profilo sismico, rilevato attraverso l'indagine in situ (sismica MASW), consente di identificare lo spessore di orizzonti con valori di Vs a diversa rigidità.



I suoli rinvenuti presentano velocità sismiche  $V_s$  superiori a 500 m/s da una profondità di circa 5 metri dal piano di campagna pertanto da un punto di vista sismico si può considerare un suolo rigido.

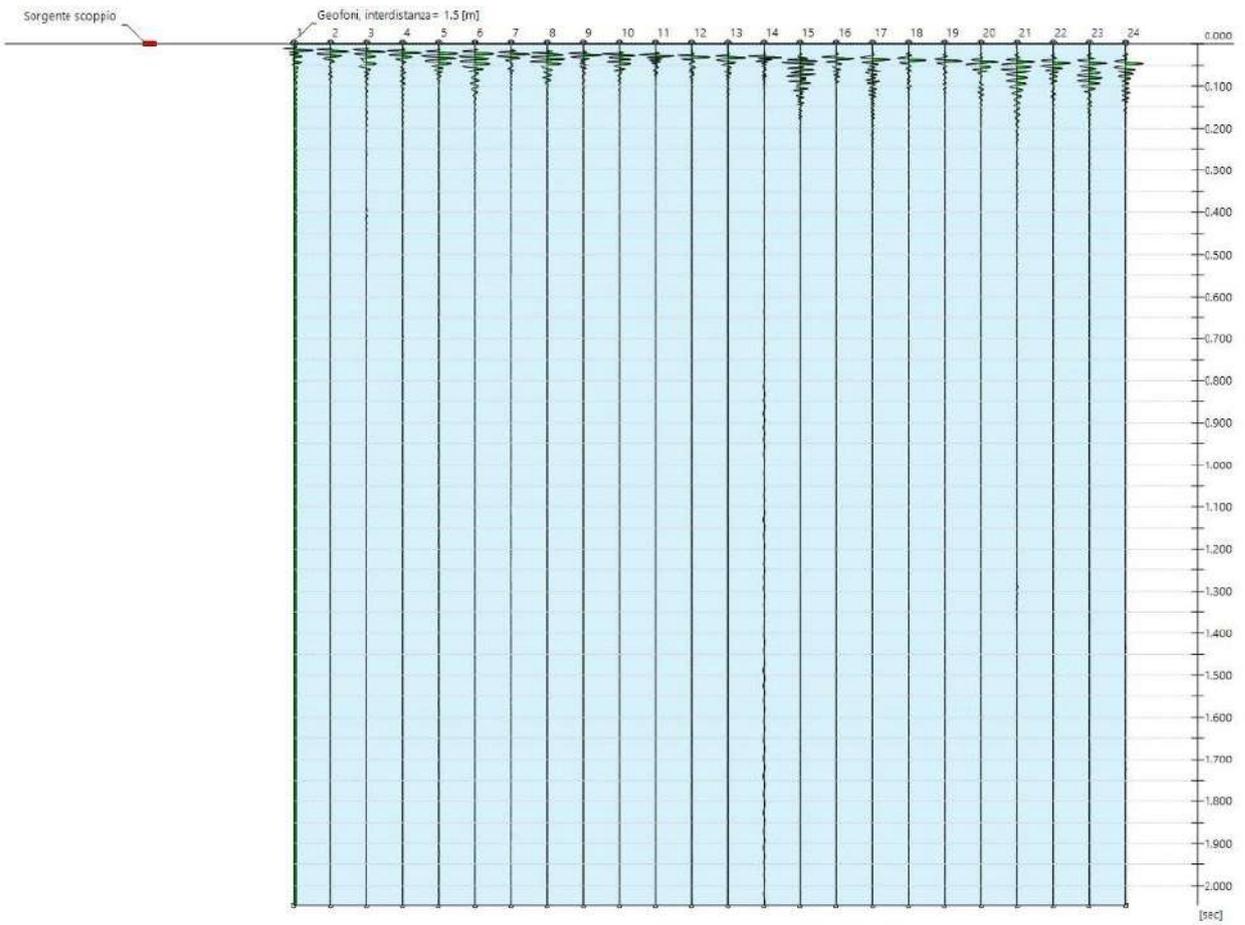
## DATI GENERALI MASW 4 (WTG 04)

<b>N. tracce</b>	24
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2048.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

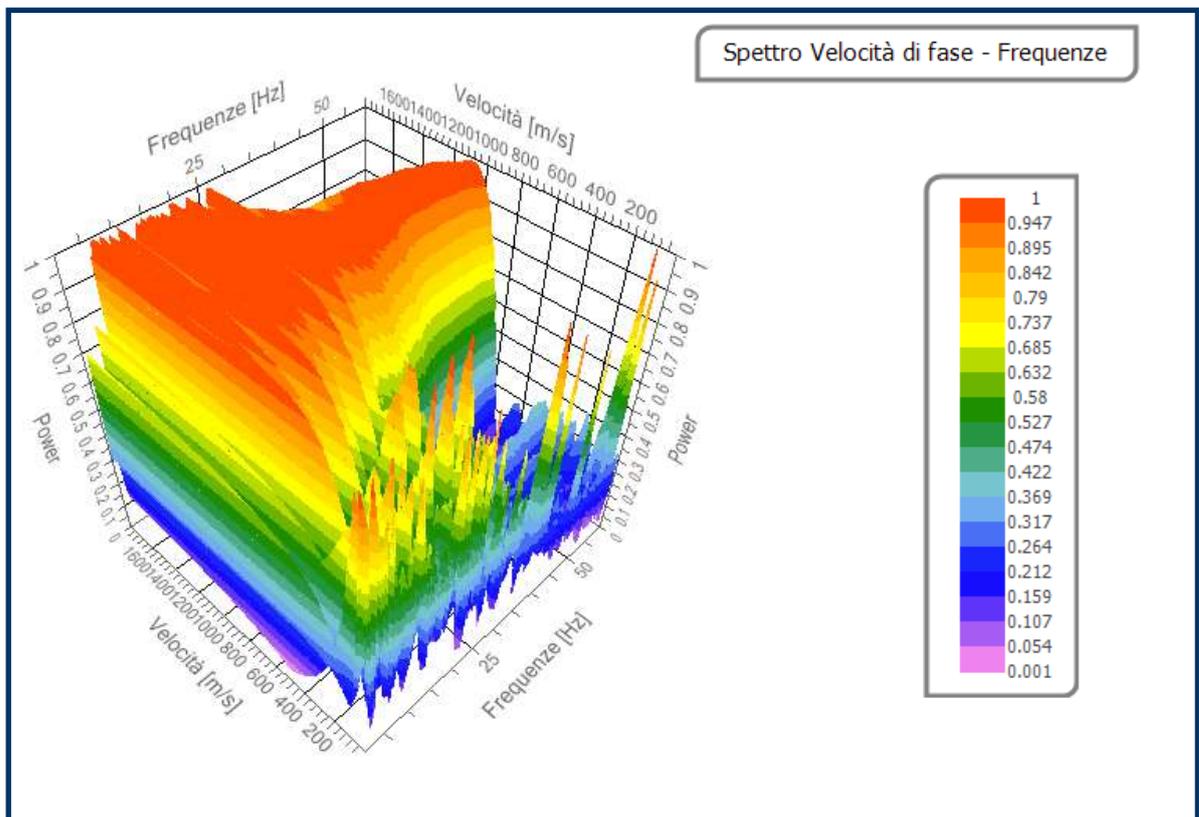
<b>Analisi spettrale</b>	
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1800
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



**Esecuzione Masw 4 (WTG 04)**



Tracce ottenute dall'indagine Masw 4 con 24 geofoni ad interdistanza di 1.5 m

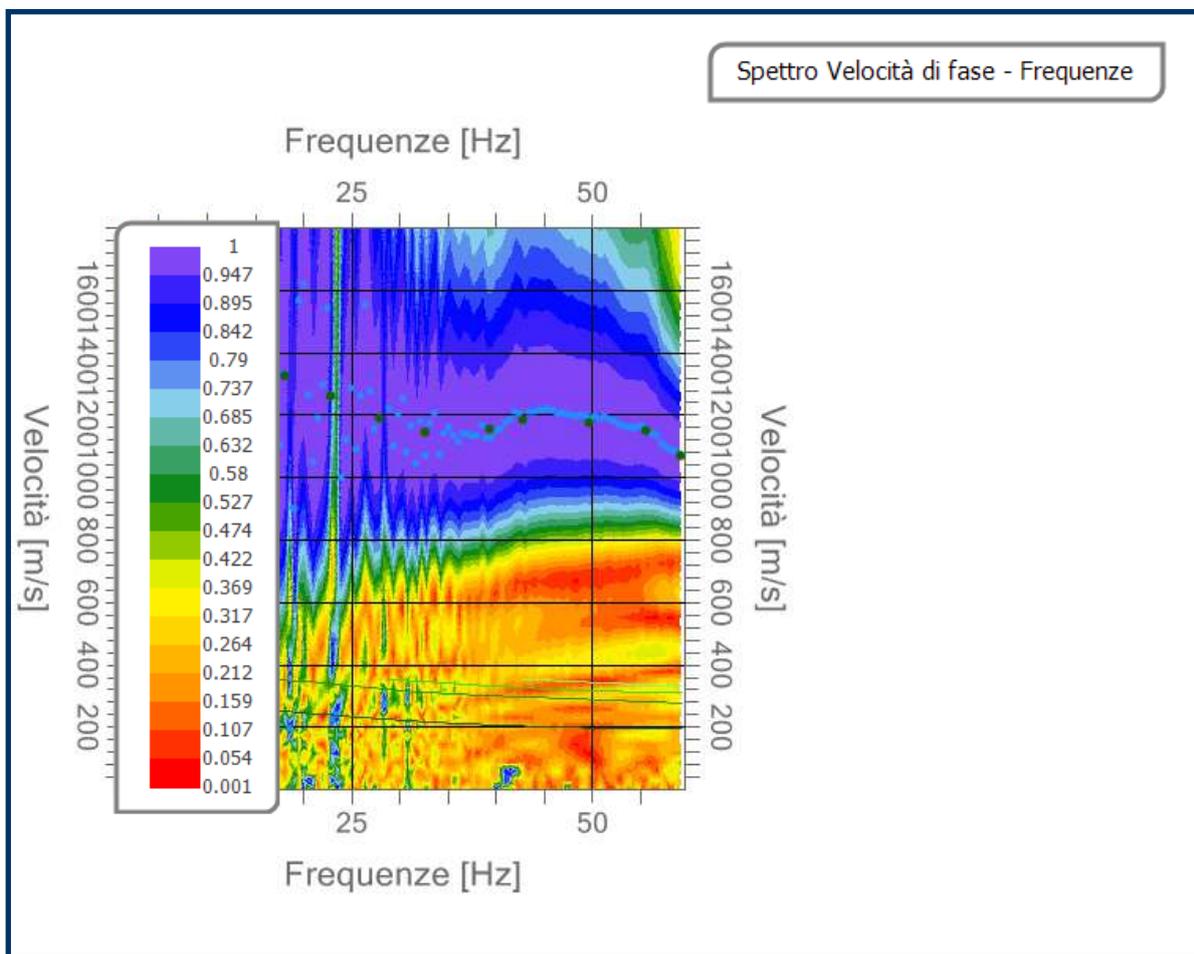


Visualizzazione 3D Spettro velocità di fase-frequenze



### Curva di dispersione

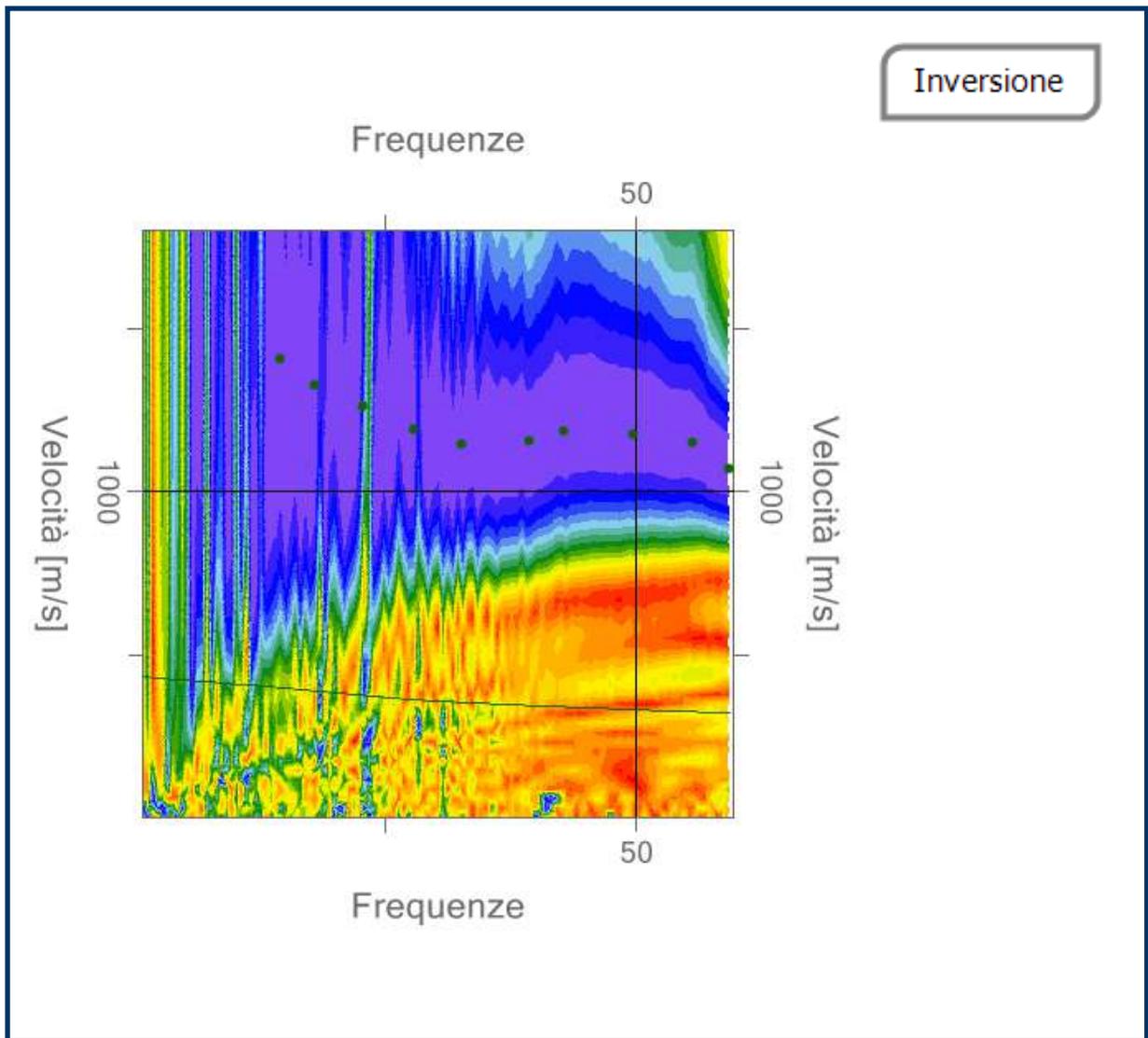
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	14.7	1405.0	0
2	18.0	1324.9	0
3	22.9	1260.8	0
4	27.9	1191.4	0
5	32.6	1143.4	0
6	39.4	1154.1	0
7	42.9	1186.1	0
8	49.7	1175.4	0
9	55.6	1148.7	0
10	59.2	1068.7	0



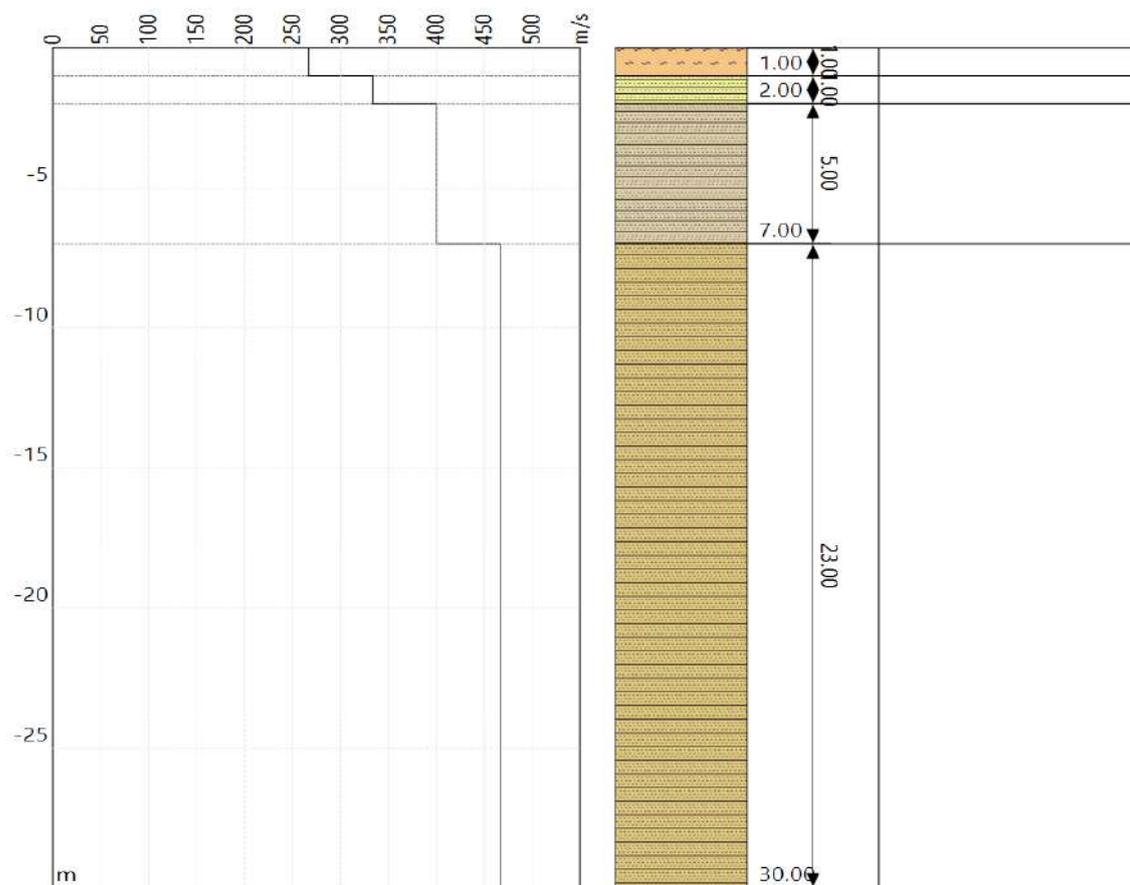
Spettro velocità di fase-frequenze

**Inversione**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800.0	0.30	No	421	216
2	2.00	1.00	1800.0	0.30	No	583	387
3	7.00	5.00	1800.0	0.30	No	735	412
4	∞	∞	1800.0	0.30	No	873	493



Spettro frequenze – velocità dopo l'inversione



**Profilo delle velocità e Modello stratigrafico**

## Risultati

Profondità piano di posa [m]	n.d.
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	<b>437.73</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 profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

## Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1.00	216	421	1800	0.30	128	448	277	332
2	2.00	1.00	387	583	1800	0.30	200	700	433	520
3	7.00	5.00	412	735	1800	0.30	288	1008	624	748
4	oo	oo	493	873	1800	0.30	392	1372	849	1019

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

CORRELAZIONI SISMICHE EMPIRICHE  
Da Masw

**Tabella A (velocità calcolate da sismica a rifrazione e Masw)**

N. Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Poisson (-)	Vs (m/s)
1.00	1.00	1.00	421.00	0.25	243.06
2.00	2.00	1.00	583.00	0.25	336.60
3.00	7.00	5.00	735.00	0.25	424.35
4.00	12.00	5.00	873.00	0.25	504.03

**Tabella B Correlazioni SPT –Vs**

Uma Maheswari et al (2010)	$V_s = 89.31 N^{0.358}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from MASW
Dikmen (2009)	$V_s = 44 N^{0.48}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from field geoseismic tests
Hasancebi and Ulusay (2007)	$V_s = 97.89 N^{0.269}$	Developed for Cohesive Soils - Vs found from field geoseismic tests
Jafari et al (2002)	$V_s = 27 N^{0.73}$	Developed for Cohesive Soils - Vs from seismic refraction, downhole and SASW

N. Strati		Nspt
1	1.00	28
2	2.00	31
3	7.00	35
4	15.00	---

**Tabella C**

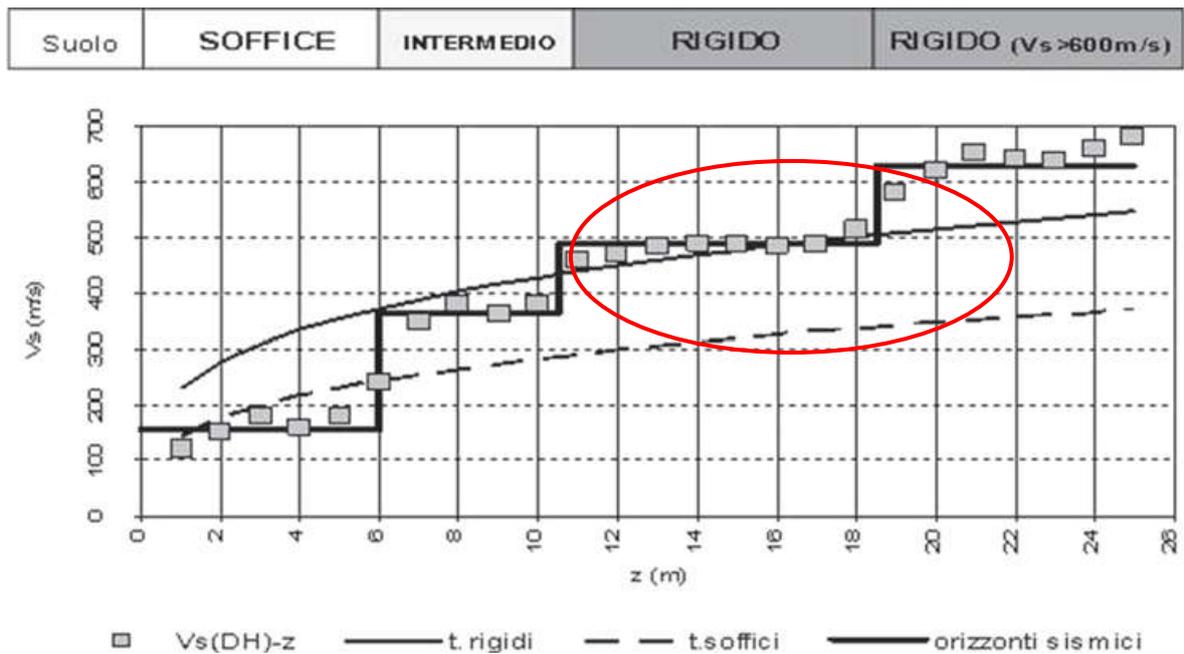
N. Strati	M. edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. attrito (gradi)	Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )
1.00	198.80	32	0.18
2.00	220.10	36	0.36
3.00	248.50	37	1.26
4.00	710.00	41	2.16

*Teoria di calcolo per l'angolo di attrito: De Mello*

*Teoria di calcolo per la densità relativa: Schultze & Menzenbach*

### Tabella D Profilo di rigidezza del sottosuolo in situ

Il profilo sismico, rilevato attraverso l'indagine in situ (sismica MASW), consente di identificare lo spessore di orizzonti con valori di  $V_s$  a diversa rigidità.

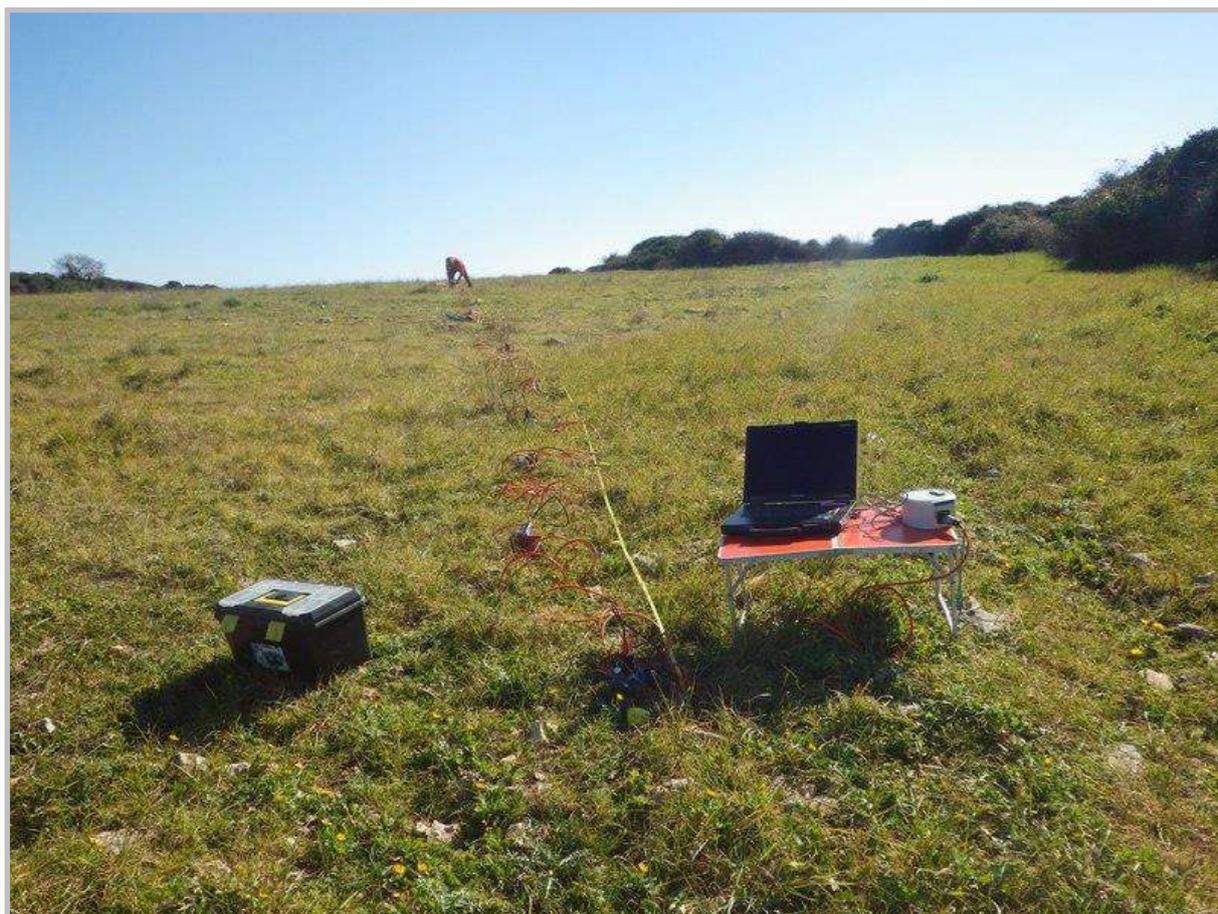


I suoli rinvenuti presentano velocità sismiche  $V_s$  superiori a 700 m/s da una profondità di circa 7 metri dal piano di campagna pertanto da un punto di vista sismico si può considerare un suolo rigido.

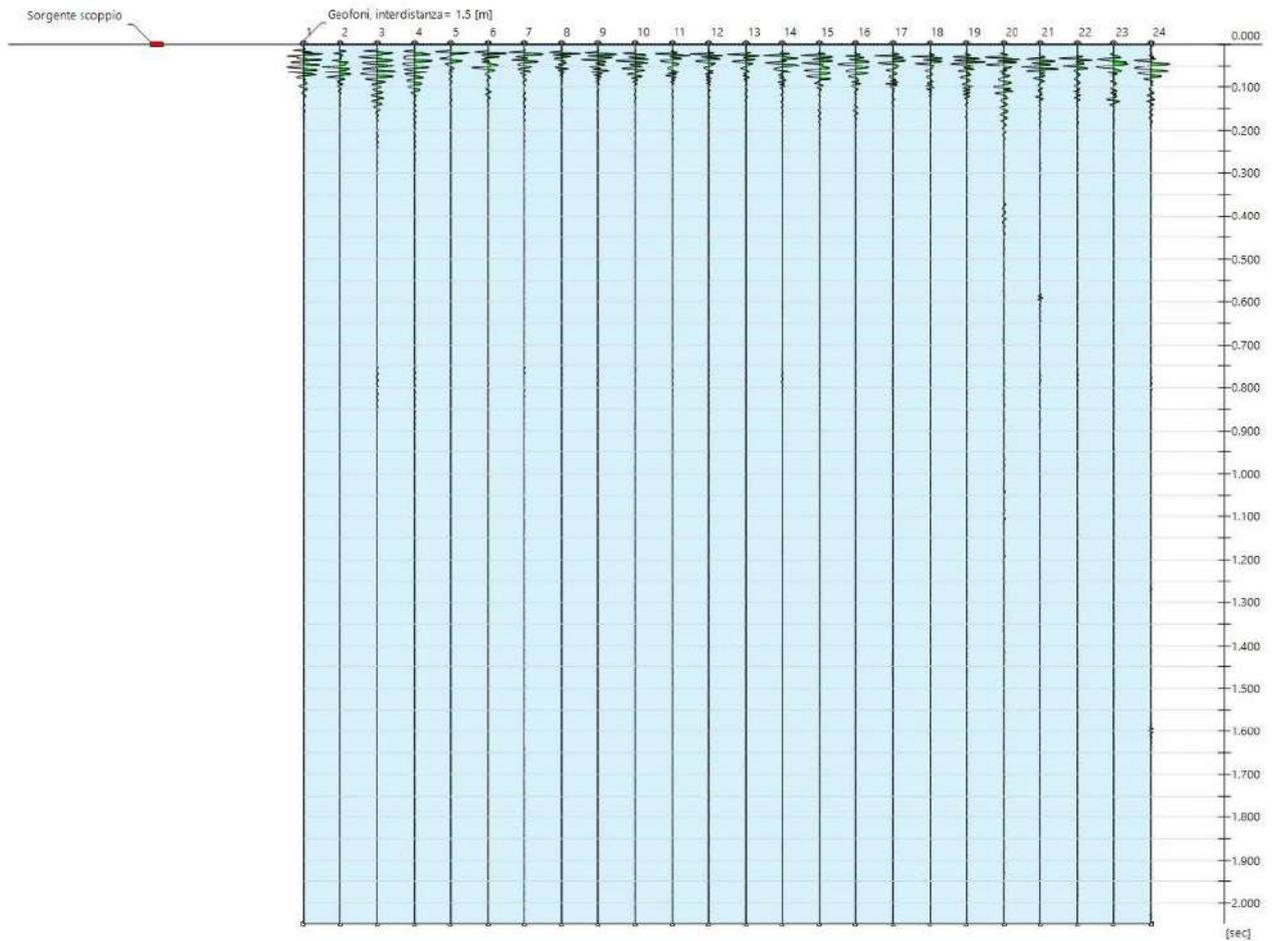
## DATI GENERALI MASW 5 (WTG 05)

<b>N. tracce</b>	24
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	2048.0
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	1.5
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	1.00

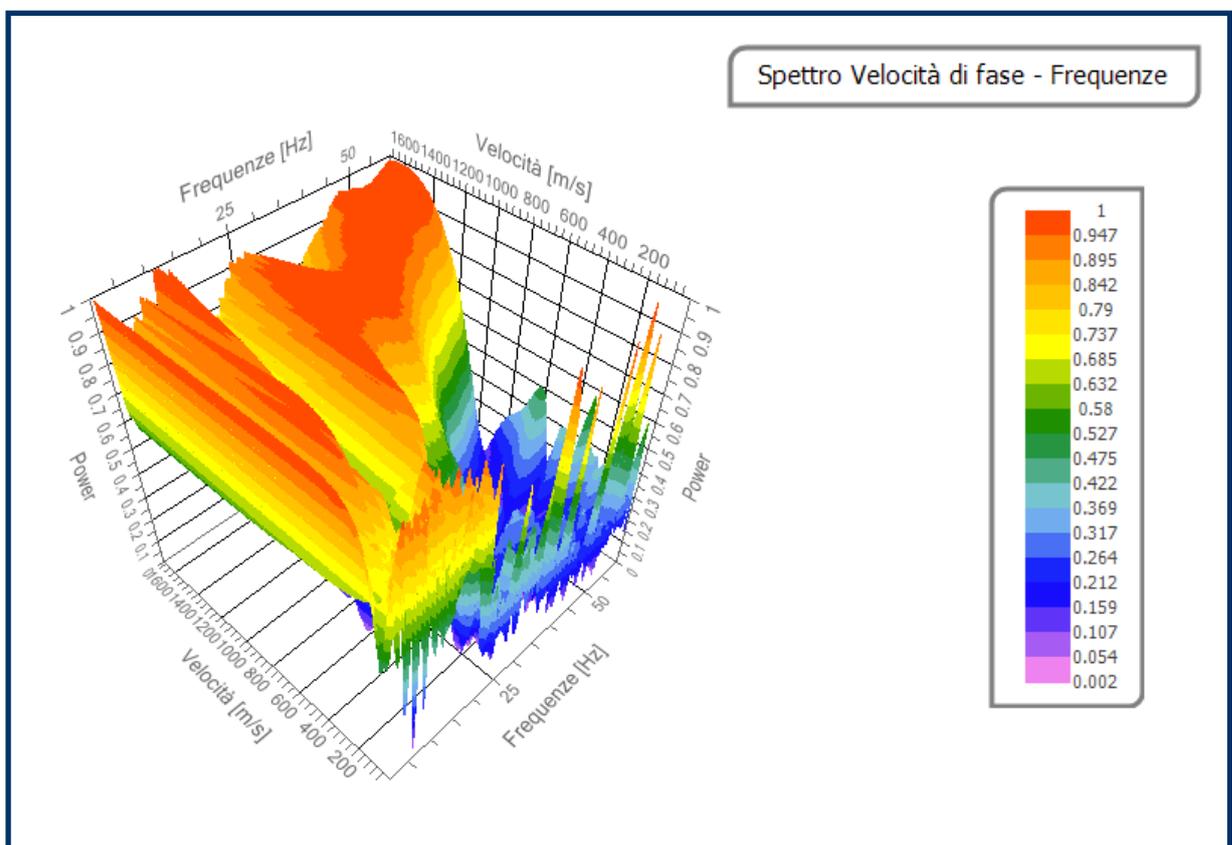
<b>Analisi spettrale</b>	
<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	1700
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



Esecuzione Masw 5 (WTG 05)



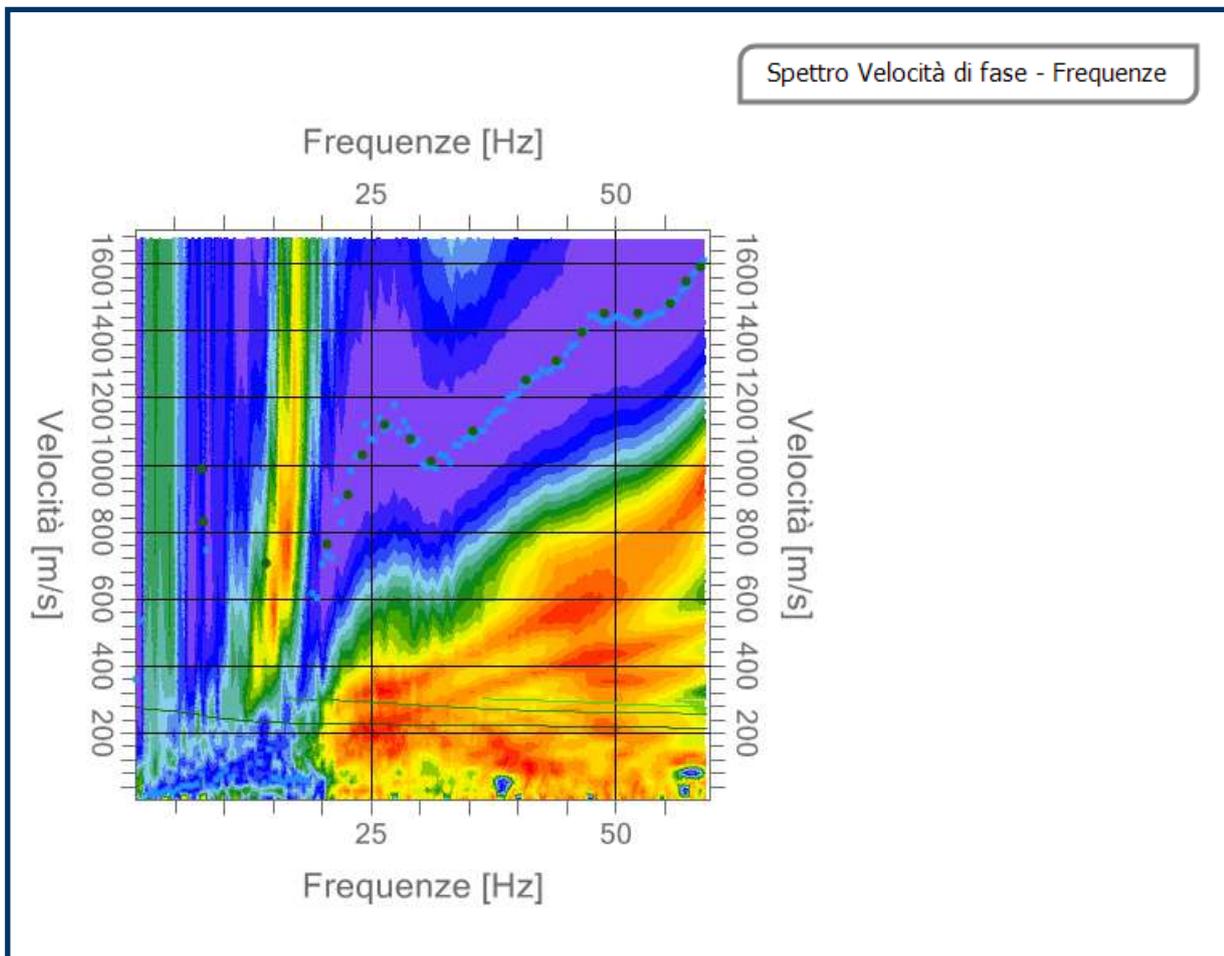
Tracce ottenute dall'indagine Masw 5 con 24 geofoni ad interdistanza di 1.5 m



Visualizzazione 3D Spettro velocità di fase-frequenze

### Curva di dispersione

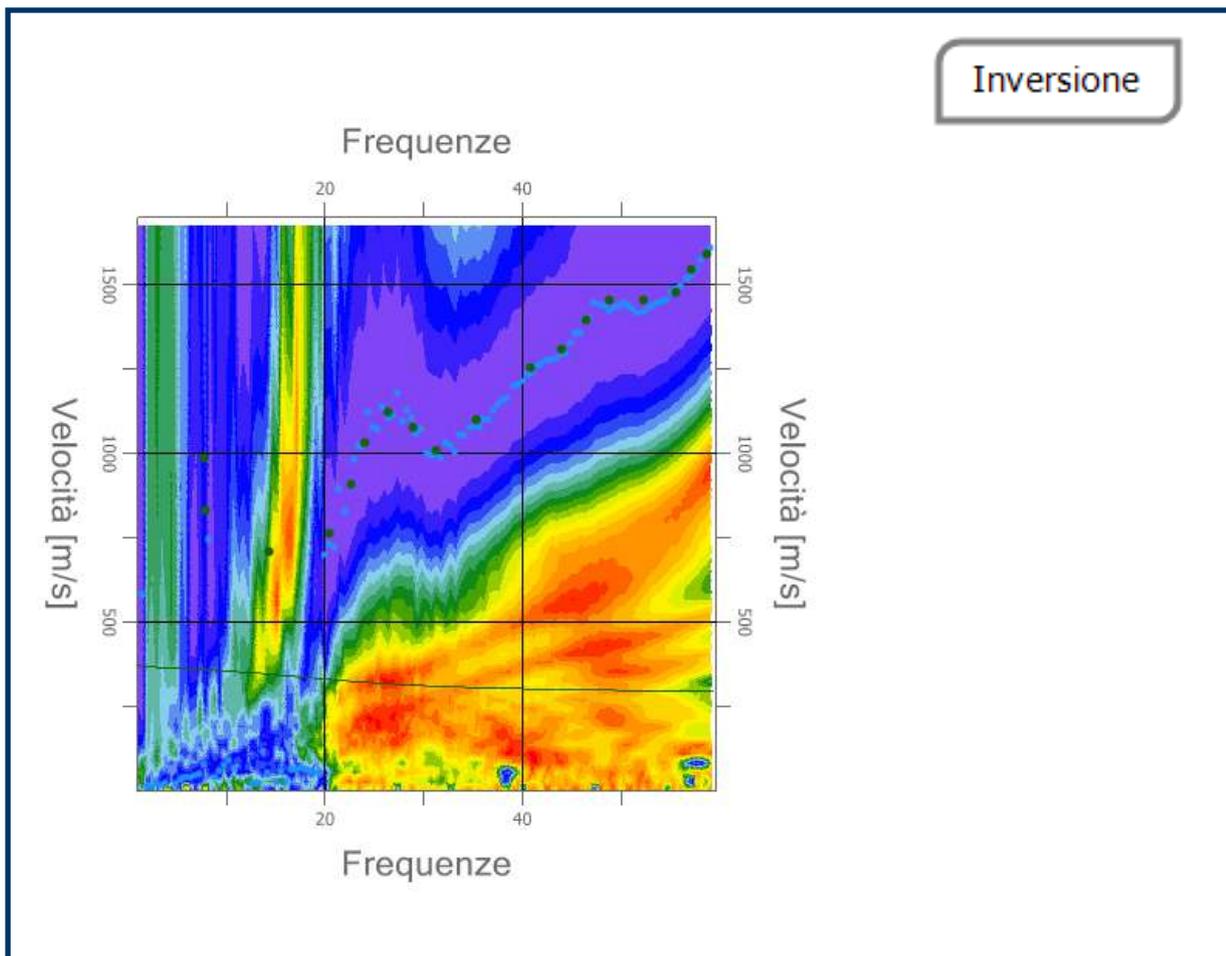
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	7.8	984.1	0
2	8.0	827.8	0
3	14.4	706.8	0
4	20.5	762.3	0
5	22.7	908.5	0
6	24.1	1029.5	0
7	26.4	1120.2	0
8	29.0	1074.8	0
9	31.3	1009.3	0
10	35.4	1100.1	0
11	40.8	1251.3	0
12	43.9	1306.8	0
13	46.6	1392.5	0
14	48.8	1453.0	0
15	52.3	1453.0	0
16	55.6	1478.2	0
17	57.2	1543.7	0
18	58.7	1589.1	0



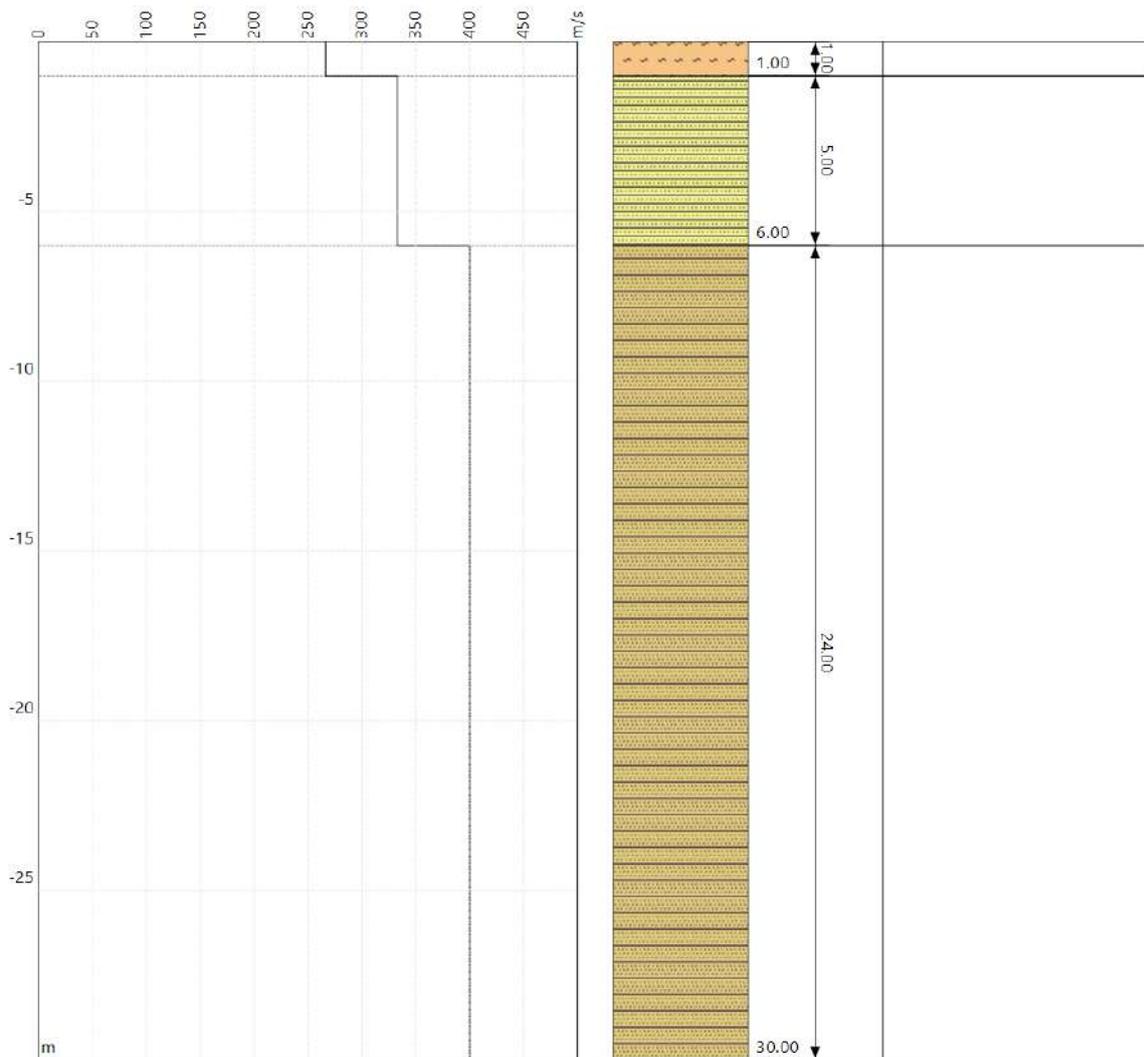
Spettro velocità di fase-frequenze

### Inversione

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.00	1.00	1800	0.30	No	485	264
2	6.00	5.00	1800	0.30	No	663	471
3	∞	∞	1800	0.30	No	718	382



**Spettro frequenze – velocità dopo l'inversione**



**Profilo delle velocità e Modello stratigrafico**

### Risultati

Profondità piano di posa [m]	n.d.
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	<b>380.95</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 profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

### Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.00	1.00	485	264	1800	0.30	135	412	251	332
2	6.00	5.00	663	471	1800	0.30	224	765	433	520
3	oo	oo	718	382	1800	0.30	297	1008	637	842

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young.

CORRELAZIONI SISMICHE EMPIRICHE  
Da Masw

**Tabella A (velocità calcolate da sismica a rifrazione e Masw)**

N. Strati	Profondità (m)	Spessore (m)	Vp (m/s)	Poisson (-)	Vs (m/s)
1.00	1.00	1.00	485.00	0.25	280.01
2.00	6.00	5.00	663.00	0.25	382.78
3.00	15.00	9.00	718.00	0.25	414.54

**Tabella B Correlazioni SPT –Vs**

Uma Maheswari et al (2010)	$V_s = 89.31 N^{0.358}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from MASW
Dikmen (2009)	$V_s = 44 N^{0.48}$	Developed for Cohesive Soils - Vs determined from field geoseismic tests
Hasancebi and Ulusay (2007)	$V_s = 97.89 N^{0.269}$	Developed for Cohesive Soils - Vs found from field geoseismic tests
Jafari et al (2002)	$V_s = 27 N^{0.73}$	Developed for Cohesive Soils - Vs from seismic refraction, downhole and SASW

N. Strati	Profondità (m)	Nspt
1	2.00	29
2	4.00	33
3	7.00	49
4	10.0	---

**Tabella C**

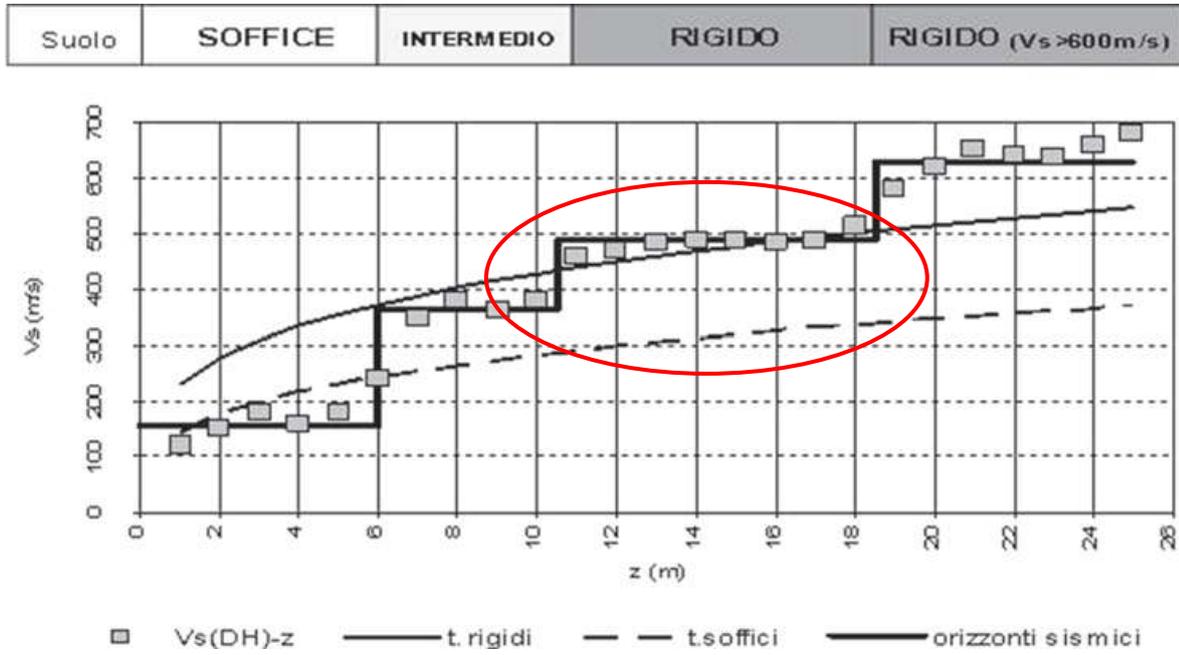
N. Strati	M. edometrico (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. attrito (gradi)	Sigma (kg/cm <sup>2</sup> )
1.00	156.20	35	0.18
2.00	241.40	37	1.08
3.00	340.80	44	2.70
4.00	710.00	-	-

*Teoria di calcolo per l'angolo di attrito: De Mello*

*Teoria di calcolo per la densità relativa: Schultze & Menzenbach*

### Tabella D Profilo di rigidezza del sottosuolo in sito

Il profilo sismico, rilevato attraverso l'indagine in situ (sismica MASW), consente di identificare lo spessore di orizzonti con valori di  $V_s$  a diversa rigidità.



I suoli rinvenuti presentano velocità sismiche  $V_s$  superiori a 600 m/s da una profondità di circa 6 metri dal piano di campagna pertanto da un punto di vista sismico si può considerare un suolo rigido.

### DETERMINAZIONE VALORI CARATTERISTICI

“Il valore caratteristico di un parametro di un terreno deve essere scelto in base ad una valutazione cautelativa del valore che influenza l'insorgere dello stato limite” (Eurocodice 7).

Nel caso in esame, si prevedono plinti di fondazione sufficientemente rigidi e resistenti e fondazioni profonde pertanto i parametri rappresentativi possono essere considerati valori medi nell'ambito dell'intero volume di terreno sottostante i manufatti stessi. Si rimanda alla fase esecutiva una campagna di indagine approfondita mediante sondaggi verticali e prove di laboratorio.

Per la stima dei valori caratteristici dei parametri geotecnici relativi allo Stato limite di Esercizio (S.L.E.) è generalmente tollerata una maggiore approssimazione; solitamente le stime di Modulo di Young e Modulo edometrico che si ottengono da prove in situ sono cautelative, di conseguenza è lecito utilizzare come valore caratteristico semplicemente un valore medio.

#### **MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO**

I valori caratteristici dei parametri geotecnici, ritenuti rappresentativi dei vari strati intercettati, sono da considerarsi preliminari dal punto di vista numerico.

Litologia: calcari

Peso di volume 1.8 KN/m<sup>3</sup>

Angolo resistenza al taglio: medio 42°

Coesione: 10 Mpa

RQD (stimato) 50%

In fase esecutiva si dovranno eseguire sondaggi in corrispondenza di ciascuna piazzola nella quale verrà installata la pala eolica al fine di verificare in modo puntuale l'assetto stratigrafico e le caratteristiche geotecniche. Si renderanno necessarie idonee prove di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati alle diverse profondità.

## 9. PERICOLOSITA' SISMICA

Le Norme Tecniche per le costruzioni definiscono le azioni sismiche di progetto a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di riferimento e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la "risposta sismica locale".

La Pericolosità Sismica di una data località è definita in termini di accelerazione attesa  $a_g$ , per prefissati valori del periodo di ritorno  $T_R$ , se sono note le ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$  con riferimento alla probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento  $V_R$ , in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

Il Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" impone la verifica delle azioni sismiche sulle nuove costruzioni.

Il territorio comunale di Ittiri è collocato in zona sismica 4, con parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento  $T_r$ , riportati nella seguente tabella. Il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari Stati Limite per cui sono state effettuate le verifiche, proprie del sito oggetto di intervento, è il seguente:

- ✚ Definizione della Vita Nominale e della Classe d'Uso della struttura, il cui uso ha portato alla definizione del Periodo di Riferimento dell'azione sismica
- ✚ Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C$  per tutti e quattro gli Stati Limite previsti: SLO, SLD, SLV, SLC
- ✚ Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica
- ✚ Calcolo del periodo  $T_C$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello Spettro

Come prima fase si determinano i parametri delle azioni sismiche di progetto

Latitudine (WSS84)	40.59927281	Longitudine (WSS84)	8.58726378	
Latitudine (ED50)	40.601023	Longitudine (ED50)	8.588232	
Località:	Parco Eolico – Comune di ITTIRI			
Altitudine (m s.l.m.).....	476			
Categoria Terreno	B			
Categoria Topografica	T1			
Classe dell'edificio	I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli..			
Vita Nominale Struttura.....	50			
Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	35			
Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g$ [-]	$F_o$ [-]	$T^*_c$ [s]
Operatività	30	0.019	2.610	0.273
Danno	35	0.020	2.610	0.280
Salvaguardia Vita	332	0.045	2.820	0.332
Prevenzione Collasso	6822	0.055	2.880	0.356

Pertanto, la pericolosità

sismica è definita dai seguenti parametri:

$A_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito,

$F_o$  = 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.

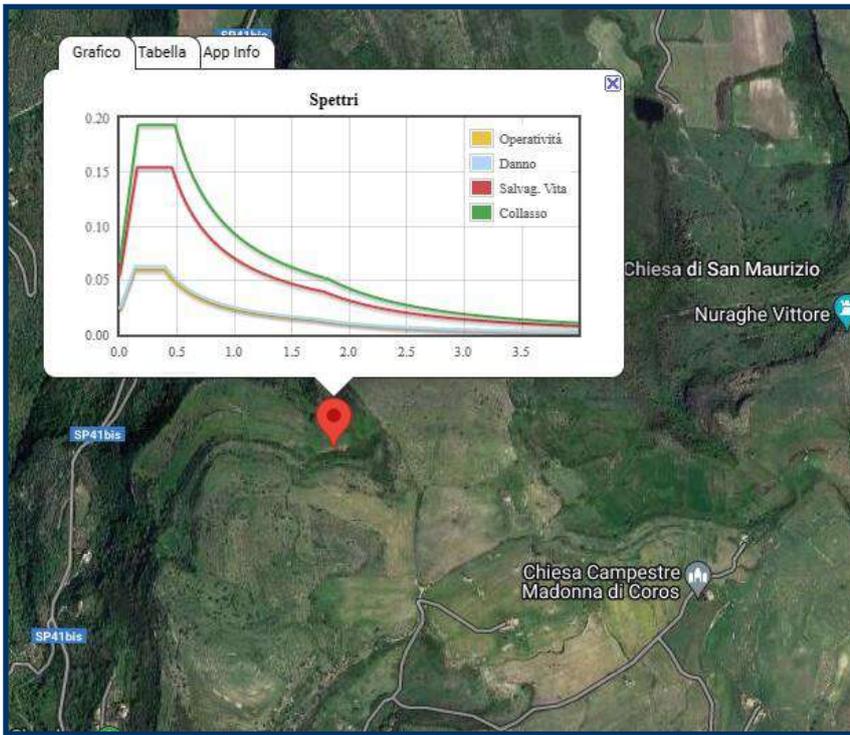
Nei confronti delle azioni sismiche gli Stati Limite, di esercizio e ultimi, sono individuati in riferimento alla costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali e non strutturali.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento, oltre che ad analisi specifiche, ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento, in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS (NTC 2018).

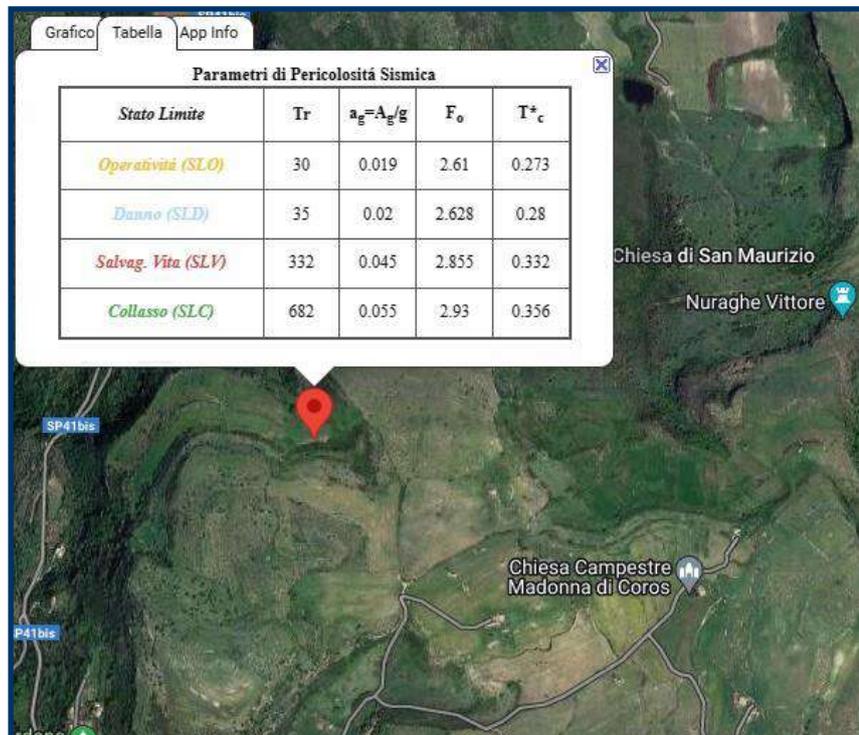
Categoria	$V_{s,eq}$
A	Velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s
B	Velocità delle onde di taglio compresi tra 360 m/s e 800 m/s 800 m/s
C	Velocità delle onde di taglio compresi tra 180 m/s e 800 m/s 360 m/s
D	Velocità delle onde di taglio compresi tra 180 m/s e 100 m/s 800 m/s
E	Velocità delle onde di taglio definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m

**Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato**

E' possibile caratterizzare un sisma attraverso gli spettri forniti dalla normativa



Spettri sismici



Parametri di Pericolosità sismica

**Calcolo dell'azione sismica orizzontale secondo il D.M. 17.01.2018 allo SLO**

Oggetto: PARCO EOLICO - COMUNE DI ITTIRI

Tipologia opera: Costruzioni con livelli di prestazioni ord	$a_g =$	0,19
$V_N = 50$ anni	$F_0 =$	2,61
Classe d'uso = I	$T^*_C =$	0,27
$C_U = 0,7$	$a_g/g =$	0,019
$V_R = 35$ anni		
Stato limite SLO PVR = 81%		
$T_R = 21$ anni		

**Coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica**

Categoria sottosuolo: C	$S_T =$	1,00
Categoria topografica: T1	$S_s =$	1,50
	$C_c =$	1,61
	$S =$	1,50

Tab. 3.2.IV	A	B	C	D	E
$S_s$	1,00	1,20	1,50	1,80	1,60
$C_c$	1,00	1,43	1,61	2,39	1,93

**Caratteristiche spettro di risposta (§ 3.2.3.4)**

$\xi = 5$  Smorzamento viscoso

$q = 1$  Fattore di struttura

$\eta = 1$  Fattore di smorzamento

$T_B = 0,147$

$T_C = 0,440$

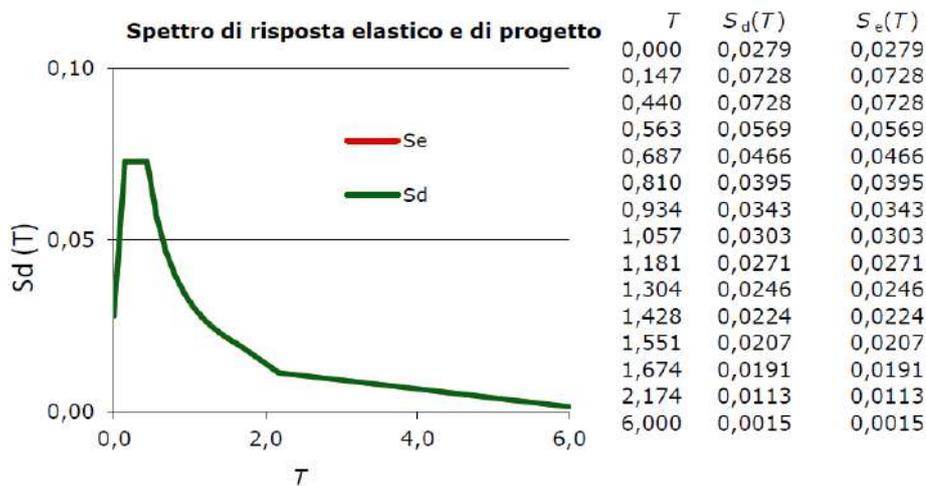
$T_D = 1,674$

$S_{e \text{ Max}} = 0,07 \text{ g}$

$S_{d \text{ Max}} = 0,07 \text{ g}$

$S_e(T_1) = 0,07 \text{ g}$

$S_d(T_1) = 0,07 \text{ g}$



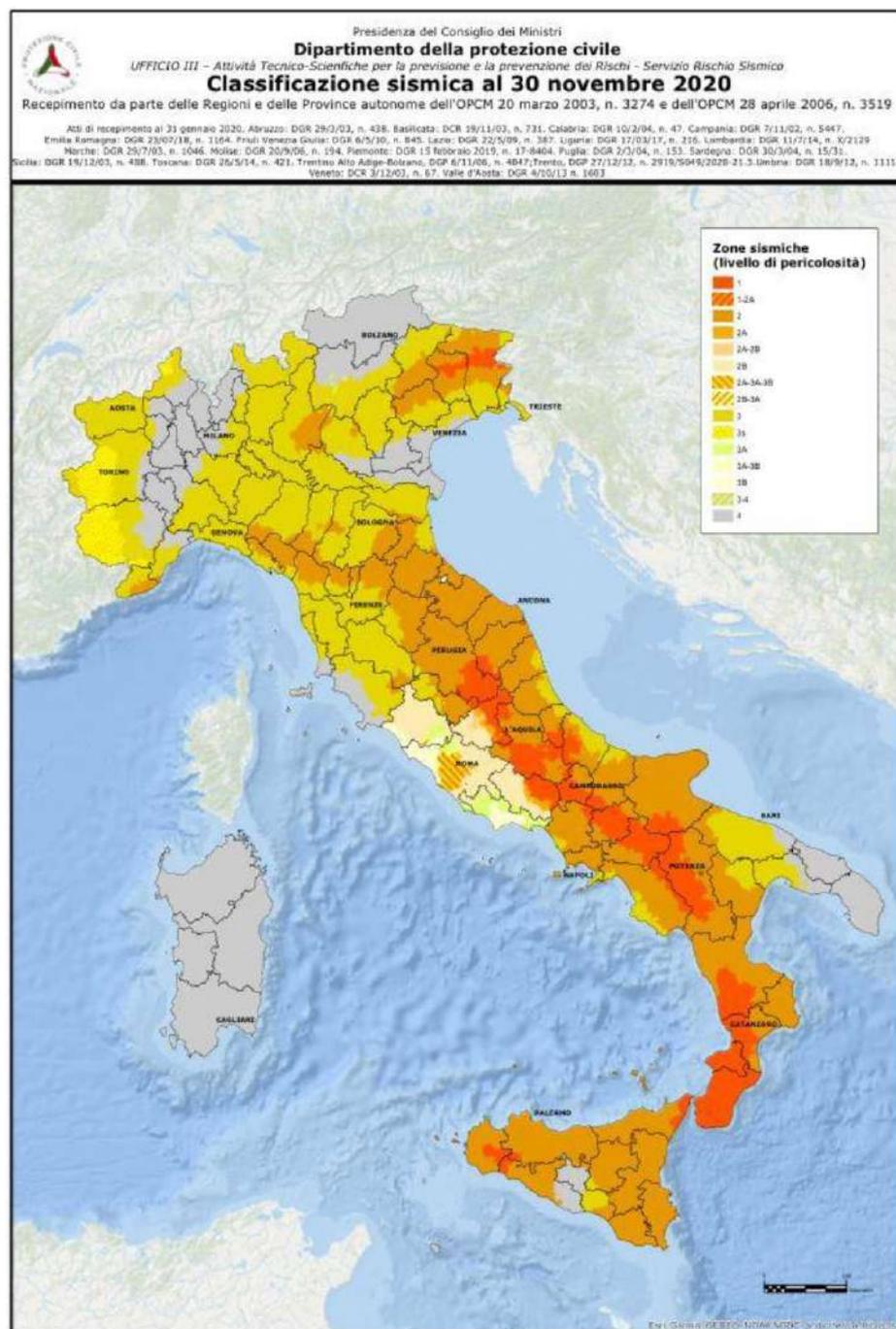
Pertanto secondo la Delib. G.R. 30/03/2004 n. 15/31 (B.U. 21/08/2004 n. 27) Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ord. P.C.M. 3274 del 20.3.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" si desume che la Regione Sardegna non ha ancora presentato una Normativa antisismica e che nella suddetta

delibera comunque l'Assessore della Difesa dell'Ambiente propone alla Giunta regionale ottenendo parere favorevole su tale proposte:

- di recepire in via transitoria, fino a nuova determinazione conseguente

l'aggiornamento della mappa di rischio sismico nazionale, in corso di redazione da parte degli Organi tecnici competenti, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna così come riportato nell'allegato "A" dell'Ordinanza 3274/2003 in cui tutti i comuni dell'isola sono classificati in Zona 4.

La normativa definisce in presenza di azione



sismica 4 classi di costruzioni in base al loro utilizzo (Classe d'uso - art. 2.4.2) a cui si associa un coefficiente d'uso ( $C_u$ ) come mostrano le Tabelle seguenti (estratte da NTC 2018).

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)
	[a <sub>g</sub> /g]	[a <sub>g</sub> /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

- ❖ Zona 1 - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali [a<sub>g</sub>/g] ≥ 0,25g.
- ❖ Zona 2 - Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali 0,25g > [a<sub>g</sub>/g] ≥ 0,15g possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- ❖ Zona 3 - Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali 0,15g > [a<sub>g</sub>/g] ≥ 0,05g possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- ❖ Zona 4 - È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali [a<sub>g</sub>/g] < 0,05g le possibilità di danni sismici sono basse.

L'area in esame è classificata come zona sismica 4, in riferimento al D.M. 17/01/2018 il tipo di costruzione e la 2 con vita nominale ≥ 50.

	TIPI DI COSTRUZIONE	V <sub>n</sub>
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La normativa definisce in presenza di azione sismica 4 classi di costruzioni in base al loro utilizzo (Classe d'uso - art. 2.4.2) a cui si associa un coefficiente d'uso (C<sub>u</sub>) come mostrano le Tabelle seguenti (estratte da NTC 2018).

<b>Classe I</b>	<b>Presenza occasionale di persone, edifici agricoli</b>
<b>Classe II</b>	<b>Normali affollamenti</b> , senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziale. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]
<b>Classe III</b>	Affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. (Ndr. <b>Scuole, Teatri, Musei, Tribune, Sale con affollamenti significativi</b> , etc.)
<b>Classe IV</b>	<b>Funzioni pubbliche o strategiche importanti</b> , anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente [...]

Classe d'uso	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Coefficiente C <sub>u</sub>	0,7	1,0	1,5	2,0

Per la scelta dei parametri progettuali, è assegnata al manufatto una vita nominale  $V_n$  (2.4.1 – NTC 2018) pari a 50 anni e una classe d'uso "I" (2.4.2 – NTC 2018).

Ne consegue che il periodo di riferimento  $V_R$  per le azioni sismiche è pari a:

$$V_R = V_n \times C_u \text{ (vita nominale = 50 * coefficiente d'uso I) = 35 anni}$$

La presenza, nell'area di indagine, di scarpate inferiori ai  $15^\circ$  non prevede lo sviluppo di fenomeni di amplificazione topografica.

Per condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III NTC 2018)

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per la categoria topografica l'area ricade nella categoria T1.

## **Conclusioni**

Sulla base del rilievo di dettaglio, delle prospezioni sismiche, dei dati bibliografici, si evince che:

- l'area, interessata dal Parco eolico costituito da cinque aerogeneratori, è caratterizzata da un punto di vista geologico dai litotipi riferibili all'Unità di Monte Santo costituiti prevalentemente da alternanze di calcari e marne;
- trattandosi di un'area prevalentemente pianeggiante si ritiene che la stabilità complessiva sia garantita anche per l'assenza di agenti geodinamici perturbanti;
- l'area non risulta interessata da alcun vincolo del Piano di assetto idrogeologico;
- dalle prime valutazioni preliminari si ritiene che i terreni presentino caratteristiche geomeccaniche compatibili con le opere in progetto;
- si ritiene in fase esecutiva approfondire la conoscenza delle caratteristiche geotecniche mediante la programmazione di una campagna di sondaggi e relative analisi di laboratorio per caratterizzare puntualmente l'area di sedime e poter correttamente valutare la tipologia di fondazione più idonea ai sensi del Decreto Ministeriale 17/01/2018 (NTC 2018).