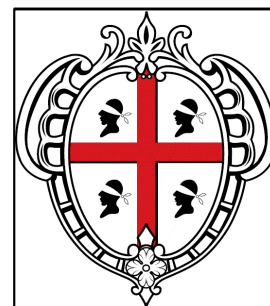




PROVINCIA DI
SASSARI



COMUNE DI
PLOAGHE



REGIONE
SARDEGNA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO

Potenza massima di picco: 32,779 MWp
Potenza massima di immissione: 30,670 MW

ELABORATI PROGETTUALI

CODICE ELABORATO

TITOLO ELABORATO

AF.GEO.R01

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE



INE Ploaghe 1 Srl

A Company of ILOS New Energy Italy

INE PLOAGHE 1 S.r.l.

Piazza di Sant' Anastasia, 7 - 00186 Roma (RM)

P.IVA 16965321009

pec: ineploaghe1srl@legalmail.it

PROGETTAZIONE



GreenShare

GreenShare S.r.l.

Open Campus Coworking

S.S. 195 Km 2.300

09123 Cagliari (CG)

info@green-share.it



GEOL. COSIMA ATZORI

*Iscritta all'Ordine dei Geologi
della Sardegna al n.656*

ENTI

DATA: OTTOBRE 2023

FORMATO: A4

SCALA: ---



INDICE

1. PREMESSA	4
1.1. Quadro normativo	4
2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO	5
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE	6
4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA	10
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	13
5.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento	13
5.2. Successione sedimentaria miocenica	19
5.3. Successione vulcanica oligo-miocenica	20
5.4. Caratteri geostrutturali, geometria e caratteristiche delle superfici di discontinuità	20
6. INQUADRAMENTO CLIMATICO	22
6.1. Precipitazioni	23
6.2. Temperature	24
6.3. Stima dell'Evapotraspirazione	25
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	34
7.1. Analisi dell'area geomorfologicamente significativa al progetto	34
8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	35
8.1. Schema della circolazione idrica superficiale	35
8.2. Schema della circolazione idrica sotterranea	37
8.3. Dissesti in atto o potenziali che possono interferire con l'opera e loro tendenza evolutiva	42
9. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	42
10. USO DEL SUOLO	44
11. INDAGINI GEOGNOSTICHE	45
11.1. M.A.S.W. – Tecnica e parametri utilizzati	46
11.2. M.A.S.W. – Elaborazione risultati	48
11.2.1. Base sismica M1	48
11.2.1. Base sismica M2	50
12. ANALISI E SISMICITA' STORICA	52
12.1. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento	53
13. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI	56
13.1. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	57
13.2. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	58
13.3. Inventario dei fenomeni franosi (IFFI)	59
13 MODELLO GEOLOGICO	61



14 FATTIBILITA' GEOLOGICA - GEOTECNICA.....	62
15 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL PIANO SULLE COMPONENTI AMBIENTALI SUOLO, SOTTOSUOLO E ACQUE.....	64



Indice delle figure

Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto	6
Figura 2 Inquadramento topografico CTR 1:10.000	7
Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25	8
Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)	9
Figura 5 Vista laterale e frontale delle strutture di sostegno e dei pannelli	11
Figura 6 Sezioni tipo della trincea per la posa dei cavidotti	12
Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	13
Figura 8 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata nel cerchio rosso (tratto dalla C.G.I. in scala 1:50.000 - Foglio 459 Sassari)	15
Figura 9 Schema dei rapporti stratigrafici del Bacino del Logudoro (tratto da Funedda et alii, 2000).....	15
Figura 10 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 193 "Bonorva"	17
Figura 11 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse.....	19
Figura 12 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Ploaghe (2008-2012) di Osilo (anno 2013-2021).	23
Figura 13 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni pluviometriche di Ploaghe (2008-2012) e di Osilo (anno 2013-2021).....	24
Figura 14 Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, in quella di Sassari per gli anni 2012-2019, e nella stazione di Osilo per il periodo 2020-2021.	25
Figura 15 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, in quella di Sassari per gli anni 2012-2019, e nella stazione di Osilo per il periodo 2020-2021.....	25
Figura 16 Bilancio idro-meteorologico (espresso in mm) per il periodo ottobre 2020-marzo 2021 con la zona oggetto di interesse delimitata in rosso.	26
Figura 17 Bilancio idro-meteorologico (espresso in mm) per il periodo aprile 2021-settembre 2021 con la zona oggetto di interesse delimitata in rosso.	27
Figura 18 Media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Fertilia, espressa in okta.....	28
Figura 19 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata presso la stazione meteorologica di Ozieri relativa all'anno 2017 (mese giugno).	29



Figura 20 Ventosità annuale espressa come intensità e direzione rilevata presso la stazione meteorologica di Porto Torres relative all'anno 2016 e 2021.	30
Figura 21 Umidità relativa per la stazione di Porto Torres, per l'anno 2021.	31
Figura 22 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Ploaghe.	32
Figura 23 Climogramma relativo all'area di Ploaghe.	33
Figura 24 Caratteri geomorfologici dell'area vasta e significativa.	35
Figura 25 Suddivisione dei bacini idrografici sardi	36
Figura 26 Carta dell'idrografia superficiale.	38
Figura 27 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo	38
Figura 28 Carta delle permeabilità dei substrati	39
Figura 29 Ubicazione pozzi esistenti (Fonte Archivio Nazionale sulle indagini nel sottosuolo)	40
Figura 30 Monografie pozzi esistenti (Fonte Archivio Nazionale sulle indagini nel sottosuolo)	41
Figura 31 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari"	41
Figura 32 Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS)	43
Figura 33 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo, (Fonte RAS)	44
Figura 34 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m	46
Figura 35 Localizzazione stendimento nell'area vasta	47
Figura 36 Particolare dell'ubicazione degli stendimenti M1 e M2	48
Figura 37 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Idraulica Hi e pericolosità geomorfologica Hg (fonte RAS).....	56
Figura 38 Inquadramento PGRA (fonte RAS).....	58
Figura 39 Inquadramento PSFF (fonte RAS)	59
Figura 40 Archivio IFFI (fonte ISPRA): frane censite nell'area vasta.	60
Figura 41 Archivio IFFI (fonte ISPRA): pericolosità e rischio per il territorio oggetto di studio.	60
Figura 42 Curva di compattazione da prove di laboratorio in terreni incoerenti	62
Figura 43 Curva di compattazione in terreni coerenti.....	62



1. PREMESSA

Il proponente **INE PLOAGHE 1 S.r.l.** intende realizzare un impianto agrivoltaico in località "**Monte Mura**" nel **Comune di Ploaghe** e denominato "**INE Ploaghe 1**", per il cui progetto è stato conferito da **GreenShare S.r.l.**, alla scrivente Geol. Cosima Atzori, regolarmente iscritta all'Albo Professionale dei Geologi della Sardegna al n°656, con studio in Sestu (CA) – C.D. Pittarello - Loc. Scala Sa Perda 87, C.F. TZRCSM72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l'incarico professionale per la redazione della **Relazione Geologica**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC), con l'obiettivo di evidenziare, in via preliminare, le caratteristiche geologico-morfologiche e il comportamento fisico-meccanico dei terreni interessati dalle opere in progetto.

1.1. QUADRO NORMATIVO

La presente è redatta in ottemperanza a quanto stabilito dalla vigente normativa in materia, con particolare riferimento a:

- D.M. LL.PP. 11.03.1988 "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni pe l'applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- D.lgs. n. 152/2006 Norme in materia ambientale
- DPR 59/2013 Regolamento recante la disciplina dell'autorizzazione unica ambientale e la semplificazione di adempimenti amministrativi in materia ambientale gravanti sulle piccole e medie imprese e sugli impianti non soggetti ad autorizzazione integrata ambientale
- Dgls 50/2016 Codice dei contratti pubblici
 - Deliberazione n. 6/16 del 14 febbraio 2014- Direttive in materia di autorizzazione unica ambientale. Raccordo tra la L.R. n. 3/2008, art.1, commi 16-32 e il D.P.R. n. 59/2013.



2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO

Le informazioni topografiche e geologiche dell'area oggetto della presente sono state ricavate dalla cartografia tematica esistente. Si elencano di seguito:

- Carta Topografica I.G.M. scala in 1:25000
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000
- RAS - Modello digitale del Terreno con passo 1m
- Carta Geologica dell'Italia in scala 1:100000.
- Cartografia Geologica di base della R.A.S. in scala 1:25000
- RAS - Carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna, 2008
- I.S.P.R.A. - Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (legge 464/84)
- RAS – Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, annali idrologici 1922-2009
- RAS – ARPA – Dati meteorologici 1971-2000 e 2014
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico
- RAS – Autorità di Bacino - Piano di Tutela delle Acque
- RAS – Autorità di Bacino - Piano Stralcio delle Fasce Fluviali
- Analisi orto-fotogrammetrica

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna delle indagini geofisiche eseguite dalla scrivente in località vicine alla zona di interesse. È stata altresì realizzata una campagna di indagini geofisiche nel sito in studio.



3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Ploaghe è un comune di 4.292 abitanti, in provincia di Sassari, situato nella parte Nord Occidentale dell'isola e confinante, partendo da nord in senso orario, coi comuni di Nulvi, Chiaramonti, Ardara, Siligo, Codrongianos e Osilo.

Il terreno sul quale verrà realizzato il progetto ricade ad est dell'abitato di Ploaghe, in particolare nella località "**Monte Mura**".

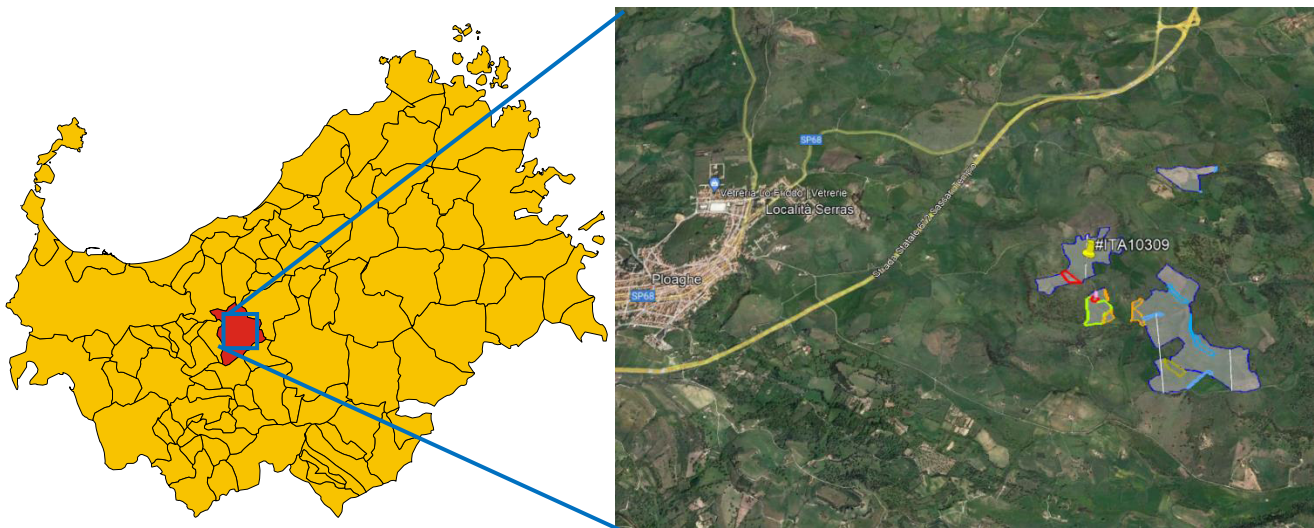


Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto

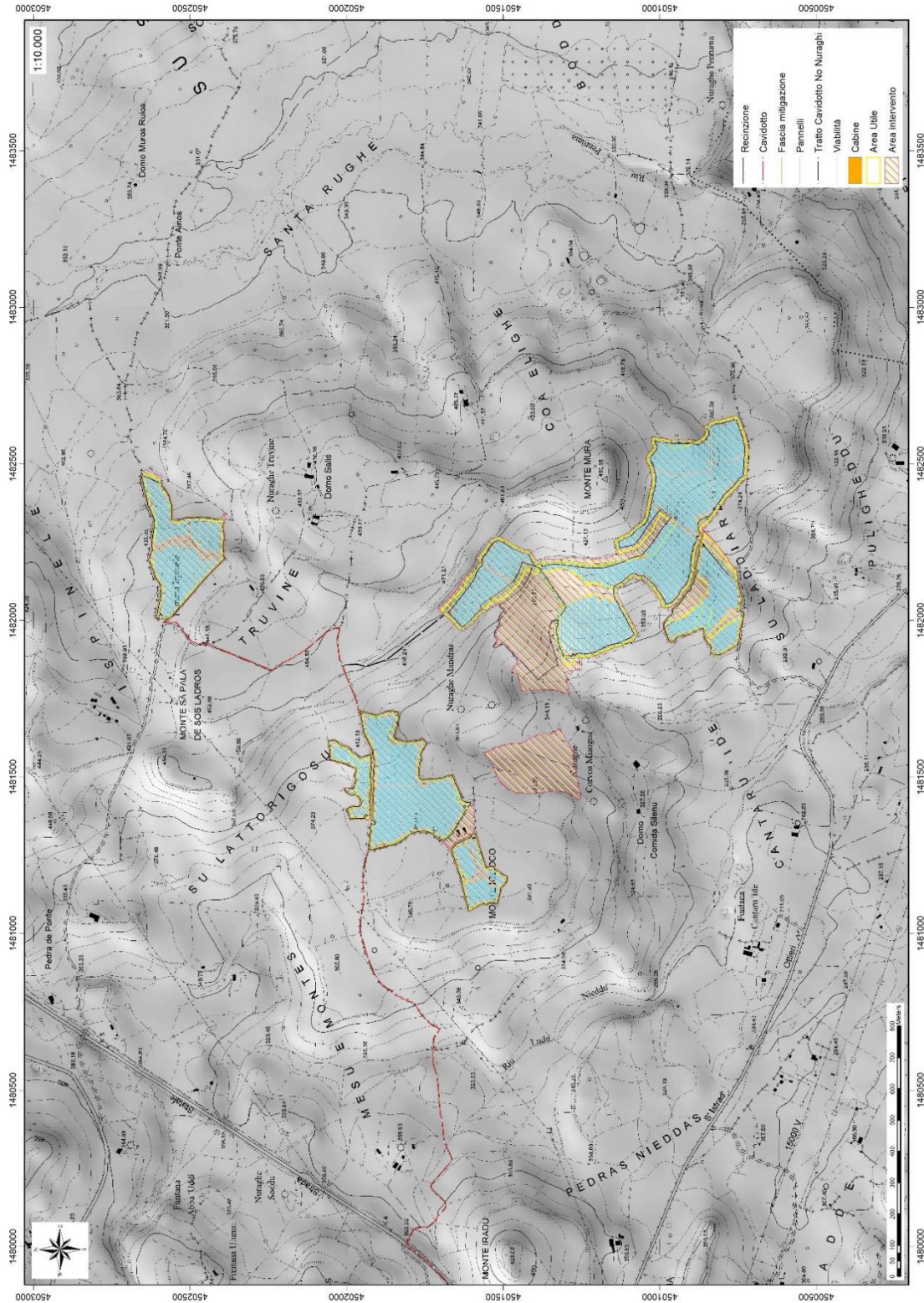
Le coordinate geografiche Gauss Boaga del centroide ipotetico di riferimento della porzione di impianto in località "**Monte Mura**" sono: **1.481.436E - 4.501.729N**

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 foglio **460 III "Ploaghe"**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – sez. **460100 "Ploaghe"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:50000 – foglio **460 "Ploaghe"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:100000 – fogli **180 "Sassari"-193 "Bonorva"**



Figura 2



Inquadramento topografico CTR 1:10.000

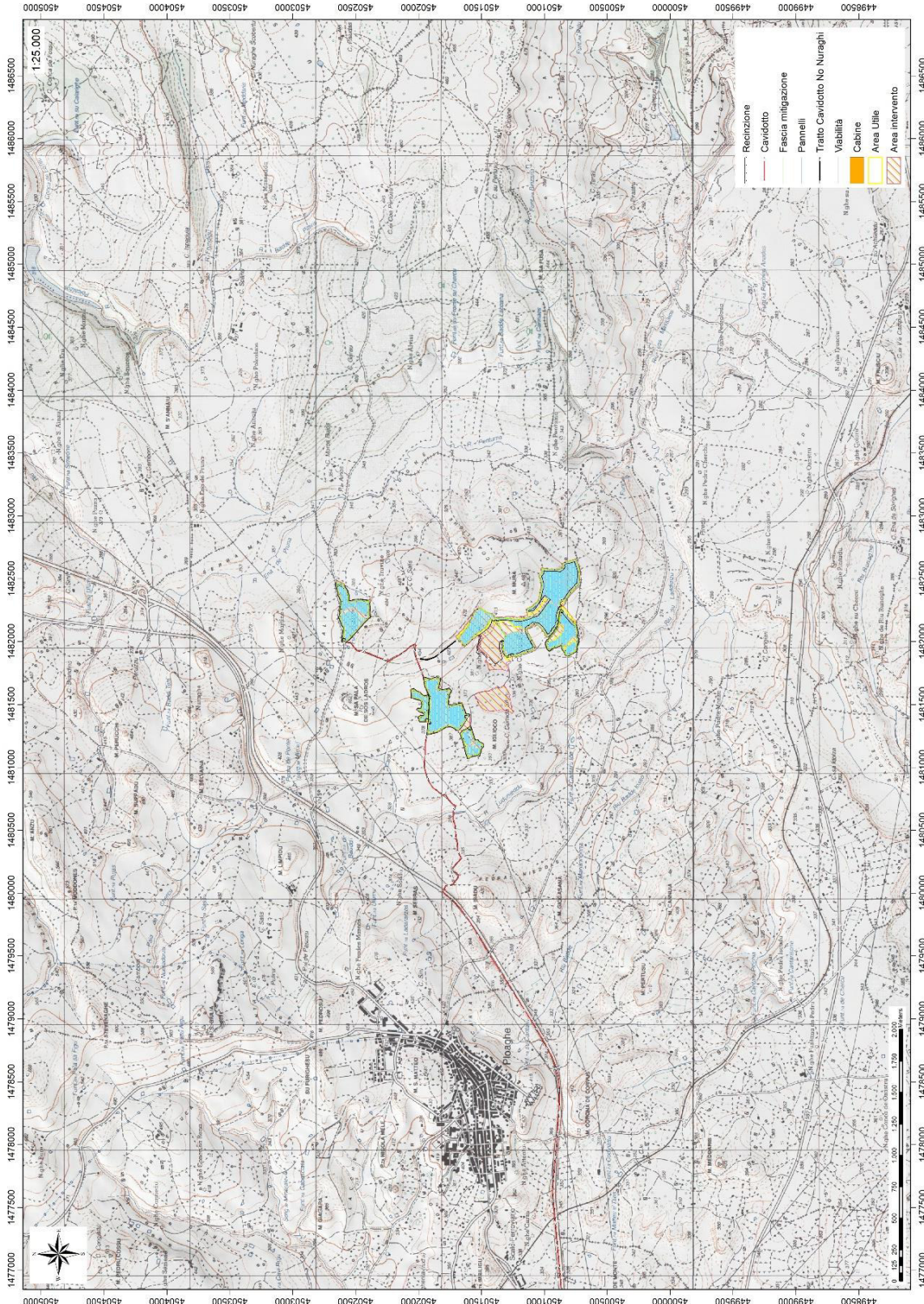


Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25



GreenShare

GreenShare S.r.l.
Open Campus Coworking
SD.S 195 Km 2.300
09123 Cagliari (CA)
info@green-share.it

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "INE Ploaghe 1"

Loc. Monte Mura - Comune di Ploaghe (SS)

AF.GEO.R01

Relazione Geologica

Pag.9 di 66

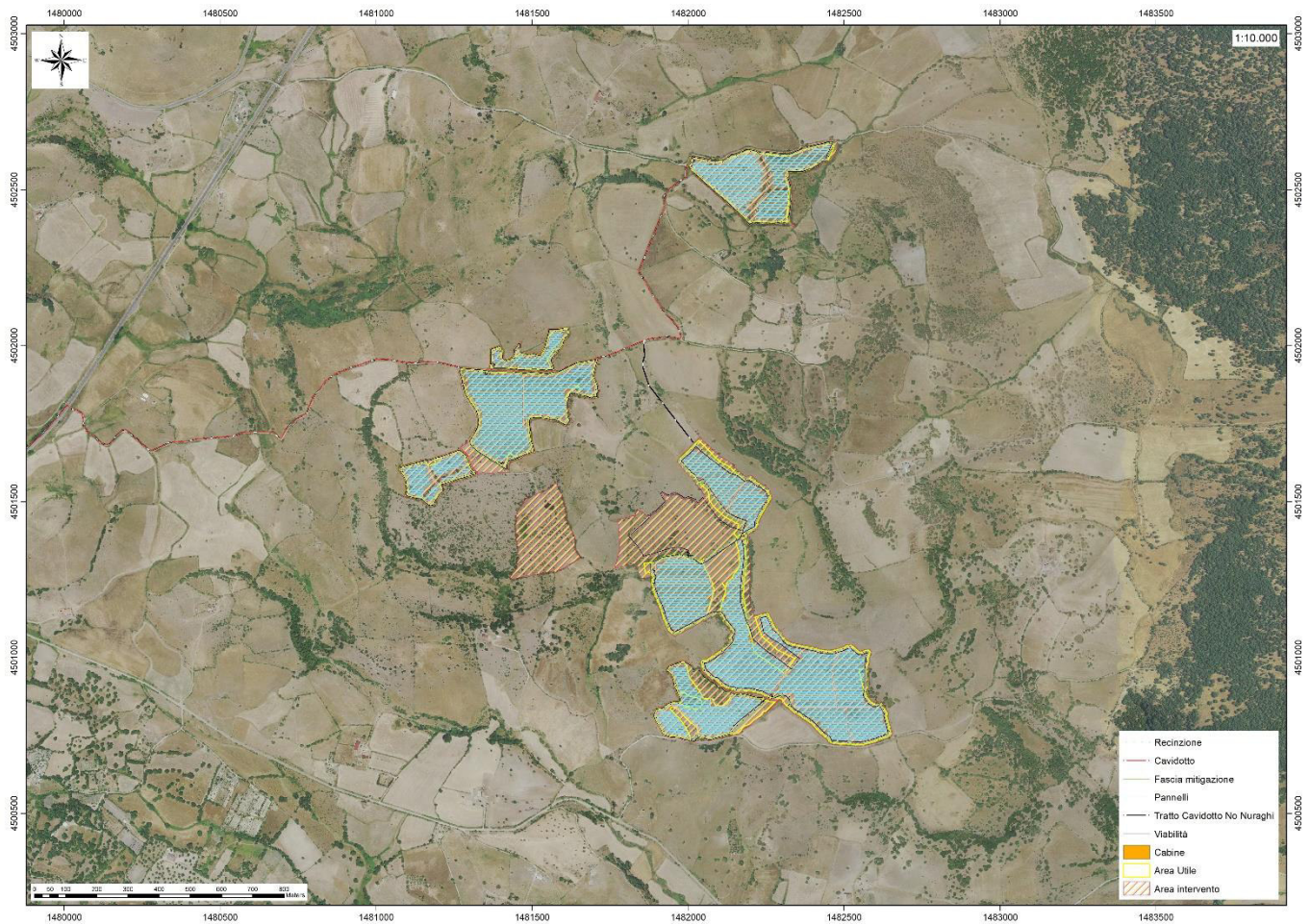


Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)

Dott.ssa Geol.
COSIMA ATZORI

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA
Sezione A n°656



Studio Tecnico di Geologia
Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente

info@gaiacconsulting.eu
posta-certificata@pec.gaiacconsulting.eu



4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico, denominato "INE Ploaghe 1", della potenza di 32,779 MWp da costruire ad Est rispetto al centro abitato del Comune di Ploaghe (SS) su terreni agricoli. Il cavidotto, che sarà completamente interrato, sarà posizionato lungo strade pubbliche, senza andare ad intaccare l'ambiente circostante. Solo nel caso dei cavidotti di collegamento dei sotto-campi esso attraverserà terreni agricoli di proprietà privata, ma anche in questo caso varrà il principio della minimizzazione dell'impatto sull'ambiente circostante.

I terreni interessati all'impianto fotovoltaico si trovano a circa 2 km ad Est rispetto al centro abitato di Ploaghe (SS).

I moduli fotovoltaici saranno montati su strutture metalliche fisse con azimut 0°. L'impianto sarà connesso alla Rete Nazionale e prevede la totale cessione dell'energia prodotta alla Società Terna S.p.A.

L'impianto agrivoltaico in oggetto avrà le seguenti caratteristiche:

- potenza installata lato DC: 32,78 MWp;
- potenza dei singoli moduli: 670 Wp;
- n. 11 cabine di conversione e trasformazione dell'energia elettrica;
- n. 3 cabina di raccolta e controllo AT
- n. 4 cabina magazzino;

sarà inoltre costituito inoltre da:

- rete elettrica interna a bassa tensione e corrente continua;
- rete elettrica interna a 36 kV per il collegamento sia in entra-esce che ad anello delle cabine di trasformazione fino alla cabina di raccolta e tra quest'ultima e il
 - punto di consegna alla RTN;
 - rete telematica interna di monitoraggio per il controllo dell'impianto agrivoltaico.

L'impianto agrivoltaico, avrà una potenza di picco di 32,779 MWp e in immissione di 30,67 MWac e sarà connesso alla RTN per mezzo di una sottostazione elettrica AT a 150 kV. Le sue componenti principali saranno:

- 1) Il Generatore Fotovoltaico;
- 2) Le strutture di supporto dei moduli;
- 3) Le Cabine Elettriche di Campo;
- 4) Il Gruppo Conversione / Trasformazione;
- 5) I cavidotti BT e AT;



Da un punto di vista elettrico, i moduli fotovoltaici (48.924), saranno collegati tra loro in serie a formare le stringhe. Per "stringa fotovoltaica" s'intende un insieme di moduli collegati tra loro in serie: la tensione resa disponibile dalla singola stringa è data dalla somma delle tensioni fornite dai singoli moduli che compongono la stringa. Un certo numero di stringhe afferrirà dapprima ad un Quadro di Campo (string-box) (lato DC) e poi ad un Inverter centralizzato alloggiato all'interno di apposito locale tecnico. A sua volta un certo numero di inverter formerà un sottocampo elettrico. Per "sotto-campo fotovoltaico" o "area" si intende un insieme di inverter che collegati tra loro (configurazione a stella o ad anello) afferiscono ad una Cabina di Raccolta (lato AC). L'energia totale afferente alla Cabina di Raccolta, e quindi l'energia totale erogata dall'Impianto agrivoltaico, sarà data dalla somma dell'energia raccolta da ciascun Inverter. I sottocampi elettrici, sono elettricamente indipendenti tra loro, Sul lato in corrente continua (DC) di ciascun inverter verrà collegato in parallelo un certo numero di stringhe; le uscite in corrente alternata (AC) di tali inverter, a loro volta, verranno poste in parallelo tra loro all'interno di un quadro principale in corrente alternata (QP) situato anch'esso all'interno di dedicati locali tecnici di campo (cabine di campo AT/BT); all'interno di tali quadri QP saranno alloggiati interruttori quadripolari magnetotermici differenziali al fine di proteggere le linee relative ai sotto campi da sovracorrenti, cortocircuiti e/o perdite di isolamento.

La struttura completa proposta è rappresentata nella figura seguente.

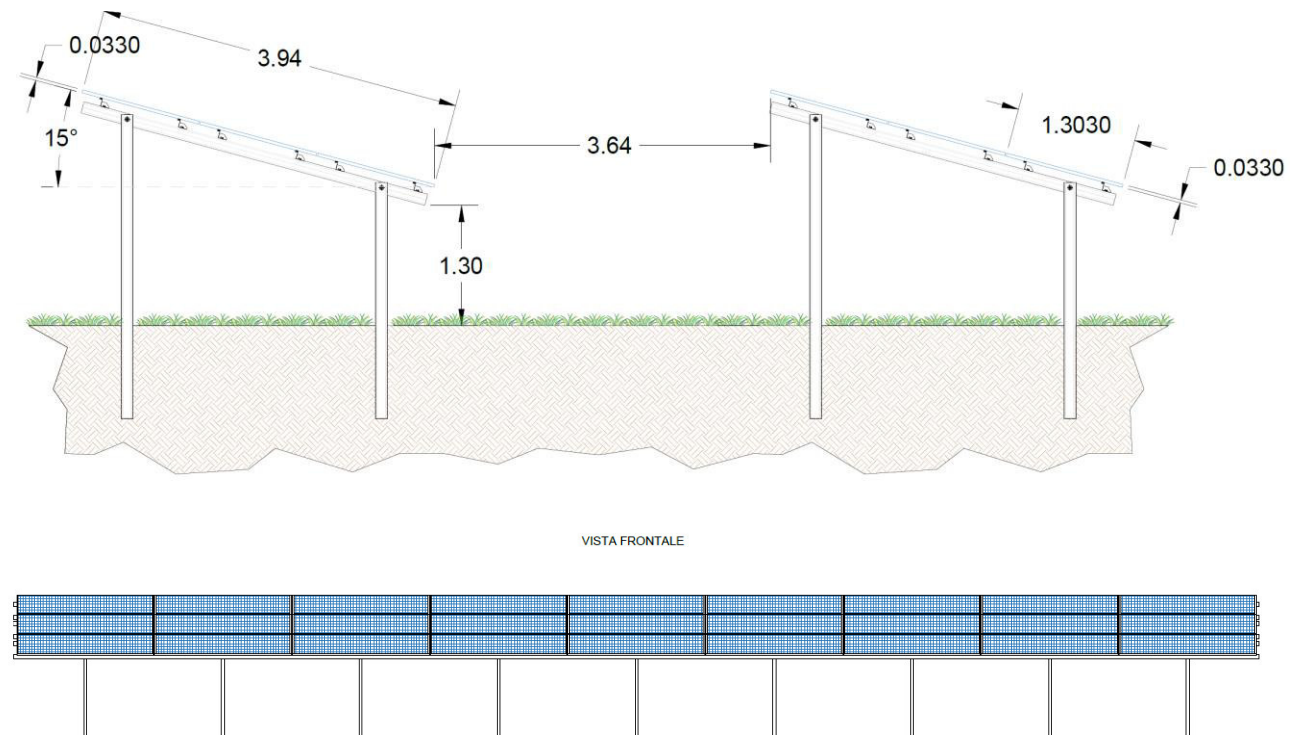
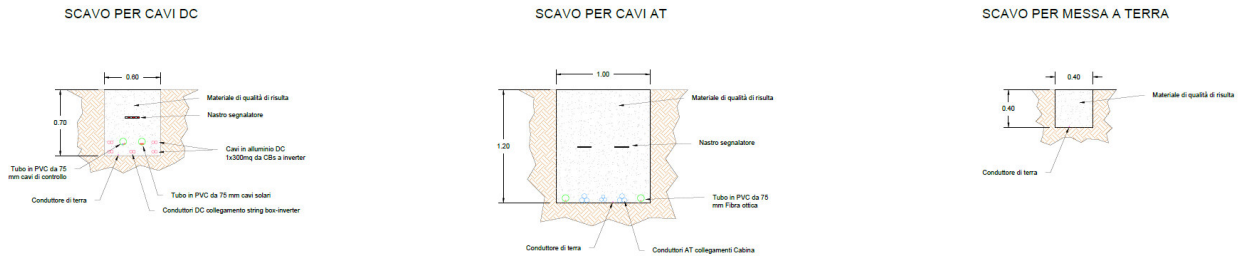


Figura 5 Vista laterale e frontale delle strutture di sostegno e dei pannelli



TIPOLOGICI DEGLI SCAVI INTERNI ALL'IMPIANTO - CAVI DC, AT E MESSA TERRA



TIPOLOGICI DEGLI SCAVI PER CAVIDOTTO ESTERNO

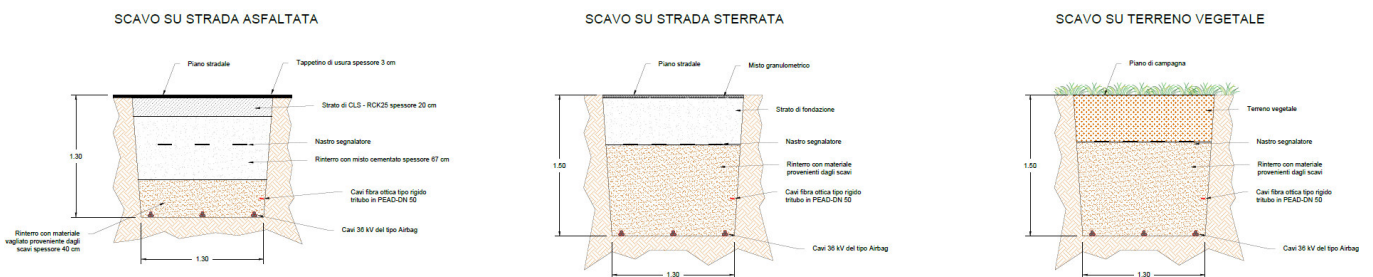


Figura 6 Sezioni tipo della trincea per la posa dei cavidotti

Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.



5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verrà installato il parco fotovoltaico e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del substrato di fondazione, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione del sistema di fondazione e delle sue potenziali interazioni con le condizioni al contorno (dinamica geomorfologica, circolazione idrica superficiale e sotterranea, rapporti fra le componenti litologiche interessate) attraverso:

- Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
- Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle opere;
- Definizione del modello geologico di sito;

5.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO GEOLOGICO DELL'AREA VASTA OGGETTO DI INTERVENTO

A partire dal Paleozoico si sono susseguiti una serie di eventi geologici sviluppatasi nell'arco di circa mezzo miliardo di anni, che hanno reso la Sardegna una delle regioni geografiche più antiche del Mediterraneo centrale e, morfologicamente e cronologicamente eterogenea.

L'isola riflette pertanto una storia geologica molto articolata, che testimonia, in maniera più o meno completa, alcuni dei grandi eventi geodinamici degli ultimi 400 milioni di anni.

L'orogenesi Caledoniana, la più antica, le cui tracce si rinvengono principalmente nel nord della Gran Bretagna e nella Scandinavia occidentale, fu causata dalla progressiva chiusura dell'oceano Giapeto, a seguito della collisione dei continenti Laurentia, Baltica e Avalonia, dando così origine al super continente Laurussia.

La successiva fase dell'orogenesi Ercinica (o Varisica) ha avuto corso a partire dal Carbonifero, circa 350 Ma fa e si è protratta fino al Permiano determinando un'estesa catena montuosa ubicata tra il Nord America e l'Europa.

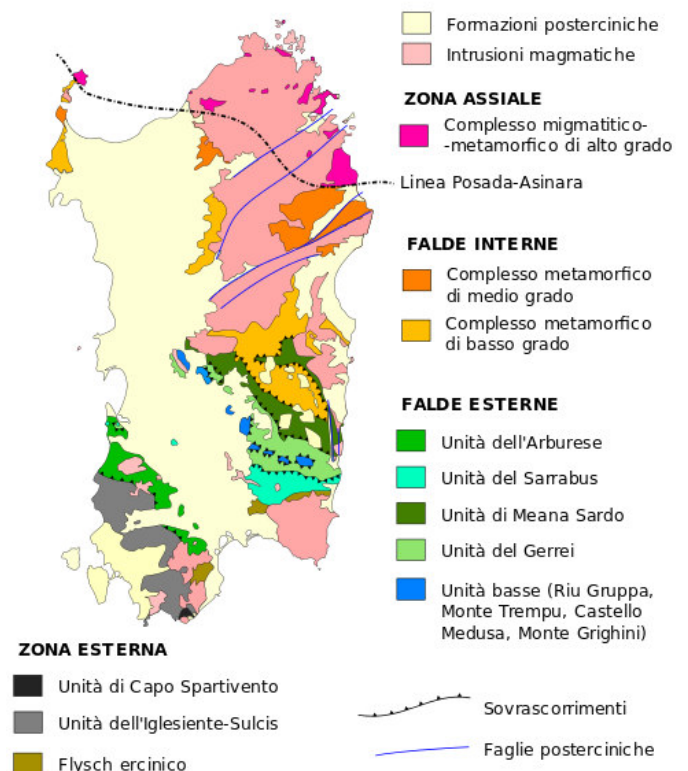


Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna



Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

Successivamente, tra il Carbonifero Sup. e il Permiano Inf., avviene la messa in posto dei batoliti granitici tardo ercinici, questa ha prodotto metamorfismo termico e di alta pressione delle rocce esistenti.

La tettonica distensiva del Mesozoico nella Sardegna settentrionale ha permesso lo sviluppo di successioni sedimentarie di piattaforma carbonatica, mentre nel periodo compreso tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano ha avuto luogo un'intensa attività vulcano-sedimentaria che ha portato alla formazione di bacini sinsedimentari orientati N-S e intersecati da faglie ortogonali.

L'area di studio ricade nelle formazioni post-erciniche e in particolare comprende soprattutto dalle coperture terziarie, che in quest'area dell'Isola sono costituite da rocce del Complesso vulcanico oligo-miocenico e da quelle della successione sedimentaria oligo-miocenica. L'area vasta è costituita principalmente da rocce magmatiche a carattere effusivo legate al Ciclo vulcanico oligo-miocenico e dai depositi della successiva sedimentazione miocenica, oltre che da depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti.

Per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area vasta, quest'ultima riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica. In particolare, l'area oggetto di studio ricade all'interno del Bacino del Logudoro, un semi-graben orientato NNW-SSE che si estende dall'altopiano di Campeda a S fino a Ploaghe a N. Tale bacino è caratterizzato da un margine occidentale a faglie dirette, mentre quello orientale presenta la trasgressione miocenica sul substrato costituito dalle vulcaniti aquitaniane-burdigaliane.



RAPPRESENTAZIONE TRIDIMENSIONALE SCHEMATICA DEL BACINO OLIGO-MIOCENICO

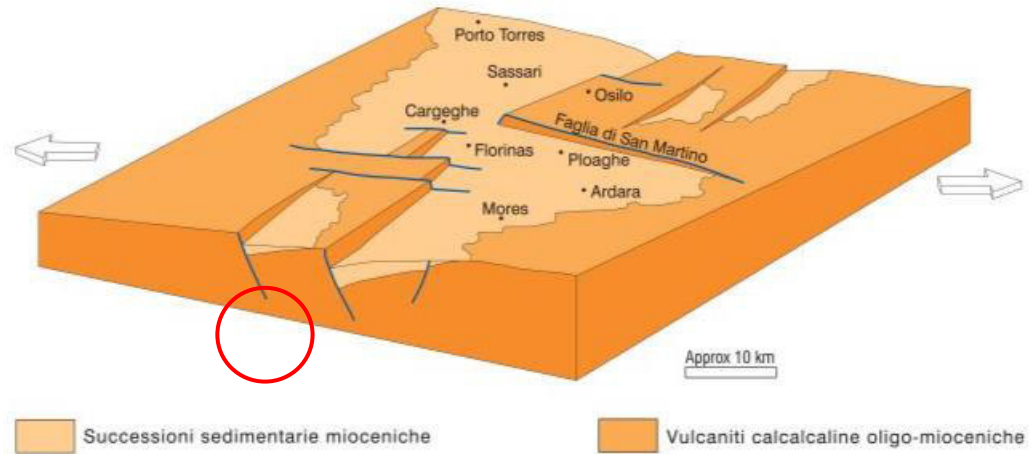


Figura 8 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata nel cerchio rosso (tratto dalla C.G.I. in scala 1:50.000 - Foglio 459 Sassari)

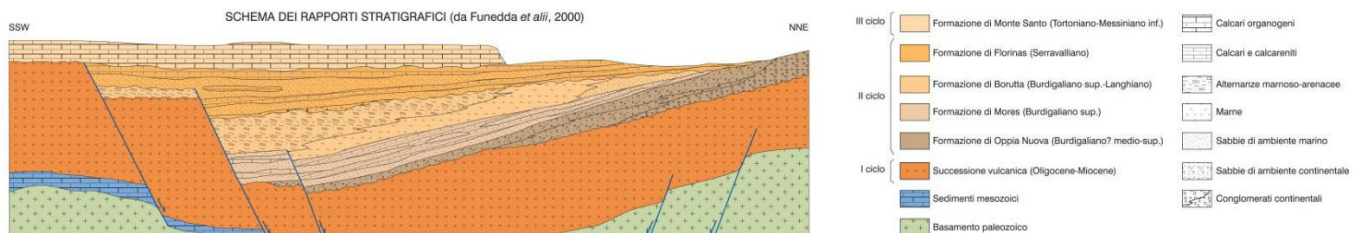


Figura 9 Schema dei rapporti stratigrafici del Bacino del Logudoro (tratto da Funedda et alii, 2000)

In particolare, nell'area vasta affiorano le seguenti litologie, di seguito riportate con la nomenclatura adottata dalla RAS nella stesura della cartografia geologica in scala 1:25000, dalla più antica alla più recente:

SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA DEL LOGUDORO-SASSARESE:

RESa - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti e calciruditi algali sovente clinostratificati, con echinidi (*Amphiope hollandei*, *Clypeaster intermedius*, *Echinolampas* sp.) e bivalvi (*Pecten* sp.), subordinati calcari biohermali a coralli, spessore variabile fino a 40-50 m. bioclastici fossiliferi. **MIOCENE INFERIORE (BURDIGALIANO SUP.)**

RESb - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati da grigi a beige, ad elementi di quarzo, metamorfiti, vulcaniti e calcari mesozoici, localmente con intercalazioni carbonatiche, con fossili



di echinidi, bivalvi e più raramente coralli, spessore variabile fino a 30-40 m. **MIOCENE INFERIORE (BURDIGALIANO SUP.)**

DISTRETTO VULCANICO DI OSILO – CASTELSARDO:

URA - FORMAZIONE DI MONTE MURA. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, a chimismo riolitico, saldati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Am, a tessitura eutaxitica con fiamme vitroclastiche decimetriche e porzione basale vetrosa (K/Ar: 23,5 ±1 Ma). **AQUITANIANO – BURDIGALIANO.**

L'impianto interessa questa formazione geologica.

LGU – UNITA' DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici fortemente saldati, da violaceo a rossastri, a chimismo riolitico, in facies ignimbratica, con tessitura macroeutaxitica con fiamme che possono raggiungere il metro di lunghezza, cristalli di Pl e Bt. Spessore fino a 25m (K/Ar: 18,54 ±0,22 Ma). **BURDIGALIANO**

LNR – UNITA' DI SAN LEONARDO. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, da saldati a debolmente saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con strutture da eutassitiche a vitroclastiche. **AQUITANIANO - BURDIGALIANO**

NLI – UNITA' DI SANTA GIULIA. Andesiti basaltiche e basalti andesitici, porfirici per fenocristalli di Ol, Px, Pl; in potenti colate talora ialoclastiche, sills e necks intercalati entro la sequenza lacustre. (K/Ar: 17,7 ±0,8 Ma – Lecca et alii, 1997). **BURDIGALIANO**



Serie effusiva basica

β₅
Coni di scorie (M. Cuccureddu, M. Cuiaru, M. Ladu, M. Austidu, M. Meddaris, M. Mannu, M. Frúsciu, M. sos Pianos, M. Lisiri).

β₂
Basalti augitico - olivini talvolta anelctici, talora a distinto clivaggio colonnare e sferoidale (β₂). Lembi conservati delle effusioni laviche di sistemi eruttivi indipendenti (M. San Pietro - Oe, M. Bennarzasu, M. Annaru, M. Castanza, M. Austidu, M. Arano, M. Pubulena - Ruju, Iltireddu, Ploaghe) localmente accompagnati da:
Tufi vulcanici, materiale piroclastico e scoriaceo in letti e secche (tβ) intercalati negli episodi effusivi e talora (Pozzomaggiore, Ploaghe) con inclusi frammenti di rocce più antiche (della serie sedimentaria miocenica ed eruttiva acida).
Diacchi basaltici, (β₀) residui di condolli di effusione (Cossaine, Pedra Mendalza di Giove, M. Elias di Bonorva, M. Ruju, M. sa Figu).
Conglomerati di ciottoli andesitici e trachilparitici, e ghiaie sottostanti a (β₂), entro residui di antiche depressioni vallive colmate da effusioni laviche successivamente troncate e rimaste sospese (Pozzomaggiore, Cannas de Cheggia - Padria) (cg).

M_{rc}
Facies calcareo - arenacea (M_{rc}): calcari bianchi e grigi, giallastri per alterazione, più o meno arenacei in strati o in bancale amigdaloidi, organogeni, facies nerice, coralligena, a inclinazione originale secondo la superficie d'appoggio, talora con livelli scieiferi alla base. Generalmente fossiliferi con: pesci (selaci: *Oxyrhina* etc.) molluschi marini: gasteropodi: *Ficula condita* BROGN.; lamellibranchi: *Chlamys dubia* BR., *C. northamptoni* MICH., *Fenus cincta* AG., *Anquipecton scabellus* LMK.; *Ostrea Lamellosa* BR.; crostacei brachiuri (*Nep-tunus granulatus* M. EDW., *Lupa haata* LTR., *Cancer usmondae* MEY.); echinidi (*Echinolampas plagiostomus* AGASS.; *E. emifericus* LAM., *Clipeaster marginatus* MK., *Hemipatagus ocellatus* DEFR., *Schizaster Parkinsoni* DEFR., *Brisopsis sardicus* MK., etc.); corallari ed alghe calcaree (*Lithothamnium*).

β₁
Trachandesiti e vitrotrachandesiti; trachandesiti toscantiche a struttura eulaxitica. Rocce di colore generalmente da rosso-vinato a rosso-fulgato, da rosso-viola a grigio-verde scuro, a nero; ignimbriti (tβ₁).
Facies vitrofiche nere (tβ₁) trachandesitiche intercalate o in espandimenti stratificati. (M. Minerva e fascia di terreni da M. Gherra a P.ta sa Menta) (λ).

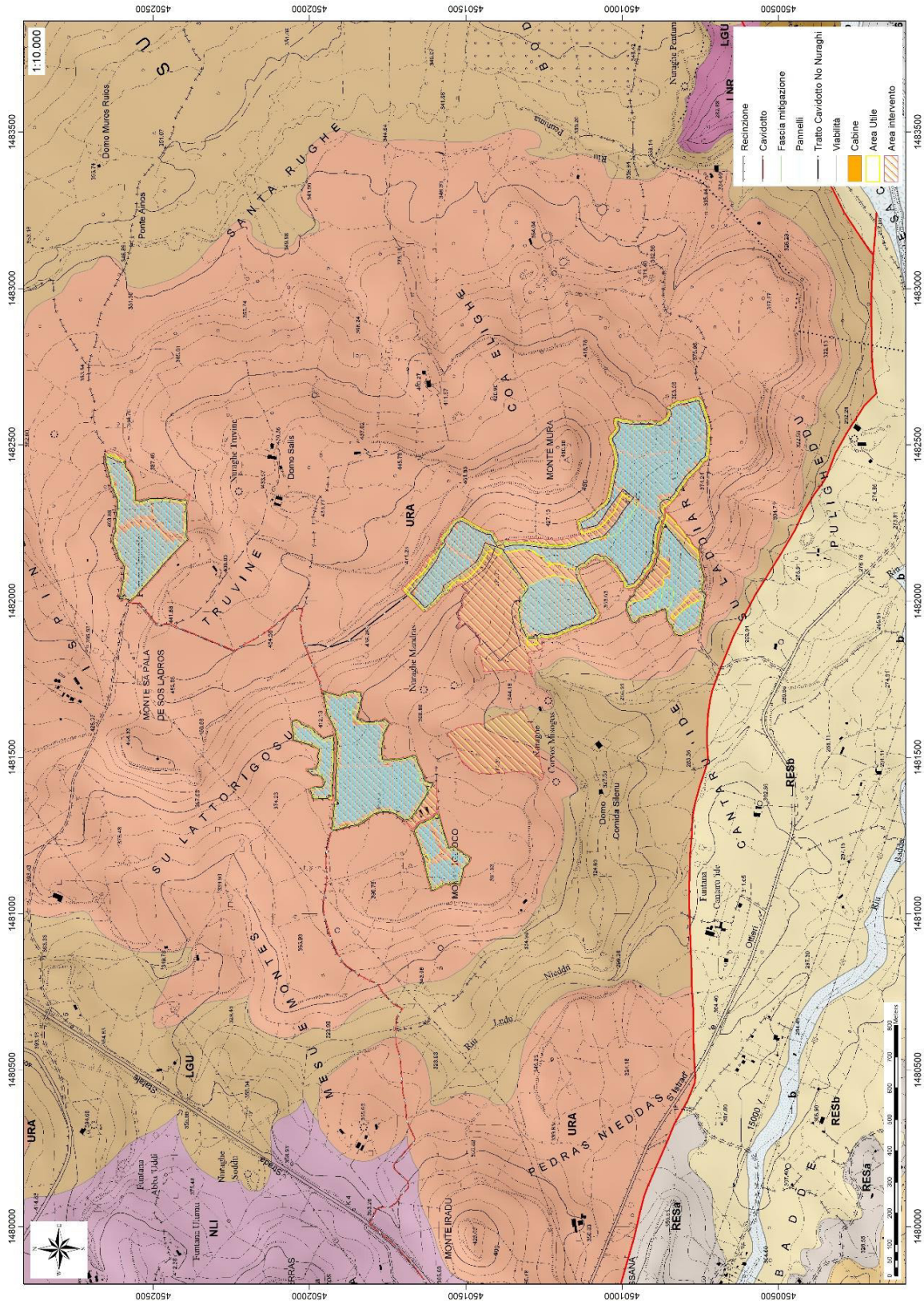
tβ
Tufi vulcanici conglomeratici ad elementi grossolani (tβ), grigiastri o gialli, più o meno caolinizzinati, spessori ridotti a M. Minerva e crescenti fino a oltre 70 m. a M. Palma, facente passaggio a (tβ₁).

tβ₂
Tufi vulcanici, trachiloidi policromi (bianchi a Thiesi, violacei e verdognoli a Monteleone, da grigio-chiari a giallastri e rosati a Mudeggu e a Bonorva) talora compatti e brecciatoli o calcedoniosi a elementi piccoli e medi, grossolani o conglomeratici alla base (media valle del F. Temo); ignimbriti (tβ₂).

tβ₃
Intercalazioni di episodi lacustri (Thiesi; Cantoniera sa Terralva) (tβ₃).

tβ₄
Tufi calcedoniosi di M. Zuighe (tβ₄).

Figura 10 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 193 "Bonorva"



**LEGENDA**

- Recinzione
- Cavidotto
- Fascia mitigazione
- Pannelli
- Tratto Cavidotto No Nuraghi
- Viabilità
- Cabine
- Area Utile
- Area intervento

Elementi geostrutturali

- Faglia Certa
- Faglia Diretta Certa
- Faglia Diretta Presunta
- Faglia Inversa Certa
- Faglia Inversa Presunta
- Faglia Presunta
- Faglia Trascorrente Destra Certa
- Faglia Trascorrente Destra Presunta
- Faglia Trascorrente Sinistra Certa
- Faglia Trascorrente Sinistra Presunta
- Sovrascorrimento Principale Certo
- Sovrascorrimento Principale Presunto
- Sovrascorrimento Secondario Certo
- Sovrascorrimento Secondario Presunto

Elementi litostratigrafici

- Depositi alluvionali. Sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE
- Depositi alluvionali. OLOCENE
- Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

- Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Arenarie e conglomerati a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Am
- Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turrillidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.). Ambient
- FORMAZIONE DI BORUTTA. Marne, marne arenacee bioturbate e calcari marnosi, localmente in alternanze ritmiche. LANGHIANO
- UNITÀ DI CHILIVANI. Depositi di flusso piroclastico pomiceo-cineritici in facies ignimbritica, a chimismo rioclitico, debolmente saldati, spesso argillificati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Bt, Am. La componente clastica è poligenica ed eterometrica.
- UNITÀ DI SAN LEONARDO. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica, da saldati a debolmente saldati, a chimismo dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con strutture da eutassitiche a vitroclastiche
- UNITÀ DI MONTE MURA. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica, a chimismo riolitico, saldati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Am, a tessitura eutassitica con fiamme vitroclastiche decimetriche e porzione basale vetrosa. (K/Ar: 23,5 ± 1 Ma – 2
- UNITÀ DI LOGULENTU. Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbritica, pomiceo-cineritici, saldati, di colore rossastro, con tessitura macroeutassitica. BURDIGALIANO
- UNITÀ DI SANTA GIULIA. Andesiti basaltiche e basalti andesitici, porfirici per fenocristalli di Ol, Px, Pl; in potenti colate talora ialoclastiche, sills e necks intercalati entro la sequenza lacustre. (K/Ar: 17,7 0.8 Ma: Lecca et alii, 1997). BURDIGALIA

Figura 11 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

5.2. SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MIOCENICA

La successione sedimentaria miocenica è caratterizzata dalla presenza di sequenze deposizionali delimitate da discordanze: la prima sequenza è costituita da depositi continentali fluviali e di piana alluvionale, deltizi marini e di piattaforma, mentre la seconda sequenza è costituita da depositi fluvio-marini e carbonatici di piattaforma.

RESa - Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES. Calcareniti, calcari bioclastici fossiliferi. Calcari nodulari a componente terrigena, variabile, con faune a gasteropodi (Turrillidi), ostreidi ed echinidi (Scutella, Amphiope) ("Calcari inferiori" Auct.).

RESb – Litofacies nella FORMAZIONE DI MORES: costituita prevalentemente da conglomerati ad elementi arrotondati di quarzo, vulcaniti terziarie e rocce del basamento paleozoico, e da arenarie a cemento carbonatico, fossiliferi e bioturbati. Intercalazioni di depositi sabbioso-arenacei quarzoso-feldspatici a grana medio-grossa, localmente ricchi in ossidi di ferro (Ardara-Mores). Per via della fauna ad



echinodermi (Clypeaster, Amphiope e Scutella), e per via della posizione stratigrafica, tali depositi sono riferiti al Miocene inferiore (BURDIGALIANO SUP.).

5.3. SUCCESSIONE VULCANICA OLIGO-MIOCENICA

La successione vulcanica oligo-miocenica affiorante dell'area è rappresentata dal Distretto vulcanico di Osilo – Castelsardo, costituito da piroclastiti messi in posto in condizioni subaeree e da subordinate epiclastiti. In quest'area, la successione è costituita da:

- Formazione di Monte Mura
- Unità di Logulentu
- Unità di San Leonardo
- Unità di Santa Giulia

URA - Formazione di Monte Mura: costituita da depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, a chimismo riolitico, saldati, con cristalli liberi di Pl, Sa, Am, a tessitura eutaxitica con fiamme vitroclastiche decimetriche e porzione basale vetrosa. L'età radiometrica con metodo K/Ar è di $23,5 \pm 1$ Ma. (AQUITANIANO – BURDIGALIANO). **Su questa litologia sorgerà l'impianto.**

LGU – Unità di Logulentu: si tratta di ignimbriti saldate, interessate da fratturazione e struttura porfirica per fenocristalli di Pl e Bt; la tessitura è macroeutaxitica per la presenza di fiamme deformate plasticamente che raggiungono il metro di lunghezza, ma verso l'alto diventa eutaxitica. La composizione è riolitica, e lo spessore varia tra qualche metro fino a 20-25 m. Su queste vulcaniti poggiano in onlap i calcari della formazione di Mores (RESa) appartenenti al I ciclo trasgressivo burdigaliano. L'età radiometrica con metodo Ar/Ar su Pl e Bt è di $18,54 \pm 0,22$ Ma. (BURDIGALIANO p.p.).

LNR – UNITA' DI SAN LEONARDO. Alternanza di depositi di flusso piroclastico in facies ignimbrítica, da saldati a debolmente saldati, a chimismo da dacitico a riolitico, con cristalli liberi di Pl, Sa, Cpx, Bt, Mag, con strutture da eutassitiche a vitroclastiche. (AQUITANIANO - BURDIGALIANO)

NLI – UNITA' DI SANTA GIULIA. Andesiti basaltiche e basalti andesitici, porfirici per fenocristalli di Ol, Px, Pl; in potenti colate talora ialoclastiche, sills e necks intercalati entro la sequenza lacustre. L'età radiometrica stimata con metodo K/Ar è di $17,7 \pm 0,8$ Ma (Lecca et alii, 1997). (BURDIGALIANO)

5.4. CARATTERI GEOSTRUTTURALI, GEOMETRIA E CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI DI DISCONTINUITÀ

I principali lineamenti strutturali, nell'area vasta, derivano dall'evoluzione stratigrafica e tettonica oligo-miocenica, responsabile dello sviluppo del bacino del Logudoro e dell'intenso vulcanismo calcalcalino.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle coperture sedimentarie (Fm. Mores) che poggiano su quelle vulcaniche oligo-mioceniche (Fm. M.te Mura, Unità Logulentu, S. Leonardo e S.ta Giulia).



GreenShare

GreenShare S.r.l.
Open Campus Coworking
SD.S 195 Km 2.300
09123 Cagliari (CA)
info@green-share.it

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "INE Ploaghe 1"

Loc. Monte Mura - Comune di Ploaghe (SS)

AF.GEO.R01

Relazione Geologica

Pag.21 di 66

Nell'area vasta sono presenti alcune importanti discontinuità, tra cui una faglia che si estende a S dell'area oggetto di studio lungo la direzione WNW-ESE, localizzata ad S di Monte Iglioco.

L'area interessata dal progetto è posizionata nelle coperture oligo-mioceniche: in particolare nella formazione di Monte Mura (URA) e nell'unità di Logulentu (LGU).

Le rocce della Formazione di Mores presentano stratificazione (S0), che rappresenta la struttura principale sia alla scala dell'affioramento che alla mesoscala, mentre la fratturazione è visibile soprattutto alla scala dell'affioramento.

Le rocce dell'Unità di Logulentu presentano una fratturazione ben sviluppata, evidente alla scala dell'affioramento.

Dott.ssa Geol.
COSIMA ATZORI

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA
Sezione A n°656



Studio Tecnico di Geologia
Applicata all'Ingegneria e all'Ambiente

info@gaiac consulting.eu
posta-certificata@pec.gaiac consulting.eu



6. INQUADRAMENTO CLIMATICO

La definizione del clima è basata sull'analisi dei parametri meteorologici più comunemente studiati, quali la temperatura e le precipitazioni, il cui andamento è legato alle variazioni stagionali della circolazione atmosferica, considerando inoltre la ventosità, la nuvolosità e l'umidità relativa. Il clima della Sardegna viene generalmente classificato come "Mediterraneo Interno", caratterizzato da inverni miti e relativamente piovosi ed estati secche e calde, con valori minimi invernali di alcuni gradi al di sotto dello zero e massimi estivi anche superiori ai +40 C.

Lungo le zone costiere, grazie alla presenza del mare, si hanno inverni miti con temperature che scendono raramente sotto lo zero. Anche nelle zone interne pianeggianti e collinari il clima è tipicamente mediterraneo, anche se a causa della maggior lontananza dal mare si registrano temperature invernali più basse ed estive più alte rispetto alle aree costiere.

Nelle zone più interne, come gli altopiani e le vallate spesso incastonate tra i rilievi, il clima acquista caratteri continentali con forti escursioni termiche, risultando particolarmente basse le minime invernali in caso di inversione termica, con temperature che possono scendere anche al di sotto dei -10/-12 C. Sui massicci montuosi nei mesi invernali nevicata frequentemente e le temperature scendono sotto lo zero, mentre nella stagione estiva il clima si mantiene fresco, soprattutto durante le ore notturne, e raramente fa caldo per molti giorni consecutivi.

La Sardegna inoltre è una regione molto ventosa; i venti dominanti sono quelli provenienti dal settore occidentale (Maestrale e Ponente) e, in minor misura quelli provenienti da quello meridionale (Scirocco).

Le precipitazioni sono distribuite in maniera variabile ed irregolare, con medie comprese tra i 400 e i 600 mm annui lungo le coste e valori pluviometrici che raggiungono e superano i 1000 mm annui (con locali picchi superiori ai 1300-1400 mm) in prossimità dei rilievi montuosi.

A causa del dominio sulla regione dei venti provenienti dai quadranti occidentali, mediamente la maggior frequenza di giorni di pioggia si riscontra nelle zone occidentali dell'isola, mentre in quelle orientali, trovandosi sottovento a questo tipo di circolazione a causa dell'orografia, si ha una minore frequenza di giornate piovose.

Tuttavia, le zone orientali sono spesso soggette a fortissime piogge, per cui gli accumuli medi annuali sono simili tra i due versanti.

L'andamento climatico del territorio di Ploaghe e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Ploaghe, e di Sassari e Osilo, localizzate rispettivamente circa 17 km e 10 km a NW del settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2021 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S., così come i dati termometrici, entrambi per le stazioni meteorologiche di Ploaghe, Sassari e Osilo.



Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2021	150,8	51,6	49,6	35	51	11,6	2	0,6	22,8	37,4	115,2	108,6	636,2
2020	23,6	2,6	53	48	36,6	27,4	0	26,6	172,6	113,4	49,2	185,8	738,8
2019	103	36,4	27,6	82,8	57,8	0,6	24	23,4	6	99	327,6	60,6	848,8
2018	31	94	102,6	21,8	210,2	41	0	85,8	51,8	80	156,2	51,4	925,8
2017	75,6	59,8	18,6	18,6	4	40,2	0,8	0	46,2	5,2	110,2	124,4	503,6
2016	54,6	158	90,6	22,4	40,4	3,8	25,4	0,2	63,2	14,2	41,6	34,6	579
2015	57	126,6	70,6	43,6	5,6	18,8	4,4	18,4	21,8	110,6	62	5,8	545,2
2014	112,8	88,8	94	49	30,2	47,4	18,6	1,8	10	1,8	104,2	108,6	667,2
2013	163,8	118,2	164,6	87,4	65,2	2,4	4,2	5,2	34,6	24	122	31,4	823
2012	32,8	53,8	11,6	79,7	84,1	0	5,2	0	62,9	112,6	100,7	59,2	602,6
2011	80,4	58,2	59,2	39,4	1,6	58,2	14,8	0	71,6	17,6	102,4	129,2	632,6
2010	124,3	48,6	72,2	40,4	58,7	57,2	0	1,6	14,8	84,2	267,4	114,6	894
2009	140,6	59,6	36	73,4	6,2	54	0	22,2	88	34,6	114,6	121,2	750,4
2008	62,6	20,6	93,8	27,8	140,2	32,4	0	1	37	79,4	135,6	168,6	799

Figura 12 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Ploaghe (2008-2012) di Osilo (anno 2013-2021).

Per quanto riguarda i dati sull'evapotraspirazione, sono stati utilizzati i valori pubblicati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS.

Alla stazione di Ozieri sono riferiti i dati sulla ventosità ricavati dai riepiloghi meteorologici reperibili presso il Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS, mentre la nuvolosità è stata ricavata dagli archivi del Servizio Meteo dell'Aeronautica Militare per la stazione di Fertilia (per il periodo 1961-1990), e l'umidità relativa è stata estrapolata dal Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 e aprile 2021 – settembre 2021 per la Sardegna.

6.1. PRECIPITAZIONI

Nella tabella raffigurante i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2012 registrati nella stazione di Ploaghe e nell'intervallo 2013-2021 in quella di Osilo, sono riportati il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2021 si osserva che i valori di precipitazioni presentano valori superiori nei mesi autunnali e invernali, e inferiori per il periodo compreso tra maggio e agosto.

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 710 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2021.



L'andamento pluviometrico dell'area di **Monte Mura** nell'arco dell'anno è caratterizzato dal minimo assoluto di piovosità nel periodo estivo e da un massimo in autunno e inverno, per cui i mesi più secchi sono quelli estivi mentre quelli più piovosi sono quelli invernali.

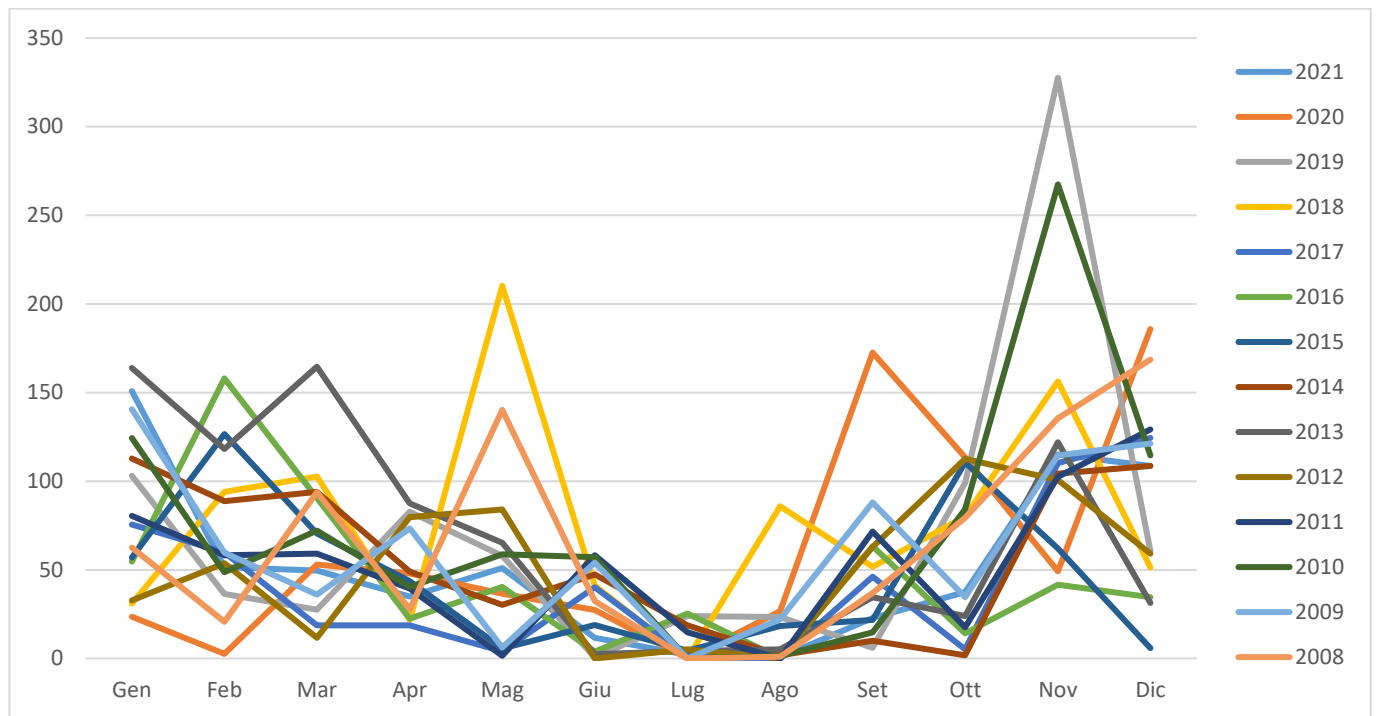


Figura 13 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni pluviometriche di Ploaghe (2008-2012) e di Osilo (anno 2013-2021).

6.2. TEMPERATURE

I valori termometrici della stazione meteo di Sassari, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nella tabella sottostante e sono relativi alla stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, alla stazione di Sassari per gli anni dal 2012 al 2019, e alla stazione di Osilo per il periodo 2020-2021. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 15,8 °C. Il mese più freddo è gennaio con una media di circa 8,2°C mentre le temperature più elevate si riscontrano a Luglio e Agosto con circa 25 °C.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	media
2021	5,8	9,8	9,1	11	14,6	21,9	23,9	23,6	21,5	15,3	10,5	7,9	14,58
2020	8,4	9,3	8,9	13,3	17	19,3	23,9	24	19,4	13,6	12,4	7,6	14,76



2019	6,9	9,2	11,4	12,5	14	23,8	25,6	25,8	<u>22,4</u>	18,7	11,9	11,6	16,15
2018	10,8	7,2	10,5	15,8	16,8	21,4	25,5	25	22,3	18,1	13,3	10,3	16,42
2017	7,3	10,9	12,1	13,8	18,8	24,2	25,7	27,5	19,5	17,6	11,5	8,2	16,43
2016	9,6	10,3	10,7	15,1	16,8	21,4	25	24,2	21,8	17,9	13,5	11,1	16,45
2015	8,4	7,6	10,3	13,5	18	22,6	26,5	24,7	21,1	16,5	13,3	11	16,13
2014	9,3	9,7	10,4	13,7	16,2	22,2	22,6	23,6	22,2	19,7	15,2	9,7	16,21
2013	8	6,3	10,5	13,6	14,8	19,6	25	24,7	20,8	19,8	11,4	9,9	15,37
2012	8,5	5,4	12	13,3	16,7	23,6	24,8	26,9	21	17,6	13,8	9,1	16,06
1995-2011	7,6	7,8	10,3	13,1	17,9	22,1	24,9	25	20,6	16,9	11,7	8,5	15,53

Figura 14 Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, in quella di Sassari per gli anni 2012-2019, e nella stazione di Osilo per il periodo 2020-2021.

Il grafico sottostante illustra l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 1995-2011 registrate nella stazione di Ploaghe, nella stazione di Sassari per gli anni dal 2012 al 2019, e in quella di Osilo per gli anni 2020-2021.

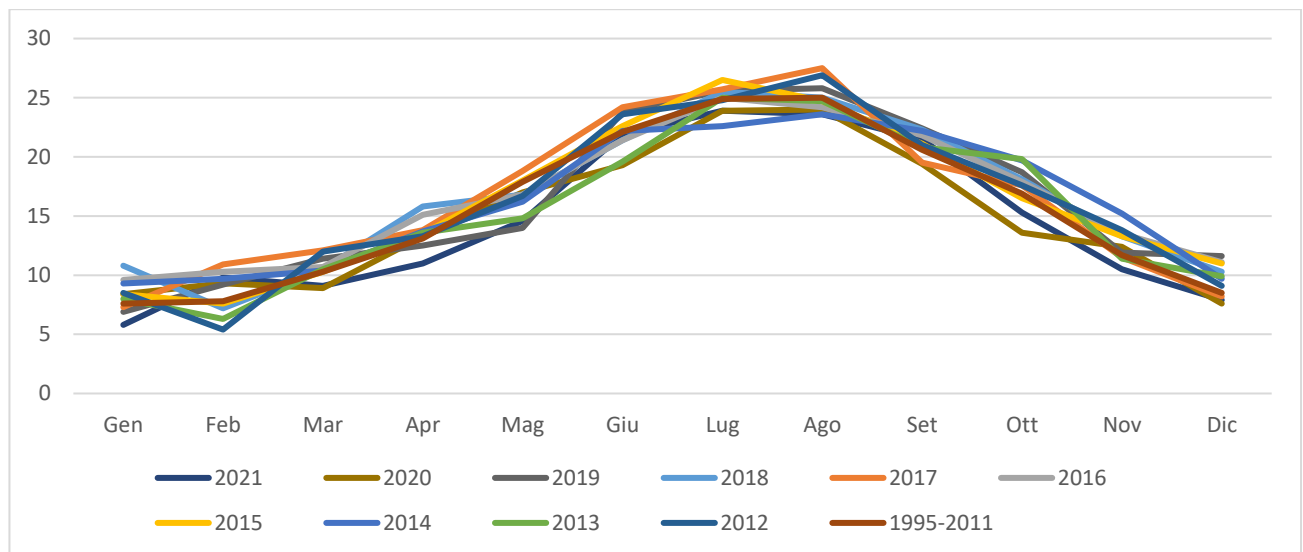


Figura 15 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Ploaghe per il periodo 1995-2011, in quella di Sassari per gli anni 2012-2019, e nella stazione di Osilo per il periodo 2020-2021.

6.3. STIMA DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE

L' evapotraspirazione è uno dei parametri più significativi nell'ambito di un bilancio idrologico e rappresenta la perdita di una parte delle acque di precipitazione, per evaporazione dal suolo e per



traspirazione della vegetazione. Viene calcolata tenendo conto della temperatura e delle precipitazioni, e viene influenzata dalla nuvolosità, dall'umidità relativa e dalla ventosità.

Nelle figure seguenti sono illustrati i bilanci idro-meteorologici mensili rispettivamente per il periodo ottobre 2020 – marzo 2021 e aprile 2021 – settembre 2021 per la Sardegna, ricavati dal Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS. Il bilancio idro-meteorologico si esprime come differenza tra il cumulato di precipitazione ed il cumulato dell'evapotraspirazione di riferimento (ET₀) stimata con il metodo Hargreaves-Samani.

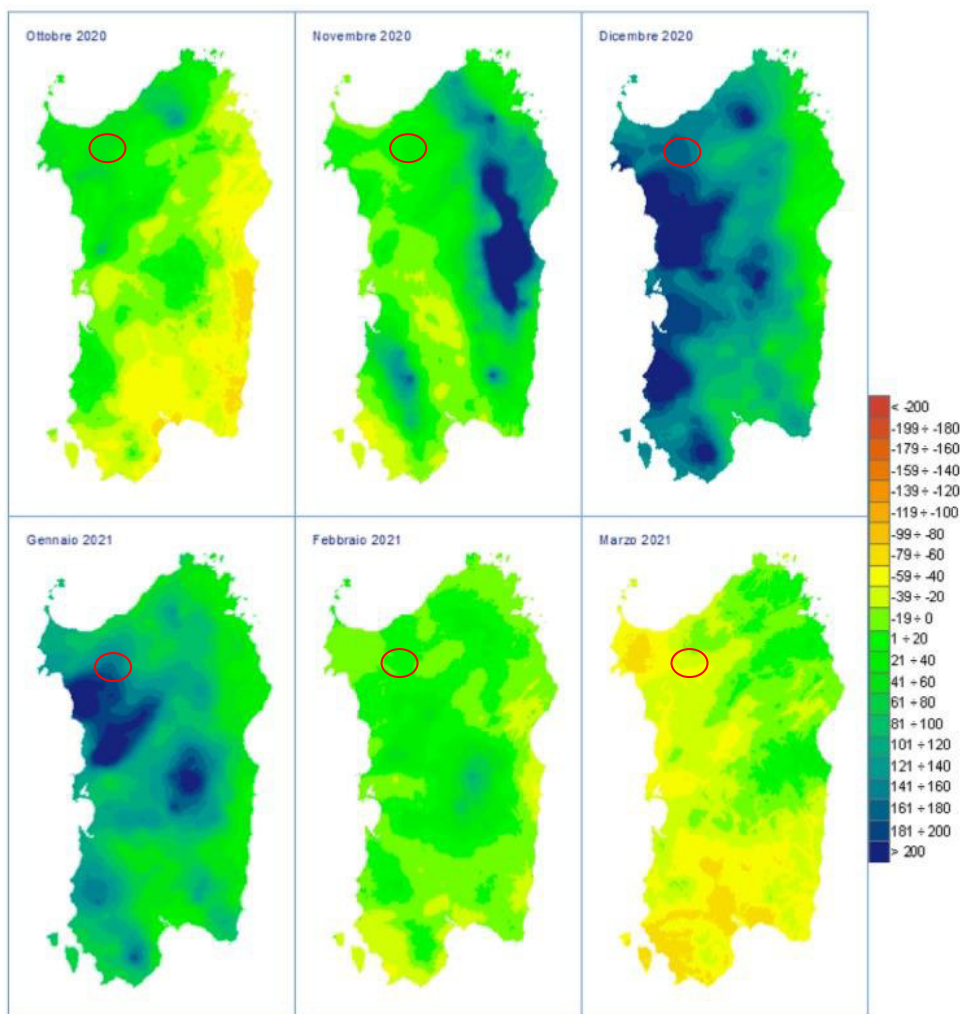


Figura 16 Bilancio idro-meteorologico (espresso in mm) per il periodo ottobre 2020-marzo 2021 con la zona oggetto di interesse delimitata in rosso.

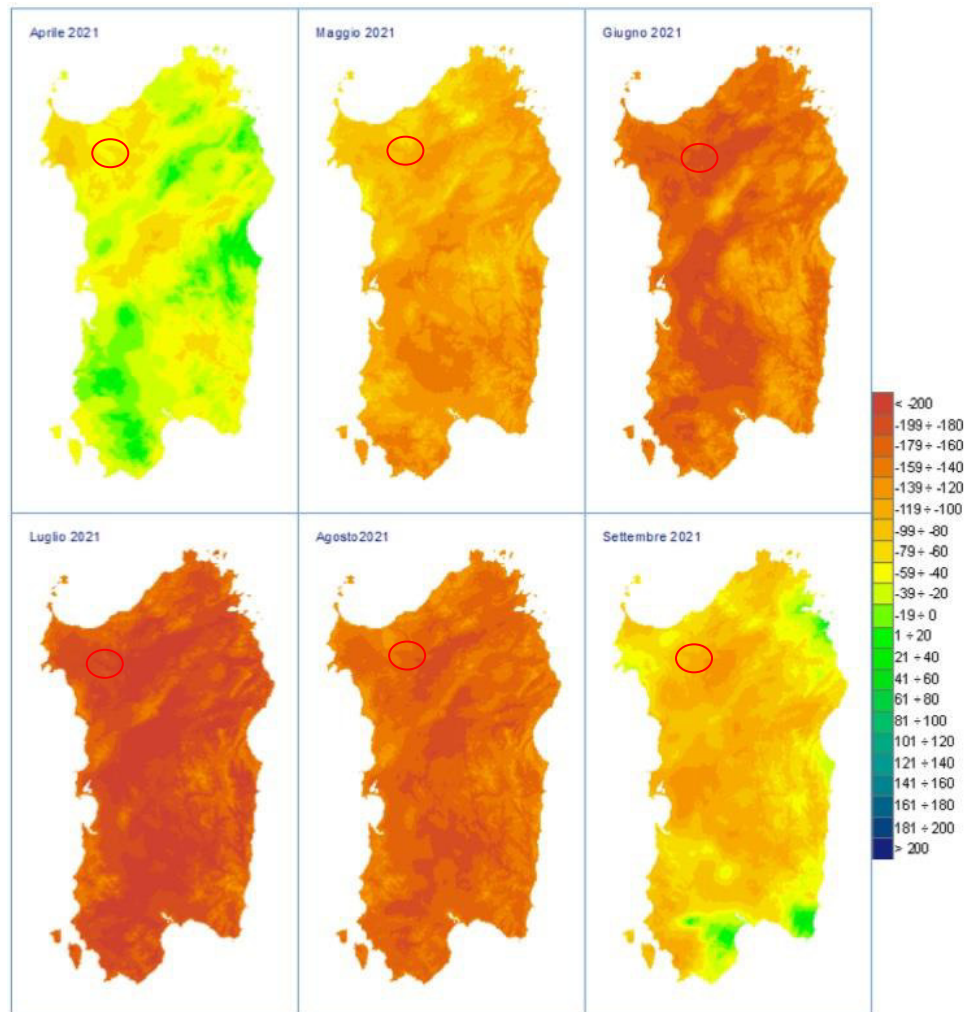


Figura 17 Bilancio idro-meteorologico (espresso in mm) per il periodo aprile 2021-settembre 2021 con la zona oggetto di interesse delimitata in rosso.

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. Nella tabella sottostante sono rappresentati i valori mensili di condizioni di sereno (nuvolosità < 2/8), nuvoloso (2/8 < nuvolosità < 6/8) e coperto (nuvolosità > 6/8), espressi in okta (stima di quanti ottavi di cielo sono oscurati dalle nuvole) e riferiti al periodo 1961 – 1990 per la stazione di Fertilia.



Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
4,7	4,7	4,6	4,5	3,8	3	1,7	2	2,9	3,6	4,4	4,6
coperto	coperto	coperto	coperto	coperto	sereno	sereno	sereno	sereno	coperto	coperto	coperto

Figura 18 Media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Fertilia, espressa in okta.

Dall'esame dei valori della tabella si evince che il massimo di giorni sereni si ha tra Giugno e Agosto mentre durante gli altri mesi è sempre presente una certa copertura. Il valore minimo di giornate nuvolose si ha nel mese di Luglio e il massimo si osserva nei mesi di Gennaio e Febbraio. Le giornate in condizioni di coperto raggiungono il massimo a Gennaio e minimo a Luglio.

Il clima è influenzato anche dall'andamento del vento al suolo (ventosità), che viene definito analizzandone l'intensità, la direzione e la frequenza.

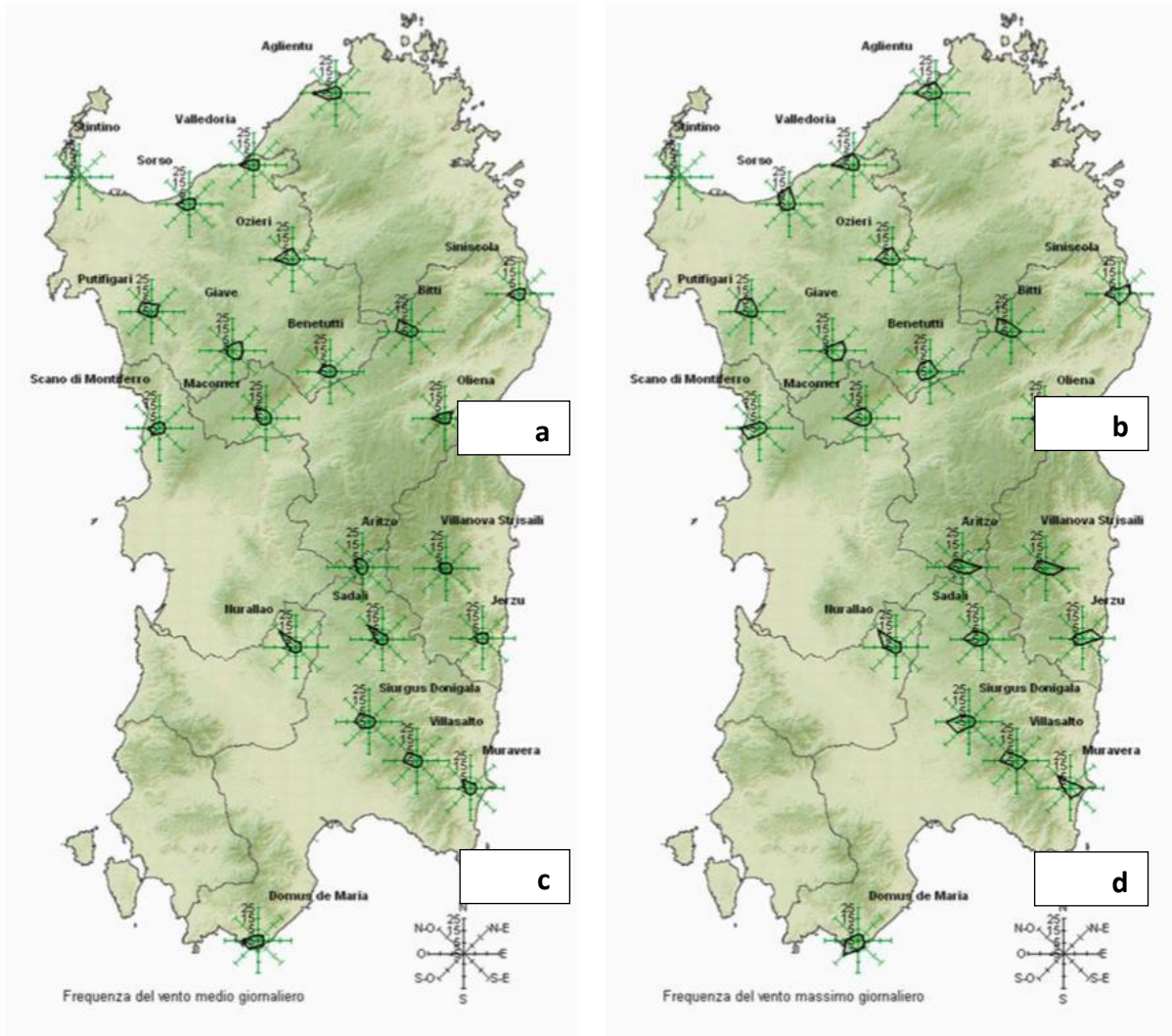


Figura 19 Ventosità media giornaliera e frequenza del vento massimo giornaliero rilevata presso la stazione meteorologica di Ozieri relativa all'anno 2017 (mese giugno).

Dai riepiloghi meteorologici reperibili presso il Dipartimento Meteorologico dell'ArpaS si possono evincere le direzioni dominanti del vento nelle diverse stazioni dell'Isola, in particolare quelle rilevate presso la stazione di Ozieri nel mese di giugno 2016 che raffigura la frequenza e la direzione del vento.

Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, si possono evincere anche i dati annuali della ventosità, in tal caso relativi alla stazione di Porto Torres.

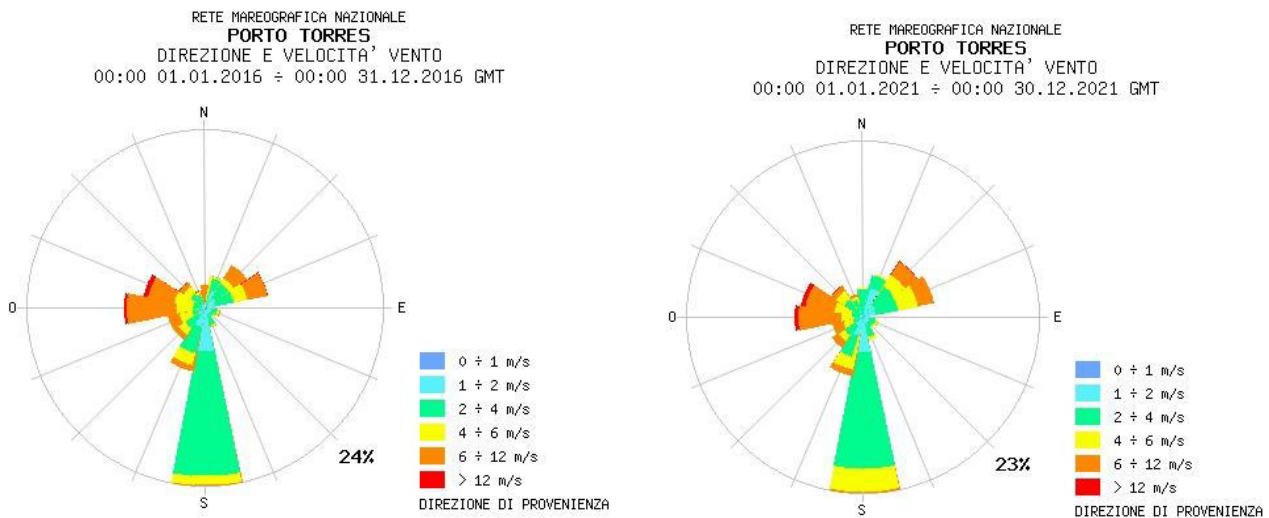


Figura 20 Ventosità annuale espressa come intensità e direzione rilevata presso la stazione meteorologica di Porto Torres relative all'anno 2016 e 2021.

Analizzando tali dati per diverse annualità (anni 2016 e 2021), risulta che i venti provenienti dai quadranti meridionali sono generalmente in netta dominanza come frequenza, in particolare quello più frequente è l'ostro. Il vento proveniente da S è il più frequente ma anche il meno intenso, mentre i venti provenienti da WNW (ponente e maestrale) pur spirando meno frequentemente, sono più intensi, così come i venti provenienti da ENE (grecale).

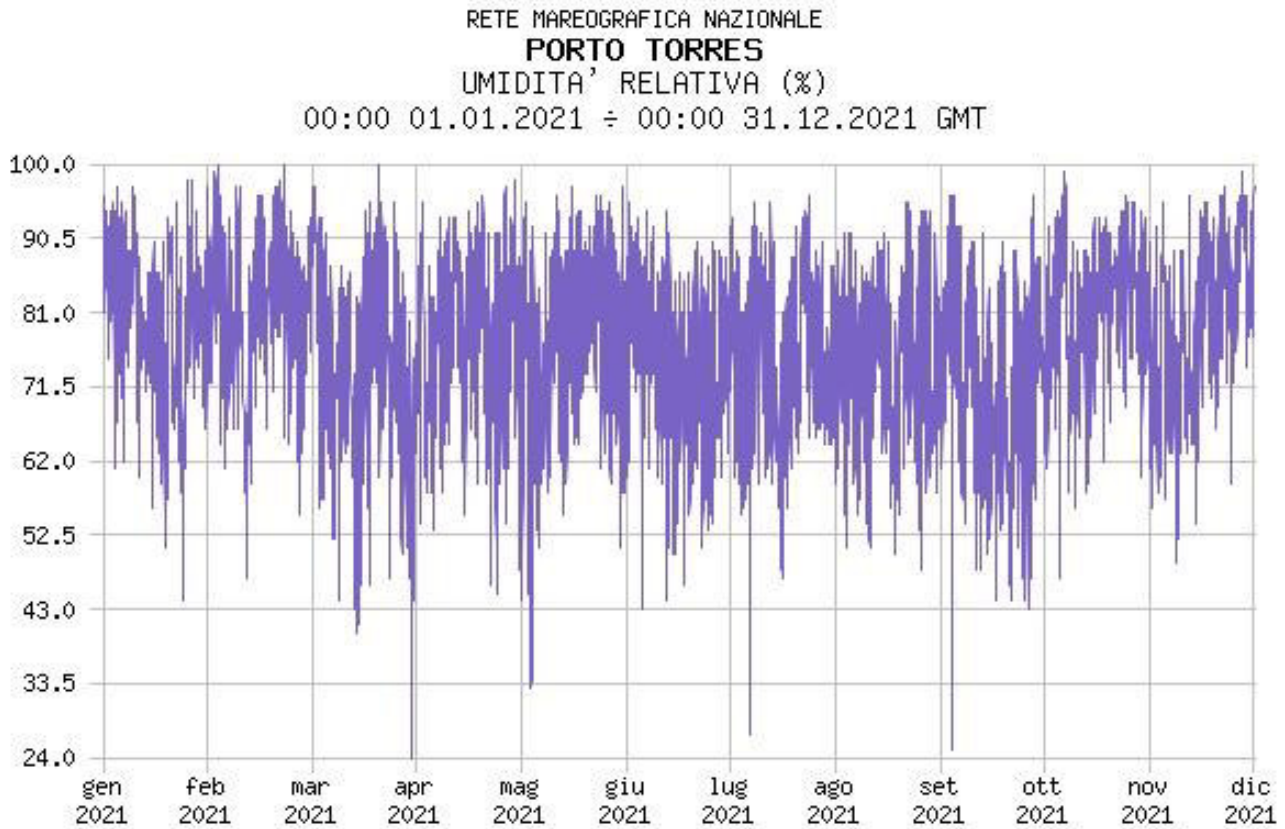


Figura 21 Umidità relativa per la stazione di Porto Torres, per l'anno 2021.

L'ultima variabile significativa che condiziona l'evapotraspirazione è l'umidità relativa, ossia il rapporto tra la quantità di vapore d'acqua contenuta in una massa d'aria rispetto e quella massima potenziale in relazione alla sua temperatura. La tabella soprastante riporta i valori dell'umidità relativa media mensile ed annuale della stazione di Fertilia per il periodo 1971-2000, si nota che tale valore raggiunge valori più elevati nei mesi invernali (Novembre - Febbraio) e valori minimi nel mese di Luglio.

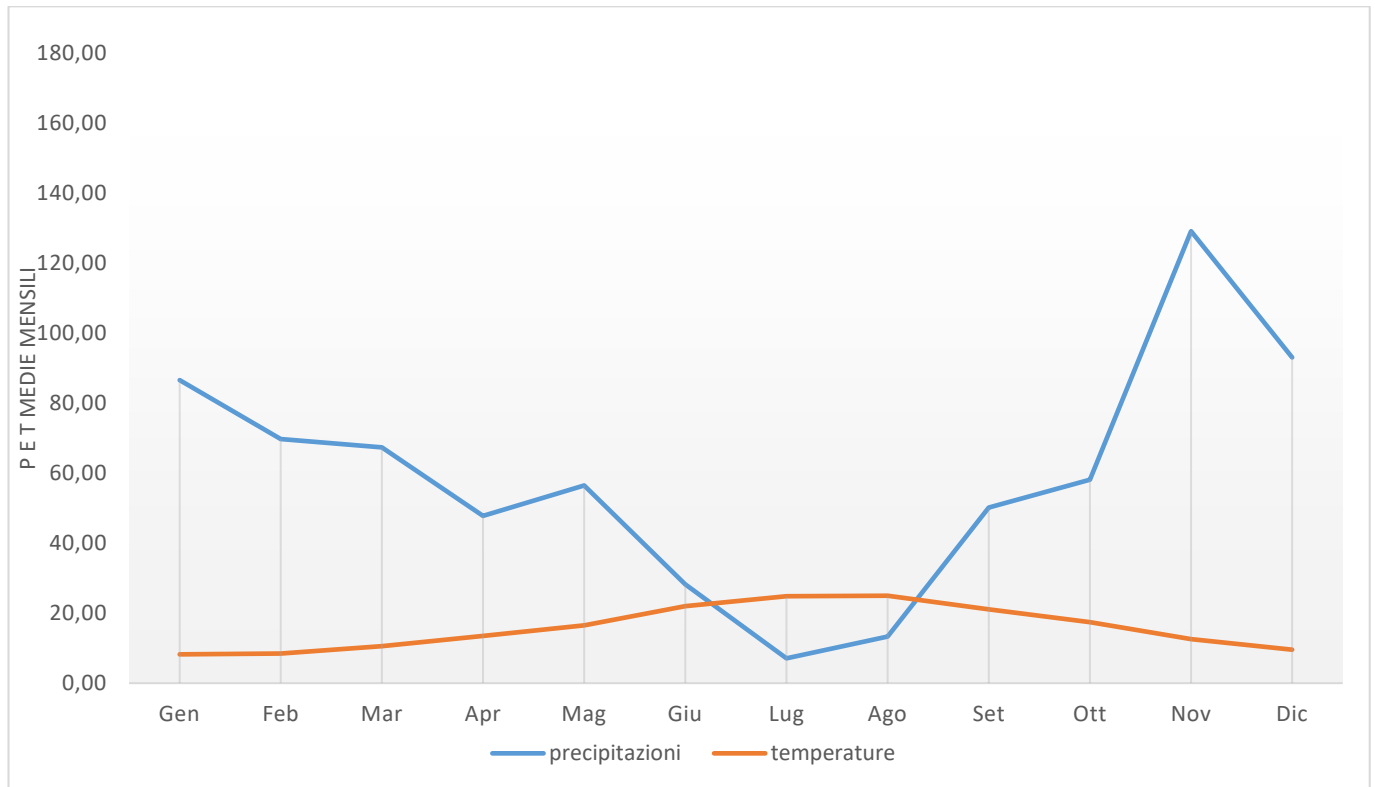


Figura 22 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Ploaghe.

Il diagramma ombrotermico elaborato per l'area di **Monte Mura** a partire dai dati sulla temperatura media e precipitazioni medie permette di comparare contemporaneamente i regimi medi mensili termici e pluviometrici nell'arco del periodo considerato. L'andamento delle curve consente di visualizzare che nei mesi estivi, dove la temperatura media mensile raggiunge valori superiori ai 24 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili sono pari a 9°C, si raggiungono le piovosità più elevate.

Il clima è caratterizzato da un periodo caldo con scarsa piovosità e uno più freddo e piovoso. Nel grafico di si nota che la curva delle precipitazioni giace al di sotto di quella delle temperature nei mesi estivi, che rappresentano il periodo secco in quanto prevale l'evapotraspirazione rispetto agli apporti idrici.

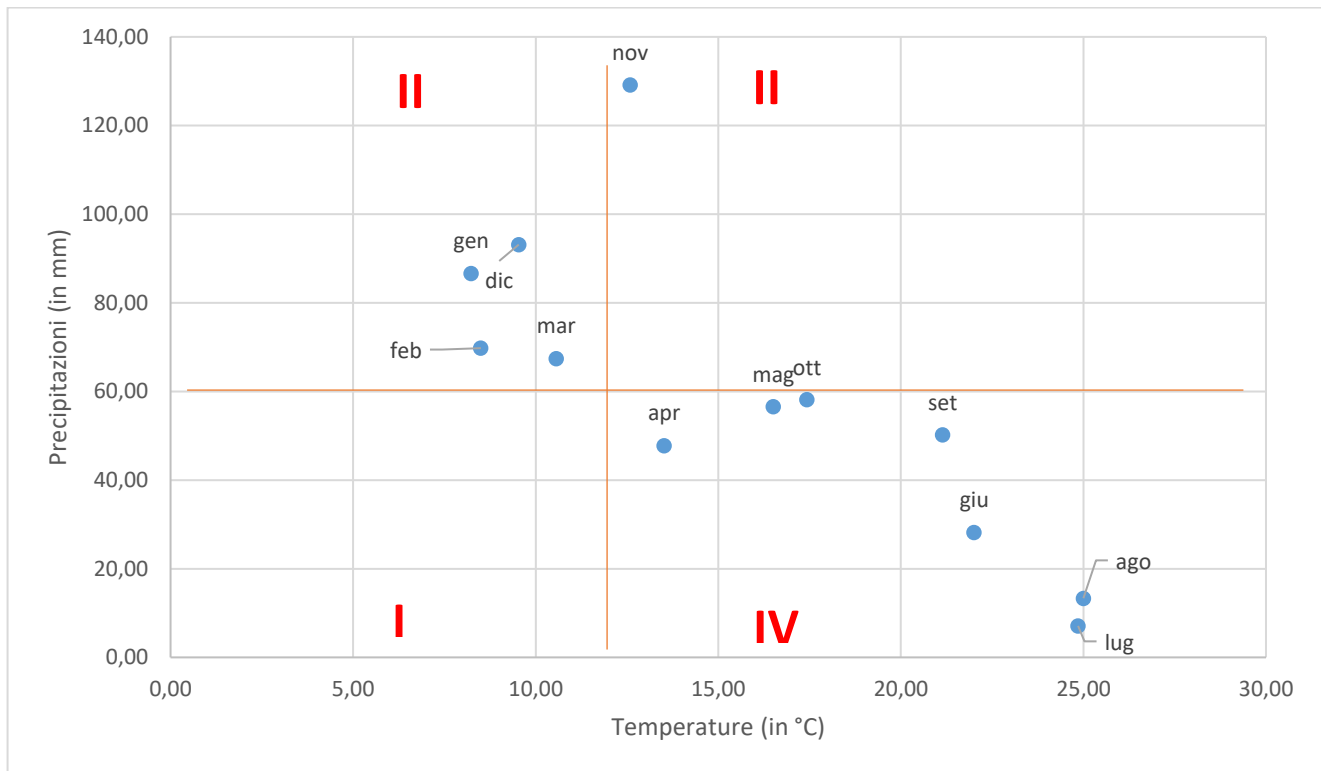


Figura 23 Climogramma relativo all'area di Ploaghe.

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 2012-2021 permette di classificare il clima dell'area di interesse come "mediterraneo con estate calda", nel quale la temperatura media annua (16 °C), non scende mai sotto agli 8 °C, e per quattro mesi (Giugno - Settembre) supera i 22 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 700 mm annui.

Dal climogramma realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-20121 per l'area di interesse, nel quale i quadranti definiscono le diverse tipologie di climi, ossia freddo arido (I), freddo umido (II), caldo umido (III) e caldo arido (IV), è evidente che il settore in studio è caratterizzato da due periodi, uno lungo di caldo arido ed uno limitato freddo umido.

La classificazione fatta sul clima della regione, è confermata anche dall'indice di aridità medio di Demartonne stimato per l'area in oggetto che ricade nel settore da "secco - sub-umido" a "subumido" per il periodo considerato.

L'analisi dei parametri meteorologici permette di confermare l'andamento climatico rilevato in quasi tutta la Sardegna, nettamente bistagionale con le stagioni caldo arida e fresca umida che si alternano nel corso dell'anno, intervallate da due brevi stagioni a carattere intermedio.



7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I pannelli fotovoltaici verranno posizionati lungo i versanti sud-occidentali del Monte Mura (480,88m) e del Monte Iglioco (391,93m), a quote dai 300m ai 450m slm, in località **Monte Mura**.

L'area vasta del settore in studio presenta delle morfologie collinari con forme rotondeggianti che vanno fino a sub-pianeggianti, spesso con piani di inclinazione orientati, variamente fratturati ed erosi.

Il territorio indagato è costituito sostanzialmente da una zona collinare, con rilievi arrotondati e dislivelli dell'ordine di 200 m circa tra monte e valle.

La forma prevalentemente rotondeggiante dei rilievi dell'area vasta di **Monte Mura** è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi sulle rocce di natura sedimentaria e vulcano-sedimentaria.

I prodotti di erosione sia della prima fase che della seconda e attuale vengono trasportati dall'acqua e dal vento e si depositano in relazione alla loro dimensione e all'energia di trasporto delle acque lungo le pendici dei versanti e nelle valli andando a costituire le coperture sedimentarie.

Le morfologie osservabili in quest'area sono strettamente connesse alle caratteristiche di messa in posto delle litologie e dalle caratteristiche fisico-chimiche delle litologie presenti e dalla tipologia ed intensità degli agenti modellanti predominanti, tra cui il dilavamento e la lisciviazione, l'erosione dovuta all'azione del vento, e il carsismo per le rocce a componente carbonatica (Fm. Mores).

7.1. ANALISI DELL'AREA GEOMORFOLOGICAMENTE SIGNIFICATIVA AL PROGETTO

L'area geomorfologicamente significativa per le azioni di progetto è quell'area in cui si esplicano tutti i processi geomorfici, il cui effetto può generare interazioni con le dinamiche ambientali. Pertanto la stessa, nello specifico, si individua nei versanti e nei sub-bacini idrografici presenti che interferiscono con l'opera.

La geomorfologia di quest'area è fortemente interessata dall'azione geochimica e fisica che l'acqua esercitata sulle rocce vulcaniche e su quelle carbonatiche, che assieme al clima locale caratterizzato dall'imponenza del maestrale e alle importanti escursioni termiche giornaliere, ha smussato e modellato il territorio conferendoli forme dolci e valli da fondo prevalentemente piatto.

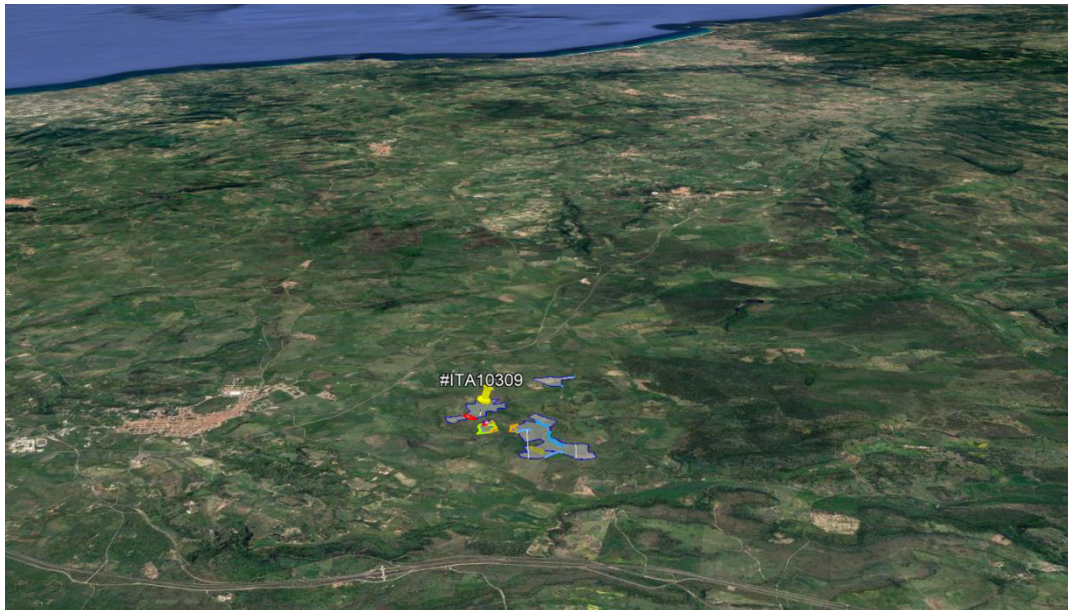


Figura 24 Caratteri geomorfologici dell'area vasta e significativa.

8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

8.1. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE

Secondo la classificazione dei bacini sardi riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico, il comune di Ploaghe è incluso nel Sub – Bacino n° 3 “Coghinas – Mannu di P.Torres – Temo”, che si estende per una superficie di 5402 Km², pari al 23% del territorio regionale.

Il Sub-Bacino Coghinas-Mannu-Temo può essere suddiviso in tre grandi sotto insiemi: il settore Orientale e Sud-Orientale prevalentemente paleozoico, il settore centrale prevalentemente terziario, e il settore Nord-Occidentale, in cui ricade il progetto, 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.

Il reticolo idrografico su queste litologie è caratterizzato da una ramificazione poco sviluppata in tutta l’area vasta che include le zone di interesse per i progetti di installazione del parco fotovoltaico.



Lo sviluppo del reticolo idrografico è strettamente connesso alle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce costituenti il substrato, e al controllo tettonico che si manifesta molto evidente su alcune linee di deflusso. Le rocce vulcaniche, rispetto alle calcaree che nell'area di studio sono presenti solo nella parte meridionale, sono generalmente caratterizzate da fratturazione che influenza la circolazione superficiale, più importante di quella profonda. importanti sistemi di giunti e discontinuità, spesso visibili ad occhio nudo, che influenzano. Nelle rocce carbonatiche invece, l'aliquota d'acqua di infiltrazione è maggiore dell'acqua che prende parte al ruscellamento superficiale.

I corsi d'acqua principali presenti nell'area vasta sono il **Riu Ludu Nieddu** che scorre nella porzione sud-occidentale dell'area di studio, insieme ai suoi affluenti, e il **Riu Pentuma**, che scorre ad ovest della medesima area.

Figura 25 Suddivisione dei bacini idrografici sardi

Entrambi si gettano a S nel Riu Sos Massajos, ma il Riu Ludu Nieddu rappresenta sicuramente il più prossimo ai campi sui quali sarà situato il parco fotovoltaico.

Il Riu Ludu Nieddu presenta un orientamento NW-SE, mentre il Riu Pentuma scorre in direzione N-S.

Il reticolo idrografico sulle litologie affioranti è impostato su un sistema di valli e compluvi, ed è caratterizzato da una ramificazione ben sviluppata nell'area vasta, ma poco sviluppata nell'area di interesse per lo sviluppo del progetto che si trova prossima agli spartiacque dei sub-bacini idrografici del Riu Ludu Nieddu e del Riu Pentuma. A sud-est dell'impianto gli impluvi si organizzano in rii più evidenti che confluiscono al Riu Sos Massajos affluente del Riu Badu Ruiu, che si immette poi nel Riu Mannu. Il Riu Mannu e i relativi affluenti scendono poi verso il mare a nord, immettendosi prima nel Lago del Coghinas.

Lo sviluppo del reticolo idrografico è strettamente connesso alle caratteristiche chimico-fisiche delle rocce costituenti il substrato, e al controllo tettonico che si manifesta molto evidente su alcune linee di deflusso.

Gli impluvi costituiscono essenzialmente le aste tributarie di primo e secondo ordine dei torrenti che scorrono più a valle: essi presentano carattere essenzialmente torrentizio con deflussi stagionali legati strettamente alle precipitazioni. Lungo i versanti a maggiore pendenza i corsi d'acqua assumono un elevato potere erosivo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione di coltri alluvionali di spessore molto modesto.



8.2. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Uno studio idrogeologico ha lo scopo di identificare lo schema di circolazione idrica sotterranea relativo ad una determinata area per poter ricavare informazioni circa i rapporti tra litotipi presenti, la presenza di acqua e le possibili conseguenze derivanti dalla realizzazione di un'opera.

Nell'area di interesse sono presenti rocce di diversa natura, anche se principalmente sono da riferire al Cenozoico. Le coperture terziarie su cui verranno installati i pannelli fotovoltaici in progetto, per via della loro composizione, non sono particolarmente favorevoli all'assorbimento delle acque, eccetto per le componenti carbonatiche della Formazione di Mores.

Al contatto tra le coperture carbonatiche, più permeabili, e quelle vulcaniche alla base, meno permeabili, si possono sviluppare delle risorgive che hanno carattere prettamente stagionale legato all'andamento pluviometrico generale. Di seguito viene illustrato in uno schema il processo di infiltrazione accumulo e circolazione legato al regime delle piogge.

Gli afflussi che arrivano sul terreno sotto forma per lo più di piogge, più raramente e poco tempo di neve, in parte scorrono lungo la superficie in genere a lamina d'acqua per poi organizzarsi in deboli rivoli che si concentrano lungo gli impluvi fino a raggiungere le valli, mentre la frazione di acqua che non scorre in superficie in parte evapora e in parte si infiltra nel terreno e nella roccia sottostante scorrendo lungo le fratturazioni in maniera più o meno efficace in funzione del grado di apertura delle stesse.

Maggiore è la presenza di fratture e la porosità del mezzo, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità. Da un punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area di studio possono essere divise in due gruppi principali:

- Coperture vulcaniche oligo-mioceniche (Fm. Monte Mura, Unità vulcaniche di Logulentu, San Leonardo e Santa Giulia). Affiorano nella quasi totalità dell'area di interesse, e sono costituite da depositi caratterizzati da porosità medio bassa per porosità (MF) o medio bassa per fratturazione (MBF).
- Coperture sedimentarie oligo-mioceniche (Fm. Mores). Affiorano nella porzione meridionale dell'area di interesse, a S della faglia, e sono costituite da depositi caratterizzati da porosità medio alta per porosità (MAP).

Le litologie che interessano l'area di progetto presentano una **permeabilità medio bassa per fratturazione (MBF)**, **permeabilità media per fratturazione (MF)**, e **permeabilità medio alta per porosità (MAP)**, come è possibile vedere dalla Carta delle permeabilità resa disponibile Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna.

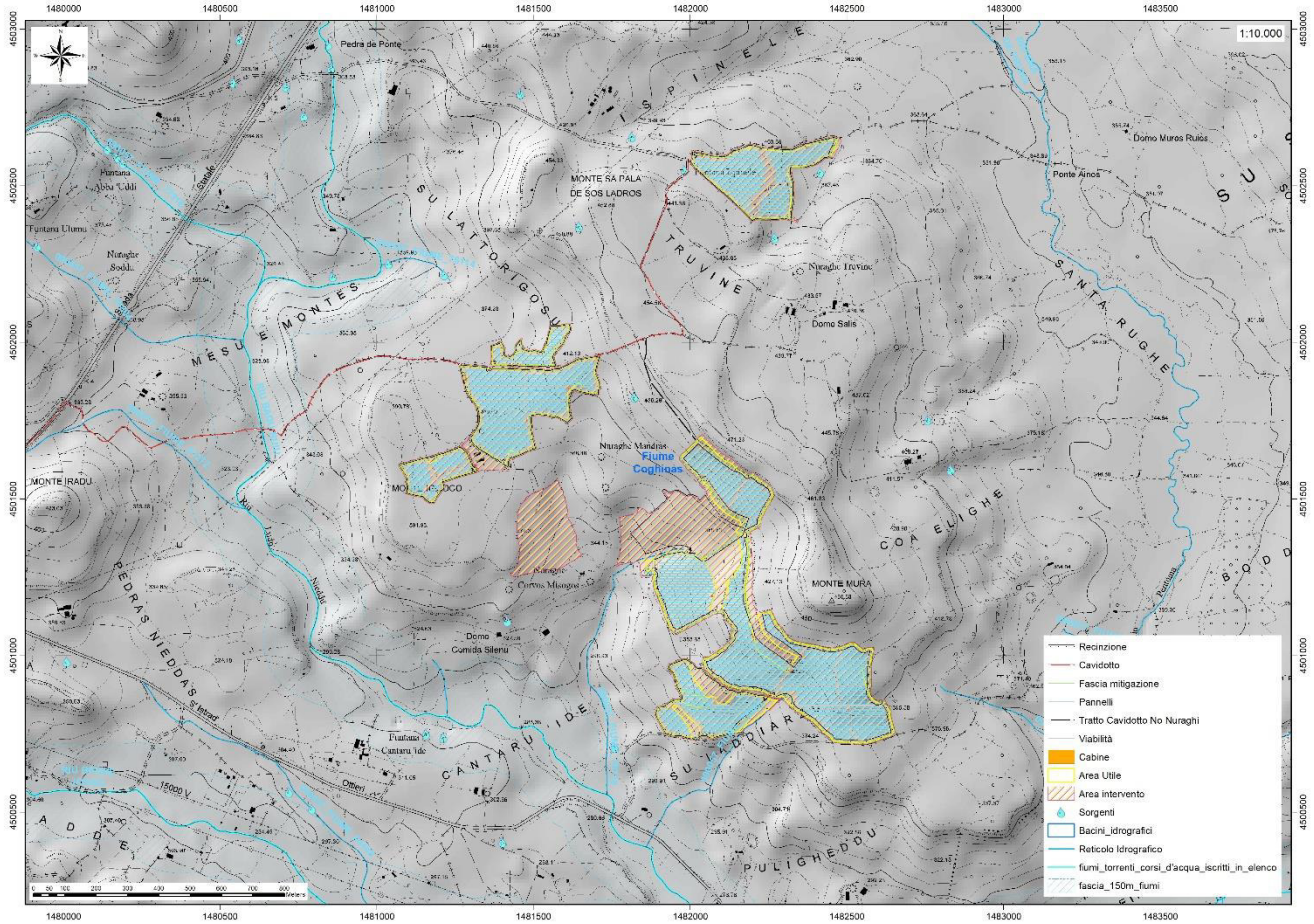


Figura 26 Carta dell'idrografia superficiale

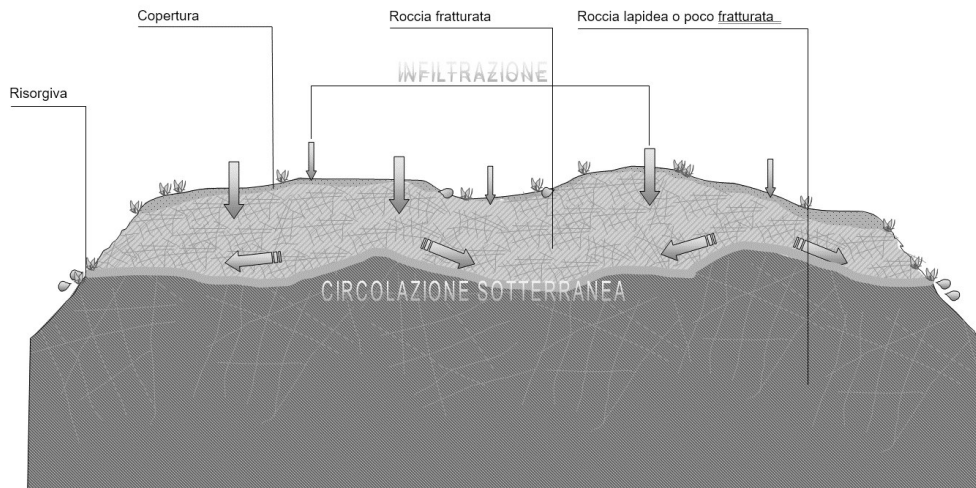


Figura 27 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

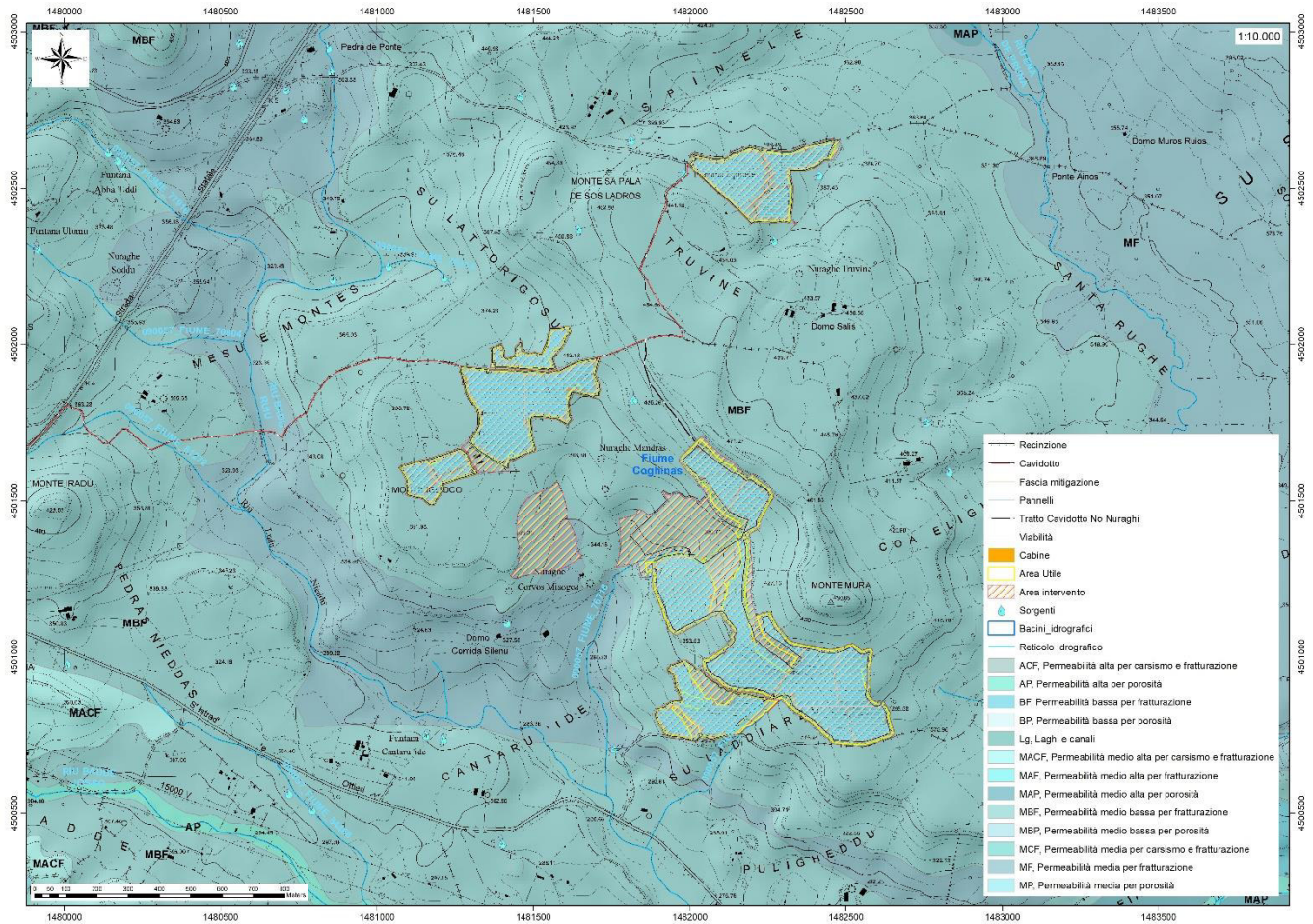


Figura 28 Carta delle permeabilità dei substrati

Dalla carta dei sistemi idrogeologici del foglio 459 "Sassari", si possono osservare le isopieze relative al complesso calcareo, le quali presentano direzioni di deflusso da sud-ovest verso nord-est, che si suppone continuo verso E nel Foglio 460 "Ploaghe". Lo schema idrogeologico sopra descritto suddivide in diverse unità idrogeologiche:

- Al complesso piroclastico e lavico delle vulcaniti terziarie viene attribuita una conducibilità idraulica di $k = 10^{-5}$ e $k = 10^{-6}$,
- mentre al complesso marnoso-calcareo (Fm. Mores) una conducibilità idraulica di $k = 10^{-6}$.



Dai dati estrapolati dall'archivio Nazionale Delle Indagini Del Sottosuolo (L.464/1984) relativi alle perforazioni, sono stati individuati tre pozzi idrici prossimi al sito di intervento:

- Codice 172485: profondo 60m e situato a NE molto prossimo al sito di intervento, rileva la prima falda a 52m dal p.c. sul substrato sabbioso;
- Codice 172473: profondo 100m e situato a S del sito di intervento, rileva la prima falda a 90m da p.c. sul substrato calcareo;
- Codice 169969: profondo 64m e situato a SE del sito di intervento, rileva la prima falda a 55m dal p.c. sul substrato sabbioso.

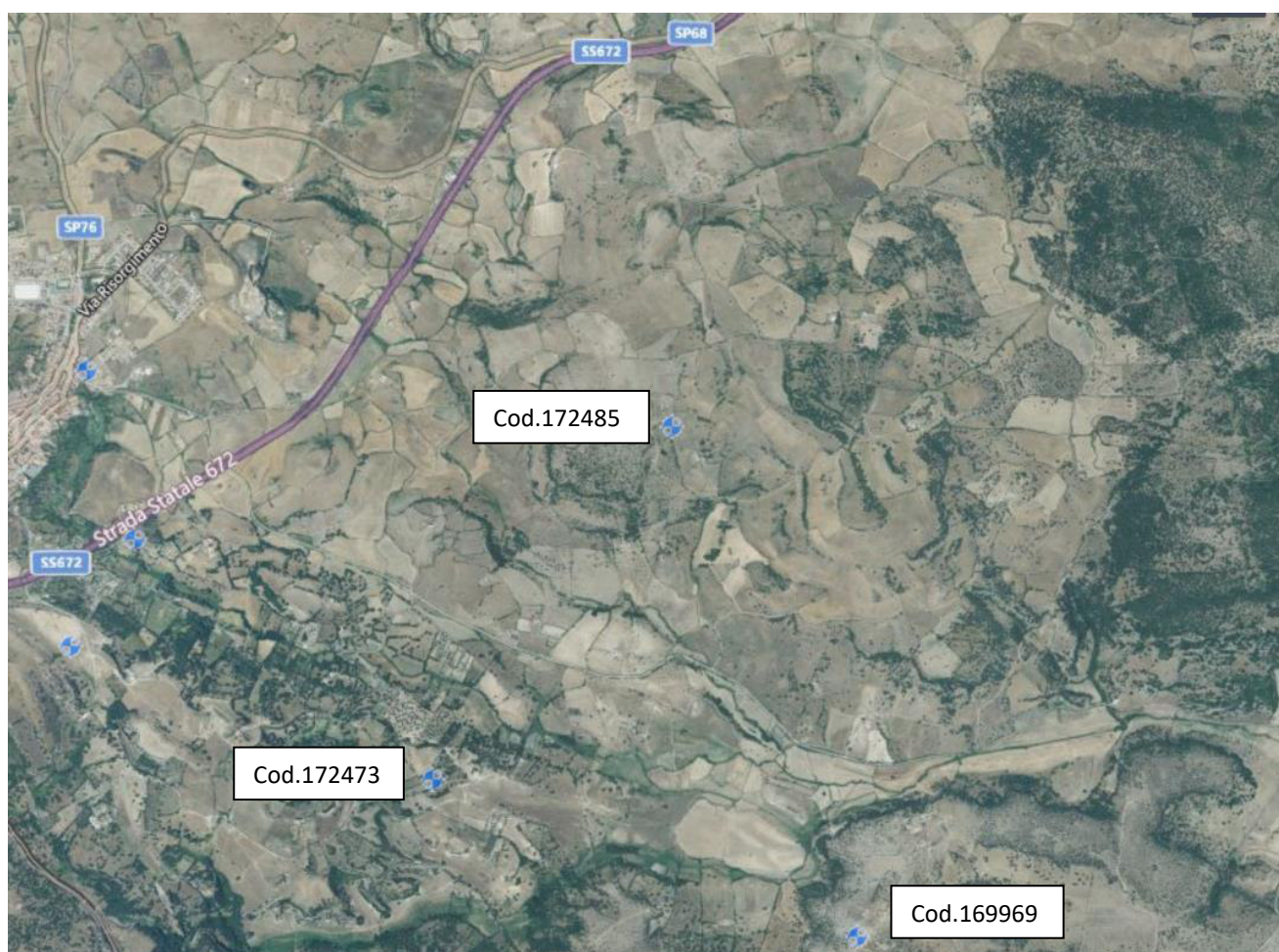


Figura 29 Ubicazione pozzi esistenti (Fonte Archivio Nazionale sulle indagini nel sottosuolo)

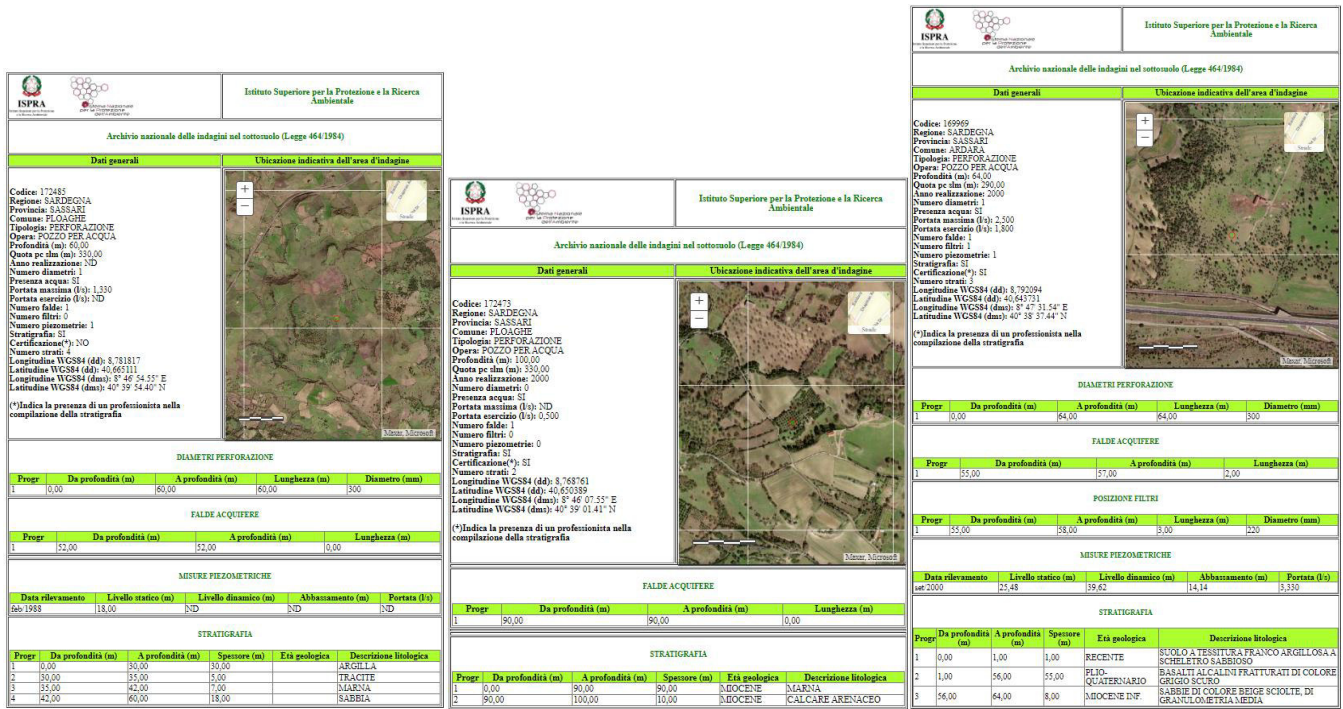


Figura 30 Monografie pozzi esistenti (Fonte Archivio Nazionale sulle indagini nel sottosuolo)

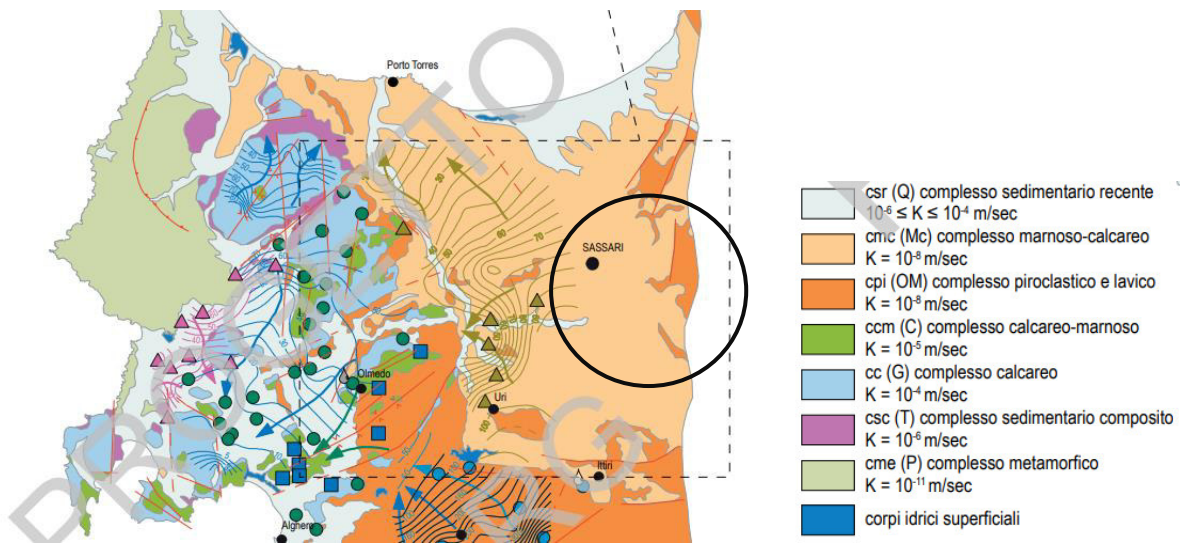


Figura 31 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari"



8.3. DISSESTI IN ATTO O POTENZIALI CHE POSSONO INTERFERIRE CON L'OPERA E LORO TENDENZA EVOLUTIVA

La predisposizione naturale di un territorio a fenomeni di instabilità legata alle dinamiche geomorfologiche deriva in generale dall'interazione di diversi fattori come natura geologica dei terreni, loro assetto sia deposizionale che geostrutturale, circolazione delle acque superficiali e sotterranee con la morfologia cioè la geometria del territorio.

L'area oggetto di intervento, in base delle caratteristiche suddette non presenta allo stato attuale evidenze di dissesto di natura geologico-geomorfologica in atto o potenziale escludendo la naturale evoluzione del pendio.

9. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Le tipologie di suolo sono legate per genesi alle caratteristiche delle formazioni geo-litologiche presenti e all'assetto idraulico di superficie nonché ai diversi aspetti morfologici, climatici e vegetazionali. Poiché la litologia del substrato o della roccia madre ha una importanza fondamentale quale fattore nella pedogenesi dei suoli, le unità principali sono state delimitate in funzione delle formazioni geologiche prevalenti, e successivamente all'interno di esse sono state individuate unità, distinte dalla morfologia del rilievo, dall'acclività e dall'uso del suolo prevalente.

L'area di progetto su cui verranno installati i pannelli ricade nei paesaggi su suoli associati all'unità **D3**, ma l'area di progetto ricade su:

- **"Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc...) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali"** con *Roccia affiorante e suoli a profilo A-C e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da franco argillosi ad argillosi, da mediamente permeabili a poco permeabili, neutri, saturi*; cui sono associati suoli dell'unità **D1** e della Carta dei Suoli della Sardegna.
- **"Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc...) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali"** con *Roccia affiorante e suoli a profilo A-C, A-R e subordinatamente A-Bw-C, poco profondi, da sabbioso-franchi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi*; cui sono associati suoli dell'unità **D3** e della Carta dei Suoli della Sardegna.
- **"Rocce effusive acide (andesiti, rioliti, riodaciti, ecc...) e intermedie (fonoliti) del Cenozoico e loro depositi di versante e colluviali"** con *suoli a profilo A-Bw-C, mediamente profondi, franco sabbioso argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, parzialmente desaturati*; cui sono associati suoli dell'unità **D5** e della Carta dei Suoli della Sardegna.
- **"Rocce effusive basiche (basalti) del Pliocene superiore e Pleistocene e relativi depositi di versante e colluviali"** con *Roccia affiorante e suoli a profilo A-R e subordinatamente A-Bw-R, poco profondi, franco argillosi, permeabili, neutri, saturi*; cui sono associati suoli dell'unità **E1** e della Carta dei Suoli della Sardegna.



- "Calcarei organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene e relativi depositi colluviali" con *Roccia affiorante e suoli a profilo A-C e A-Bt-C, da poco a mediamente profondi, franco sabbioso argillosi, permeabili, neutri, saturi*; cui sono associati suoli dell'unità **F1** e della Carta dei Suoli della Sardegna.
- "Calcarei organogeni, calcareniti, arenarie e conglomerati del Miocene e relativi depositi colluviali" con *suoli a profilo A-C, A-Bw-C, A-Bt-C e subordinatamente roccia affiorante, da mediamente a poco profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, permeabili, neutri, saturi*; cui sono associati suoli dell'unità **F2** e della Carta dei Suoli della Sardegna.

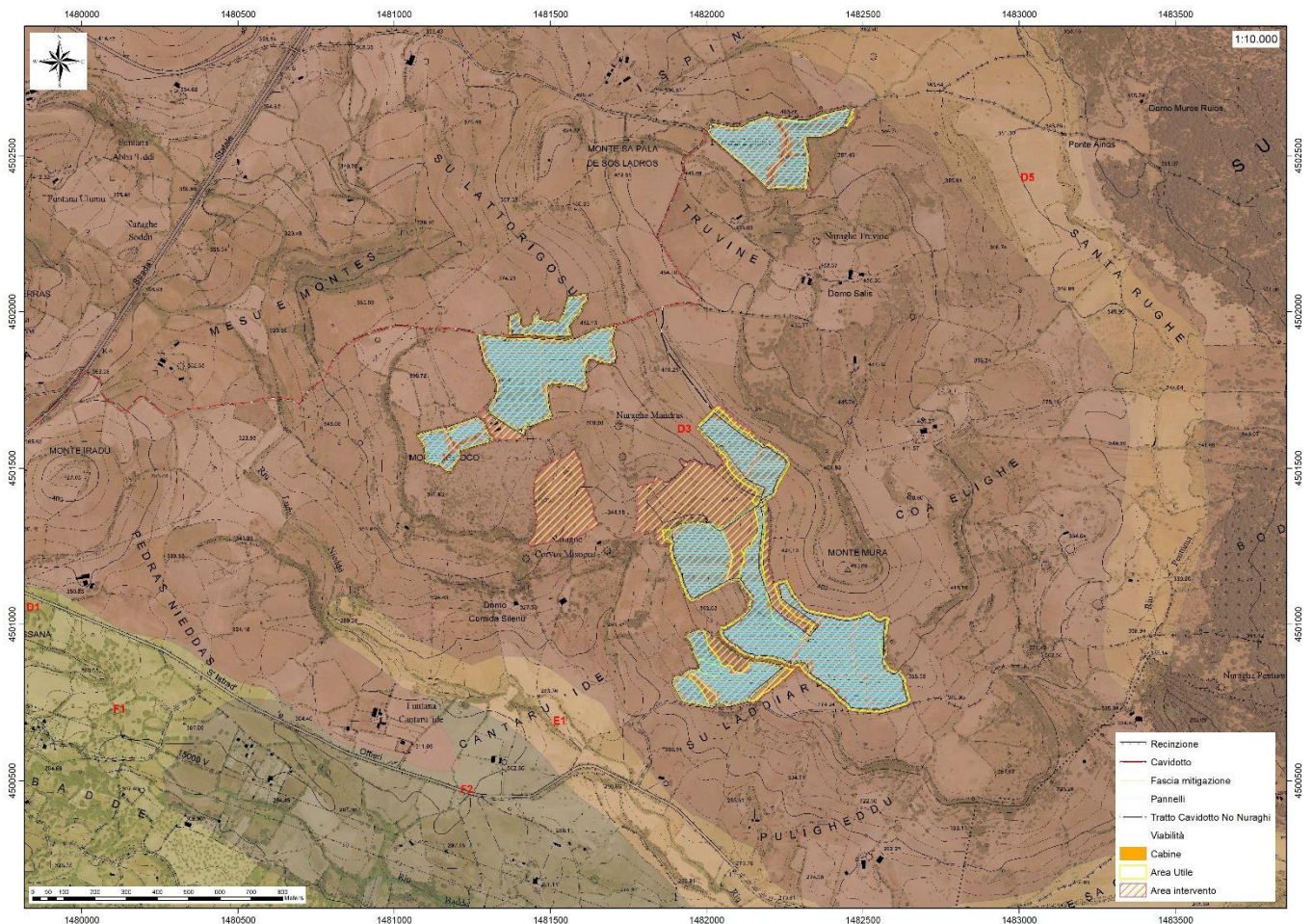


Figura 32 Stralci della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS)



10. USO DEL SUOLO

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto del parco agrivoltaico si inserisce in un contesto in cui l'utilizzo è classificato come:

- 2111 SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE
- 2112 PRATI ARTIFICIALI
- 2413 COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI
- 3231 MACCHIA MEDITERRANEA

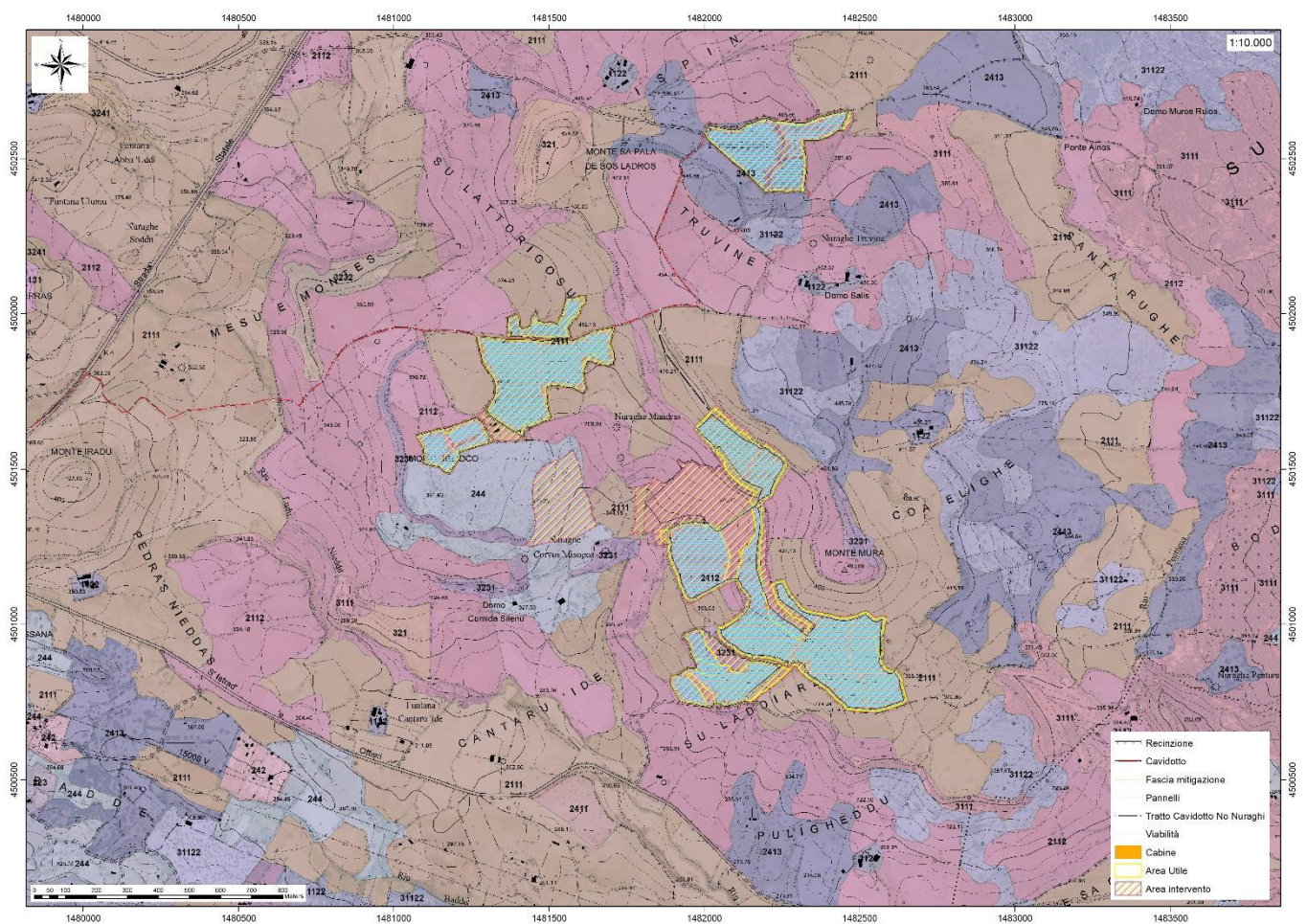


Figura 33 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo, (Fonte RAS)



11. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La necessità di integrare le informazioni di tipo geologico e geotecnico derivanti da studi pregressi, dalla letteratura di settore e dai rilievi geologici e geostrutturali in sito, ha reso necessario predisporre un piano di indagini geognostiche propedeutiche alla definizione del modello geologico di riferimento di sito funzionale alle opere previste in progetto così come richiamato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018 - §Cap. 6.2.1).

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

- Definire la stratigrafia ed i rapporti tra le formazioni geologiche interessate dagli interventi;
- Definire le caratteristiche fisico-meccaniche degli ammassi rocciosi coinvolti nelle opere in progetto;

L'indagine geognostica è stata realizzata essenzialmente mediante prospezione geofisica e rilievo geostrutturale in sito.

Le prospezioni geofisiche sono state realizzate impiegando la metodologia sismica con la tecnica MASW.

L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del DM 17/01/2018.

In data 28/09/2023 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa ad opera della ditta Geoservice S.R.L., articolata in:

- Esecuzione di n° 2 stendimenti di sismica con tecnica MASW (M1 e M2).
- Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software specialistici.

Lo stendimento è stato posizionato in modo da esser rappresentativo delle condizioni litostratigrafiche e geostrutturali, in accordo con quanto rilevato dai rilievi di superficie.

Nella Tabella seguente è riportato il quadro riassuntivo delle indagini svolte, con le sigle identificative, la direzione di esecuzione (da geofono iniziale a quello finale), e la loro lunghezza complessiva, mentre nella figura seguente è rappresentato il punto dove sono state effettuate le indagini.

N° progr.	Tipologia di indagine	Sigla Stendimento	Direzione	Intervallo Geofoni [m]	Lunghezza [m]
1	MASW	M1	O-E	2,0	46
2	MASW	M2	SO-NE	2,0	46



Di seguito si riportano le specifiche di rilievo e gli esiti dell’elaborazione dei profili sismici acquisiti.

11.1. M.A.S.W. – TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

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

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d’onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d’onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.” (da Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006). L’indagine svolta ha visto l’applicazione di tecnica M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un’energizzazione.



Figura 34 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m

L’indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all’ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in “andata” e in “ritorno” con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica. Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.



Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale di un'indagine M.A.S.W. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi. La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata. Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, è stata utilizzata una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronic instruments, 24 bit con frequenza di campionamento 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

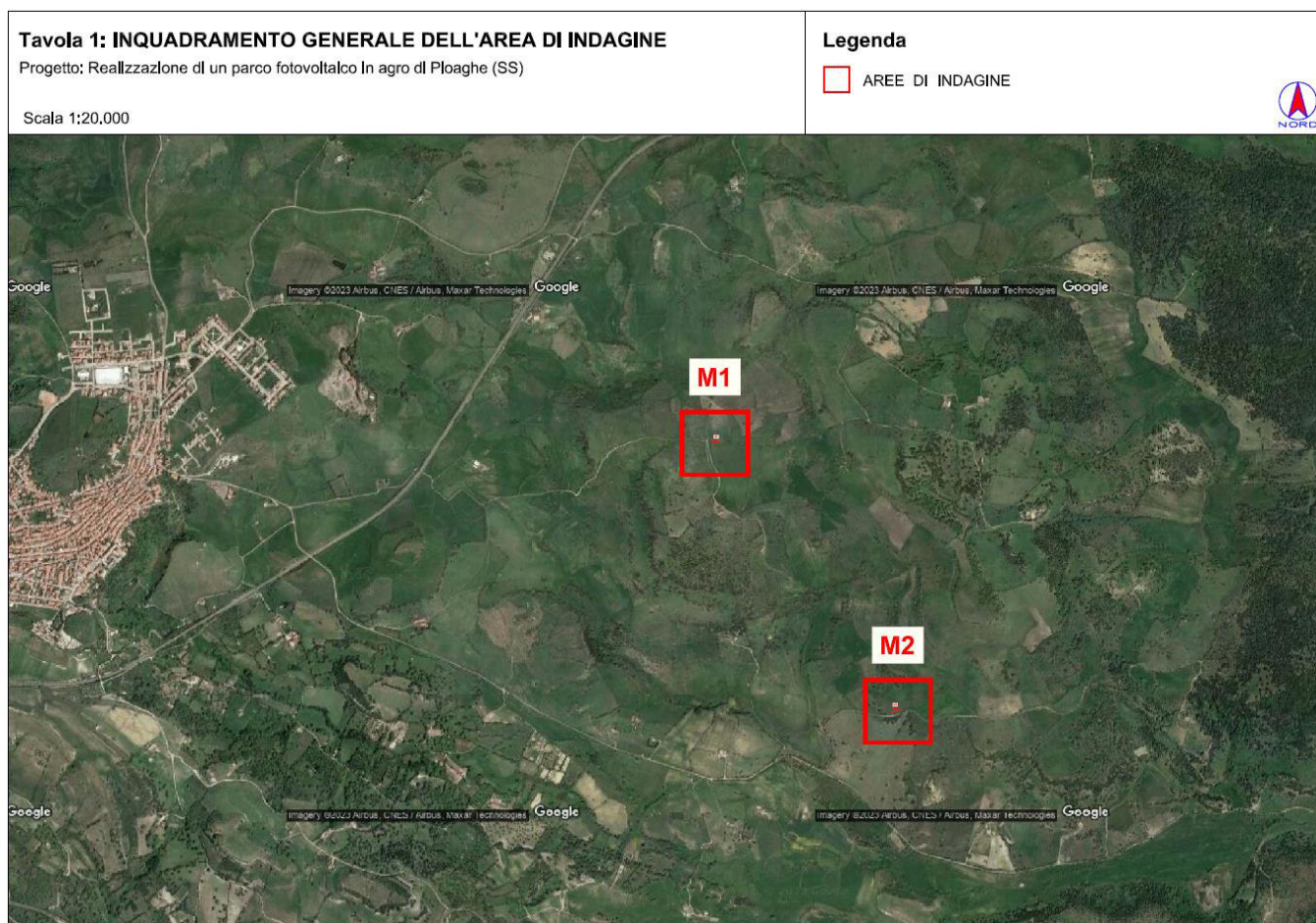


Figura 35 Localizzazione stendimento nell'area vasta



Figura 36 Particolare dell'ubicazione degli stendimenti M1 e M2

11.2. M.A.S.W. – ELABORAZIONE RISULTATI

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s della sezione M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio V_s .

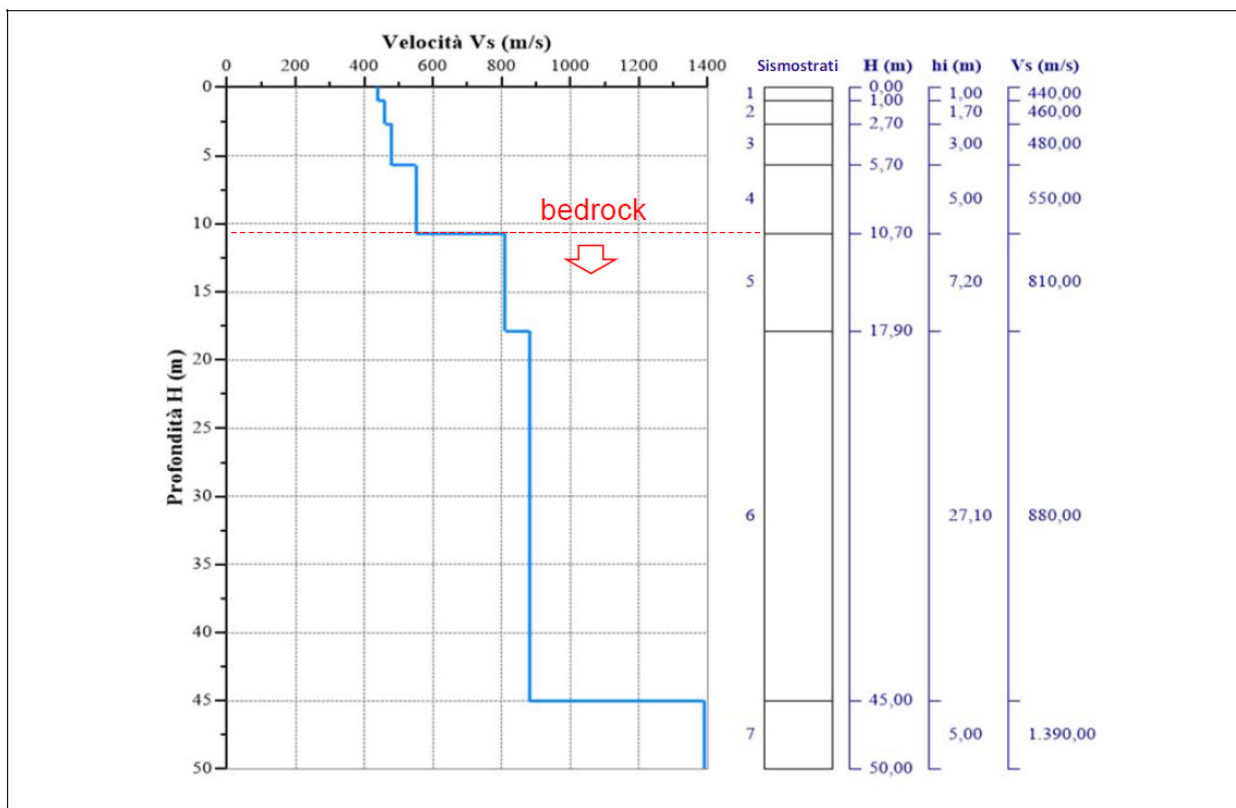
11.2.1. BASE SISMICA M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali V_s della sezione **M1**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio V_s .

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 1,0	1° sismostrato con V_s di 440 m/s Terre da addensate a molto addensate
1,0 – 2,7	2° sismostrato con V_s di 460 m/s Terre da addensate a molto addensate
2,7 – 5,7	3° sismostrato con V_s di 480 m/s Terre da addensate a molto addensate
5,7 – 10,7	4° sismostrato con V_s di 550 m/s Terre molto addensate
10,7 – 17,9	5° sismostrato con V_s di 810 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
17,9 – 45,0	6° sismostrato con V_s di 880 m/s Substrato roccioso fratturato
45,0 – 50,0	7° sismostrato con V_s di 1390 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano



MASW M1-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	440,00	1,00	1,00	0,00227
2	2,70	1,70	460,00	2,70	1,70	0,00370
3	5,70	3,00	480,00	5,70	3,00	0,00625
4	10,70	5,00	550,00	10,70	5,00	0,00909
5	17,90	7,20	810,00	17,90	7,20	
6	45,00	27,10	880,00	30,00	12,10	
7	50,00	5,00	1390,00	0,00	0,00	

Nella tabella seguente si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.



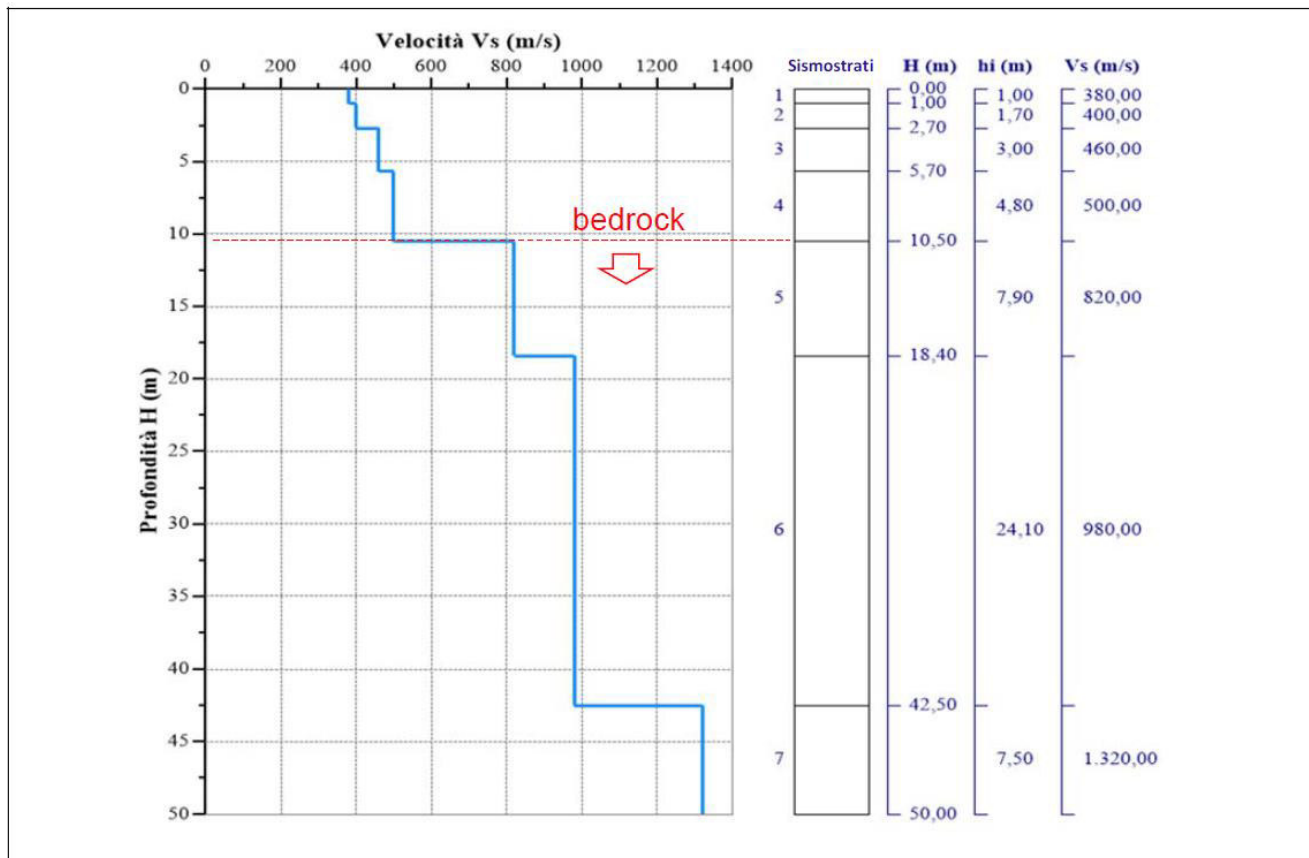
Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 – 1,0	terre	1.800	880	440	0,33	932	112	353	932
2	1,0 – 2,7	terre	2.000	920	460	0,33	1.128	136	422	1.128
3	2,7 – 5,7	terre	2.100	960	480	0,33	1.294	156	481	1.294
4	5,7 – 10,7	terre	2.200	1.100	550	0,33	1.775	214	667	1.775
5	10,7 – 17,9	15%	2.350	1.620	810	0,33	4.109	616	1.540	4.109
6	17,9 – 45,0	22%	2.400	1.760	880	0,33	4.952	1.090	1.863	4.952
7	45,0 – 50,0	25%	2.450	2.780	1390	0,33	12.621	3.155	4.737	12.621

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

11.2.1. BASE SISMICA M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione **M2**, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 380 m/s Terre da addensate a molto addensate
1,0 – 2,7	2° sismostrato con Vs di 400 m/s Terre da addensate a molto addensate
2,7 – 5,7	3° sismostrato con Vs di 460 m/s Terre da addensate a molto addensate
5,7 – 10,5	4° sismostrato con Vs di 500 m/s Terre molto addensate
10,5 – 18,4	5° sismostrato con Vs di 820 m/s Substrato roccioso estremamente fratturato
18,4 – 42,5	6° sismostrato con Vs di 980 m/s Substrato roccioso fratturato
42,5 – 50,0	7° sismostrato con Vs di 1320 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	380,00	1,00	1,00	0,00263
2	2,70	1,70	400,00	2,70	1,70	0,00425
3	5,70	3,00	460,00	5,70	3,00	0,00652
4	10,50	4,80	500,00	10,50	4,80	0,00960
5	18,40	7,90	820,00	18,40	7,90	
6	42,50	24,10	980,00	30,00	11,60	
7	50,00	7,50	1320,00	0,00	0,00	

Nella tabella seguente si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input Vs, e Vp e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.



Sismo strato	Prof/ zona	CT*	Densità γ	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 – 1,0	terre	1.800	760	380	0,33	696	84	265	696
2	1,0 – 2,7	terre	2.000	800	400	0,33	853	103	324	853
3	2,7 – 5,7	terre	2.100	920	460	0,33	1.187	143	441	1.187
4	5,7 – 10,5	terre	2.200	1.000	500	0,33	1.471	178	549	1.471
5	10,5 – 18,4	12%	2.350	1.640	820	0,33	4.217	506	1.579	4.217
6	18,4 – 42,5	22%	2.400	1.960	980	0,33	6.149	1.353	2.305	6.149
7	42,5 – 50,0	25%	2.450	2.640	1320	0,33	11.386	2.846	4.266	11.386

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

12. ANALISI E SISMICITA' STORICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Dalla normativa vigente NTC2018 si evince che la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa A_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4. Inoltre, in alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purchè correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione. Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- A_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- TC^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.1

Per i valori di A_g , F_0 e TC^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.



12.1. VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La tipologia di costruzioni previste in progetto (NTC2018 - par.2.4) ha **vita nominale ≥ 50 anni** (opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni...) appartiene alla **classe d'uso II**.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II. Nel Caso specifico **$C_U = 1$** .

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Il valore del periodo di riferimento è **$V_r = 50$**

Amplificazione stratigrafica e topografica: Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di 15° e altezza maggiore di 30 m, l'azione sismica di progetto deve essere opportunamente incrementata o attraverso un coefficiente di amplificazione topografica o in base ai risultati di una specifica analisi bidimensionale della risposta sismica locale, con la quale si valutano anche gli effetti di amplificazione stratigrafica

La **categoria topografica è la T1** a cui corrisponde un valore del fattore di amplificazione pari a 1.0.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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



Al fine di definire l'azione sismica di progetto, basata sull'identificazione della categoria del sottosuolo di riferimento, si è voluto definire il parametro fondamentale per la "classificazione sismica dei terreni", e quindi per la determinazione della categoria, **corrispondente alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VS30**, valutata entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna ma nel caso specifico relativa alla quota di imposta delle fondazioni.

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II (Figura 5.4) la determinazione del parametro delle onde di taglio VS30 è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione delle prospezioni geofisiche MASW nell'area di studio.

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

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

con:
 h_i spessore dell'i-esimo strato;
 $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle V_s si pone come profondità del substrato **10,70 m ($V_s > 800$ m/s) per M1 e 10,50 m per M2**. La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a 10,70 m di profondità dal p.c. è pari a: $V_{seq} = 10,7/0,02131 = 502$ m/s (M1) e $V_{seq} = 10,5/0,0230 = 457$ m/s (M2) che danno luogo ad una **categoria B**, ossia:

Categoria 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.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).



In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso si sono calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLV e SLC. (SW AZTEC Sisma 10.0 e GEOSTRU PS):

Figura 36 Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.610	0.273
Danno (SLD)	35	0.020	2.628	0.280
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.045	2.855	0.332
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.055	2.930	0.356
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Dove:

Stato Limite di Operatività (SLO)**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):****Stato Limite di Danno (SLD)****Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):****ag** accelerazione orizzontale massima al sito;**Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.**T*C** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale



13. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla pericolosità idrogeologica, si sintetizzano gli esiti del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che è stato redatto dalla Regione Sardegna ai sensi del comma 6 ter dell'art. 17 della Legge 18 maggio 1989 n. 183 e ss.mm.ii., adottato con Delibera della Giunta Regionale n. 2246 del 21 luglio 2003, approvato con Delibera n. 54/33 del 30 dicembre 2004 e reso esecutivo dal Decreto dell'Assessore dei Lavori Pubblici n. 3 del 21 febbraio 2005.

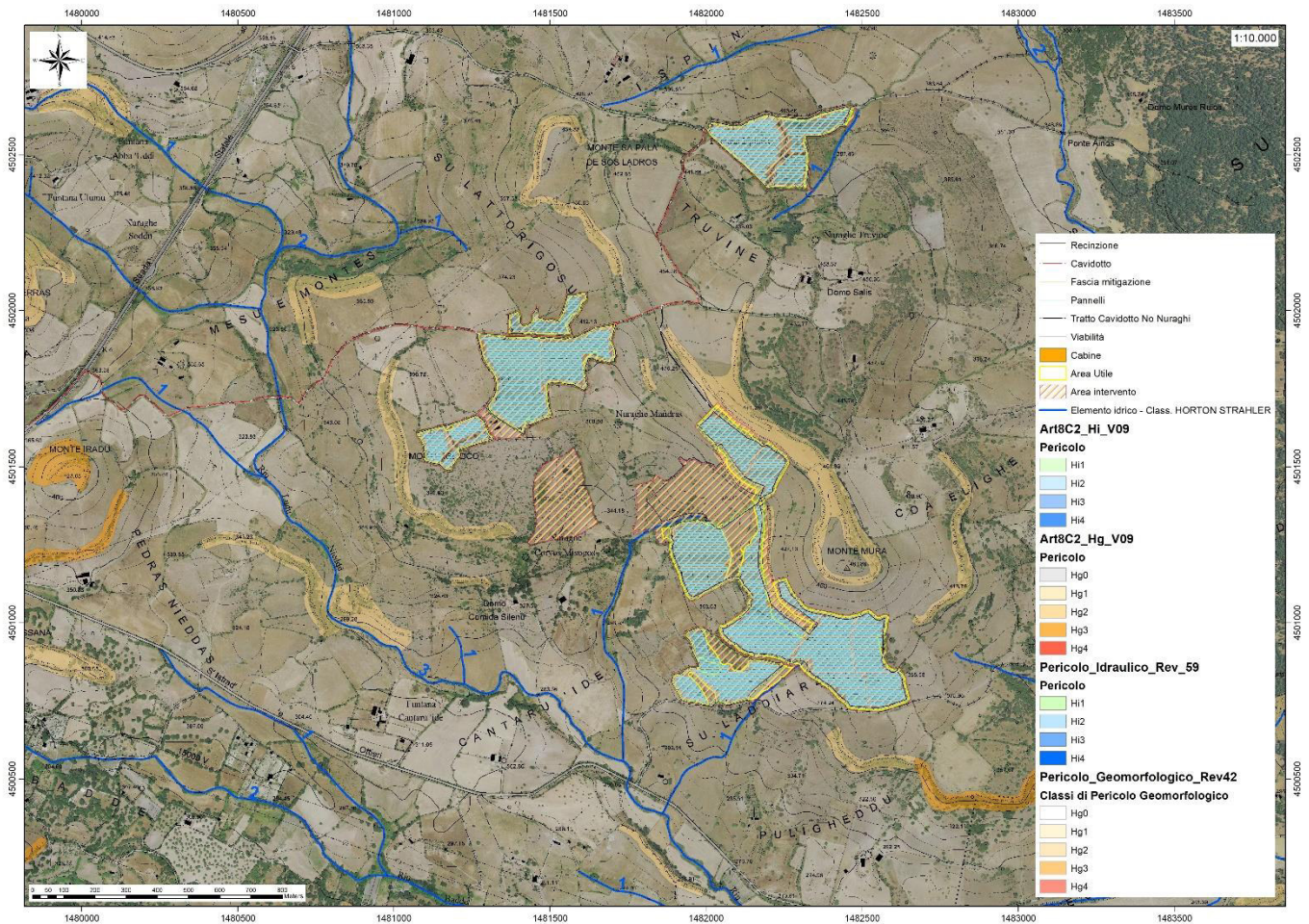


Figura 37 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Idraulica Hi e pericolosità geomorfologica Hg (fonte RAS)

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e, in quanto dispone con finalità di salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici, prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale (Art. 4 comma 4 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI). Inoltre (art. 6 comma 2 lettera c delle NTA), "le previsioni del PAI [...] prevalgono: [...] su quelle degli altri strumenti regionali di settore con effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali, tra cui i [...] piani per le infrastrutture, il piano regionale di utilizzo delle aree del demanio marittimo per finalità turistico-ricreative".



Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha inoltre evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti.

L'area di progetto non è compresa in aree caratterizzate da Pericolosità Idraulica, Pericolo alluvioni, pericolo frana, o Aree Alluvionate "Cleopatra".

L'area di progetto è invece compresa nelle aree caratterizzate da Pericolosità Geomorfologica (Hg2).

Per maggiori dettagli sulla disciplina delle aree sottoposte a vincolo si rimanda all'elaborato di progetto AF.GEO.R06 - Studio di compatibilità idrogeologica.

13.1. PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

L'articolo 7 del D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", che recepisce in Italia la Direttiva comunitaria 2007/60/CE, prevede che in ogni distretto idrografico, di cui all'art. 64 del D.Lgs.152/2006, sia predisposto il **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni** (di seguito indicato come PGRA). L'obiettivo generale del PGRA è la riduzione delle conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali. Esso coinvolge pertanto tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, con particolare riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure vengono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato. Il PGRA individua strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative.

L'area di progetto non è compresa nelle perimetrazioni del PGRA

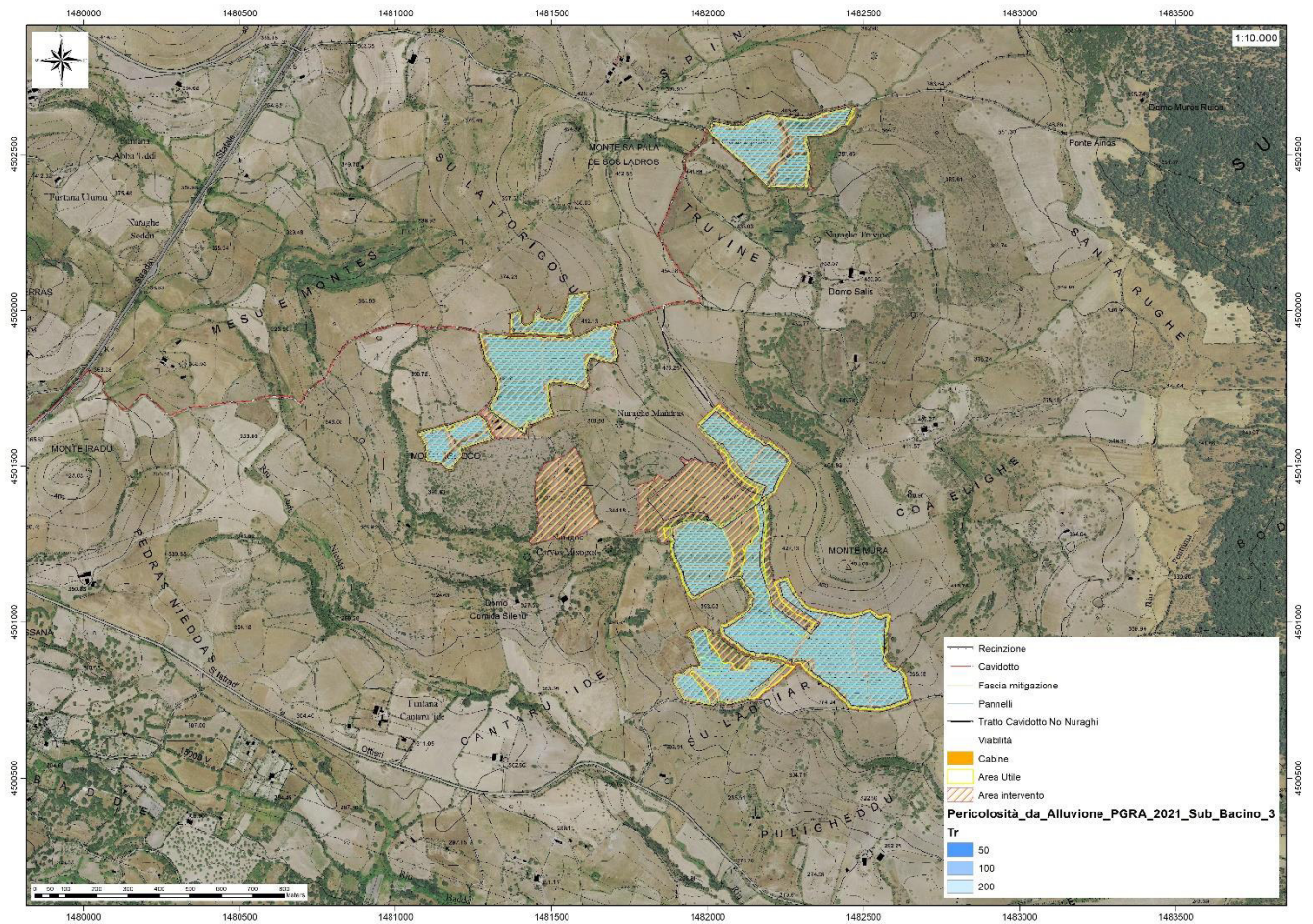


Figura 38 Inquadramento PGR (fonte RAS)

13.2. PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) definisce, per i principali corsi d'acqua della Sardegna, le aree inondabili e le misure di tutela per le fasce fluviali. A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

L'area di progetto non è compresa nelle perimetrazioni del PSFF

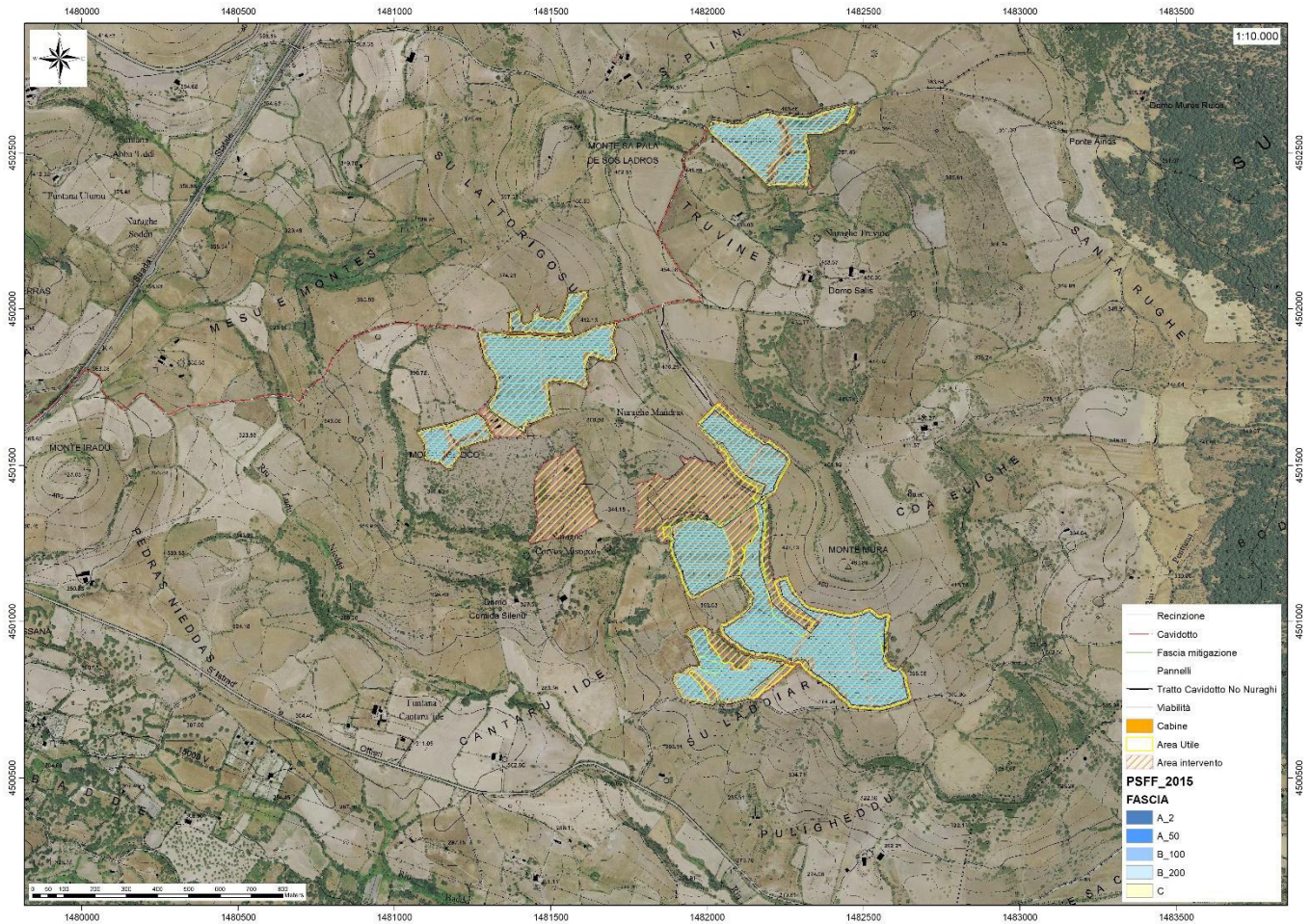


Figura 39 Inquadramento PSFF (fonte RAS)

12.3 INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI (IFFI)

Per quanto riguarda il censimento dei siti franosi nell'ambito del Progetto IFFI, nell'inventario sono menzionate aree che ricadono nel territorio di Ploaghe, sebbene nessuna di queste ricada nell'area oggetto di studio.

L'area di progetto non è compresa nelle perimetrazioni del Progetto IFFI

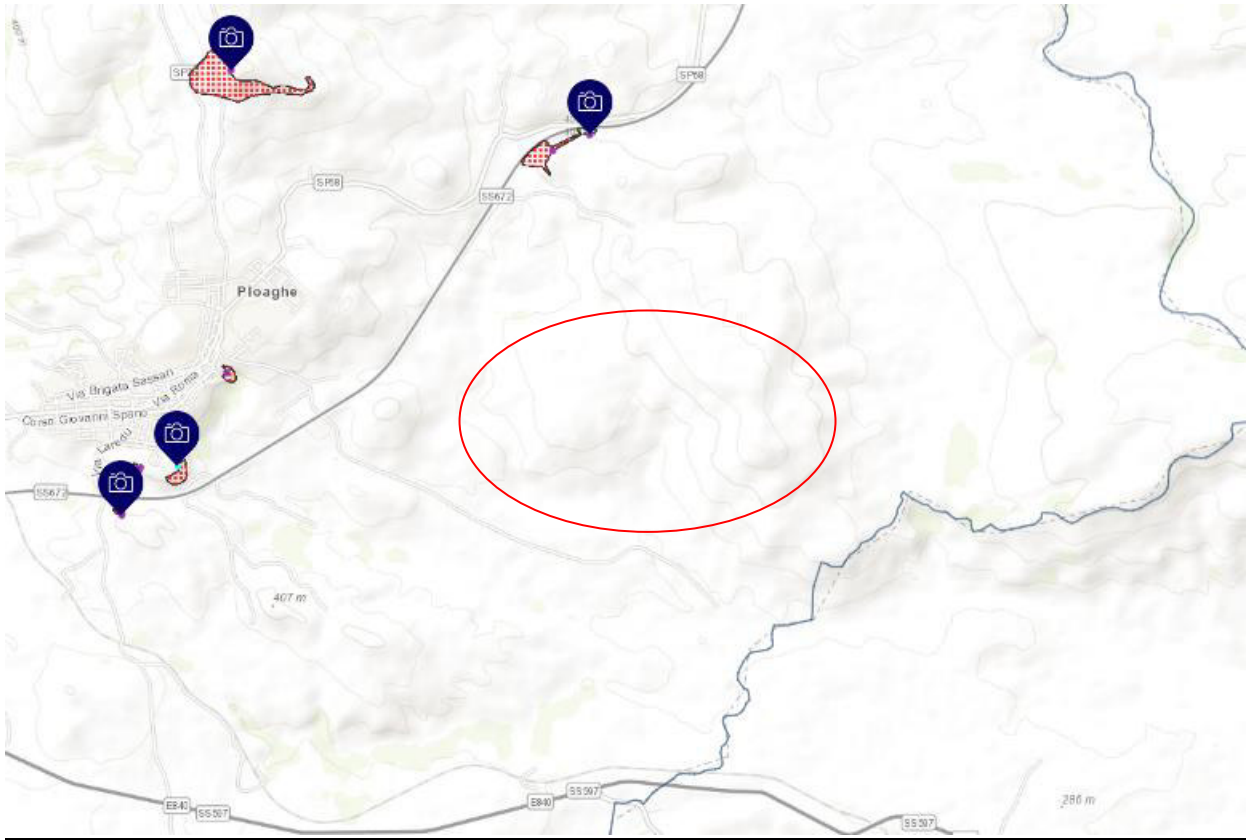


Figura 40 Archivio IFFI (fonte ISPRA): frane censite nell'area vasta.



Isola > Sardegna > SS
Ploaghe
 Popolazione a rischio
 Frane: 42 ab.

Alluvioni: 0 ab.

Pericolosità e rischio

Frane	Territorio	Popolazione	Famiglie	Edifici	Imprese	Beni culturali
Molto Elevata P4	0,14 (0,14)	1 (0,14)	1 (0,14)	1 (0,14)	0 (0,0)	0 (0,0)
Elevata P3	1,56 (1,84)	41 (0,99)	16 (0,99)	23 (1,1)	5 (1,7)	10 (26,9)
Media P2	3,81 (4)	38 (0,99)	16 (0,99)	26 (0,7)	2 (0,9)	3 (7,9)
Moderata P1	0,01 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Area Attenzione AA	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Bassa P0 + P2	1,7 (1,8)	42 (0,99)	17 (1)	26 (1,7)	5 (1,7)	10 (26,7)

Alluvioni	Territorio	Popolazione	Famiglie	Edifici	Imprese	Beni culturali
Elevata	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Media	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Bassa	0,51 (0,5)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (5,7)

* Le mosaicature nazionali della pericolosità da frana e idraulica sono realizzate dall'ISPRA sulla base dei dati forniti dalle Autorità di Bacino Distrettuali. I dati relativi ai tre scenari di pericolosità idraulica (D.Lgs. 49/2010) non vanno sommati; lo scenario di pericolosità bassa rappresenta lo scenario massimo atteso ovvero la massima estensione delle aree inondabili.
 Fonte dati: Rapporto ISPRA 2021 su "Rischio idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio"

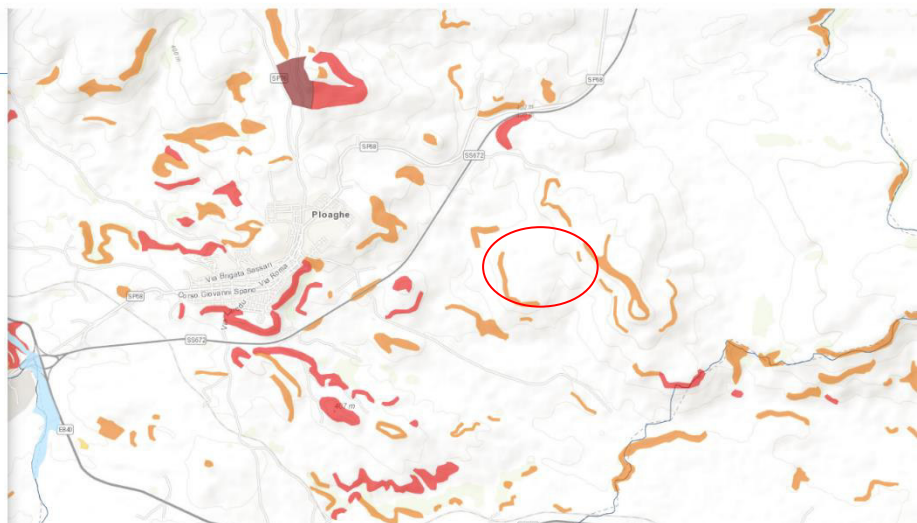


Figura 41 Archivio IFFI (fonte ISPRA): pericolosità e rischio per il territorio oggetto di studio.



13 MODELLO GEOLOGICO

Sulla base di quanto emerso dai rilievi e dalle indagini in sito, nell'approccio progettuale, stante il contesto geologico si evidenziano le seguenti criticità a cui sarà necessario prestare la opportuna attenzione nella progettazione delle opere e nelle varie fasi di realizzazione. L'analisi di tali fattori è funzionale alla progettazione e ha lo scopo di valutare la risposta del terreno ai nuovi carichi ed individuare azioni correttive o accorgimenti tali da limitarne gli effetti.

Nello specifico:

- Circolazione idrica sotterranea secondaria o indotta e/o stagnazione di acque di pioggia –vanno considerati gli effetti dell'eventuale presenza d'acqua alla quota di imposta delle opere fondanti con particolare riferimento alla stagionalità degli apporti idrici e del relativo flusso negli ambiti più superficiali delle coltri di alterazione dei depositi alluvionali.
- Presenza di sacche argillose non attualmente identificabili che possono cambiare il grado di portanza dei terreni – sarà opportuno in fase di progettazione definitivo/esecutiva eseguire dei saggi sul terreno per confermarne o meno la presenza.

Dalle informazioni ricavate dal seguente studio è stato costruito il modello geologico preliminare del sito che sintetizza e descrive i caratteri litologici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici trattati nei capitoli precedenti:

0,00m – 1,00m **Litotipo 0** Suolo/substrato alterato

1,00m – 5,70m **Litotipo 1** Terre addensate a molto addensate

5,70m – 10,50m **Litotipo 2** Terre molto addensate

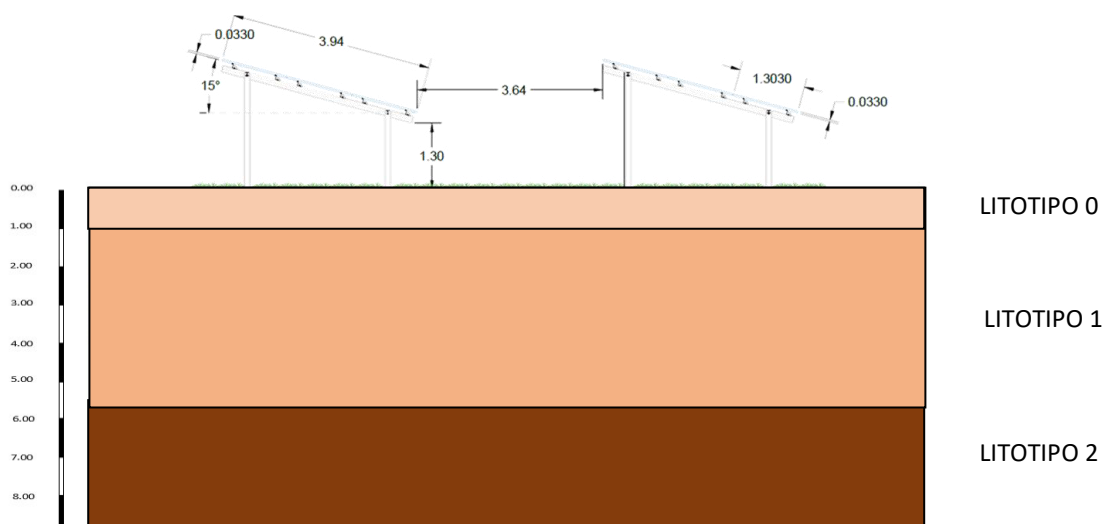


Figura 45 - Modello Geologico



14 FATTIBILITA' GEOLOGICA - GEOTECNICA

Analizzate le specifiche dell'impianto e, a seguito delle analisi geologico strutturali affrontate nei capitoli precedenti, vengono rese note una serie di indicazioni che possono essere utili al fine di una corretta installazione dell'impianto e delle sue componenti fondanti in relazione alle caratteristiche geologiche della superficie interessata dal progetto.

L'area è caratterizzata, nel primo metro circa, da **suolo/substrato alterato**, seguono poi, dai 1m ai 5,7m circa, **terre addensate/substrato roccioso alterato** e dai 4m ai 6m **substrato roccioso sano**.

Durante l'installazione delle aste nel terreno la presenza di materiale ciottoloso potrebbe ostacolare l'infissione e creare resistenza tanto da dover ricorrere ad eventuali fori o trivelle per un corretto fissaggio delle aste.

L'infissione dell'asta comporta un addensamento del terreno adiacente all'asta, con un incremento dello stato tensionale e delle caratteristiche meccaniche. Al contrario, l'installazione dell'asta a seguito dell'utilizzo di una trivella, la quale richiede la rimozione di un uguale volume di terreno, comporta una riduzione dello stato tensionale iniziale, il quale deve essere ripristinato attraverso compattazione superficiale.

Nei terreni incoerenti l'addensamento avviene con riduzione dei vuoti e con l'espulsione dell'acqua interstiziale e si possono ottenere massimi addensamenti sia con saturazione completa sia in condizioni di assenza di acqua.

La forma della curva mostra come effettivamente si possa ottenere il massimo addensamento anche in condizioni di umidità naturale del volume da compattare (fig. 42)

Occorre considerare sempre e comunque che è sufficiente una percentuale del 10-15% di materiali fini per rendere il terreno incoerente assimilabile, ai terreni coesivi e, quindi a dovere compattare il volume di terreno al valore ottimo dell'umidità per ottenere il massimo addensamento, poiché, in un terreno relativamente secco la compattazione deve vincere l'adesione dovuta alle tensioni superficiali al confine tra aria e acqua dovute al fenomeno della capillarità.

Pertanto, quest'operazione di costipamento del terreno è consigliabile eseguirla con un contenuto d'acqua tale che le particelle siano lubrificate al punto giusto affinché si assestino con la compattazione ed il conseguentemente aumento della densità.

L'eccessiva quantità d'acqua porterebbe l'effetto contrario, aumenterebbe l'indice dei vuoti con riduzione della densità (fig. 43).

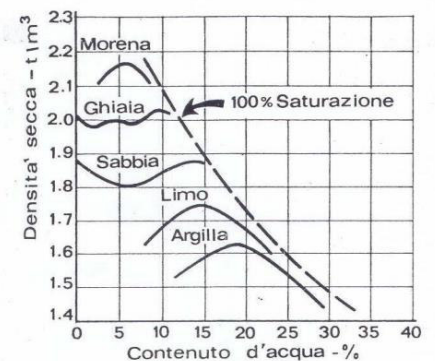


Figura 42 Curva di compattazione da prove di laboratorio in terreni incoerenti

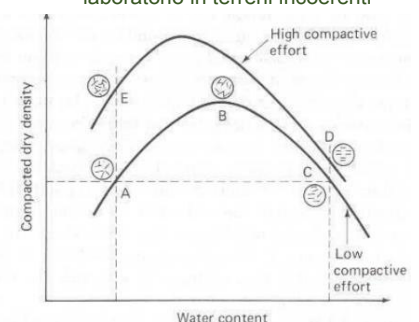


Figura 43 Curva di compattazione in terreni coerenti



Per quanto concerne le caratteristiche geotecniche dei materiali interessati dalle opere fondanti, in base agli esiti dell'indagine geofisica MASW eseguita, i parametri che si possono considerare cautelativi sono di seguiti riassunti. In fase di progettazione esecutiva gli stessi dovranno essere confermati con indagini dirette distribuite in maniera omogenea su tutto l'areale interessato dal progetto.

Da **0.0m** a **1,0m**:

$\gamma_d = 1900 \text{ kg/mc}$; $Y_{sat} = 2000 \text{ kg/mc}$; $c = 150\text{KPa}$, $\phi = 35^\circ$

Da **1,0m** a **5,7.0m**:

$\gamma_d = 2000 \text{ kg/mc}$; $Y_{sat} = 2000 \text{ kg/mc}$; $c = 500\text{KPa}$, $\phi = 45^\circ$

Da **5,7m** a **10.5m**:

$\gamma_d = 2100 \text{ kg/mc}$; $Y_{sat} = 2100 \text{ kg/mc}$; $\phi = >50^\circ$

La presenza di livelli a granulometria variabile con infiltrazioni umide suggerisce di effettuare le verifiche geotecniche in condizioni non drenate e sature per maggiore sicurezza.



15 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL PIANO SULLE COMPONENTI AMBIENTALI SUOLO, SOTTOSUOLO E ACQUE

Lo studio delle componenti ambientali abiotiche ha permesso di definire lo stato attuale dell'area interessata dall'intervento. Le valutazioni degli impatti sulle componenti sono state definite verificando le stesse nelle varie fasi lavorative e nel complesso; pertanto, di seguito vengono analizzate le singole componenti in relazione agli steps di sviluppo dell'intervento.

MATRICE IMPATTI - fase di cantiere

GEOLOGIA

Modifica assetto idro-geomorfologico:

senza mitigazione: tutte le lavorazioni in fase di realizzazione che comprendono realizzazione di aree di stoccaggio temporaneo del materiale scavato, comportano modifiche talora temporanee all'assetto idro-geomorfologico con impatto da moderato a compatibile. In merito all'asportazione di suolo e alla perdita di substrato protettivo, le attività connesse sono quelle riferibili alla realizzazione del piano o alla predisposizione delle piste.

con mitigazione: le opere o le azioni di mitigazione su tali impatti consistono in un'accurata gestione del cantiere delle aree connesse, nel prevedere opere provvisorie di controllo dell'equilibrio idro-geomorfologico anche in relazione ad occupazioni temporanee di aree o la realizzazione di lavorazioni specifiche.

SUOLI

Compattazione del substrato, asportazione e perdita di substrato protettivo per quel che concerne i suoli:

senza mitigazione: in generale gli impatti su tale aspetto della componente suolo vengono riconosciuti nelle lavorazioni di realizzazione delle opere fondanti e nella realizzazione della viabilità di impianto e nella produzione di inerti intendendo a questi connesso il deposito temporaneo. L'impatto è stimato come compatibile. Per le altre lavorazioni si ritiene tale impatto non significativo.

con mitigazione: le opere di mitigazione previste e che permettono la riduzione degli impatti descritti consistono nella conservazione e riutilizzo del materiale asportato in aree prossime a quelle di prelievo e/o altre affini carenti in tale componente. L'impatto si riduce a compatibile o non significativo. Nel caso specifico, parte delle terre e rocce da scavo sono riutilizzate in sito. Questo aspetto riduce il quantitativo di inerti in deposito temporaneo determinando pertanto una minore compattazione del suolo.



ACQUE

Acque sotterranee:

senza mitigazione: la presenza di deboli coltri superficiali, di spessore variabile può determinare la possibilità, sostanzialmente nei periodi piovosi, che si formino locali circolazioni sub sotterranee. Gli impatti dei lavori di realizzazione delle opere sono dovuti principalmente alle possibili locali interruzioni e/o deviazioni di tali deflussi. L'impatto è stimato come moderato o non significativo in ragione della tipologia d'opera per lavori di scavo e realizzazione delle fondazioni.

con mitigazione: In fase di realizzazione, tali impatti possono ridursi definendo una rete di cattura e smaltimento delle acque che garantisca la precedente continuità parzialmente o localmente interrotta dalla realizzazione dell'opera. L'impatto diviene non significativo.

Acque superficiali:

senza mitigazione: le opere realizzate possono localmente e in specifici periodi dell'anno (mesi piovosi) interferire sulla rete di deflusso superficiale peraltro poco sviluppata e per lo più effimera. L'impatto è stimato come compatibile nel caso di realizzazione di strade. Diviene moderato per lavori di scavo e realizzazione delle fondazioni e per la produzione di inerti a cui sono connessi depositi temporanei di materiale scavato.

con mitigazione: In fase di realizzazione tali impatti possono ridursi definendo una rete di cattura e smaltimento delle acque che garantisca la precedente continuità parzialmente o localmente interrotta dall'opera. L'impatto diviene non significativo o compatibile. In termini di consumo di suolo, la realizzazione dell'impianto non incide in maniera significativa proprio in virtù della coltivazione prativa ad uso agricolo e pastorale.

MATRICE IMPATTI – fase di esercizio

Sostanzialmente in fase di esercizio, non si individuano impatti significativi sulle componenti geologia, suolo e acque salvo che per alcuni aspetti legati alla corretta gestione delle opere di mitigazione previste in fase di realizzazione e connesse sostanzialmente alla gestione delle acque superficiali e sub sotterranee.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA - Sezione A n°656

SEGUE ALLEGATO: RELAZIONE TECNICA SULLE INDAGINI GEOFISICHE

RELAZIONE TECNICA SULLE
INDAGINI GEOFISICHE
IMPIANTO FOTOVOLTAICO PLOAGHE (SS)

N° Tavola	Scala Disegno	Data	Data Aggiornamento	Redatto:
R1	varie	06/10/2023	--	A.Carcangiu M.Usai

Oggetto:	Scala Plottaggio	CTB
RELAZIONE TECNICA	1.1	--

Committente:

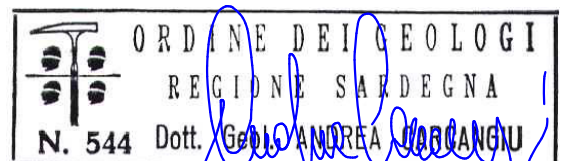
GAIA Consulting
Loc. Scala Sa Perda, 87 09028 Sestu (CA)
P.IVA 03191600927

Cantiere: Comune di Ploaghe (SS)**GEOSERVICE S.r.l.**

Sede: Casa Spadaccino - Loc. Su loi, km 13+400, SS 195
Sulcitana, 09012 Torre degli Ulivi Capoterra (CA)
Sede legale: Via D. Cimarosa, 22 - 09050 Villa San Pietro (CA)
Capitale Sociale: € 20.000,00
Tel. 3474032606; Fax: 1782206528;
P.IVA/C.F.: 03008730925 - R.E.A.: 239536 di Cagliari
mail: info@geoservicesardegna.com;
PEC: geoservice.sas@pec.it
www.geoservicesardegna.com
L'Amministratore

Il Direttore Tecnico

Dott. Geol. Andrea Carcangiu



Collaboratore

Dott. Maro Usai

Sommario

INTRODUZIONE	2
1 PROGRAMMA E UBICAZIONE DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE	3
2 MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)	4
2.1 TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI	4
2.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	5
2.3 ELABORAZIONE DEI DATI	5
3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)	7
4 VALORI DI VELOCITÀ DELLE ONDE P ED S PER I PRINCIPALI LITOTIPI	9
5 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE	10
6 INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW	12
6.1 MASW M1	12
7 INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW	14
6.1 MASW M2	14
8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	16

ELENCO TAVOLE E ALLEGATI GRAFICI

- **TAVOLA 1.** Planimetria generale di inquadramento - 1:20.000
- **TAVOLA 2.** Planimetria ubicazione indagini geofisiche MASW 1 - Scala 1:1000
- **TAVOLA 3.** Planimetria ubicazione indagini geofisiche MASW 2 - Scala 1:1000
- **ALLEGATO 1:** MASW M1-M2: Sismogramma acquisito - spettro velocità di fase/frequenza - Curva di dispersione.
- **ALLEGATO 2:** Documentazione fotografica indagini geofisiche.

INTRODUZIONE

La presente Relazione redatta su incarico della Dott. Geol. Cosima Atzori descrive le attività di indagini geofisiche svolte nell'ambito del progetto di intervento per la realizzazione di un parco fotovoltaico in agro di Ploaghe (SS).

La prospezione geofisica è stata realizzata impiegando la metodologia MASW.

Si riportano nello specifico le caratteristiche della metodologia impiegata:

- L'indagine sismica con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che attraverso la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs, è in grado di ricostruire una sismo-stratigrafia atta a permettere la definizione della categoria di suolo ai sensi del DM 17/01/2018.

A tale scopo sono stati realizzati n° 2 stendimenti di MASW definiti, nella planimetria di **Tavola 2** dalla sigla M1 (MASW 1) e nella **Tavola 3** dalla sigla M2 (MASW 2).

Fanno parte integrante della presente relazione i seguenti elaborati:

- **TAVOLA 1.** Planimetria generale di inquadramento - 1:20.000
- **TAVOLA 2.** Planimetria ubicazione indagini geofisiche MASW 1 - Scala 1:1000
- **TAVOLA 3.** Planimetria ubicazione indagini geofisiche MASW 2 - Scala 1:1000
- **ALLEGATO 1:** MASW M1-M2: Sismogramma acquisito - spettro velocità di fase/frequenza - Curva di dispersione.
- **ALLEGATO 2:** Documentazione fotografica indagini geofisiche.

1 PROGRAMMA E UBICAZIONE DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE

La prospezione geofisica eseguita il giorno 28 settembre 2023 è stata articolata secondo il seguente programma di attività:

1. Verifica preliminare dei luoghi oggetto d'indagine
2. Pianificazione dell'ubicazione della prospezione sismica di concerto con il tecnico responsabile del programma generale delle indagini geognostiche che ha confermato quanto previsto dal programma progettuale
3. Acquisizione dei dati in campo
4. Elaborazione e restituzione dei dati

L'ubicazione di dettaglio dello stendimento M1 è indicata nella planimetria di **Tavola 2**, mentre l'ubicazione di dettaglio dello stendimento M2 nella planimetria **Tavola 3**.

Nella seguente tabella si riporta il quadro riassuntivo dell'indagine con la sigla identificativa, la direzione di esecuzione (da geofono iniziale a quello finale) e la lunghezza complessiva.

In funzione delle specifiche richieste nonché della logistica dei luoghi e degli spazi disponibili, sono stati utilizzati 24 geofoni e spaziatura pari a 2,0 metri.

Tabella 1. Quadro riassuntivo delle indagini svolte e caratteristiche geometriche

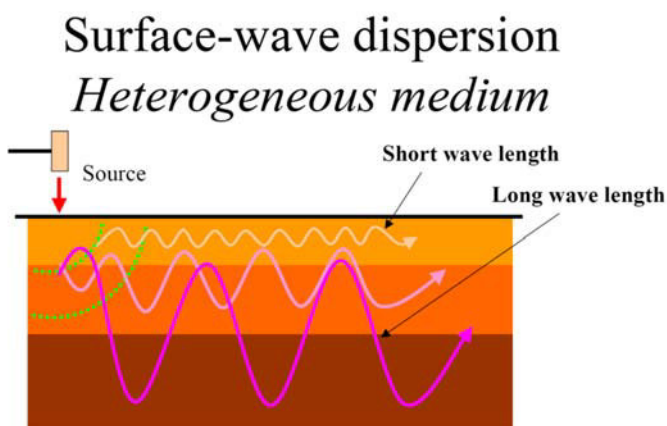
N° progr.	Tipologia di indagine	Sigla Stendimento	Direzione	Intervallo Geofoni [m]	Lunghezza [m]
1	MASW	M1	O-E	2,0	46
2	MASW	M2	SO-NE	2,0	46

2 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

2.1 Tecnica e parametri utilizzati

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

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.” (da *Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – V. Roma 2006)*. L'indagine svolta ha visto l'applicazione di tecnica MASW. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.



da SAGEEP2003

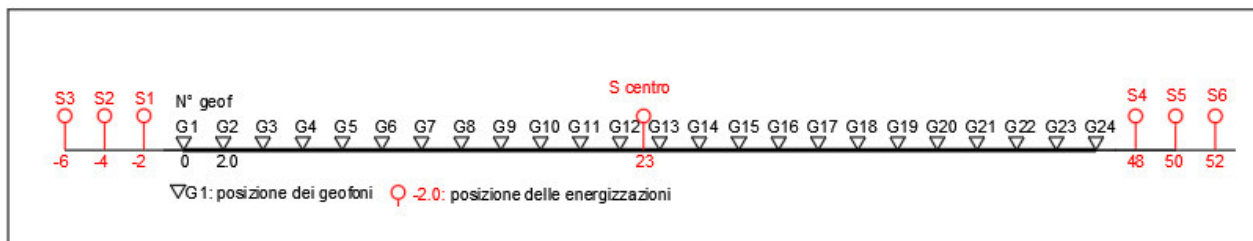
L'indagine si sviluppa mediante la materializzazione sul terreno di una linea retta mediante la posa di una fettuccia metrica. A seguire vengono posizionati i geofoni intervallati ad una distanza pari a 2,0 m in funzione anche della disponibilità di spazio. Esternamente alla stesa geofonica, da ora base sismica, a distanza di interesse che può essere pari ad un multiplo della distanza intergeofonica ma anche variabile (in funzione delle disponibilità di cantiere), sia in andata (ovvero in prossimità del geofono 1) che al ritorno (ovvero all'ultimo geofono posizionato sulla base sismica), vengono svolte delle energizzazioni mediante massa battente pari a Kg 10,0. Nel caso in esame, sono state svolte le energizzazioni in “andata” e in “ritorno” con distanza dal geofono 1 e dal geofono 24 crescente e pari a multipli della distanza intergeofonica (v. schema).

Il metodo risulta efficace se la base sismica è ubicata su piano a pendenza costante e per una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica MASW., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

La maggior profondità di caratterizzazione raggiunta è legata alla minor frequenza registrata.

Come già indicato nella figura, una frequenza alta caratterizza gli strati superficiali. La registrazione delle frequenze minori è destinata ai geofoni più lontani dalla sorgente.

Il numero di geofoni utile all'esecuzione ottimale dell'indagine MASW. è risultato, per il cantiere svolto, di 24 geofoni con spaziatura di 2,0 m, dei quali sono state utilizzate tutte le tracce. Il tempo dell'acquisizione è stato definito tra 1.00 e 2.00 secondi.



Schema 1. Schema geometrico di acquisizione MASW con 24 geofoni e spaziatura di 2,0 m. L=46,0 m

2.2 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione del cantiere d'interesse, ci siamo avvalsi di una strumentazione di acquisizione DoReMi, prodotto dalla SARA electronic instruments, 24 bit con frequenza di campionamento 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali SARA electronics con frequenza propria di 4.5 Hz. Per l'energizzazione ci siamo avvalsi di mazza battente da 10 kg impattante su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

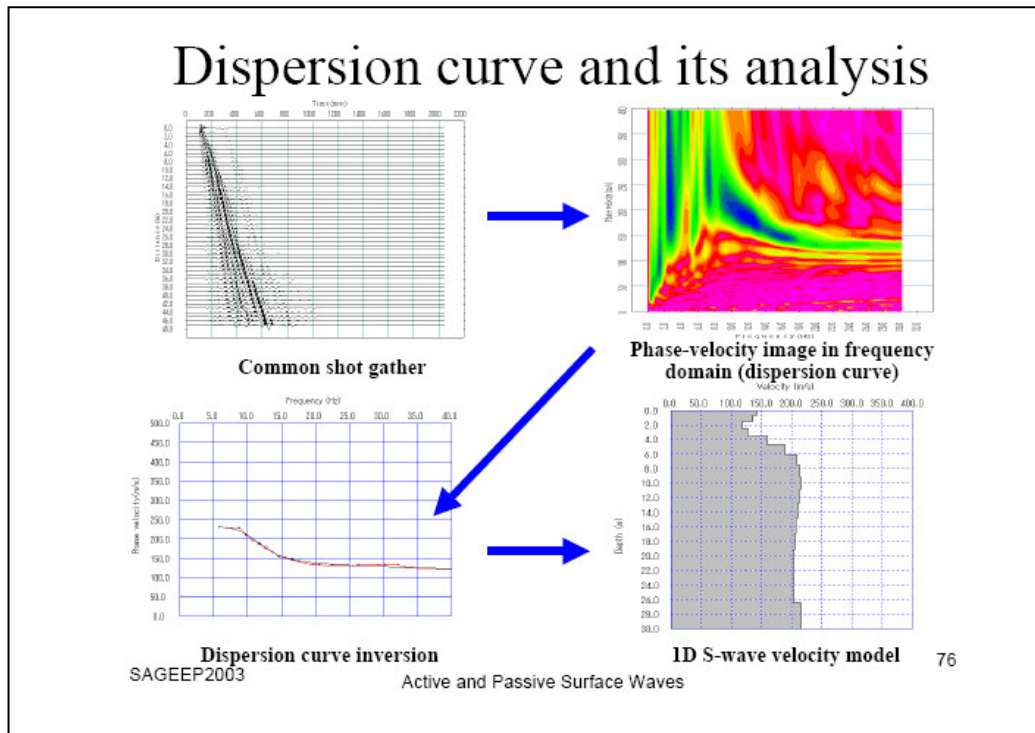
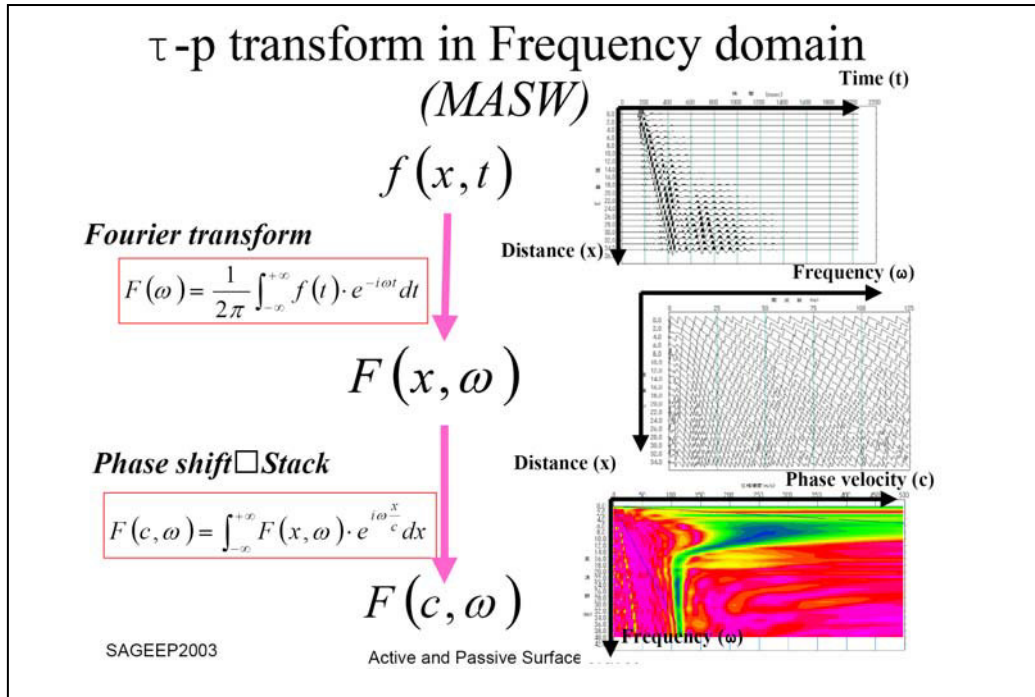
2.3 Elaborazione dei dati

Il metodo interpretativo della MASW. si compone dei seguenti passaggi di analisi dei segnali acquisiti:

- individuazione della variazione del segnale acquisito nel tempo
- analisi di Fourier con definizione dei contenuti spettrali acquisiti nei segnali
- stacking dello spostamento di fase con definizione delle velocità di rotazione retrograda compatibile con il campo di frequenza definita.

A posteriori dell'analisi matematica del segnale acquisito, definito un modello stratigrafico compatibile con la geologia locale, si provvede all'inversione della curva di dispersione ottenendo la sismo-stratigrafia.

A seguire è indicato il procedimento di elaborazione che ha prodotto il profilo di velocità grazie all'impiego del software ZondST2D.



3 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO - D.M. 19.01.2018 (NTC 2018)

Le “Norme Tecniche per le Costruzioni” – Decreto del 19/01/2018 definiscono le regole per progettare l’opera sia in zona sismica che in zona non sismica.

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto deve essere valutata l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto nel suolo superficiale.

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 del citato Decreto. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del suddetto decreto, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 del Decreto.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove, tra le quali le MASW costituiscono la metodologia maggiormente adoperata.

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

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

con:

h_i spessore dell’i-esimo strato;

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

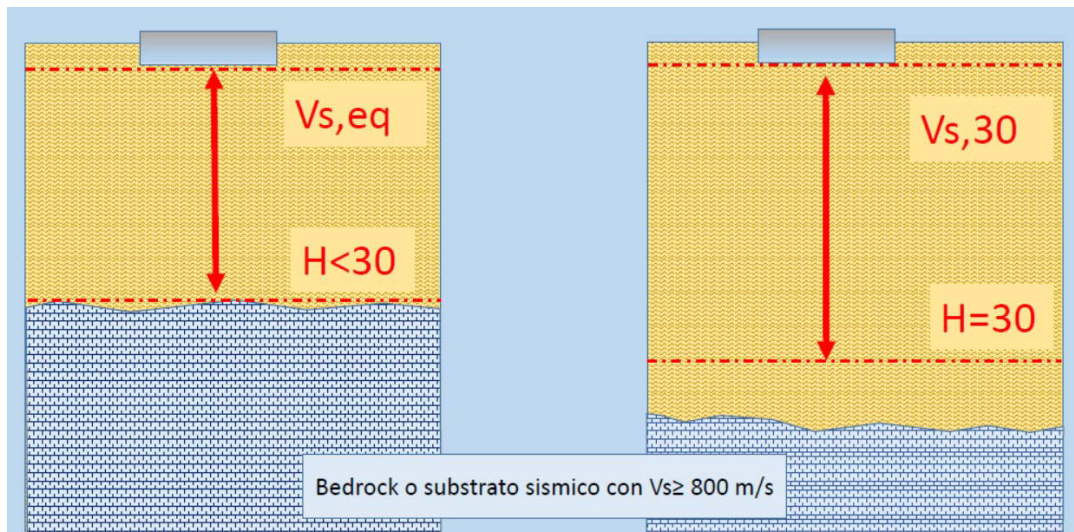
N numero di strati;

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

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

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

Schema di Calcolo delle $V_{s,eq}$ e delle $V_{s,30}$



Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Tabella 3.2.II. Categorie di sottosuolo (Fonte NTC 2018)

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

4 VALORI DI VELOCITÀ DELLE ONDE P ED S PER I PRINCIPALI LITOTIPI

Nel seguente tabella si riportano i valori di velocità delle onde P ed S dei principali litotipi riferibili anche al contesto geologico in esame (Fonte: Hearey e Brooks 1991, Bala et al 2005, Corrao e Coco 2006, bibliografia specialistica reperibile in rete).

Litotipi	Vp [m/s] min-max	Vs [m/s] min-max
TERRENI E ACQUA		
Alluvioni	200 - 2000	100 - 800
Sabbia asciutta	200 - 1000	80 - 400
Sabbia satura (in funzione anche del grado di saturazione)	600 - 2300	100-600
Sabbia siltosa	600 - 1900	200 - 600
Sabbia e ghiaia	300 - 1800	150 - 600
Limi e sabbie	500-1000	200-450
Limo	650 - 1250	240 - 480
Argilla	1000 - 2500	300 - 600
Argilla sabbiosa	600 - 2500	150 - 450
Acqua	1450 - 1500	0
ROCCE SEDIMENTARIE		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	1500 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calcere	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcere fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 4500	600 - 1.500
ROCCE IGNEE		
Basalto	1800 - 5000	1000 - 3000
Basalto fratturato	950 - 1350	480 - 700
Granitoidi	1600 - 5000	900 - 3000
Granitoidi fratturati	1000 - 1750	500 - 900
Piroclastite coerente	750 - 2500	350 - 1100
Piroclastite incoerente	350 - 1000	160 - 450

In particolare si ricorda che le velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ($S_r = 100\%$) dipendono talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione. Invece le velocità delle onde S sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio (S).

5 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI DEFORMAZIONE E DI RESISTENZA AL TAGLIO DALLE INDAGINI SISMICHE

Di seguito si indicano le correlazioni bibliografiche che possono essere utilizzate per il calcolo dei parametri di deformazione dinamici calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_p , V_s e densità per ciascun sismostrato definito dalle indagini geofisiche.

$$\text{Coefficiente di Poisson } \nu = \frac{V_p^2 - 2 V_s^2}{2 (V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\text{Modulo di Young dinamico } E_d = \gamma V_s^2 [(3V_p^2 - 4 V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)]$$

$$\text{Modulo di taglio (rigidità) } G_0 = \gamma V_s^2$$

$$\text{Modulo di comprimibilità o di Bulk } K = \gamma (V_p^2 - 4/3 V_s^2)$$

Determinazione del modulo di Young statico E_s

Per la determinazione del modulo di Young statico E_s dal modulo dinamico E_d si può applicare la nota relazione proposta da Rzhovsky e Novik (1971) valida per i moduli misurati in MPa o Kg/cm²:

$$E_{\text{stat}} = \frac{E_{\text{din}} - 0.97}{8.3}$$

Per gli ammassi rocciosi la bibliografia specialistica suggerisce di applicare un coefficiente pari a 0,1-1,0 per la roccia integra e un coefficiente via via più basso per quelle fratturate in relazione al grado di fratturazione.

$$E_{\text{stat}} = E_{\text{din}} \times (0.1/1.0)$$

Si sottolinea tuttavia come i valori ottenuti con la suddetta formulazione sia un modulo di elasticità e quindi non può essere utilizzato per determinare ad esempio cedimenti di fondazione quando il carico delle fondazioni dà luogo a elevate deformazioni (superiori al limite di elasticità) poiché in quei casi la componente plastica è predominante su quella elastica.

Correlazioni con N_{spt} e parametri geotecnici

Nella letteratura specializzata sono ormai reperibili moltissime correlazioni tra il numero di colpi (N_{spt}) del Penetrometro Standard e la velocità delle onde di taglio (V_s). Le principali correlazioni sono di tipo esponenziale, con $N_{\text{spt}} = (V_s / \alpha)^\beta$ con i coefficienti α e β variabili in funzione del tipo di terreno. Si ricorda che il numero di colpi di cui si parla è quello necessario per far avanzare di 30 cm nel terreno la punta del campionatore Raymond standard.

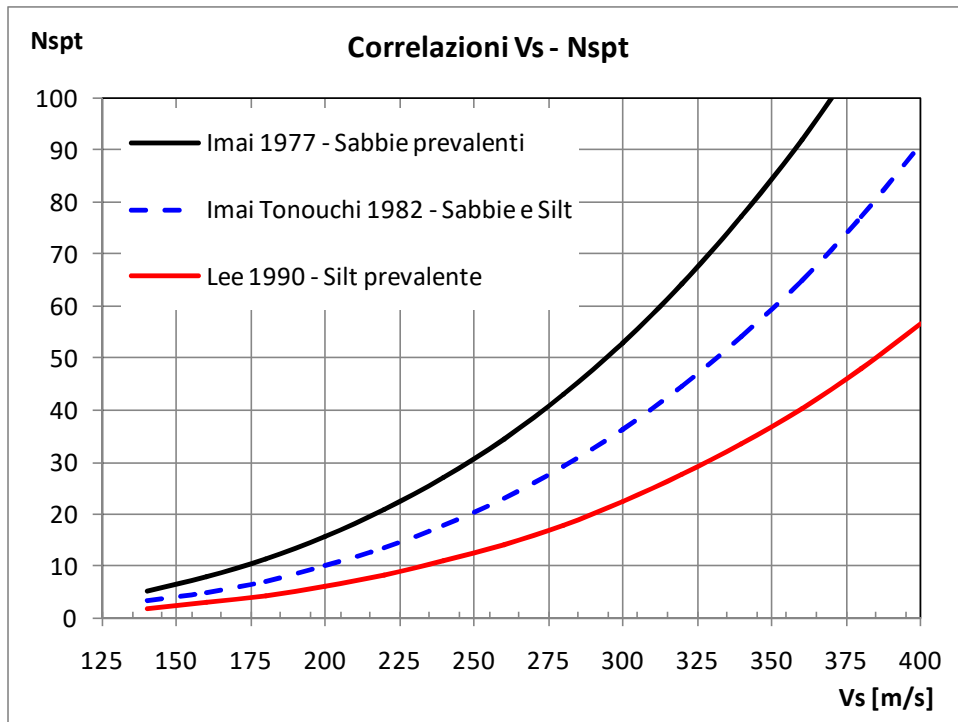
A tale scopo si illustrano le correlazioni proposte da Imai 1977, Imai e Tonuchi (1982) e Lee (1990) valide per tre differenti tipologie di terreni che caratterizzano in genere tutti i terreni:

$$N_{\text{SPT}} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

$$N_{\text{SPT}} = \left(\frac{V_s}{97,0} \right)^{3,184} \text{ valida per i terreni misti sabbioso-siltosi - Imai e Tonuchi (1982)}$$

$$N_{\text{SPT}} = \left(\frac{V_s}{114,43} \right)^{3,226} \text{ valida per terreni prevalentemente fini/siltosi - Lee (1990)}$$

Dove: N_{spt} = numero di colpi del Penetrometro Standard e V_s = Velocità delle onde di taglio



Noto il valore di Nspt si calcolano i seguenti parametri geotecnici dei terreni:

Parametri geotecnici	Metodologie – Relazioni
Resistenza al taglio ϕ	<p><u>Terreni sabbiosi</u> Entro i 6 m di profondità- Peck-Hanson&Thornburn, $\phi = 0,28 Nspt + 27,2$ Oltre i 6 m di profondità- Japanese National Railway, $\phi = 0,30 Nspt + 27$</p> <p><u>Terreni: sabbie fini o limose</u> $\phi = \sqrt{15Nspt} + 15$</p>
Modulo di deformazione E (o di Young)	<p>Schmertmann (valido per sabbie e terreni prevalentemente sabbiosi) $E(Kg/cm^2) = 2B Nspt$, dove: B=4 (sabbia fine), B=6 (sabbia media), B=10 (sabbia grossolana)</p> <p>D’Appolonia et Alii. (valido per sabbia+ghiaia e sabbie sovraconsolidate) $E (Kg/cm2) = 7,71 Nspt + 191$ (ghiaia + sabbia)</p> <p>Tornaghi (valido per sabbia + ghiaia) $E (MPa) = B \sqrt{Nspt}$ (B=7 MPa)</p>

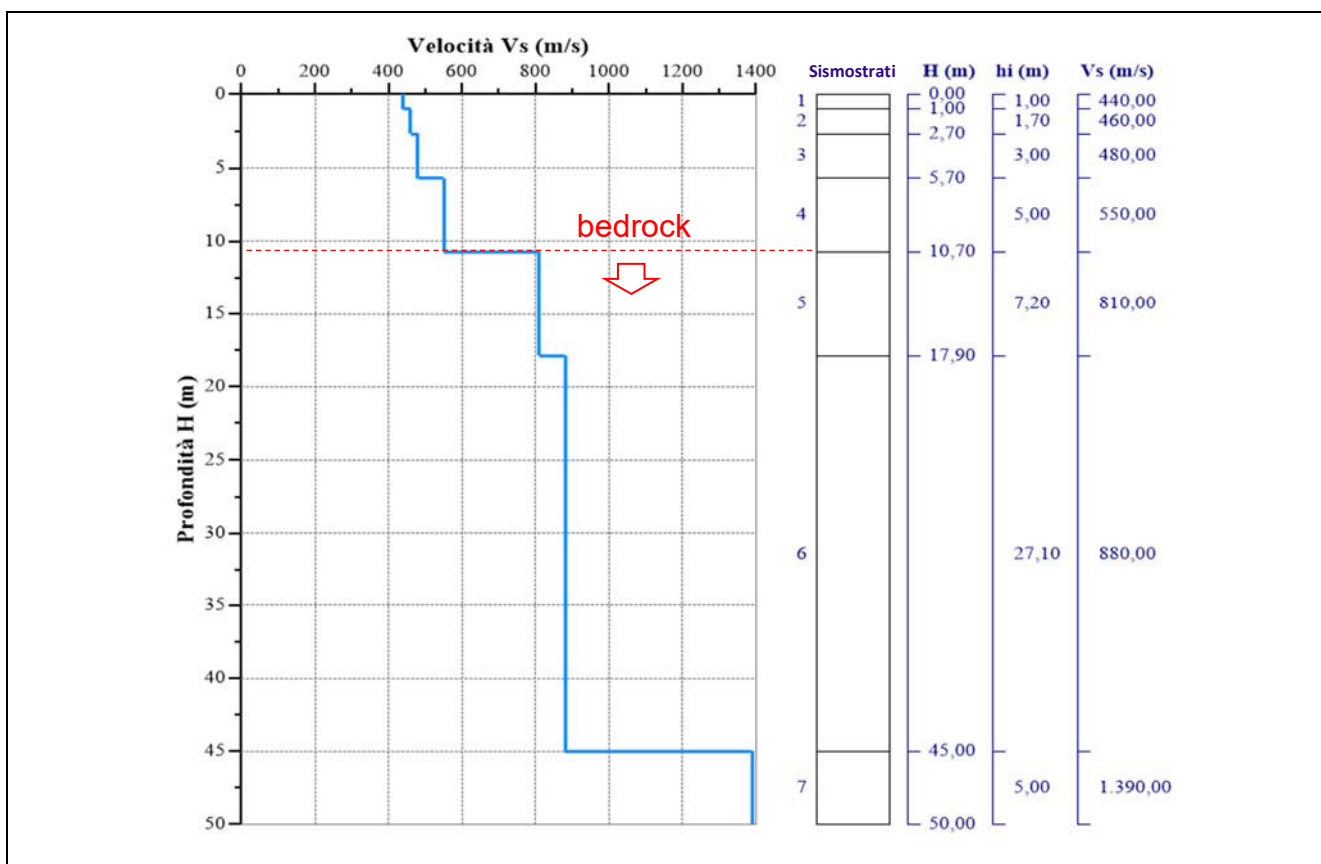
6 INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW

6.1 MASW M1

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 440 m/s Terre da addensate a molto addensate
1,0 – 2,7	2° sismostrato con Vs di 460 m/s Terre da addensate a molto addensate
2,7 – 5,7	3° sismostrato con Vs di 480 m/s Terre da addensate a molto addensate
5,7 – 10,7	4° sismostrato con Vs di 550 m/s Terre molto addensate
10,7 – 17,9	5° sismostrato con Vs di 810 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
17,9 – 45,0	6° sismostrato con Vs di 880 m/s Substrato roccioso fratturato
45,0 – 50,0	7° sismostrato con Vs di 1390 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano

MASW M1-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	440,00	1,00	1,00	0,00227
2	2,70	1,70	460,00	2,70	1,70	0,00370
3	5,70	3,00	480,00	5,70	3,00	0,00625
4	10,70	5,00	550,00	10,70	5,00	0,00909
5	17,90	7,20	810,00	17,90	7,20	
6	45,00	27,10	880,00	30,00	12,10	
7	50,00	5,00	1390,00	0,00	0,00	

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

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle V_s si pone come profondità del substrato **10,70 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,70 m** di profondità dal p.c. è pari a: **$V_{s,eq} = 10,70,02131 = 502$ m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria 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.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 2** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_s , e V_p e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 2. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	V_p	V_s	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico E_d	Modulo di Young statico E_s	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 – 1,0	terre	1.800	880	440	0,33	932	112	353	932
2	1,0 – 2,7	terre	2.000	920	460	0,33	1.128	136	422	1.128
3	2,7 – 5,7	terre	2.100	960	480	0,33	1.294	156	481	1.294
4	5,7 – 10,7	terre	2.200	1.100	550	0,33	1.775	214	667	1.775
5	10,7 – 17,9	15%	2.350	1.620	810	0,33	4.109	616	1.540	4.109
6	17,9 – 45,0	22%	2.400	1.760	880	0,33	4.952	1.090	1.863	4.952
7	45,0 – 50,0	25%	2.450	2.780	1390	0,33	12.621	3.155	4.737	12.621

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Indicazioni per la determinazione di N_{spt} e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra V_s e N_{spt} , i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame si consiglia di impiegare la correlazione *Imai (1977)* di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

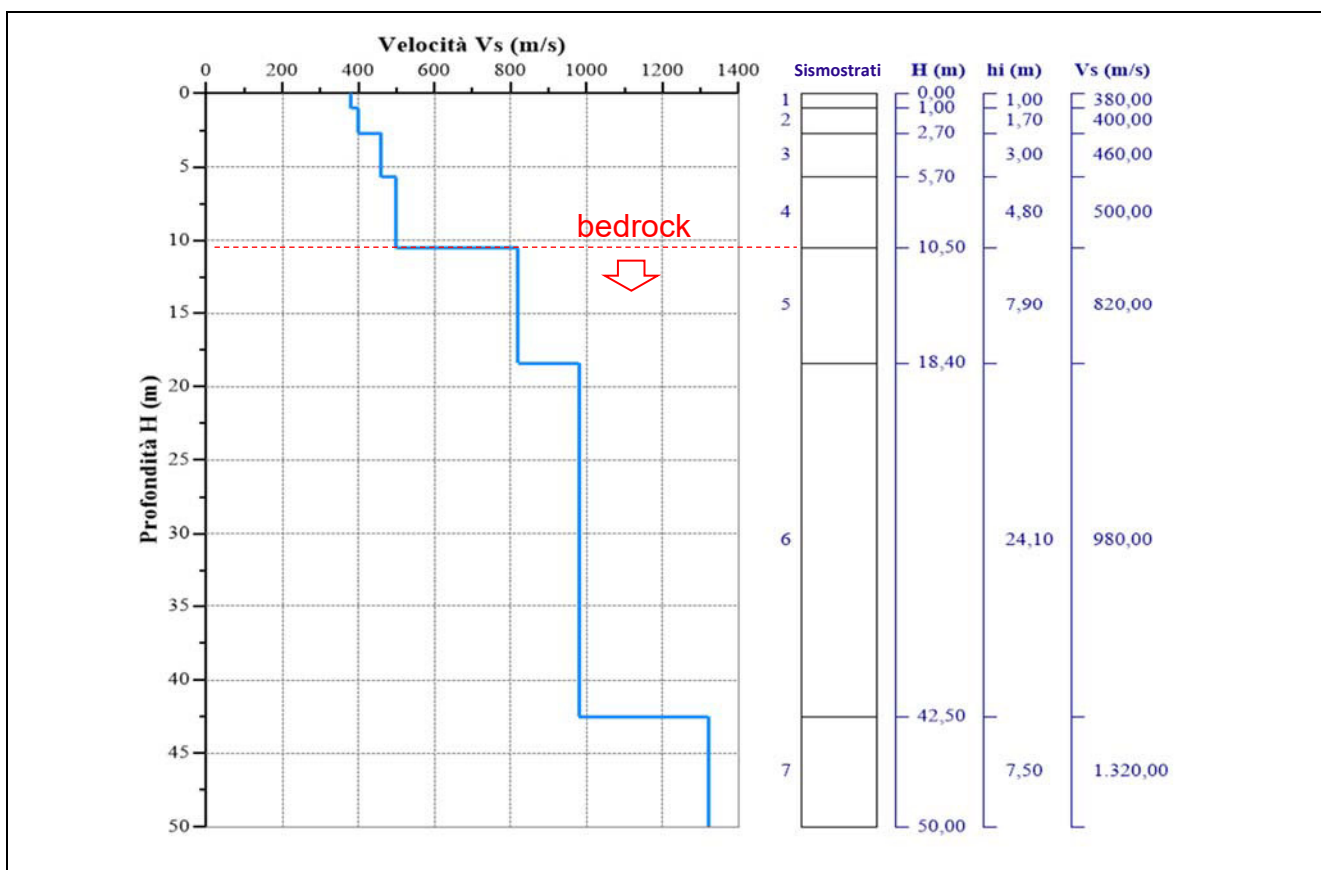
7 INTERPRETAZIONE DEI DATI: MASW

6.1 MASW M2

L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali Vs della sezione M2, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 380 m/s Terre da addensate a molto addensate
1,0 – 2,7	2° sismostrato con Vs di 400 m/s Terre da addensate a molto addensate
2,7 – 5,7	3° sismostrato con Vs di 460 m/s Terre da addensate a molto addensate
5,7 – 10,5	4° sismostrato con Vs di 500 m/s Terre molto addensate
10,5 – 18,4	5° sismostrato con Vs di 820 m/s Substrato roccioso estremamente fratturato
18,4 – 42,5	6° sismostrato con Vs di 980 m/s Substrato roccioso fratturato
42,5 – 50,0	7° sismostrato con Vs di 1320 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano

MASW M1-PROFILO Vs



Sismostratigrafia e calcolo Vs eq

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	380,00	1,00	1,00	0,00263
2	2,70	1,70	400,00	2,70	1,70	0,00425
3	5,70	3,00	460,00	5,70	3,00	0,00652
4	10,50	4,80	500,00	10,50	4,80	0,00960
5	18,40	7,90	820,00	18,40	7,90	
6	42,50	24,10	980,00	30,00	11,60	
7	50,00	7,50	1320,00	0,00	0,00	

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

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Esaminato il profilo delle V_s si pone come profondità del substrato **10,50 m** ($V_s > 800$ m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **10,50 m** di profondità dal p.c. è pari a: **$V_{s,eq} = 10,5/0,0230 = 457$ m/s** che dà luogo ad una categoria B, ossia:

Categoria 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.

Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Nella **tabella 2** si illustrano i parametri di deformazione dinamici medi calcolati tramite correlazione bibliografica dei parametri di input V_s , e V_p e densità (da bibliografia/correlazione) per ciascun sismostrato definito dalle indagini eseguite.

Tabella 3. Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità γ	V_p	V_s	Coefficiente di Poisson ν	Modulo di Young dinamico E_d	Modulo di Young statico E_d	Modulo di taglio G_0	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m ³]	[m/s]	[m/s]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 – 1,0	terre	1.800	760	380	0,33	696	84	265	696
2	1,0 – 2,7	terre	2.000	800	400	0,33	853	103	324	853
3	2,7 – 5,7	terre	2.100	920	460	0,33	1.187	143	441	1.187
4	5,7 – 10,5	terre	2.200	1.000	500	0,33	1.471	178	549	1.471
5	10,5 – 18,4	12%	2.350	1.640	820	0,33	4.217	506	1.579	4.217
6	18,4 – 42,5	22%	2.400	1.960	980	0,33	6.149	1.353	2.305	6.149
7	42,5 – 50,0	25%	2.450	2.640	1320	0,33	11.386	2.846	4.266	11.386

*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Indicazioni per la determinazione di N_{spt} e parametri geotecnici

Sulla base delle correlazioni fornite nei precedenti paragrafi è possibile stimare una correlazione tra V_s e N_{spt} , i parametri di resistenza al taglio e di deformazione. Nel caso in esame si consiglia di impiegare la correlazione *Imai (1977)* di seguito indicata.

$$N_{SPT} = \left(\frac{V_s}{80,6} \right)^{3,021} \text{ valida per i terreni prevalentemente sabbiosi - Imai (1977)}$$

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La prospezione geofisica attraverso l'impiego della tecnica MASW ha permesso di ricostruire con un buon grado di precisione l'assetto lito-stratigrafico dell'area in esame e dedurre le caratteristiche sismiche.

Per quanto attiene alla classificazione dei terreni ai sensi delle NTC2018, la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il sito di indagine è riportata nel seguente schema riassuntivo:

Sigla Stendimento	Profondità Piano di posa [m da p.c]	Profondità substrato [m]	V_{seq} [m/s]	Categoria sottosuolo (NTC2018)
M1	0,00	10,70	502	B
M2	0,00	10,50	457	B

I dati derivati dalla MASW messi in correlazione con le bibliografiche indicate nei precedenti paragrafi hanno permesso di determinare i parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni e per correlazione ottenere una preliminare definizione dei parametri di resistenza al taglio.

Lungo la verticale indagata si evince la presenza di sismostrati con velocità crescente con la profondità con andamenti e spessori indicati nei precedenti paragrafi.

Cagliari, lì 06/10/2023

Collaboratori
Dott. Marco Usai

Geoservice S.r.l
Il Direttore Tecnico
Dott. Geol. Andrea Carcangiu

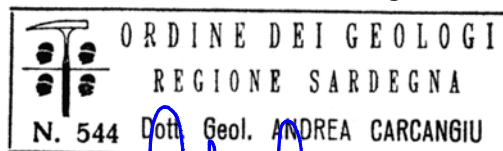


Tavola 1: INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INDAGINE

Progetto: Realizzazione di un parco fotovoltaico in agro di Ploaghe (SS)

Scala 1:20.000

Legenda

 AREE DI INDAGINE

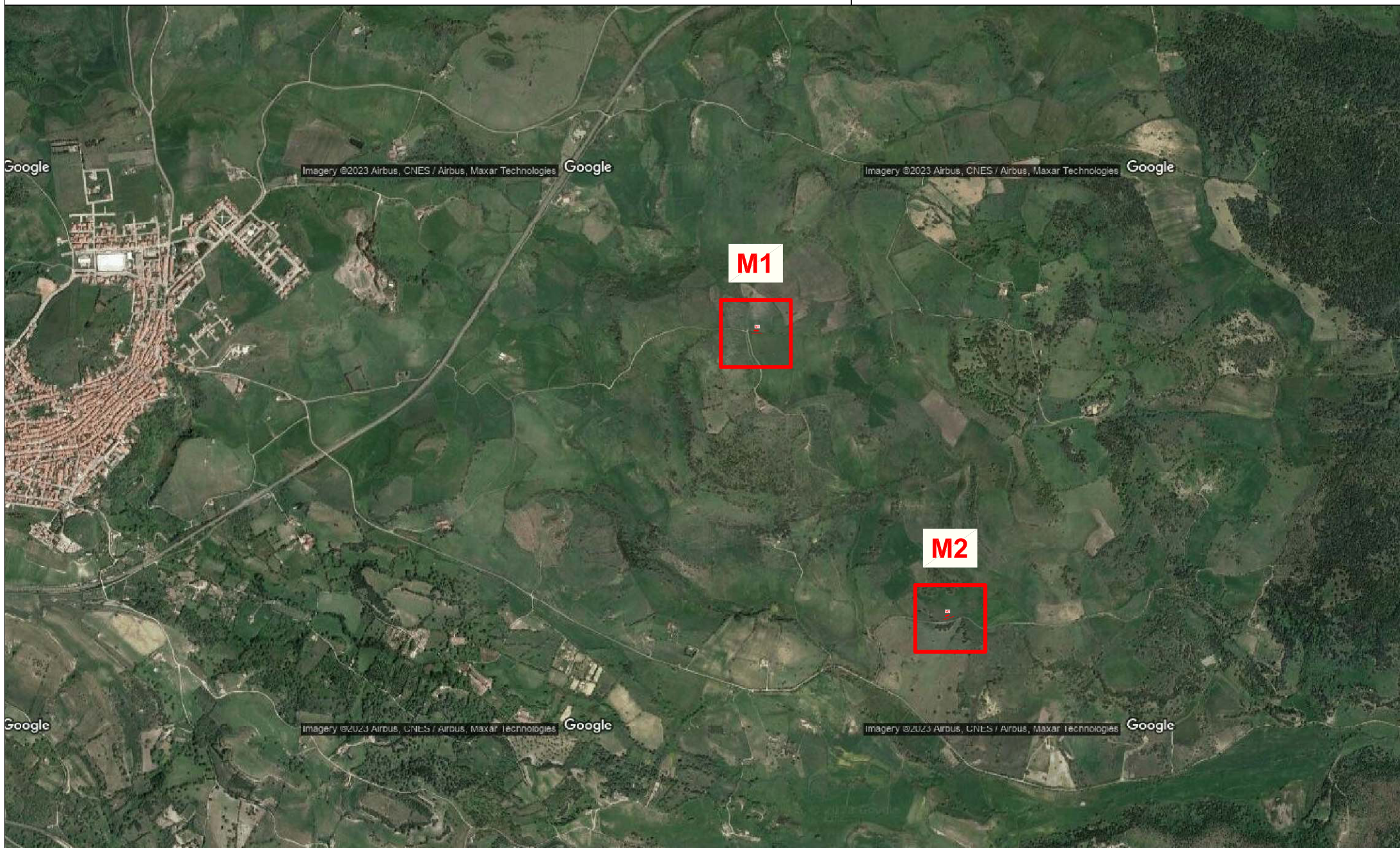


Tavola 2 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

Progetto: Realizzazione di un parco fotovoltaico in agro di Ploaghe (SS)

Scala 1:1000

Legenda

Stendimento M1 (Masw) - Lunghezza = 46,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono



Tavola 3 : PLANIMETRIA DI DETTAGLIO UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

Progetto: Realizzazione di un parco fotovoltaico in agro di Ploaghe (SS)

Scala 1:1000

Legenda

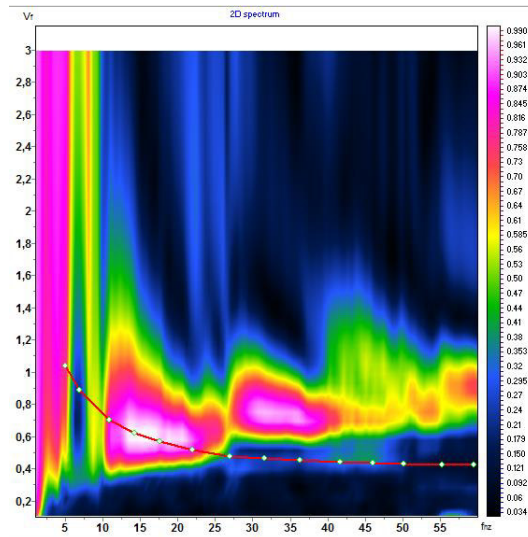
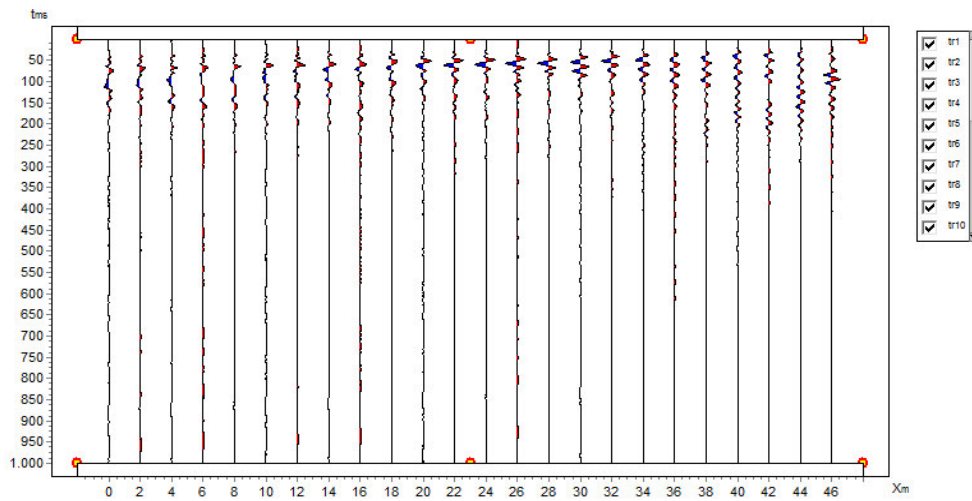
Stendimento M2 (Masw) - Lunghezza = 46,0 m

 Direzione stendimento sismico dal primo all'ultimo geofono

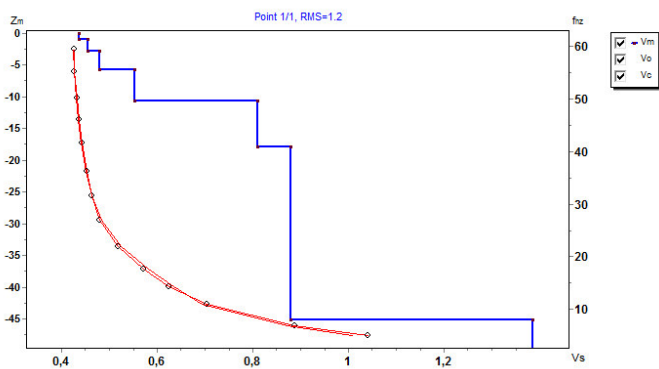


ALLEGATO 1
MASW 1 – M1

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
(Acquisizione con shot a -6,0 m)



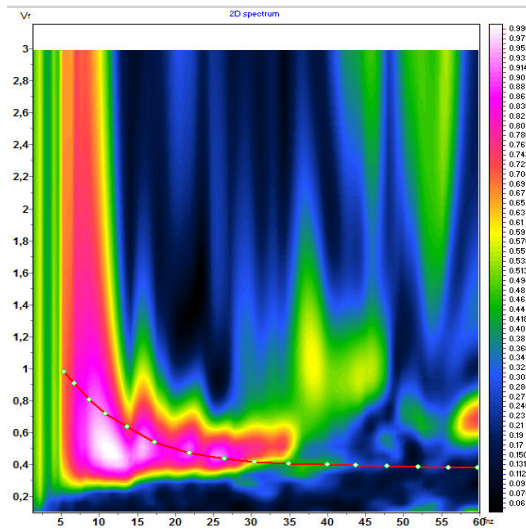
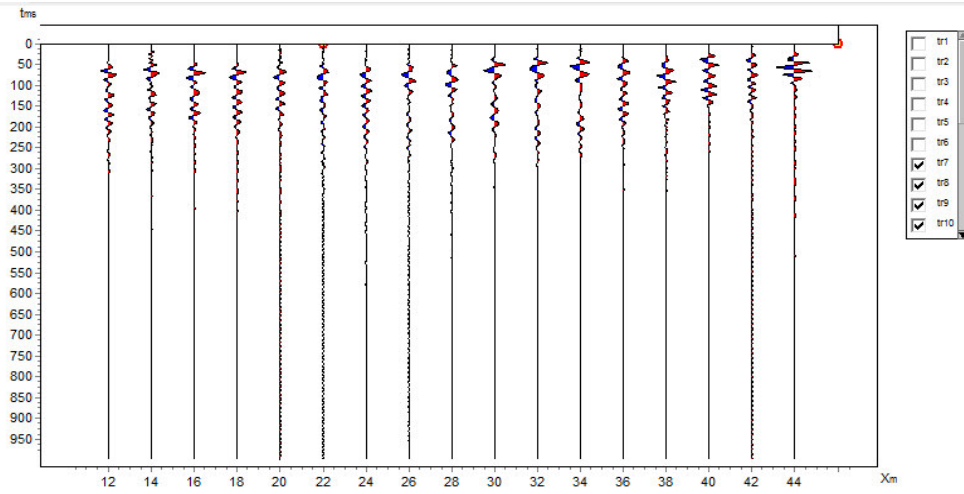
Profilo Vs – Bedrock a 10,7 metri da p.c. (Vseq=502 m/s) - Categoria B



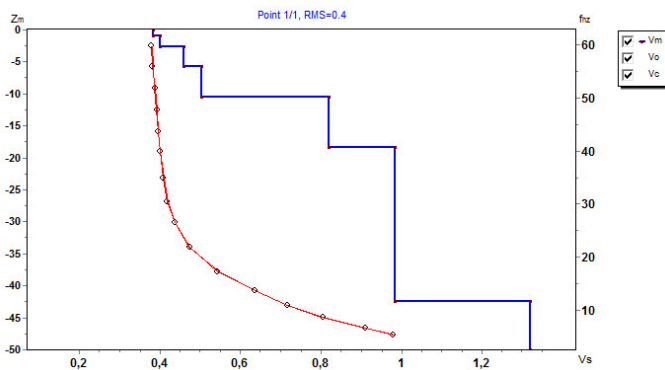
N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.44	0.22	2	0	1.0
2	0.46	0.22	2	1.0	1.7
3	0.48	0.22	2	2.7	3.0
4	0.55	0.22	2	5.7	5.0
5	0.81	0.22	2	10.7	7.2
6	0.88	0.22	2	17.9	27.1
7	1.39	0.22	2	45.0	*

ALLEGATO 1 MASW 2 – M2

Sismogramma acquisito- Spettro velocità di fase/frequenza
Curva di dispersione sperimentale e calcolata con profilo Vs
(Acquisizione con shot a 48,0 m)



Profilo Vs – Bedrock a 10,5 metri da p.c. (Vseq=457 m/s) - Categoria B



N	Vs	PR	ρ	Z	H
1	0.38	0.22	2	0	1.0
2	0.40	0.22	2	1.0	1.7
3	0.46	0.22	2	2.7	3.0
4	0.50	0.22	2	5.7	4.8
5	0.82	0.22	2	10.5	7.9
6	0.98	0.22	2	18.4	24.0
7	1.32	0.22	2	42.5	*

Allegato 2: Documentazione fotografica indagini geofisiche

STENDIMENTO M1

Sismica con metodo Masw M1
dal Geofono 1 al Geofono 24



Sismica con metodo Masw M1
dal centro al Geofono 1



Sismica con metodo Masw M1
dal Geofono 24 al Geofono 1



Sismica con metodo Masw M1
dal centro al Geofono 24



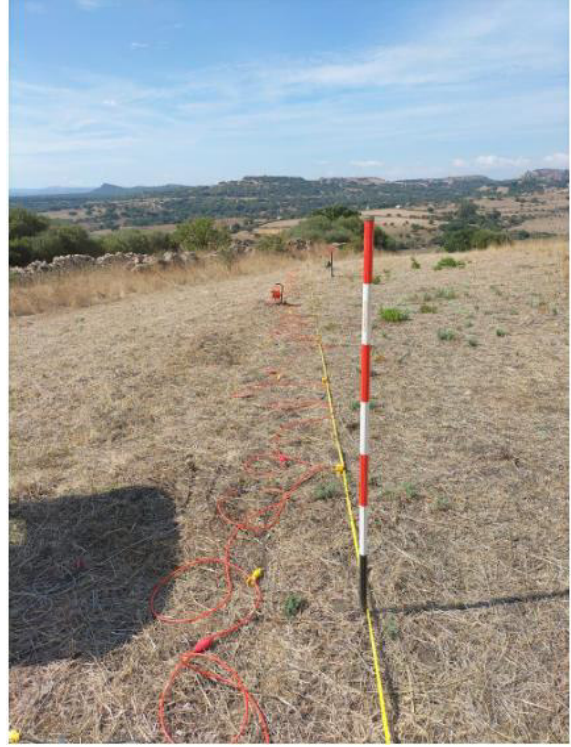
Allegato 2: Documentazione fotografica indagini geofisiche

STENDIMENTO M2

Sismica con metodo Masw M2
dal Geofono 1 al Geofono 24



Sismica con metodo Masw M2
dal centro al Geofono 1



Sismica con metodo Masw M2
dal Geofono 24 al Geofono 1



Sismica con metodo Masw M2
dal centro al Geofono 24

