



IMPIANTO EOLICO E FOTOVOLTAICO "CAMPANEDDA IBRIDO"

COMUNE DI SASSARI

PROPONENTE



Bentusoliana Energie Rinnovabili s.r.l.  
Via Cavour, n. 33  
07100 SASSARI (SS)

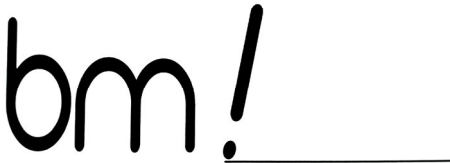
IMPIANTO EOLICO E FOTOVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI - PROGETTO DEFINITIVO

CODICE ELABORATO

OGGETTO:  
Relazione geologica

PD-R03

COORDINAMENTO



BRUNO MANCA | STUDIO TECNICO DI INGEGNERIA  
LOC. RIU IS PIRAS, SN | 09040 SERDIANA (SU)  
+39 347 5965654 P.IVA 02926980927  
SDI: W7YVJK9 ATTESTATO ENAC N° I.A.PRA.003678  
INGERUNOMANCA@GMAIL.COM PEC: BRUNO.MANCA@INGPEC.IU  
WWW.BRUNOMANCA.COM WWW.LMBRAS360.COM

Studio Tecnico Dott. Ing Bruno Manca

GRUPPO DI LAVORO S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori  
F&F SYSTEM Srl  
F&F Engineering Srl  
Dott. Giulio Casu  
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorlo  
Dott. Giorgio Lai  
Dott. Federico Loddio  
Dott. Giovanni Lovigu  
Dott. Ing Bruno Manca  
Dott. Nat. Maurizio Medda  
Dott.ssa Geol. Consuelo Nicolò  
Dott.ssa Archeol. Marta Pals  
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas  
Dott. Nat. Fabio Schirru  
Dott. Agr. Giuseppe Puggioni  
Federica Zaccheddu

REDATTORE

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE
00	Maggio 2024	Prima emissione

FORMATO  
ISO A4 - 297 x 210

**INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1. Quadro normativo.....	4
<b>2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....</b>	<b>6</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....</b>	<b>10</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>12</b>
5.1. Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....	13
5.2. Successione sedimentaria mesozoica .....	20
5.3. Depositi Quaternari dell'area continentale .....	21
5.4. Caratteri geostrutturali, geometria e caratteristiche delle superfici di discontinuità.....	23
<b>6. INQUADRAMENTO CLIMATICO .....</b>	<b>24</b>
6.1. Precipitazioni.....	25
6.2. Temperature.....	26
6.3. Stima dell'Evapotraspirazione.....	27
<b>7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>31</b>
7.1. Analisi dell'area geomorfologicamente significativa al progetto.....	34
<b>8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>37</b>
8.1. Schema della circolazione idrica superficiale.....	37
8.2. Schema della circolazione idrica sotterranea .....	38
8.3. Dissesti in atto o potenziali che possono interferire con l'opera e loro tendenza evolutiva .....	44
<b>9. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO .....</b>	<b>44</b>
<b>10. USO DEL SUOLO .....</b>	<b>46</b>
<b>11. ANALISI E SISMICITA' STORICA.....</b>	<b>48</b>
11.1. Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento .....	48
<b>12. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI .....</b>	<b>52</b>
12.1. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).....	55
12.2. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) .....	57
<b>13. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>58</b>
13.1. M.A.S.W. – Tecnica e parametri utilizzati.....	59
13.2. Sismica a Rifrazione - Tecnica e parametri utilizzati .....	60
13.3. Tomografia Elettrica - Tecnica e parametri utilizzati .....	63
13.4. Risultati delle indagini.....	64
13.4.1. M.A.S.W. – elaborazione risultati.....	64
13.4.2. Rifrazione R1 e Tomografia elettrica T1 – elaborazioni risultati.....	65
<b>14. MODELLO GEOLOGICO .....</b>	<b>68</b>
<b>15. FATTIBILITA' GEOLOGICA - GEOTECNICA .....</b>	<b>70</b>

<b>16. FATTIBILITA' IDROGEOLOGICA .....</b>	<b>71</b>
<b>17. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL PIANO SULLE COMPONENTI AMBIENTALI SUOLO, SOTTOSUOLO E ACQUE.....</b>	<b>72</b>

**Indice delle figure**

Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto .....	6
Figura 2 Inquadramento topografico (Zona Nord), CTR 1:10.000 .....	7
Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25.....	8
Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS) .....	9
Figura 6 Alcune sezioni tipo per la posa dei cavidotti .....	11
Figura 7 Particolari costruttivi dell'impianto fotovoltaico.....	12
Figura 8 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	14
Figura 9 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a) .....	15
Figura 10 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a) .....	15
Figura 11 Particolare della sezione geologica con dettaglio dell'area in studio.....	17
Figura 12 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 179 "Porto Torres" .....	17
Figura 13 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 foglio 459 "Sassari" .....	18
Figura 14 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse.....	19
Figura 15 Calcare della Formazione di Monte Nurra.....	21
Figura 16 Calcare oolitico della Formazione di Campanedda.....	21
Figura 17 Coltri eluvio-colluviali. ....	22
Figura 18 Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Formazione di Monte Nurra).....	23
Figura 19 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Sassari e di Fertilia (anno 2011). ....	25
Figura 20 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Sassari (e Fertilia per il solo 2011) nel periodo 2008-2018. ....	26
Figura 21 Temperature mensili (in °C) registrate nella stazione di Sassari negli anni dal 2018 al 2012, e presso la stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011.....	27
Figura 22 Temperature mensili (in °C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Sassari per gli anni 2012-2018, e nella stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011. ....	27
Figura 23 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Sassari. ....	28

Figura 24 media mensile dei giorni di sereno, nuvoloso e coperto per il periodo 1961-1990, relativa alla stazione di Fertilia, espressa in okta.....	28
Figura 25 Ventosità media per inverno (a), primavera (b), estate (c), e autunno (d) durante il periodo 1971-2000 registrate nella stazione meteorologica di Fertilia. ....	29
Figura 26 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per il periodo 1971-2000. ....	30
Figura 27 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Sassari.....	30
Figura 28 Climogramma relativo all'area di Sassari.....	31
Figura 29 paesaggio a monte dell'area di studio .....	33
Figura 30 Foto dell'area interessata al progetto .....	34
Figura 31 Foto dell'area interessata al progetto .....	35
Figura 32 Caratteri geomorfologici dell'area vasta e significativa (NNW verso il lato superiore dell'immagine) .....	35
Figura 33 Carta geomorfologica dell'area di progetto.....	36
Figura 34 Suddivisione dei bacini idrografici sardi. ....	37
Figura 35 Carta dell'idrografia superficiale e interferenze di 1° e 2°ordine Horton-Stralher con le opere in progetto .....	39
Figura 36 Carta IGM con interferenze di 1° e 2°ordine Horton-Stralher con le opere in progetto .....	40
Figura 37 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo .....	41
Figura 38 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari" .....	42
Figura 39 Carta delle permeabilità dei substrati .....	43
Figura 40 Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS) .....	45
Figura 41 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo, (Fonte RAS) .....	47
Figura 42 - Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito .....	51
Figura 43 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Idraulica Hi (fonte RAS).....	53
Figura 44 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Geomorfologica Hg (fonte RAS).....	54
Figura 45 Inquadramento PGRA (fonte RAS).....	56
Figura 46 Inquadramento PSFF (fonte RAS) .....	57
Figura 47 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m .....	60
Figura 48 14.1 Sismica a Rifrazione - Tecnica e parametri utilizzati .....	61
Figura 49 Localizzazione stendimento M1/R1 e T1 .....	62
Figura 50 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche.....	65
Figura 51 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018).....	69
Figura 51 Curva di compattazione da prove di laboratorio in terreni incoerenti.....	70
Figura 52 Curva di compattazione in terreni coerenti.....	70



## 1. PREMESSA

Il proponente **Bentusoliana Energie Rinnovabili S.r.l.** intende realizzare un impianto eolico e fotovoltaico in località **"Campanedda"** tra Monte Su Zumburu e Monte Nudo nel **Comune di Sassari** e denominato **"Campanedda Ibrido"**, per il cui progetto è stato conferito, 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. TZRC SM72H41B354F 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 per 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
- D.lgs 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 di indagini geognostiche eseguita in data 10/11/2022 nella zona di interesse.

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Sassari è un comune di 123.850 abitanti, capoluogo dell'omonima provincia, è situato nella parte Nord Occidentale dell'isola e confina da NNW in senso orario con Stintino, Porto Torres, Sorso, Sennori, Osilo, Muros, Ossi, Tissi, Usini, Uri, Olmedo e Alghero.

Il terreno sul quale verrà realizzato il progetto ricade nella località "*Campanedda*".



Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto

Le coordinate geografiche del centroide ipotetico di riferimento della porzione di impianto in località "*Cugia Manna*" sono: **1.444.084E - 4.513.294N**

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 foglio **458 I "Palmadula"** e **459 IV "La Crucca"**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – sez. **458040 "Monte Alvaru"**- sez. **459010 "Campanedda"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:50000 – foglio **459 "Sassari"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:100000 – foglio **179 "Porto Torres"**



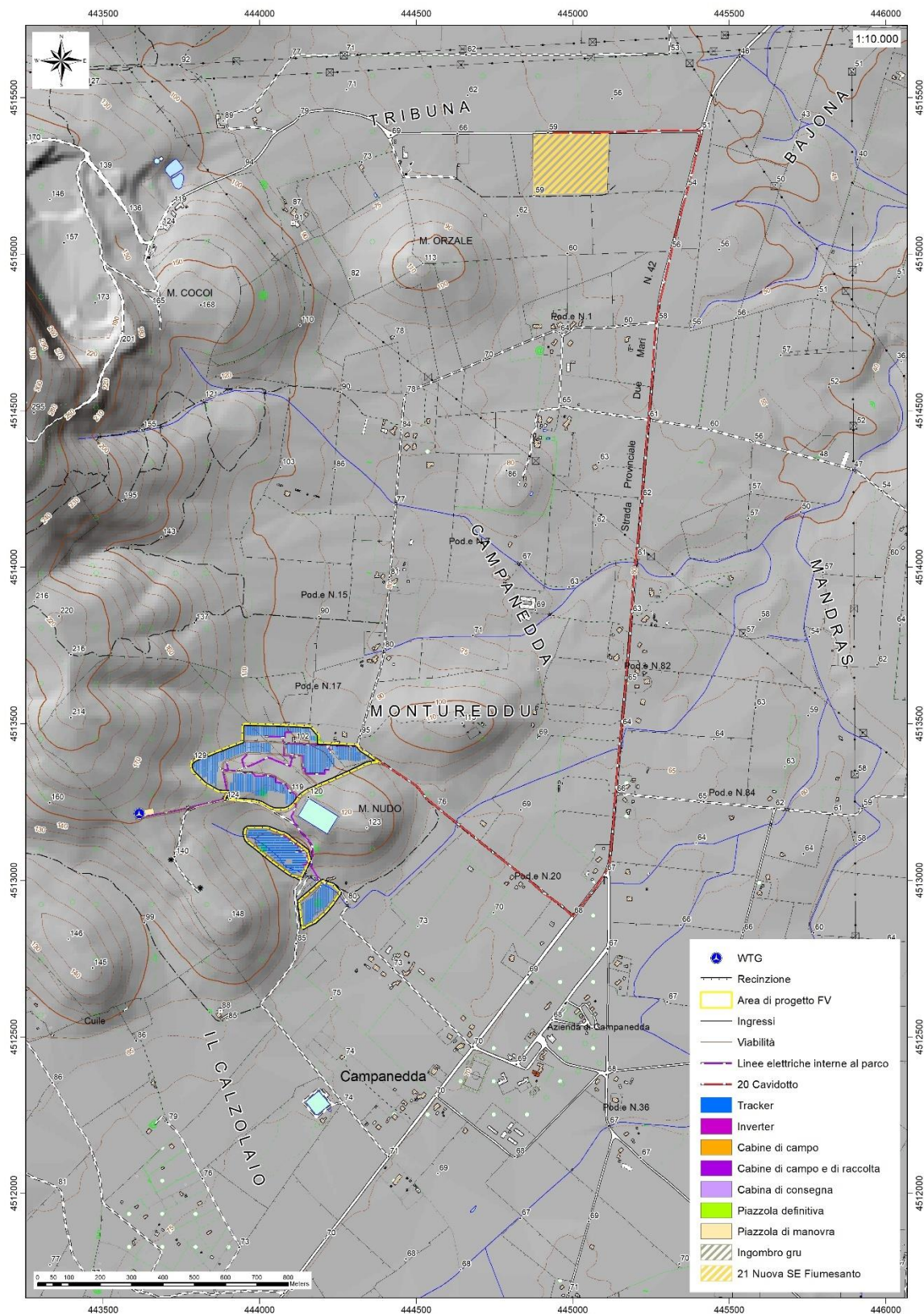


Figura 2 Inquadramento topografico (Zona Nord), CTR 1:10.000



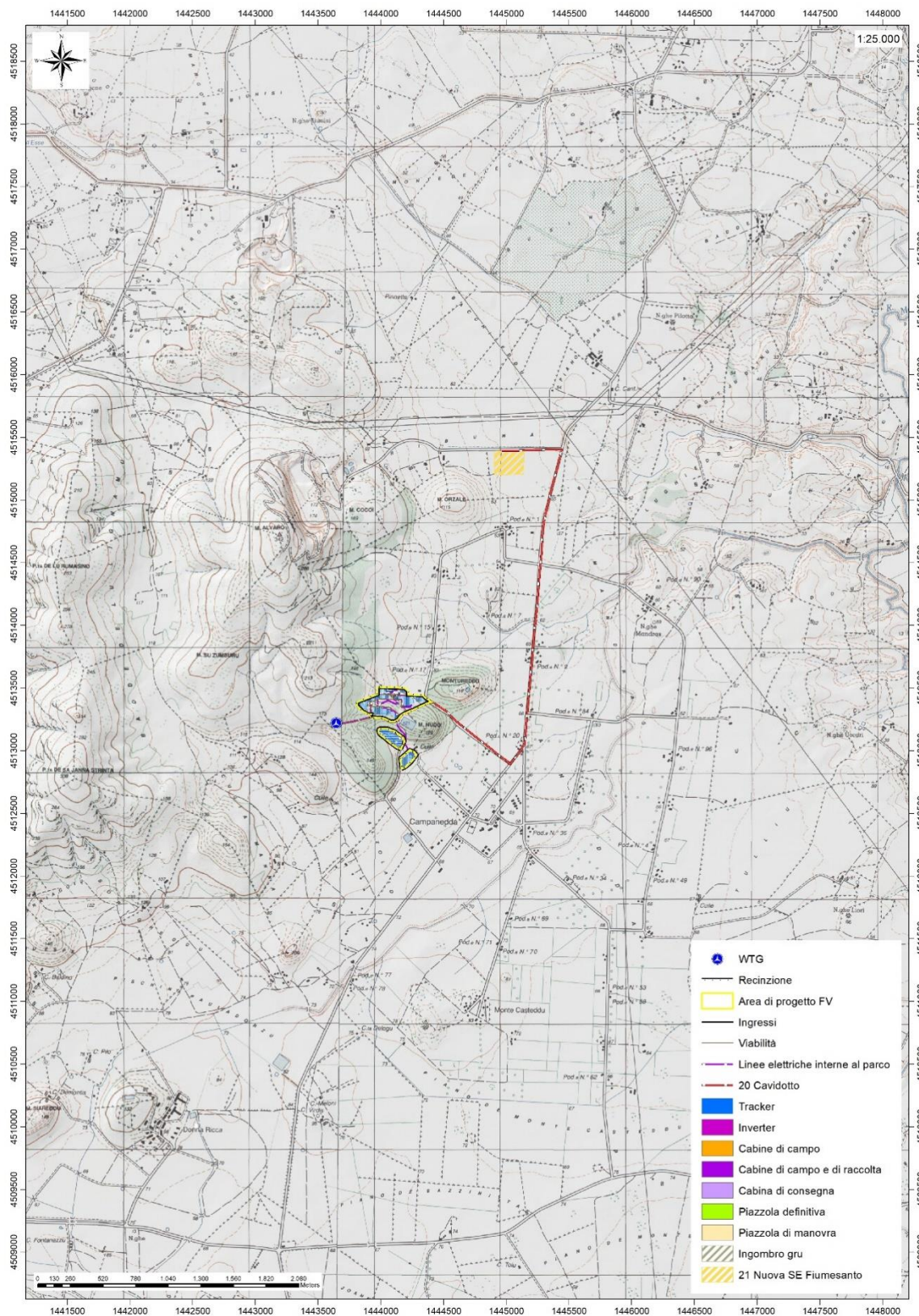


Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25



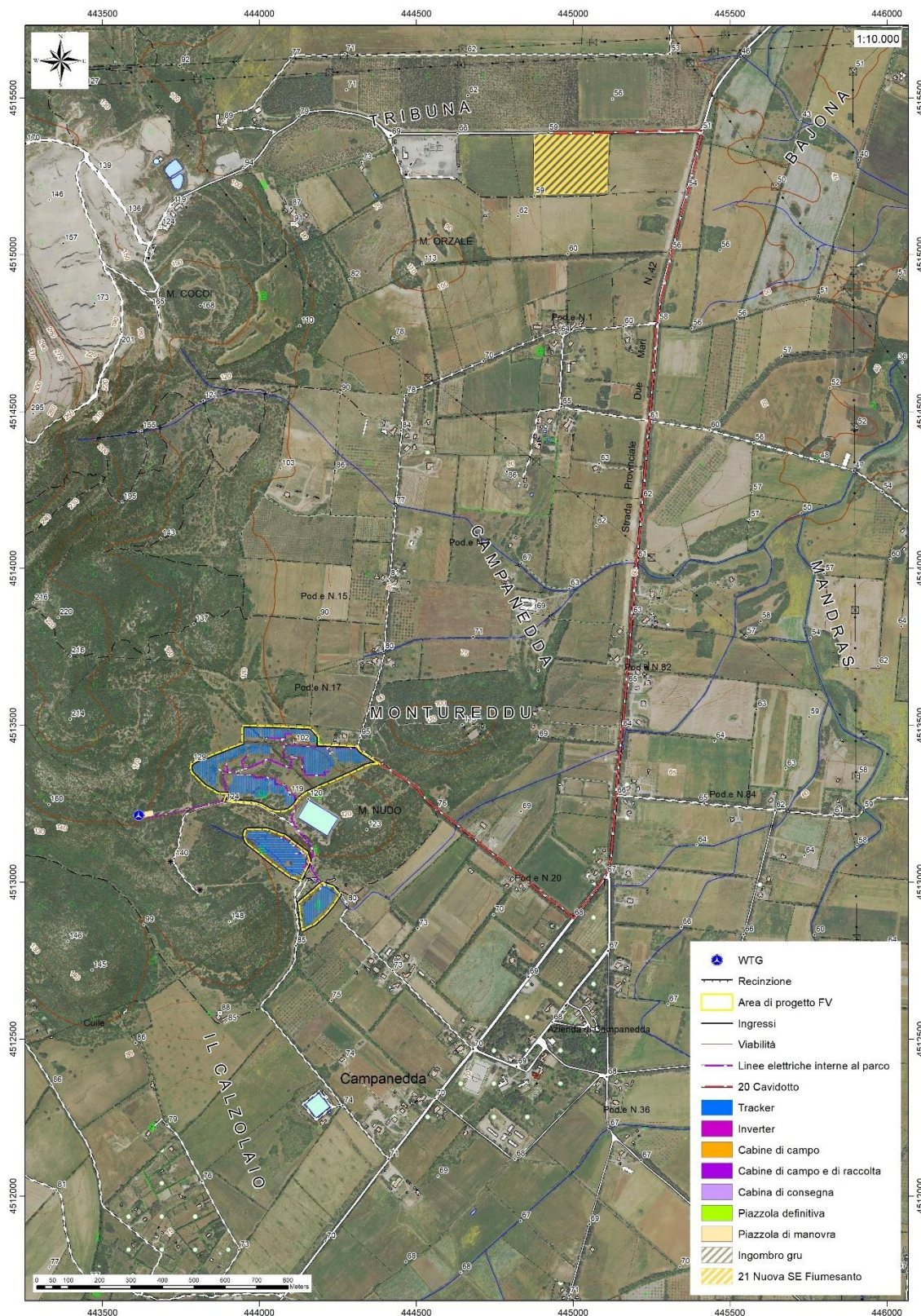


Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)



#### 4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

L'impianto in progetto prevede due sezioni – eolica e fotovoltaica - dedicate alla produzione dell'energia, ed altre destinate alla conversione e trasporto dell'energia. Avrà una potenza complessiva installata di 13,10 MWp collegato con gruppi di conversione DC/AC e trasformazione in BT-MT di tipo 0.4/30 kV, di trasformazione MT-AT di tipo 30kV-36kV e consegna alla rete pubblica in AT a 36 kV.

La sezione eolica comprende un unico generatore da 7,2 MW modello Enventus V162 della Vestas Si tratta di una turbina ad asse orizzontale, funzionante controvento e con rotore a tre pale ad inclinazione variabile, con controllo attivo dell'imbardata.

Condizioni Operative	
Potenza in condizioni standard	7,2 MW
Vento: velocità di inserimento	3 m/s
Vento: velocità di disinserimento	25 m/s
Classe del vento	IEC S
Range operativo temperature di lavoro	Da -20 °C a +45 °C
Rotore	
Diametro	162 m
Area Spazzata	20612 m <sup>2</sup>
Intervallo di velocità operative	4,3 – 12,1 rpm
Senso di rotazione	Orario (vista frontale)
Orientazione	Controvento
Inclinazione	6°
Conicità del mozzo	6°
Numero di pale	3
Freni Aerodinamici	Pale orientabili interamente in bandiera



La fondazione dell'aerogeneratore è costituita da un plinto in calcestruzzo armato nel quale vengono inghisati i tirafondi della torre di sostegno. Nella fase progettuale esecutiva, in relazione alla caratterizzazione geologica puntuale delle aree di sedime, verrà definito per l'aerogeneratore il tipo di fondazione da adottare (diretta o su pali).

L'impianto - nella sua sezione fotovoltaica - è suddiviso in cinque campi, asserviti a gruppi di inverter. I pannelli costituenti il campo sono raggruppati in stringhe che, raccolte in gruppi, sono collegate agli ingressi degli inverter e ai gruppi di trasformazione BT-MT, raccolti in una cabina per ciascun campo. Le cabine di campo sono collegate ad anello tra loro e con la cabina di raccolta, dove confluisce anche la

sezione eolica collegata in antenna. Il collegamento ad anello consente di evitare perdite di produzione nel caso di fuori servizio. Dalla cabina di raccolta un elettrodotto si dirige alla cabina di consegna, posta al limite della proprietà. La produzione di energia elettrica è realizzata con generazione da pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino, installati in parte su supporti inseguitori monoassiali (tracker), in parte su supporti fissi; entrambe le strutture sono in acciaio zincato, e tengono i pannelli in elevazione da terra per permettere il passaggio dei mezzi agricoli e la coltivazione della superficie sottostante.

I trackers sono strutture modulari in acciaio zincato, dotate di una barra rotante sulla quale sono cablati i pannelli fotovoltaici in posizione orizzontale; la rotazione della barra comporta anche la rotazione dei pannelli ad essa solidali. L'asse di rotazione della barra è disposto lungo la direttrice Nord-Sud e l'angolo di rotazione possibile varia da  $-55^{\circ}$  a  $+55^{\circ}$  (rispetto al piano orizzontale). In questa maniera i pannelli FV presentano la propria superficie captante quanto più possibile perpendicolare ai raggi solari nell'arco della giornata, incrementando la propria produttività sino al 25%; le condizioni ottimali si verificano dal momento in cui il sole è alto  $35^{\circ}$  sull'orizzonte in direzione Est, e si mantengono sino a quando si abbassa a  $35^{\circ}$  in direzione Ovest.

Tutte le strutture di supporto dei moduli FV avranno altezza da terra tale da lasciare sotto il bordo inferiore dei pannelli, posti alla massima inclinazione di  $55^{\circ}$  per quelli montati su tracker e di  $25^{\circ}$  per quelli fissi, un franco rispettivamente di 2,10 m e 1,30 m; questo valore è in linea con la normativa in merito ad impianti agrivoltaici, ed è dipendente dal tipo di produzione agricola o allevamento di bestiame prevista.

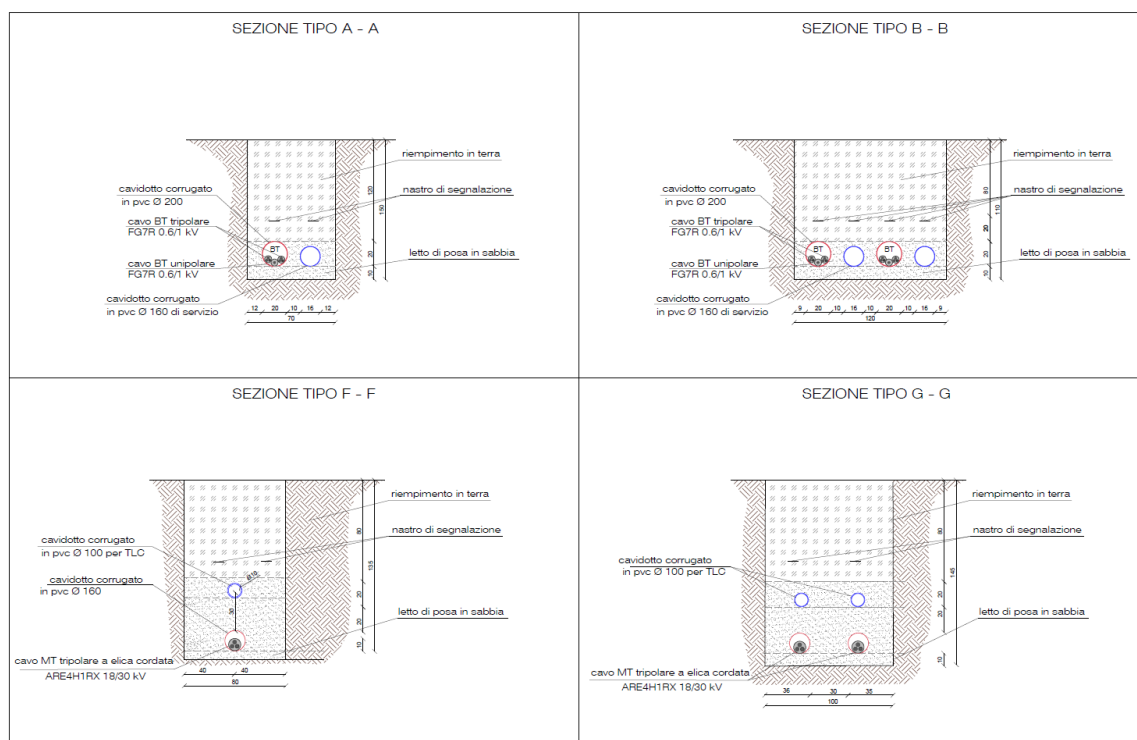


Figura 5 Alcune sezioni tipo per la posa dei cavidotti

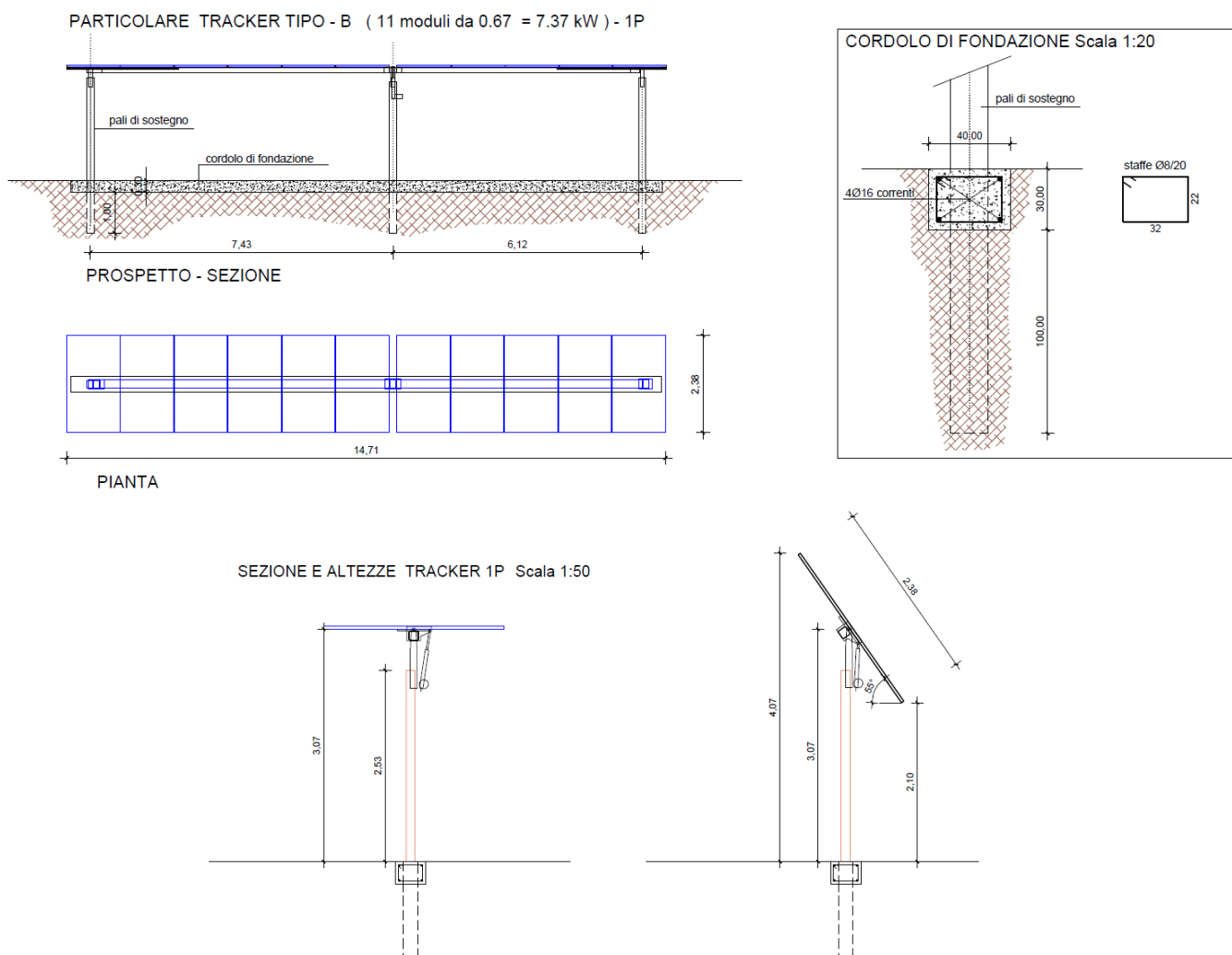


Figura 6 Particolari costruttivi dell'impianto fotovoltaico

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 rinvencono 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 Hercinica (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. Quest'orogenesi ha prodotto in Sardegna tre zone metamorfiche principali. Procedendo dal nucleo orogenetico verso l'avanzfossa 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.

L'area di studio ricade parzialmente nella zona a Falde Interne del basamento varisico sardo; ma comprende soprattutto rocce delle coperture mesozoiche, che in quest'area dell'Isola sono costituite da sedimenti alluvionali del Buntsandstein (Trias medio), su cui poggiano in trasgressione i sedimenti carbonatici di ambiente neritico (Muschelkalk) e poi quelli evaporitici (Keuper). Seguono le rocce della successione vulcano-sedimentaria Miocenica, e i depositi quaternari. Le Unità Tettoniche affioranti nel settore occidentale dell'area vasta sono costituite da originarie successioni sedimentarie e vulcaniche di età compresa tra il Cambriano e il Carbonifero inferiore, note come Unità di Canaglia, Li Trumbetti e Argentiera.



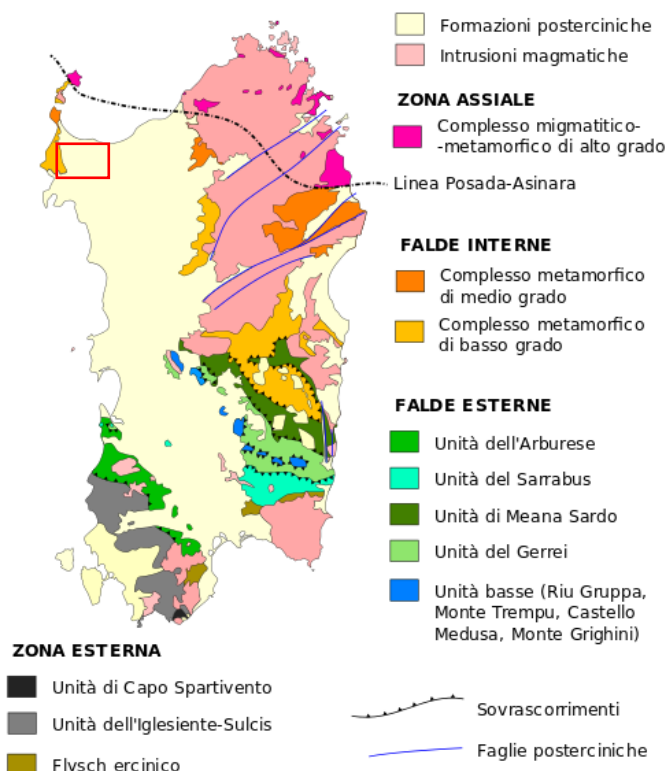


Figura 7 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

Il settore di interesse all'installazione dell'impianto eolico fotovoltaico si trova nella zona cosiddetta a Falde interne, caratterizzata da fenomeni di medio e basso metamorfismo, localizzata nell'area geografica della Nurra. L'area vasta è costituita principalmente da unità di età paleozoica e mesozoica di origine sedimentaria, da rocce magmatiche a carattere effusivo, e da depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecicole e/o i piccoli impluvi presenti. Per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area vasta, quest'ultima riflette essenzialmente eventi deformativi di età cenozoica ed in minor misura mesozoica. La tettonica varisca, che è polifasica ed è responsabile della strutturazione del basamento, ha rilevanza solo nel settore della Nurra occidentale.

La Nurra è costituita da un alto strutturale immergente verso est, che si è sviluppato nel Terziario, che confina ad E coi depositi del Miocene inferiore del semi-graben del bacino di Porto Torres.

Nella parte occidentale della Nurra affiora il basamento paleozoico in diverse unità strutturali impilate tettonicamente per via di alcuni sovrascorrimenti ercinici orientati circa NW-SE e E-W, che dalla più profonda alla più superficiale si distinguono in Unità di Argentiera, Li Trumbetti e Canaglia. In quest'area, il basamento paleozoico è coperto in maniera discontinua dalla successione vulcano-sedimentaria del Permiano.

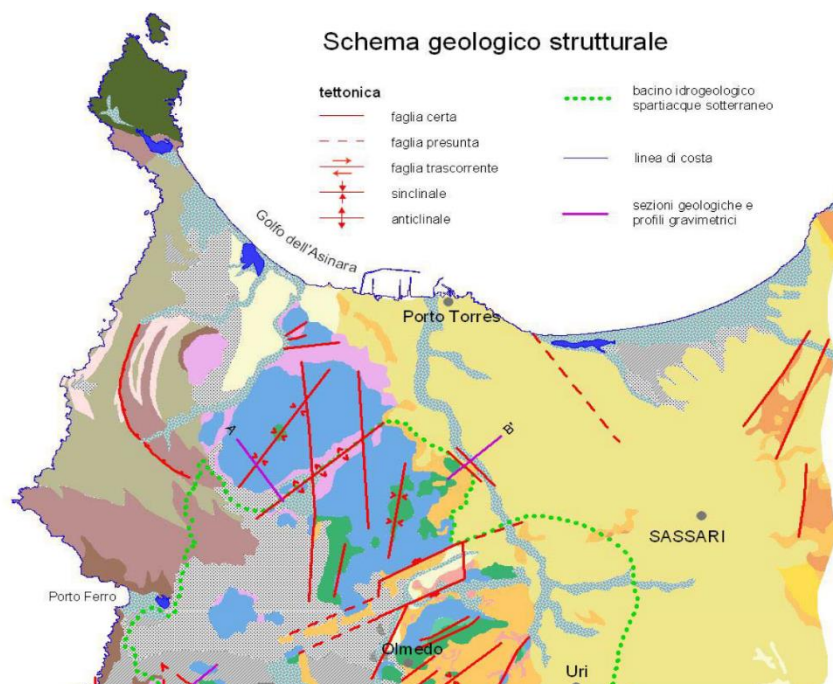


Figura 8 Schema Tettonico dell'area vasta di studio con l'area di dettaglio evidenziata in arancio (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

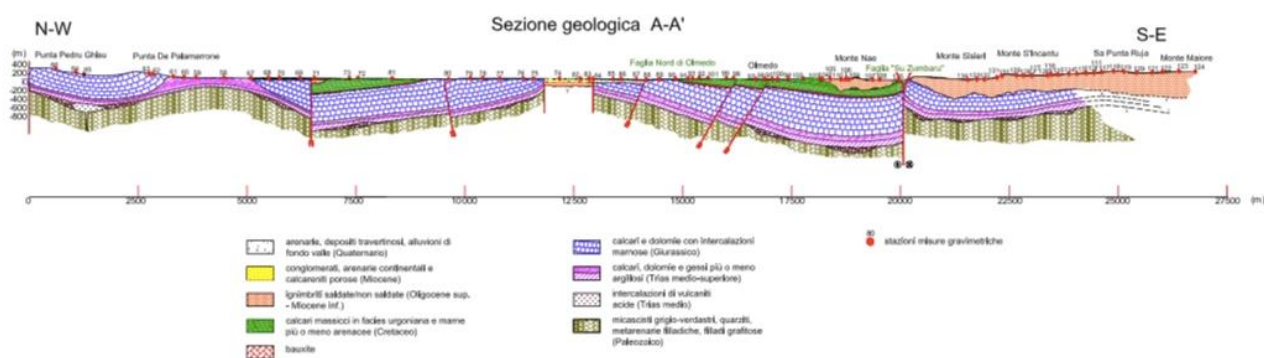


Figura 9 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (tratto da Ghiglieri et al 2006; 2009a)

Le rocce mesozoiche della Nurra poggiano generalmente sui depositi continentali permo-triassici o direttamente sul basamento, e sono rappresentate da depositi di piattaforma carbonatica sottoposta ad oscillazioni eustatiche e a fasi tettoniche distensive, che hanno favorito l'ingressione dei mari epicontinentali alternati a fasi subaeree. Il controllo tettonico, attivo in vari intervalli cronostatigrafici, insieme al controllo eustatico, ha condizionato l'evoluzione sedimentaria della piattaforma. Infatti, la

successione mesozoica presenta un tipico aspetto a "duomi e bacini" dovuto alla sovrapposizione di due sistemi di pieghe che hanno interessato la piattaforma carbonatica mesozoica prima durante il Cretaceo medio (pieghe e sovrascorrimenti orientati NW-SE), e poi nel Cretaceo superiore (piegamenti orientati NE-SW).

La successione mesozoica è rappresentata da una sequenza di calcari, dolomiti e marne e depositi evaporitici il cui spessore può superare i 700 m.

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:

**h1m** – Depositi antropici, discariche minerarie. OLOCENE

**bb** - Depositi alluvionali, sabbie con subordinati limi e argille. OLOCENE

**b2** - Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE

**b** - Depositi alluvionali. OLOCENE

**NRR** - FORMAZIONE DI MONTE NURRA (cfr. Formazione di Gamba di Moro GDM) Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. DOGGER

**NDD** - FORMAZIONE DI CAMPANEDDA (cfr. Formazione di Monte Zirra ZRR). Calcarei oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. LIAS

**KEU** - KEUPER AUCT. Marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGOBARDICO SUP. - ?RETICO)

**MUK** - MUSCHELKALK AUCT. Calcarei laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi strati. TRIASSICO MEDIO (LADINICO)

**BUN** - BUNTSANDSTEIN AUCT. Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" sensu Gasperi & Gelmini, 1979). TRIASSICO MEDIO (ANISICO)

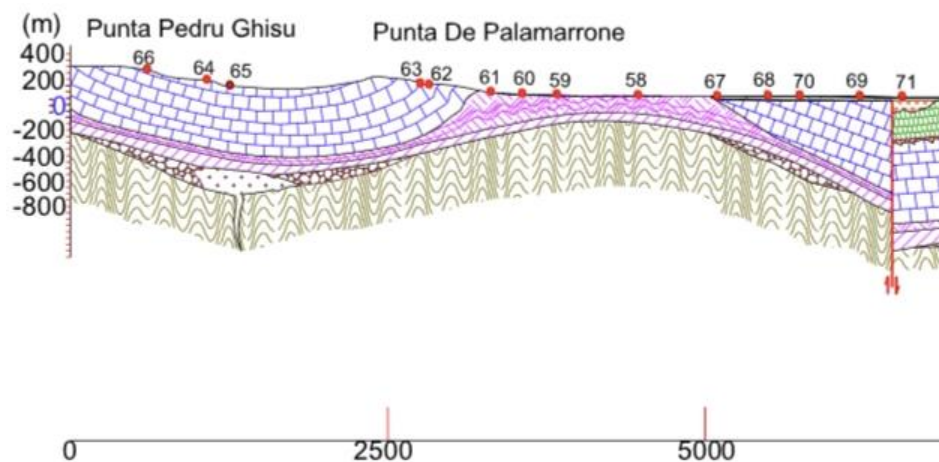


Figura 10 Particolare della sezione geologica con dettaglio dell'area in studio

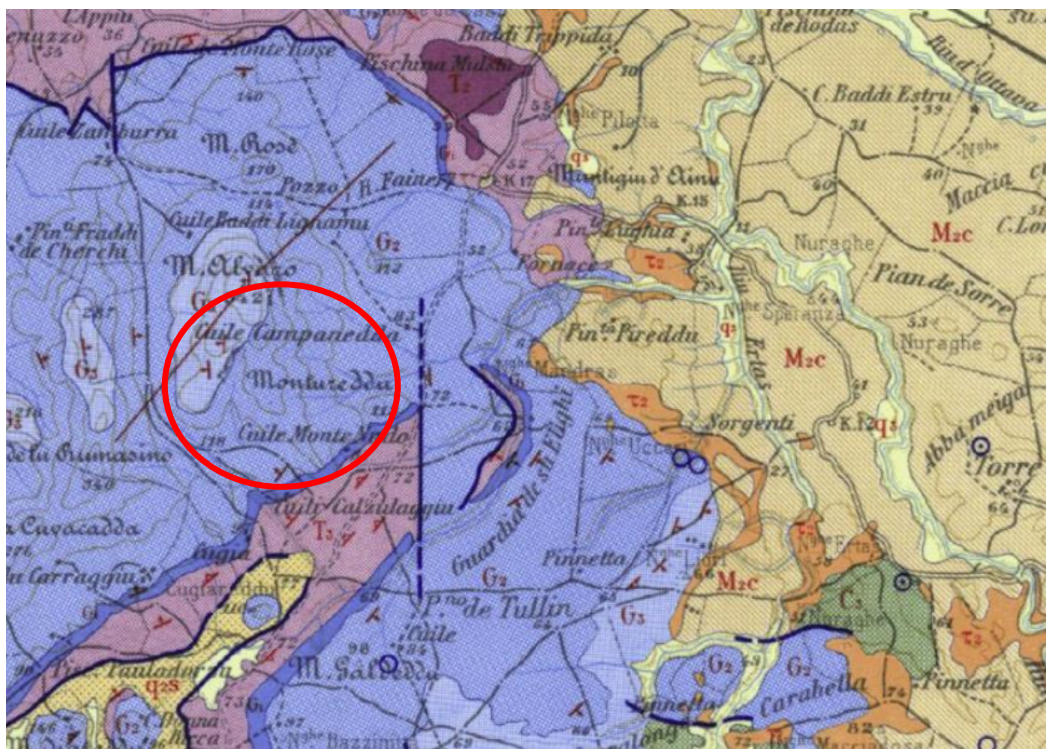


Figura 11 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 179 "Porto Torres"





Figura 12 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 foglio 459 "Sassari"



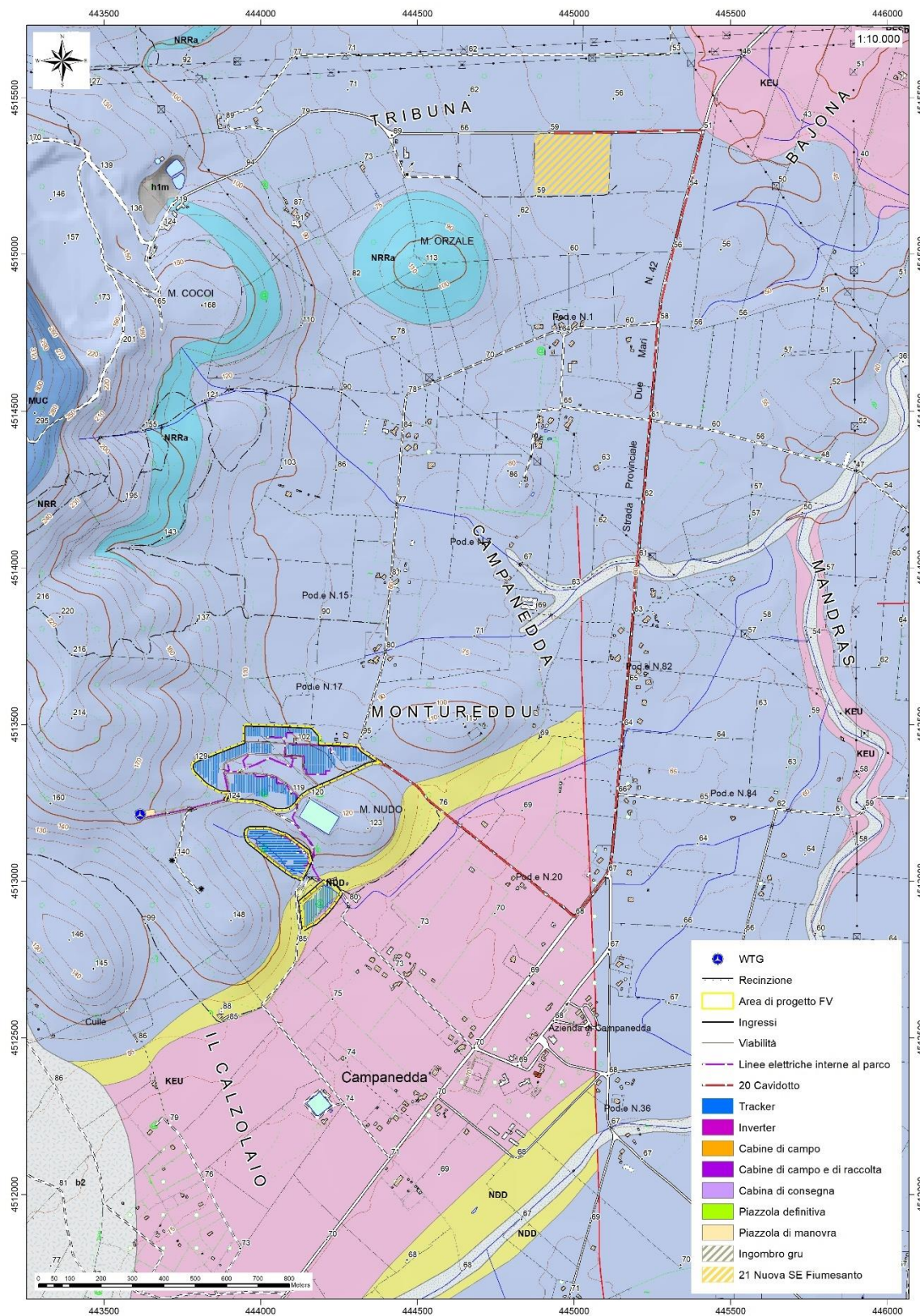


Figura 13 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

## 5.2. SUCCESSIONE SEDIMENTARIA MESOZOICA

Le rocce della successione mesozoica sono deformate da una tettonica con tipico stile di copertura. La parte più bassa della successione, presenta rocce con caratteri di sedimentazione prevalentemente terrigena (Triassico), che evolve a piattaforma carbonatica (Giurassico). Vengono descritte quelle affioranti nell'area di interesse, a partire dalla più recente fino alla più antica.

**MUC** - Formazione di Monte Uccari (cfr. Formazione Punta Cristallo IST). E' costituita da calcari micritici e bioclastici grigio biancastri ben stratificati; dolomie grigiastre e lenti di calcare oolitico con ciottoli a carofite. La successione, di potenza di un centinaio di metri, viene riferita al Giurassico superiore (MALM) per via della ricca associazione di alghe dasycladacee.

**NRRa** - Litofacies nella Formazione di Monte Nurra (cfr Formazione Gamba di Moro GDMa). Intercalazioni di arenarie quarzose e siltiti arenacee. DOGGER

**NR** - Formazione di Monte Nurra (cfr Formazione Gamba di Moro GDM). La successione, potente fino a 150-200m, è costituita da dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose. Alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite. La ricca fauna a spugne, coralli ermatipici, lamellibranchi, gasteropodi, brachiopodi, echinodermi e briozoi ha permesso di collocare la successione nel Giurassico medio (DOGGER).

**NDD** - Formazione di Campanedda (cfr. Fm. Monte Zirra ZRR). Affiora presso la località omonima con una successione di spessore variabile tra 10-15m che sormonta il sottostante Keuper. La successione è costituita da calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce. Il ricco contenuto fossilifero a foraminiferi, coralli, gasteropodi, brachiopodi, ammoniti ed echinidi permette di attribuire la successione al Giurassico inferiore (LIAS).

**KEU** - Keuper AUCT. La successione, di spessore valutabile in 40-50 m, presenta due litofacies non sempre affioranti costituite da marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere. TRIAS SUP. (LONGOBARDICO SUP. - ?RETICO)

**MUK** - Muschelkalk AUCT. La successione, spesso non oltre 10-15m, è costituita da calcari laminati sottilmente stratificati e calcari dolomitici in grossi banchi. Si possono individuare quattro livelli che, dalla base verso il tetto, sono costituiti da marne dolomitiche nodulari giallastre e dolomie grigie laminate e attraversate da bioturbazioni, seguite da calcari marnosi e livelli argillosi, e da calcari bioclastici, per terminare con calcari intercalati a livelli di dasycladacee e foraminiferi. Viene attribuita al Ladinico per la presenza di alcuni conodonti, sebbene siano presenti alghe, coralli, foraminiferi, bivalvi, brachiopodi, crinoidi, e ammoniti. TRIASSICO MEDIO (LADINICO)

**BUN** - Buntsandstein AUCT. Alternanza di arenarie, argilliti, siltiti, livelli marnosi con gesso e conglomerati poligenici alla base ("Verrucano" sensu Gasperi & Gelmini, 1979). TRIASSICO MEDIO (ANISICO)





Figura 14 Calcari della Formazione di Monte Nurra.



Figura 15 Calcare oolitico della Formazione di Campanedda.

### 5.3. DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE

I depositi quaternari cartografati nell'area di studio sono generalmente poco rilevanti; sono rappresentati principalmente da depositi di versante, coltri eluvio-colluviali e depositi alluvionali. Vengono descritti dal più antico al più recente.



(a) Depositi di versante: sono costituiti da detriti spigolosi e a varia granulometria accumulati essenzialmente per gravità alla base dei versanti rocciosi più ripidi. Sono depositi in genere monogenici ed eterometrici, con clasti spigolosi o scarsamente elaborati ed una notevole matrice fine. Gli affioramenti più estesi si rinvenivano alla base dei versanti, oppure in corrispondenza dei compluvi dove formano delle fale di detrito piuttosto estese. Lo spessore di questi depositi, che generalmente non sono cementati e sono fissati da vegetazione, solitamente è variabile nell'ordine massimo di qualche metro alla base dei versanti e nei compluvi. Olocene.

(b2) Coltri eluvio-colluviali: Si tratta di materiali derivati dal disfacimento in situ delle rocce in seguito mobilizzate da processi di versante, costituiti da depositi con percentuali variabili di sedimenti fini (sabbia e silt) più o meno pedogenizzati e arricchiti in frazione organica, con clasti eterometrici di varia litologia. Lo spessore di questi depositi solitamente è abbastanza esiguo (nell'ordine massimo di qualche metro in prossimità dei compluvi). Olocene.



Figura 16 Coltri eluvio-colluviali.

(b) Depositi alluvionali: si tratta di depositi di spessore modesto (compreso tra qualche metro e 15m lungo il Riu Mannu), costituiti da materiale sabbiosi, limosi o ghiaiosi depositati lungo i corsi d'acqua.

(bb) Depositi alluvionali: si tratta di sedimenti fini, costituiti da sabbie con rare ghiaie.



**(h1m)** Depositi antropici: si tratta di depositi imputabili ad attività antropica, ascrivibili a discariche minerarie derivanti dall'attività estrattiva di materiali quali sabbie silicee, ghiaie e rocce calcaree. I depositi sono costituiti da materiali litoidi più o meno grossolani e formano cumuli di modesta estensione con spessore massimo di 15-20m.

#### 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 dei bacini del Logudoro e di Porto Torres e dell'intenso vulcanismo calcalalino.

L'area di studio è caratterizzata dall'affioramento delle coperture mesozoiche, costituite da arenarie grossolane, conglomerati basali, e marne, argille e calcari bioclastici. I depositi quaternari sono principalmente costituiti da coltri eluvio-colluviali di spessore molto modesto e depositi di versante.



Figura 17 Fratturazione in blocchi alla scala dell'affioramento. (Formazione di Monte Nurra)

Sono presenti alcune importanti discontinuità, tra cui una faglia che si estende per circa 2 km lungo la direzione N-S, localizzata ad S di P.ta Janna Strinta. Dal rilevamento geologico di dettaglio è emersa la presenza di altre faglie, sia nel costone orientale (con orientamento N-S e NW-SE) che in quello occidentale (WNW-ESE).

L'area interessata dal progetto è posizionata nelle coperture mesozoiche: in particolare nella formazione di Monte Nurra (NRR).



Le rocce della Formazione di Monte Nurra presentano evidente 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.

Anche le rocce della Formazione di Monte Uccari presentano una stratificazione ben sviluppata, evidente alla scala dell'affioramento.

## 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 nevica 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 Sassari e le risorse idriche disponibili sono stati valutati sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAS presenti nel territorio comunale di Sassari e Fertilia, localizzate rispettivamente circa 22 km e 15 km a SE e SW del settore in esame.

L'andamento pluviometrico dell'area oggetto di studio è stato ricavato dai dati pluviometrici relativi all'intervallo 2008-2018 estratti dagli Annali Idrologici dell'ARPAS reperibili dal Geoportale della R.A.S., così come i dati termometrici, entrambi per le stazioni meteorologiche di Sassari e Fertilia.

Periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Totale annuale
2018	32,4	101,2	114,2	26,4	199	34,2	0	42,6	31	83,6	155	47	866,6
2017	77,8	62	17,8	23	3,2	33,2	0,4	0	52,4	6,6	81,4	124,6	482,4
2016	58	160	71,4	20	24	3,4	37,4	0,2	52	8	106,4	34,4	575,2
2015	37,8	151,2	57,8	50,2	14	21	0,2	21,6	25,6	114,2	50,6	8,6	552,8
2014	141	95,4	77,6	35,4	33	34,2	14,6	3,4	2	2,6	118,6	76,2	634
2013	202	128,4	137,8	68,4	83,2	1,8	0,2	8,8	31,2	37,4	134,2	29,8	863,2
2012	35,6	56,4	11,8	61,8	125,8	0,8	1,2	0,6	51,6	104,8	109,4	36,4	596,2
2011	105	94,2	32,2	34,2	2	29,6	13,6	0	19,8	11	114,6	62,2	520,9
2010	96,6	61,8	71,6	43,4	62,4	62	0,8	1,4	2,6	64,6	247	126	840,2
2009	104	23,8	37	70,8	6	34,8	0	0,2	101,8	62	107	123,6	671
2008	56,6	18,4	52,4	15,8	109,6	21,8	0,2	0,2	44,6	77,2	131	84,4	612,2

Figura 18 Andamento pluviometrico dell'area vasta (espresso in mm) ricavato dalle stazioni pluviometriche di Sassari e di Fertilia (anno 2011).

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 Fertilia (Alghero) sono riferiti i dati sulla nuvolosità, umidità relativa e ventosità, estrapolati rispettivamente dagli archivi del Servizio Meteo dell'Aeronautica Militare per il periodo 1961-1990 (nuvolosità) e per il periodo 1971-2000 (umidità relativa e ventosità).

## 6.1. PRECIPITAZIONI

Nella Fig. 19 sono esposti i dati relativi alle precipitazioni nell'intervallo 2008-2018 registrati nella stazione di Sassari e Fertilia (unicamente per l'anno 2011). Viene riportato il valore medio mensile e il totale annuale di precipitazioni (espresso in mm) nei periodi considerati. Per il periodo 2008-2018 si osserva che

i valori di precipitazioni presentano valori inferiori nei mesi autunnali e invernali, e superiori per il periodo compreso tra maggio e agosto.

Nell'area studiata, la piovosità media annuale è pari a circa 663 mm per il periodo compreso tra il 2008 e il 2018.

L'andamento pluviometrico dell'area di **Campanedda** 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.

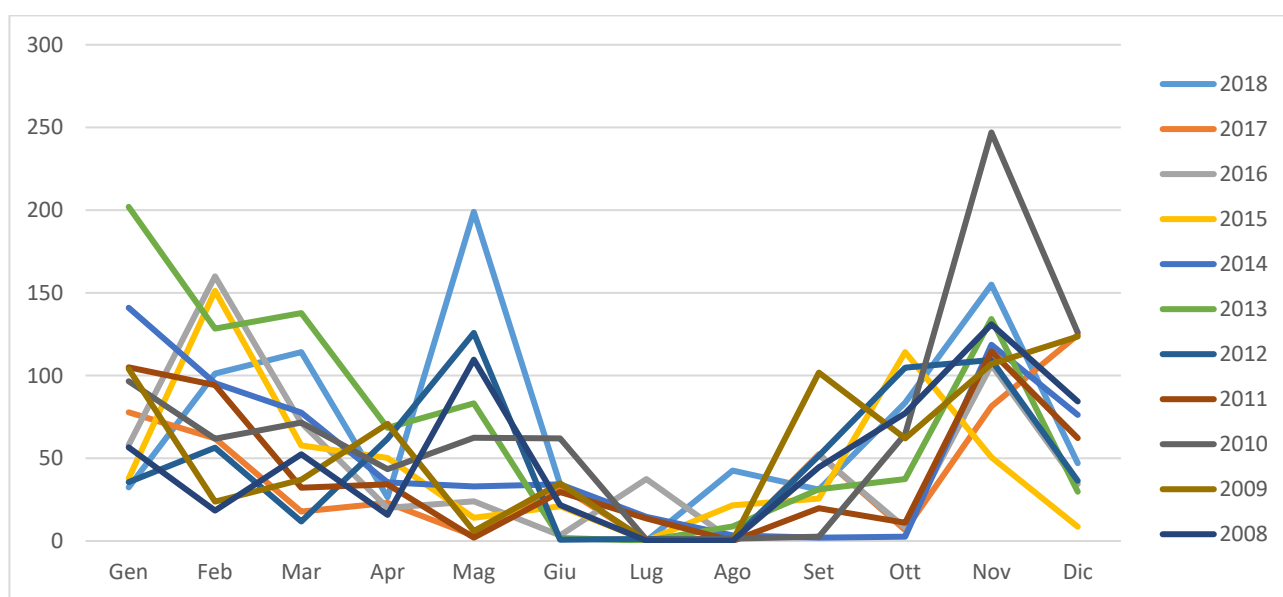


Figura 19 Andamento della pluviometria mensile e annuale (nell'asse delle ordinate, in mm) per le stazioni di Sassari (e Fertilia per il solo 2011) nel periodo 2008-2018.

## 6.2. TEMPERATURE

I valori termometrici della stazione meteo di Sassari, ricavati dal Dipartimento Specialistico Regionale Idroclimatico (I.M.C.) dell'ARPAS, sono illustrati nel grafico di Fig.21 e sono relativi alla stazione di Sassari per gli anni dal 2012 al 2018, e alla stazione di Fertilia per l'intervallo 1995-2011. La temperatura media annua, calcolata con i valori medi mensili per il periodo 1995-2018, è di circa 17 °C. Il mese più freddo è Febbraio con una media di circa 8,5°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
2018	10,8	7,2	10,5	15,8	16,8	21,6	25,5	25,6	22,3	18,1	13,3	10,3
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
2016	9,6	10,3	10,7	15,1	16,8	21,4	25	24,2	21,8	17,9	13,5	11,1
2015	8,4	7,6	10,3	13,5	18	22,6	26,5	24,7	21,1	16,5	13,3	11
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
2013	8	6,3	10,5	13,6	14,8	19,6	25	24,7	20,8	19,8	11,4	9,9
2012	8,5	5,4	12	13,3	16,7	23,6	24,8	26,9	21	17,6	13,8	9,1
1995-2011	10	10,4	12,5	15,2	19,4	22,9	25,7	25,8	22,5	19,2	14,6	11,3

Figura 20 Temperature mensili (in ° C) registrate nella stazione di Sassari negli anni dal 2018 al 2012, e presso la stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011.

Nel grafico della Fig.22 è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per il periodo 1995-2011 registrate nella stazione di Fertilia, e per gli anni dal 2012 al 2018, relativamente alla stazione di Sassari.

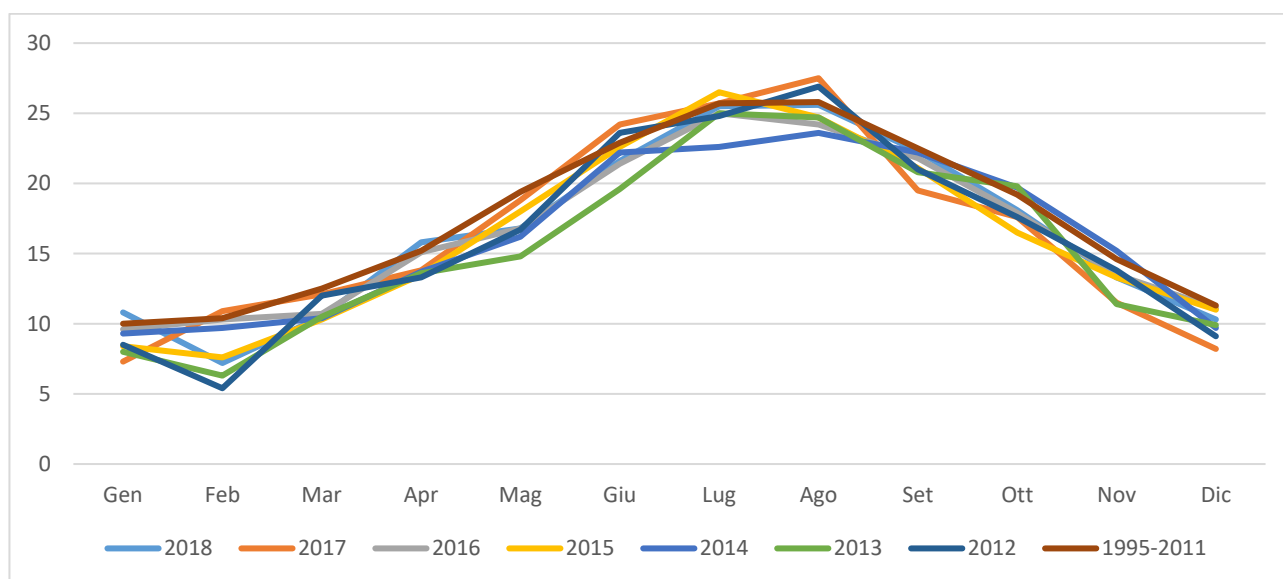


Figura 21 Temperature mensili (in ° C, nell'asse delle ordinate) registrata nella stazione di Sassari per gli anni 2012-2018, e nella stazione di Fertilia per il periodo 1995-2011.

### 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. Nel grafico di Figura 23 è illustrata l'evapotraspirazione per la zona di interesse ricavata dai dati reperibili sul WebGIS dell'ARPAS.

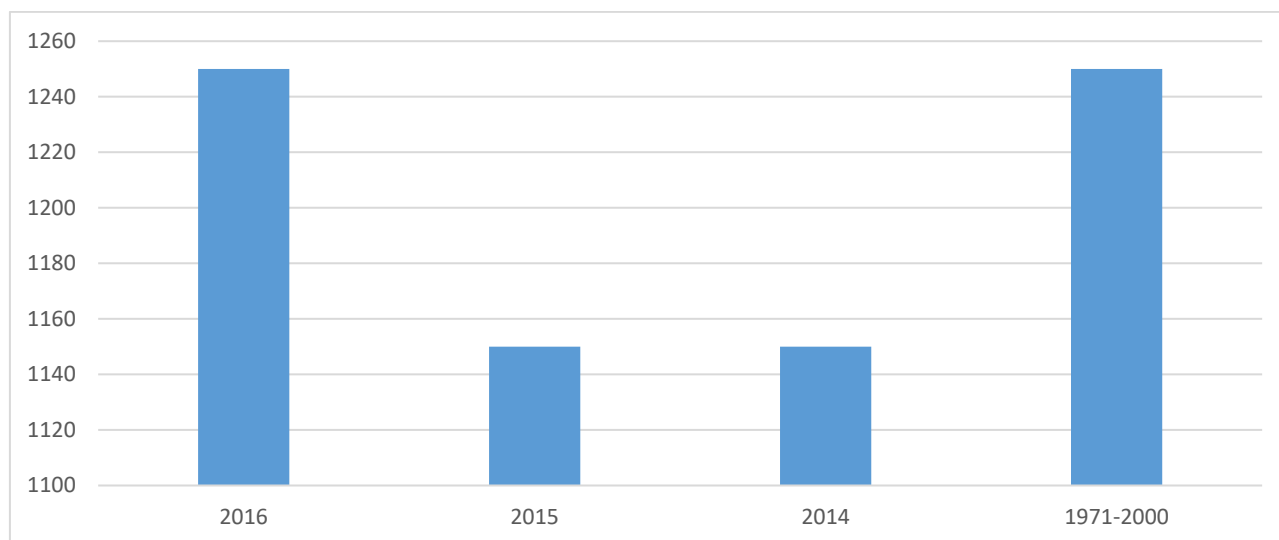


Figura 22 Evapotraspirazione (espressa in mm) per la zona di Sassari.

La nuvolosità influenza il clima in quanto da essa dipende l'irraggiamento solare. Nella tabella di Fig. 24, 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 23 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.

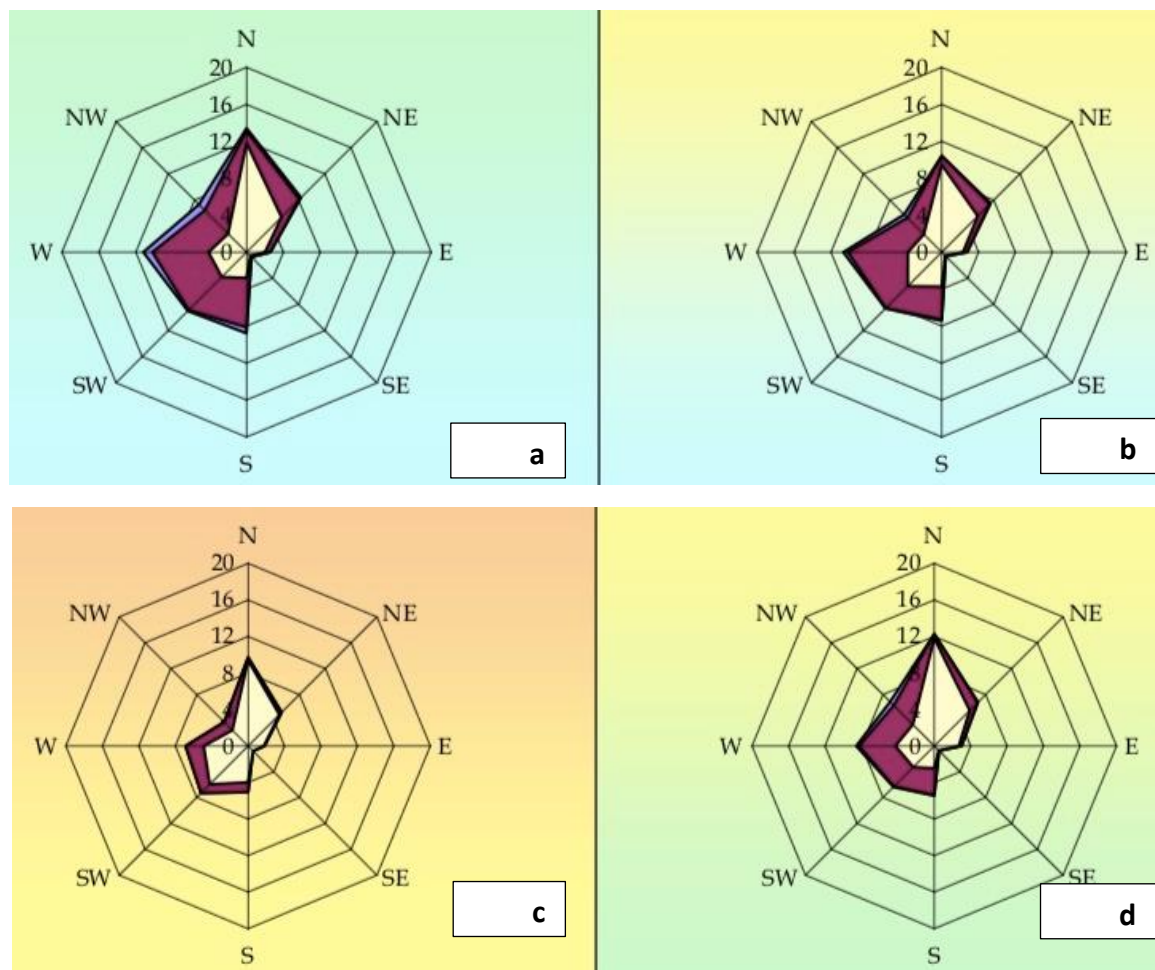


Figura 24 Ventosità media per inverno (a), primavera (b), estate (c), e autunno (d) durante il periodo 1971-2000 registrate nella stazione meteorologica di Fertilia.

Dall'analisi dei dati disponibili dalla Rete Mareografica dell'ISPRA, risulta che i venti provenienti dai quadranti settentrionali e occidentali sono in netta dominanza, in particolare quello più frequente proviene da W. Per il periodo considerato (1971-2000) nella stazione di Fertilia le percentuali di calma per le 4 stagioni sono state il 36% per l'inverno, il 44% per la primavera, il 59% per l'estate e il 48% per l'autunno.



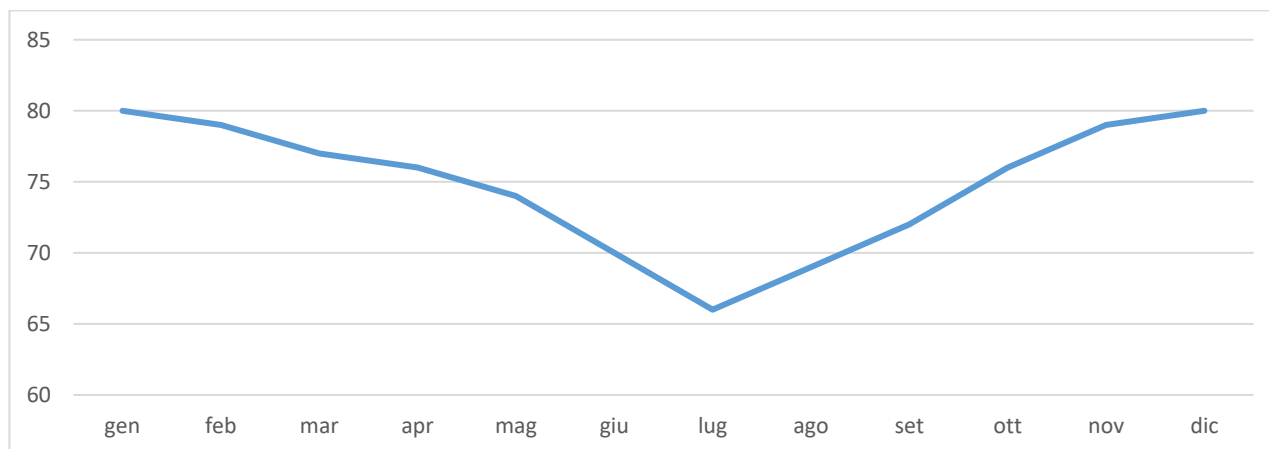


Figura 25 Umidità relativa per la stazione di Fertilia, per il periodo 1971-2000.

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. Dalla tabella riportata in Fig.26, che 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.

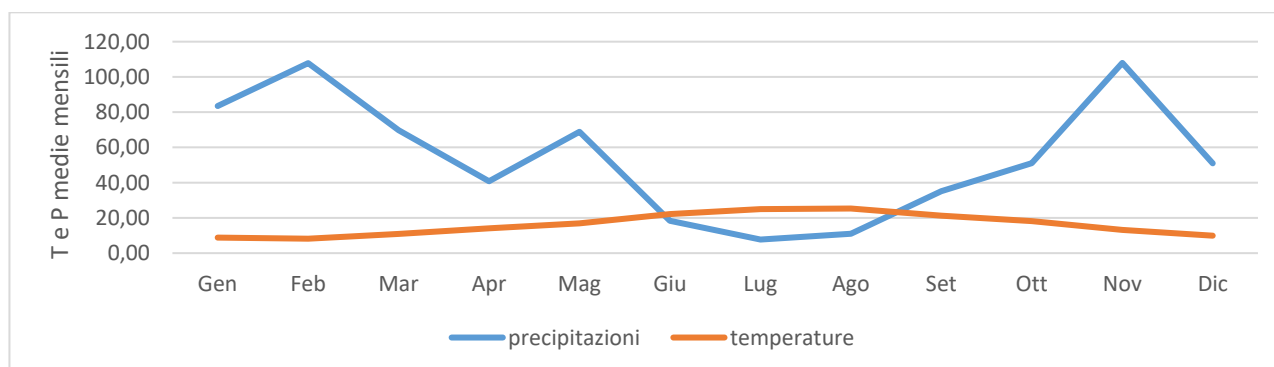


Figura 26 Diagramma ombrotermico (Walter e Lieth) per il settore di Sassari.

Il diagramma ombrotermico elaborato per l'area di **Campanedda** 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.

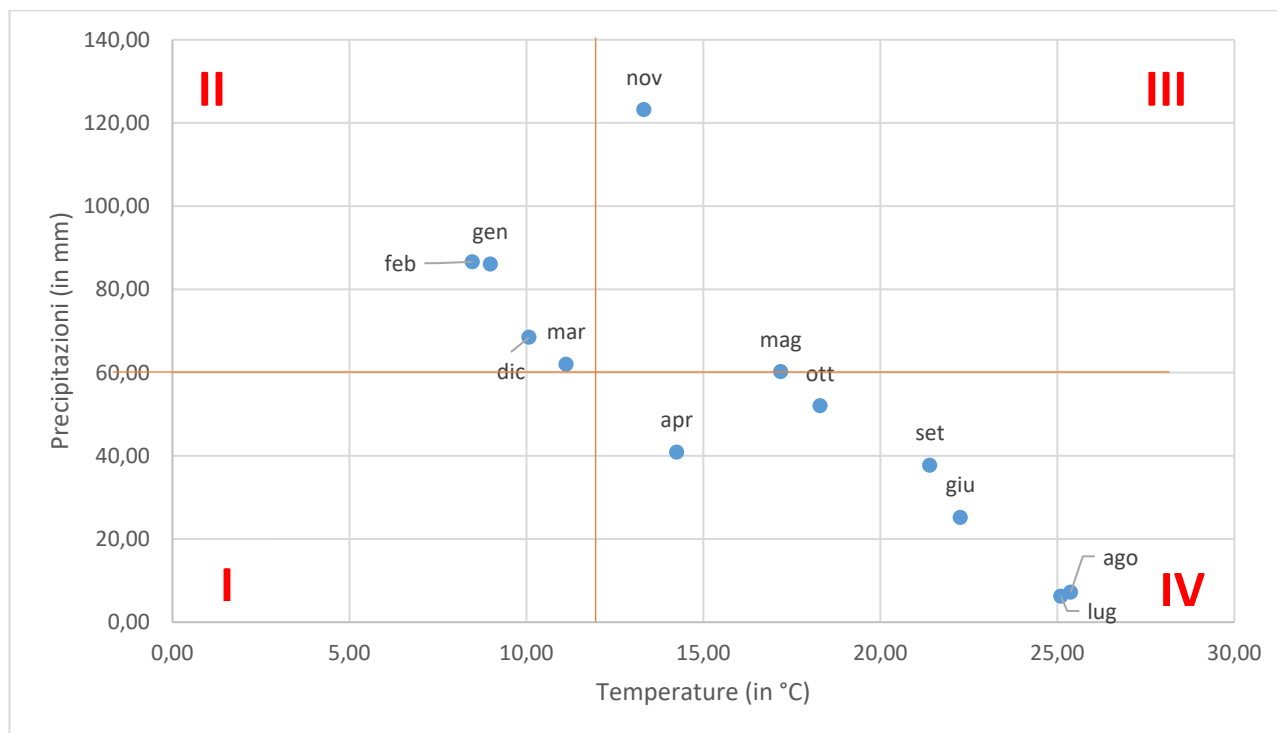


Figura 27 Climogramma relativo all'area di Sassari.

L'analisi delle medie mensili di temperatura e piovosità relative al periodo 2012-2018 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 650 mm annui.

Dal climogramma realizzato a partire dai valori medi di precipitazioni e temperature relativi al periodo 2012-2018 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 in basse colline (a quote dai 75m ai 150m slm) in Località **Campanedda**, ai piedi del versante nord-orientale di due rilievi tra loro paralleli e orientati NW-SE denominati Monte Su Zumburu (220m) e Monte Nudo (123).

L'area vasta del settore in studio presenta delle morfologie tipiche di calcari duri e cristallini del mesozoico, stratificati e con forme accidentate che vanno da aspre 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 di intervento è il risultato della graduale demolizione del rilievo ad opera degli agenti erosivi sulle rocce di natura prevalentemente carbonatica, modellate dal carsismo.

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, in particolare il carsismo.

Il carsismo si sviluppa principalmente a seguito della dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche.

Il processo carsico rientra nel grande insieme delle azioni di disaggregazione compiute dagli agenti esogeni a spese delle rocce affioranti sulla crosta terrestre. La corrosione avviene per opera delle acque meteoriche che, oltre a contenere una certa quantità di anidride carbonica atmosferica disciolta al loro interno, scorrendo sulla superficie del suolo ed attraversando lo strato superficiale del suolo si arricchiscono ulteriormente di CO<sub>2</sub>. Queste acque reagiscono con la roccia calcarea intaccandola lentamente, sia in superficie sia infiltrandosi nel reticolo, fino a dar luogo nell'arco del tempo a veri e propri condotti di dimensioni variabili, che costituiscono i classici acquiferi tipici delle rocce carbonatiche. Infatti le acque ricche di anidride carbonica sono particolarmente aggressive nei confronti del carbonato di calcio.

Il paesaggio carsico è caratterizzato da forme superficiali o epigee e da forme sotterranee o ipogee. Le forme epigee possono avere dimensioni molto diverse, comprese fra pochi millimetri e parecchi chilometri. I paesaggi carsici sono caratterizzati da aridità, dalla mancanza di idrografia superficiale, dalla presenza di conche di assorbimento (doline), inghiottitoi, e pozzi, da valli incise con pareti ripide (forre), da conche chiuse di grandi dimensioni (polje) con depositi alluvionali ed eluviali (residui insolubili dell'erosione carsica - terre rosse), e da forme carsiche tipiche come i Karren (campi carreggiati), i Lapiez (scannellature), solchi (docce), vaschette di corrosione, fori carsici, crepacci e lame.





Figura 28 paesaggio a monte dell'area di studio

I karren sono superfici nelle quali le acque hanno provocato ampie fessure, simili ai solchi delle ruote di un carro, e caratterizzati da una vegetazione molto scarsa. Le doline invece sono tra le forme più note del paesaggio carsico. La dolina è una conca chiusa a pianta tondeggiante, ovvero una depressione a forma di imbuto, prodotta dalla dissoluzione della roccia ad opera delle acque piovane (un bacino che si riempirebbe d'acqua a originare un laghetto se le pareti ed il fondo fossero impermeabili), con un diametro variabile da qualche metro fino a 1 km e di profondità fra i 2 e i 200 metri e che presentano sul fondo un inghiottitoio cioè un'apertura attraverso la quale le acque meteoriche vengono convogliate in profondità. Le doline raccolgono quindi grandi quantità di acque piovane o di scorrimento superficiale e le convogliano nel reticolo carsico di drenaggio, dove si formano così veri e propri torrenti sotterranei. La dolina, se abbastanza profonda, è caratterizzata da un clima particolare. A causa della sua forma, infatti, la dolina si presenta come una trappola di aria fredda, presentando una sensibile differenza di temperatura rispetto al resto dell'altopiano.

Questa particolarità rende la dolina un ambiente a sé con una presenza di flora (vedi "inversione della vegetazione in una dolina") e fauna che normalmente si trovano ad altitudini maggiori. La dolina è quindi il risultato della dissoluzione delle rocce carbonatiche attorno all'inghiottitoio o del crollo di una grotta sotterranea.



### 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 dolomie e sui calcari, la quale, 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 29 Foto nei pressi dell'area interessata al progetto



Figura 30 Foto dell'area interessata al progetto



Figura 31 Caratteri geomorfologici dell'area vasta e significativa (NNW verso il lato superiore dell'immagine)



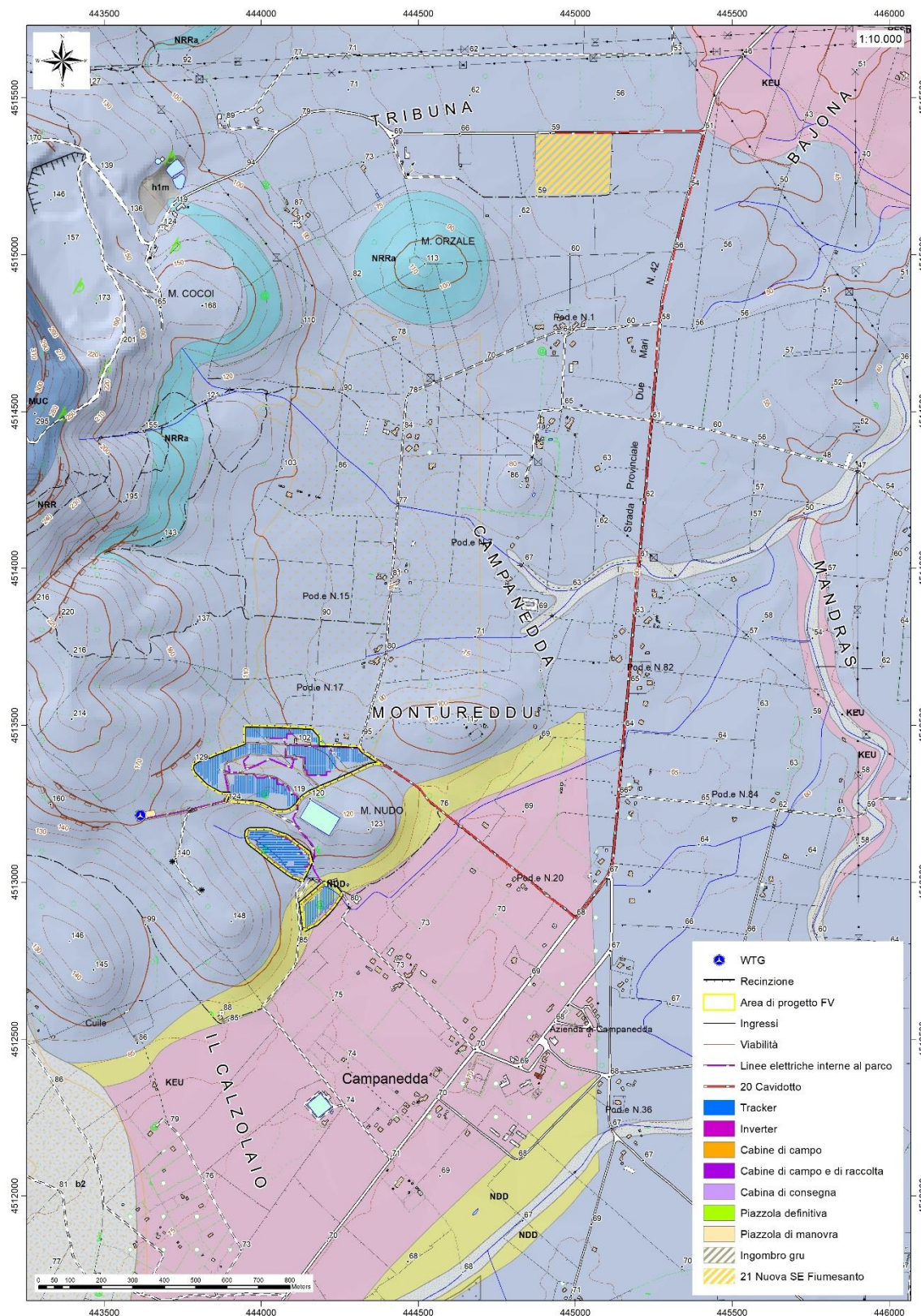


Figura 32 Carta geomorfologica dell'area di progetto

## 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 Sassari è incluso nel Sub – Bacino n° 3 “Coghinas – Mannu di P.Torres – Temo”, che si estende per una superficie di 5402 Km<sup>2</sup>, 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 calcaree sono generalmente caratterizzate da importanti sistemi di giunti e discontinuità, spesso visibili ad occhio nudo, che influenzano la circolazione idrica superficiale che si presenta poco articolata, indice che 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 Sant'Osanna, che scorre a occidente, e il **Riu Mannu** che scorre a oriente, il più prossimo ai campi sui quali sarà situato il parco fotovoltaico, mentre a sud scorre il Riu don Gavinu. Verso questi confluiscano le acque incanalate da piccoli affluenti che si ramificano verso monte.

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. Sono presenti diversi corsi d'acqua lungo tutta l'area di interesse, e i relativi affluenti: il Riu Mannu nella parte orientale, il Riu Sant'Osanna in quella occidentale, e il Riu don Gavinu nella parte meridionale.



Figura 33 Suddivisione dei bacini idrografici sardi.

Il Riu Mannu e il Riu Sant'Osanna e i relativi affluenti scorrono verso il mare a nord, mentre il Riu Don Gavinu e relativi affluenti, scorre invece verso sud per confluire nel Riu Filibertu, che a sua volta si immette nel Rio Barca che sfocia a mare presso Alghero.

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.

Lungo il suo sviluppo il cavidotto interferisce in due punti con il reticolo idrografico nello specifico con il rio denominato EL\_IDR\_5606 (1), EL\_IDR\_202374 (2 e 4) e con la testata del rio EL\_IDR\_5611 (3).

Dall'esame della cartografia IGM 1965, non presente nella nuova versione del layer ufficiale della Regione Sardegna, è segnalato un impluvio di ordine 1 che attraversa la zona nord dell'impianto.

## 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 Mesozoico, in parte al Paleozoico e al Quaternario. Il basamento paleozoico è costituito principalmente da litologie impermeabili e di conseguenza nel complesso sfavorevoli alla ritenzione delle acque meteoriche, che si trovano quindi a scorrere in superficie, come è possibile vedere dallo sviluppo del reticolo idrografico superficiale nella parte occidentale dell'area vasta.

Le coperture mesozoiche e quaternarie su cui verranno installati i pannelli fotovoltaici in progetto, invece, per via della loro composizione prevalentemente carbonatica, sono favorevoli all'assorbimento delle acque, come è possibile vedere dall'assenza del reticolo idrografico superficiale.

Al contatto tra le coperture mesozoiche, più permeabili, e quelle paleozoiche 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.



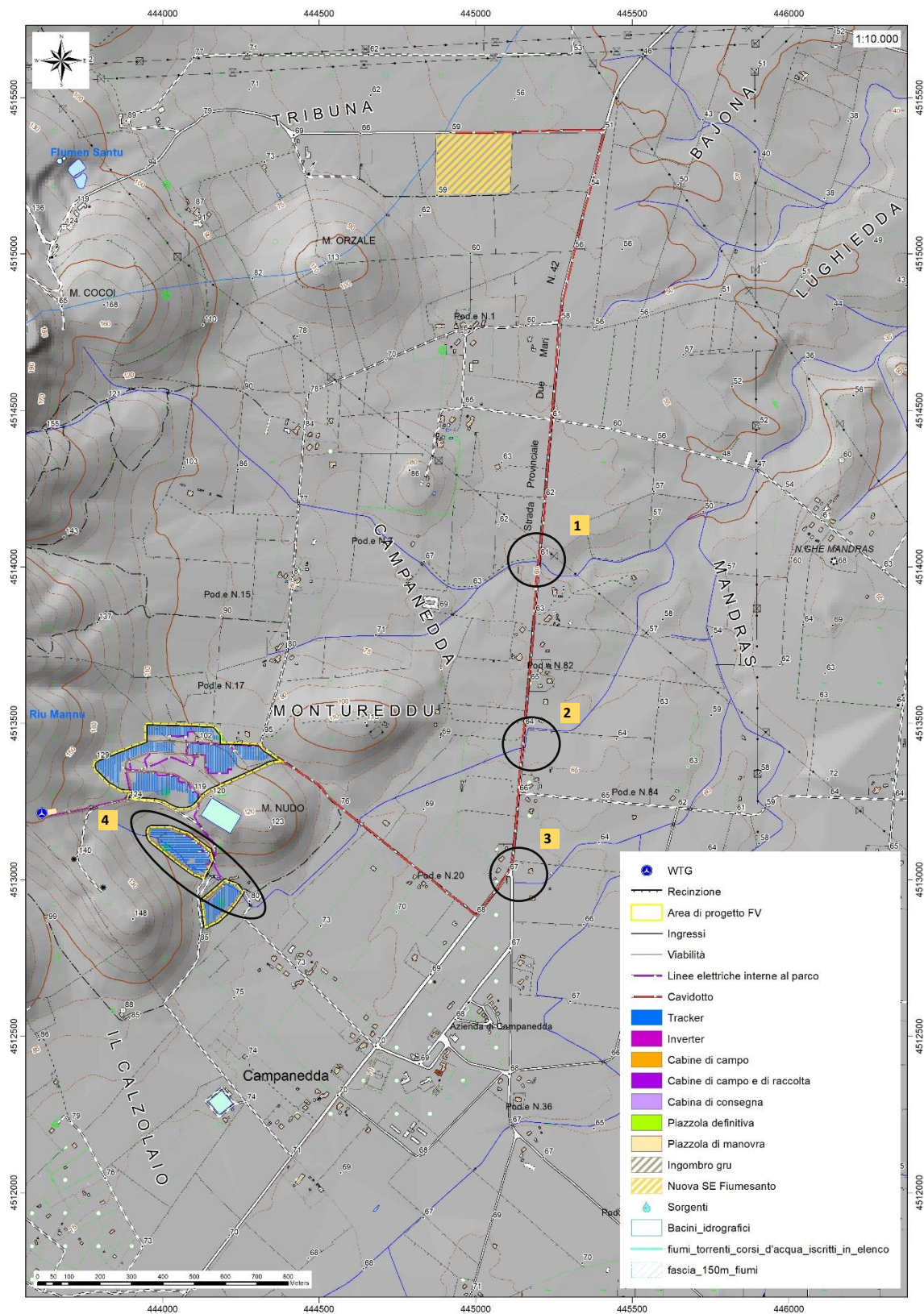


Figura 34 Carta dell'idrografia superficiale e interferenze di 1° e 2° ordine Horton-Stralher con le opere in progetto



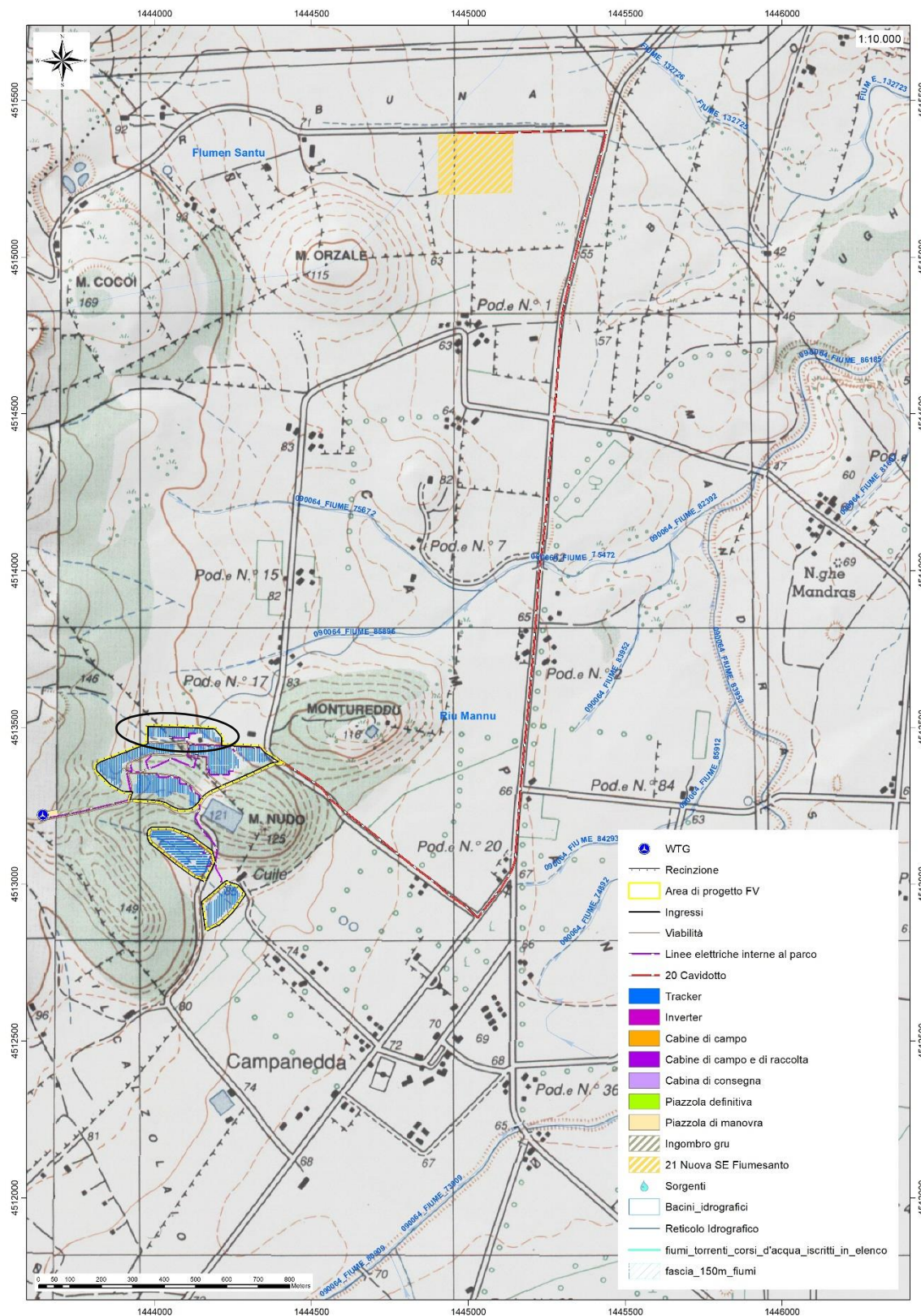


Figura 35 Carta IGM con interferenze di 1° e 2° ordine Horton-Stralher con le opere in progetto

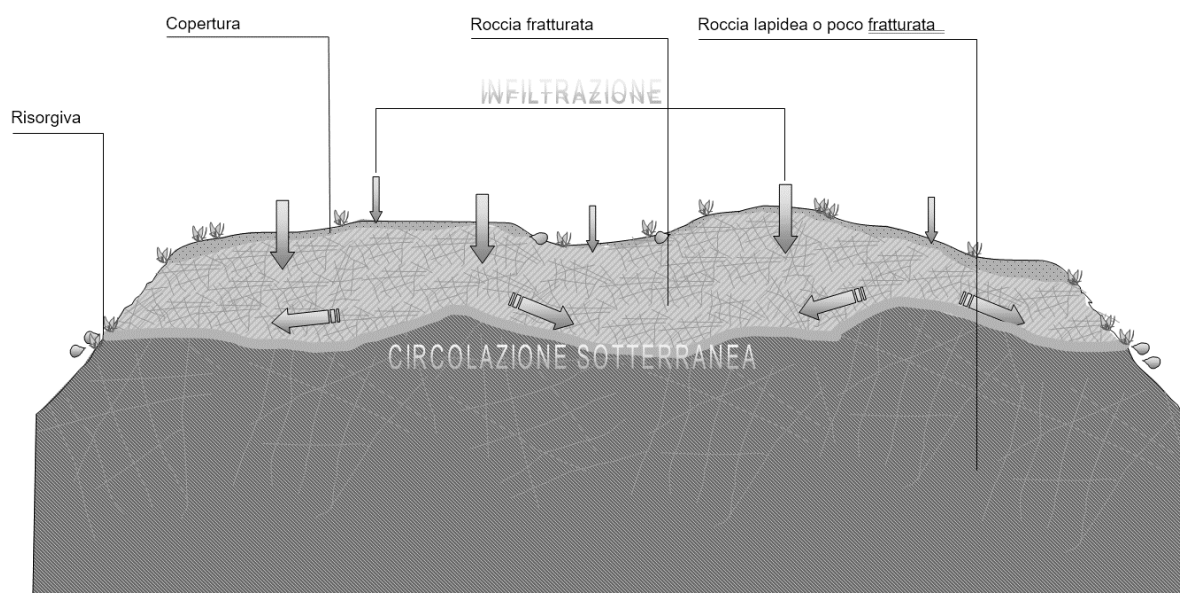


Figura 36 Schema esemplificativo, non in scala, dei processi di infiltrazione e deflusso sotterraneo

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 infila 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 quattro gruppi principali:

- Coperture mesozoiche. Tali coperture sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta sia alla porosità delle arenarie e dei calcari che alla permeabilità per fratturazione e carsismo delle rocce carbonatiche presenti in tutta l'area di interesse.
- Depositi quaternari. I depositi quaternari occupano aree molto limitate nella parte centrale e meridionale dell'area di interesse raggiungendo spessori poco significativi, con una permeabilità medio-alta per porosità. I depositi di versante essendo in gran parte costituiti da una struttura clasto-sostenuta e scarsa matrice (falde di detrito), presentano una permeabilità molto elevata, in ogni caso i loro spessori esigui non garantiscono una potenza sufficiente per generare acquiferi significativi.



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

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.

Al complesso calcareo viene attribuita una conducibilità idraulica di  **$k = 10^{-4}$**

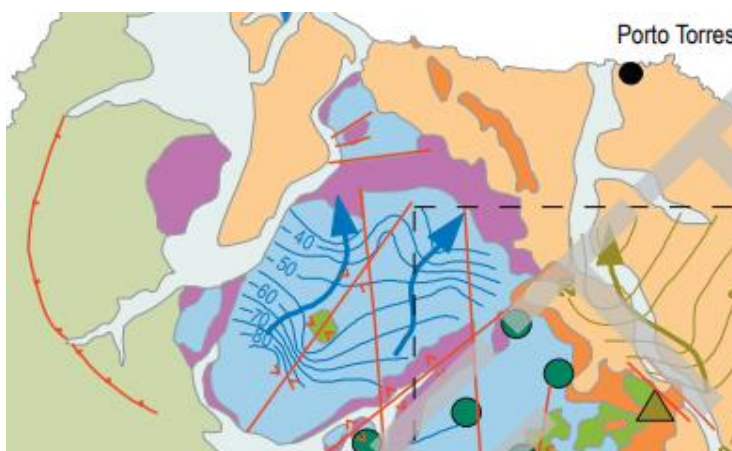
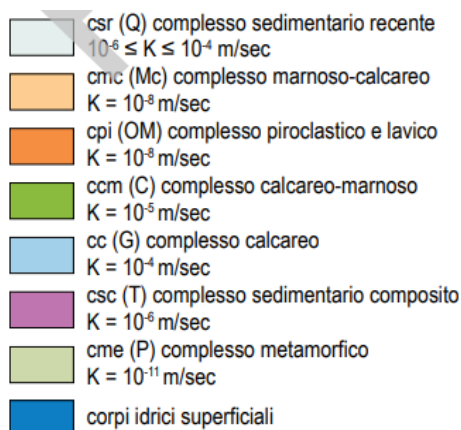


Figura 37 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 459 "Sassari"

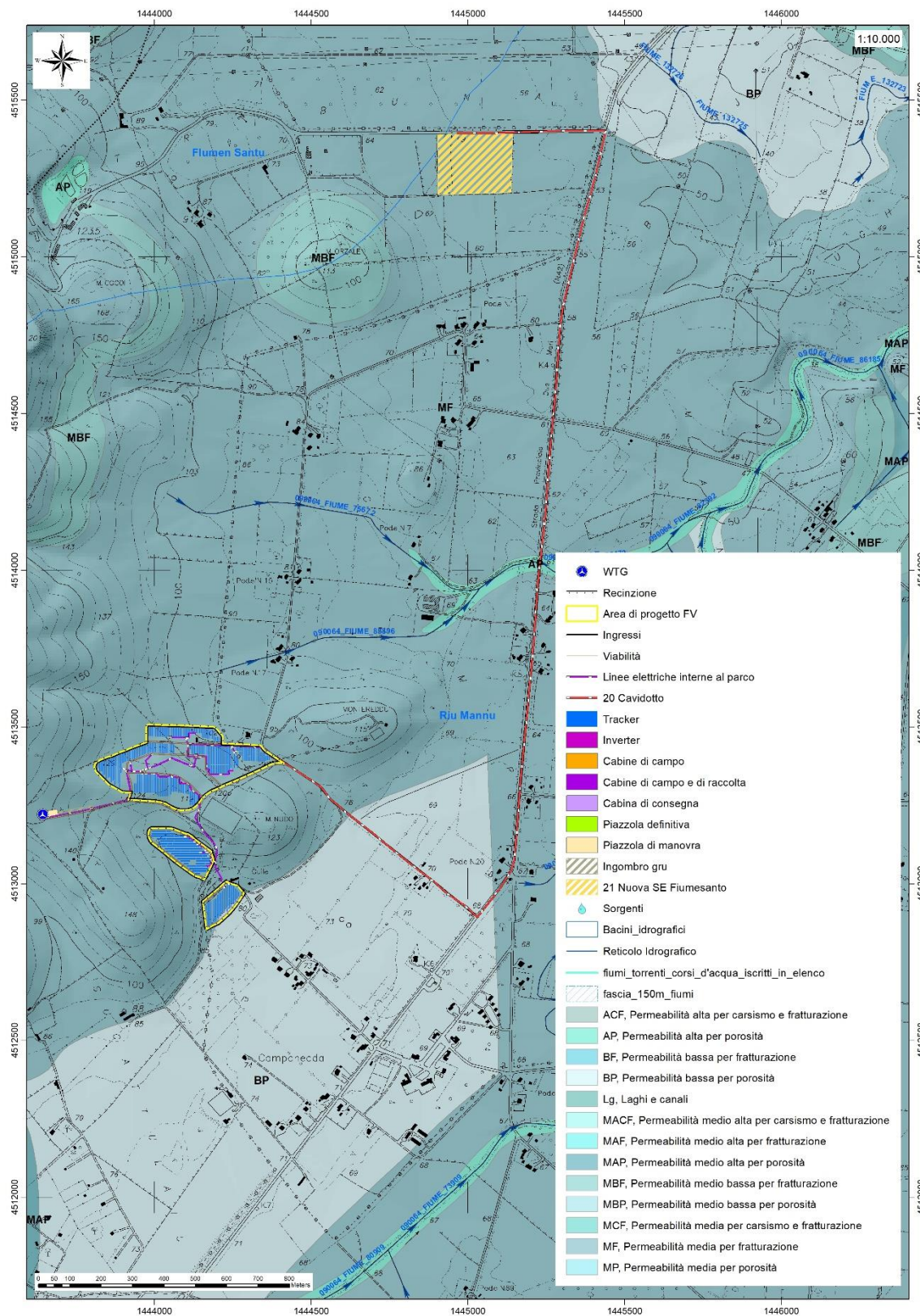


Figura 38 Carta delle permeabilità dei substrati

### 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

- Calcari, dolomie e calcari dolomitici del Paleozoico e del Mesozoico e relativi depositi di versante con roccia affiorante e suoli a profondità variabile nelle anfrattuosità della roccia, *con profili A-R e subordinatamente A-Bt-R, argillosi, poco permeabili, neutri, saturi*. cui sono associati suoli dell'unità **A1** e della Carta dei Suoli della Sardegna.
- **"Calcari, dolomie e calcari dolomitici del Paleozoico e del Mesozoico e relativi depositi di versante"** *con Profili A-R, A-Bt-R e A-Bw-R e roccia affiorante, da poco profondi a profondi, da franco sabbioso argillosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabili, neutri, saturi*; cui sono associati suoli dell'unità **A2** e della Carta dei Suoli della Sardegna.



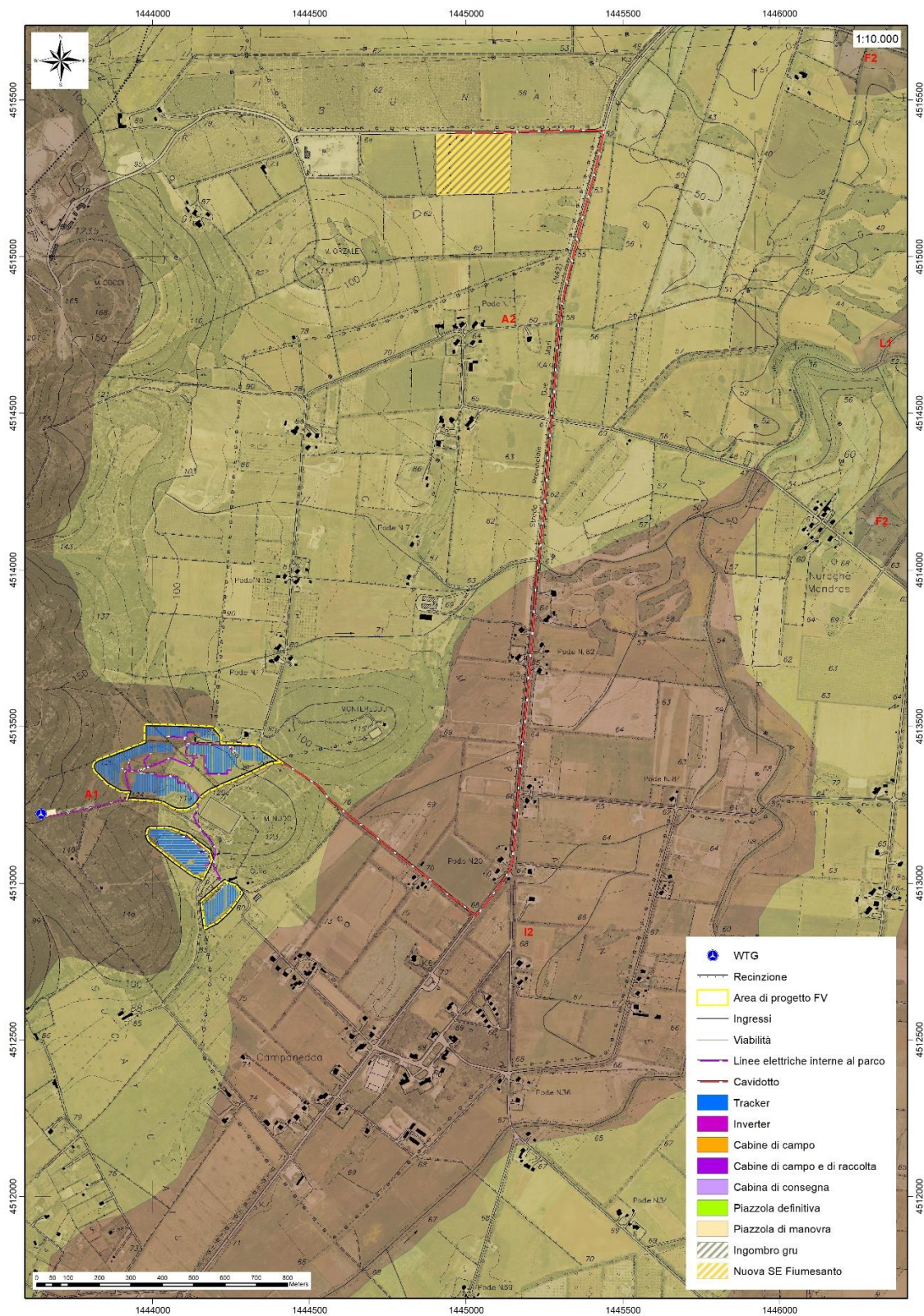


Figura 39 Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS)

## 10.USO DEL SUOLO

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto si inserisce in un contesto in cui il suolo ricade in vari livelli.

In particolare, dall'analisi della cartografia esistente, si evince che ricadono nei seguenti livelli:

- **3331 MACCHIA MEDITERRANEA**
- **2112 PRATI ARTIFICIALI**
- 2121 SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO
- 3241 AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE
- 1121 TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME



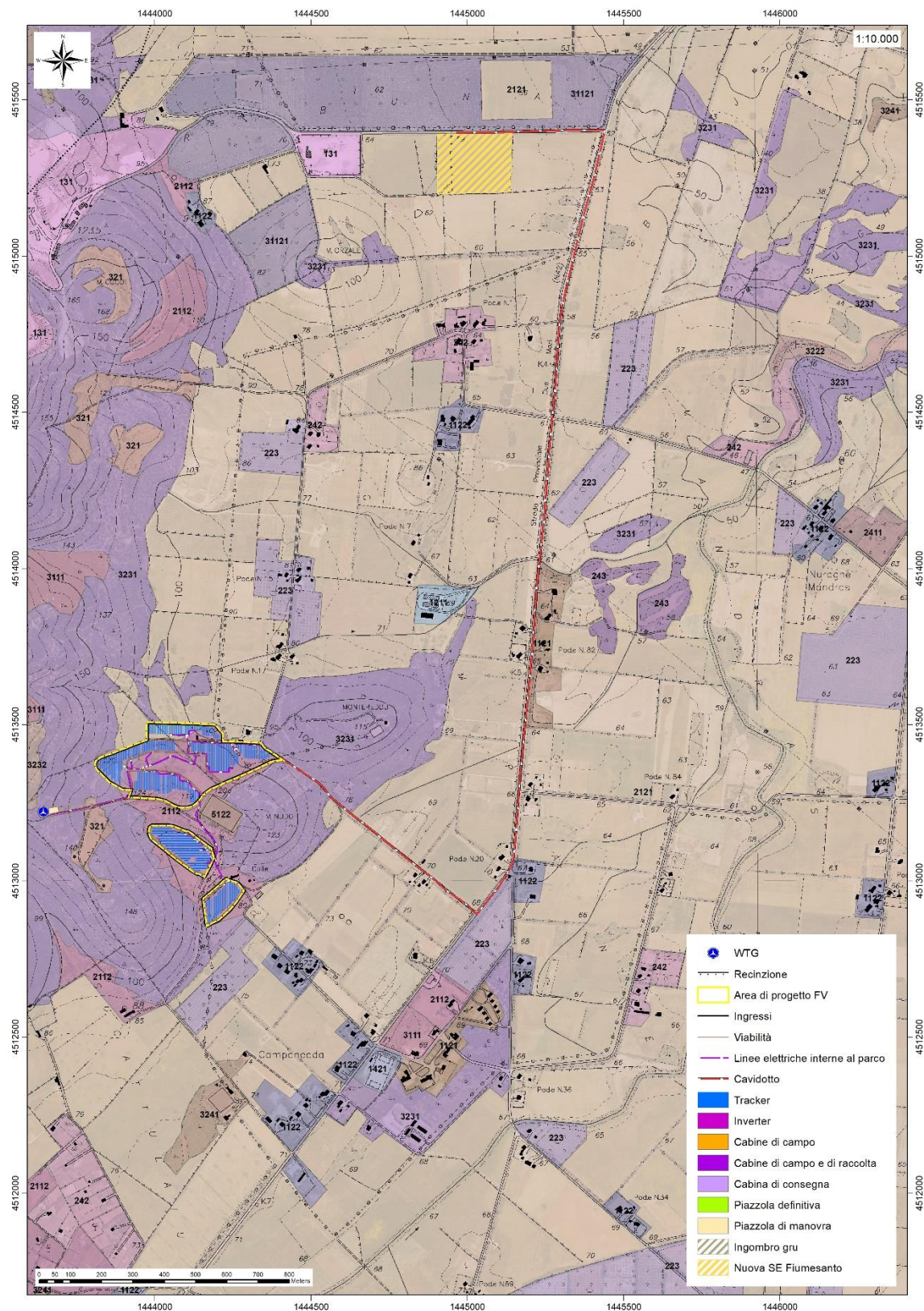


Figura 40 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo, (Fonte RAS)



## 11.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, purché 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;

$F_o$  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  $A_g$ ,  $F_o$  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.

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

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

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Figura 41 Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni.

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*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.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

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  $15^\circ$  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. e localmente T2 con coefficiente 1,2.

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 $i > 30^\circ$

Tabella 1 Categorie topografiche (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.II)

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ 

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Tabella 2 Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  (NTC 2018 3.2 - Tab. 3.2.V)

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 di una prospezione geofisica MASW di seguito descritta in dettaglio.

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  $V_s$  per lo stendimento M1 (Figura 6.11) si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità 4,6 m ( $V_s > 800$  m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a profondità 9,8m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_{s,eq} = 4,6/0,0124 = 371 \text{ m/s}$$



Ciò consente di classificare il terreno come **categoria B** (Tab. 3.2.II e 3.2.III; Figura 6.14): **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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.

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

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

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):

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [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			

Figura 42 - Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito

Dove:

Stati limite di esercizio

**Stato Limite di Operatività (SLO)****Stato Limite di Danno (SLD)** **$a_g$**  accelerazione orizzontale massima al sito; **$F_0$**  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale. **$T_c^*$**  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Stati limite ultimi

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):****Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):**

## 12. 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. 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".

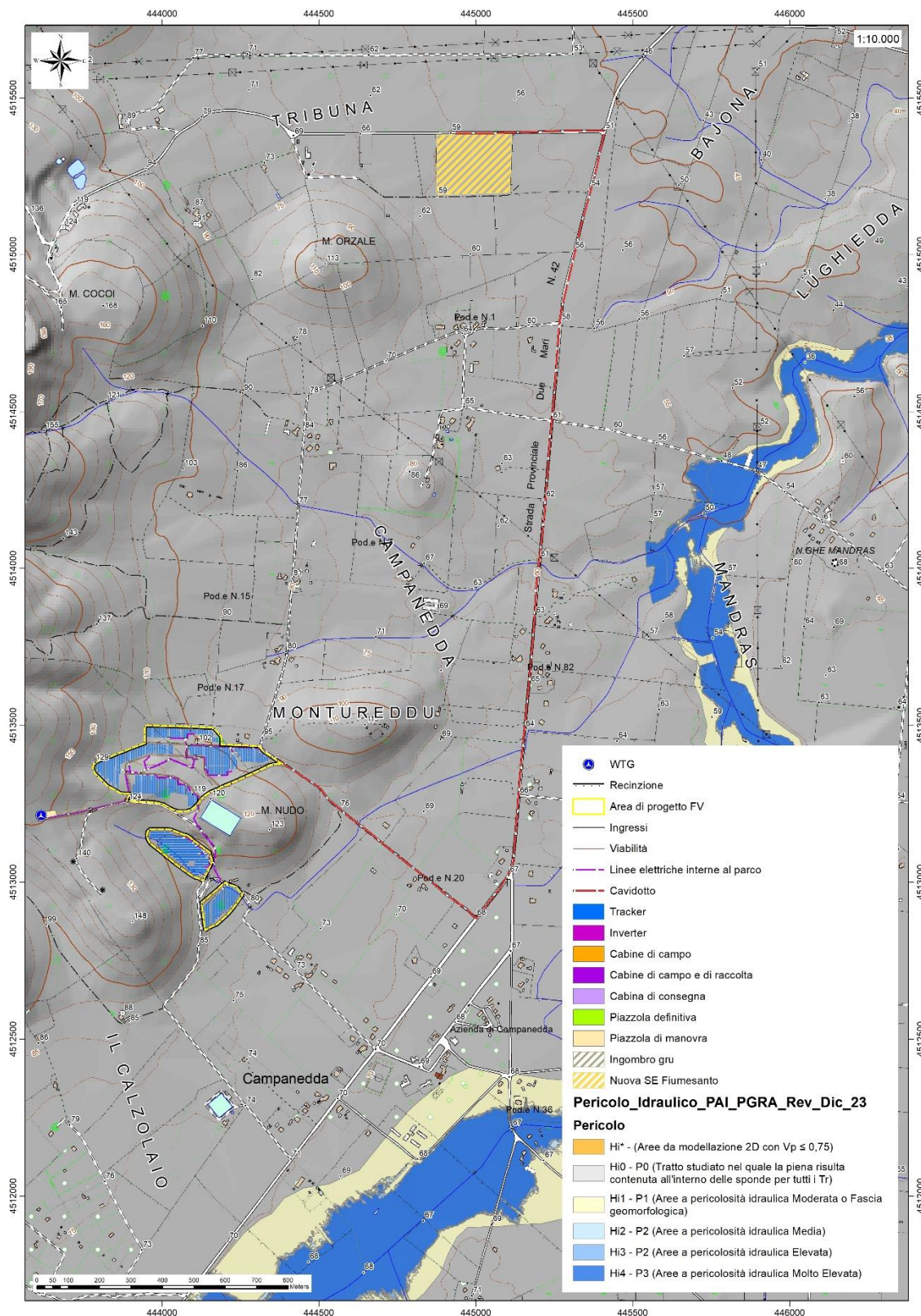


Figura 43 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Idraulica Hi (fonte RAS)



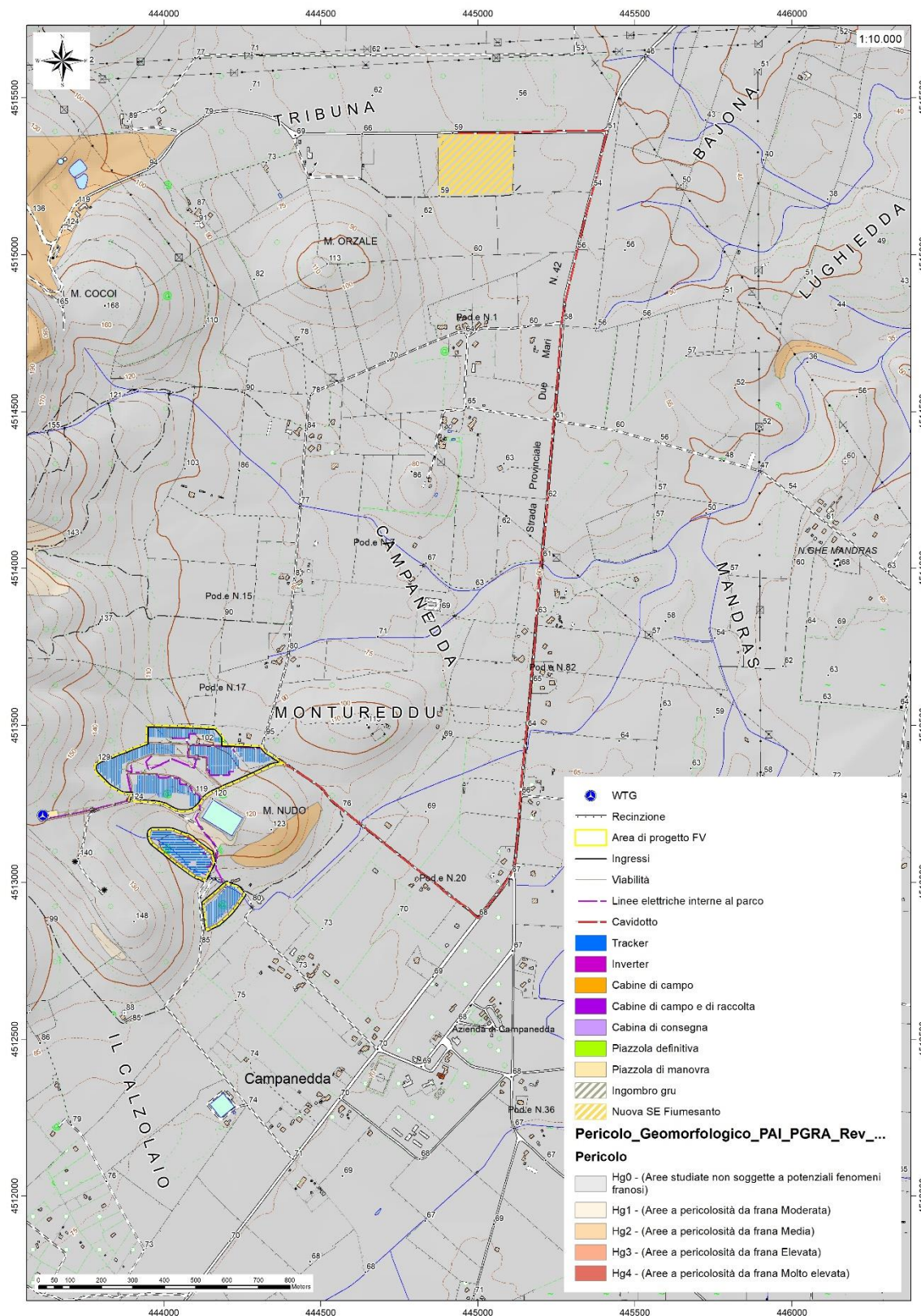


Figura 44 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Geomorfologica Hg (fonte RAS)

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 mentre interessa per una piccola porzione un'area a Pericolosità Geomorfologica Hg1.

### 12.1. 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



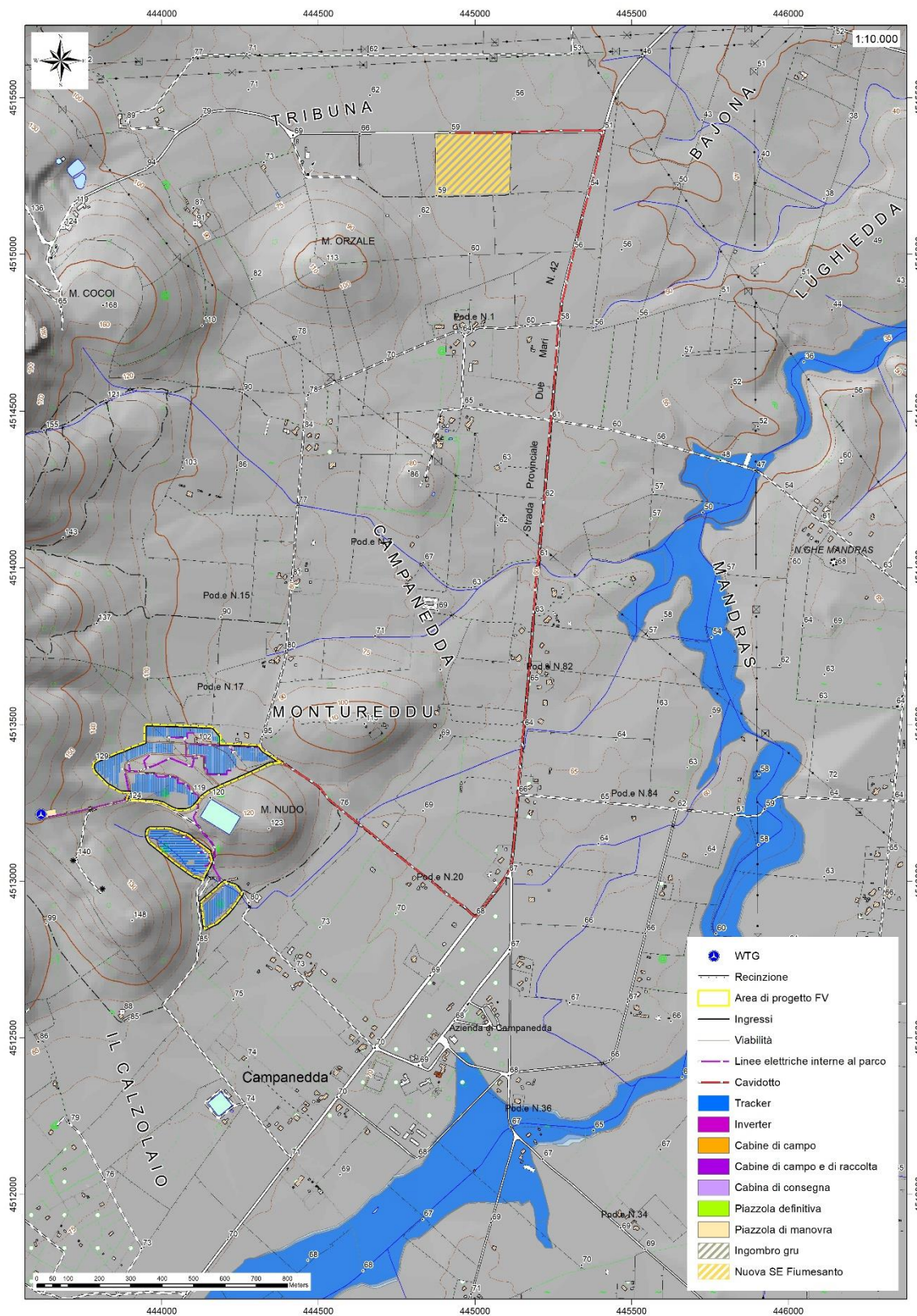


Figura 45 Inquadramento PGRA (fonte RAS)



## 12.2. 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

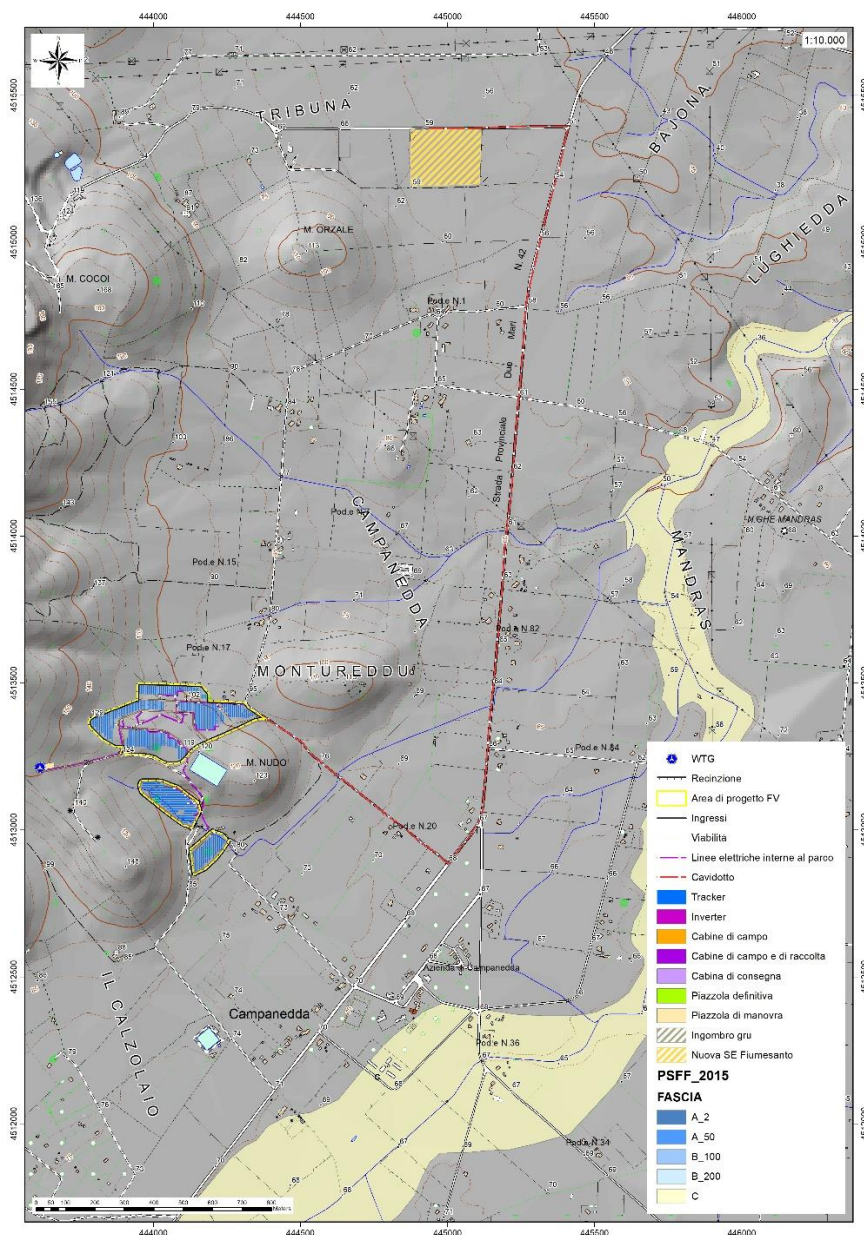


Figura 46 Inquadramento PSFF (fonte RAS)

### 13.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. Sono state realizzate impiegando la metodologia **sismica a rifrazione** e **tomografia elettrica** e con la tecnica **MASW**. Sono state posizionate in corrispondenza della base fondante della turbina. Per analogia geologica le stesse possono essere utilizzate per valutare le caratteristiche fisico-meccaniche preliminari dell'area interessata dall'impianto fotovoltaico.

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.

L'indagine sismica a rifrazione con acquisizione ed elaborazione tomografica in onde longitudinali (P) permette di ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, andando a stimare lo stato di addensamento e/o fratturazione del terreno investigato. E' molto utile anche per classificare la cosiddetta "rippabilità" degli ammassi rocciosi e per ottenere per via indiretta una classificazione dell'ammasso roccioso.

La tomografia elettrica è una tecnica geofisica che restituisce, del sottosuolo investigato, l'immagine 2D della distribuzione della resistività elettrica. Trova le sue migliori applicazioni in situazioni complesse, dove può manifestare tutto il suo elevato potere risolutivo, sia laterale che verticale. Nel caso in esame è stata impiegata con lo scopo di individuare l'eventuale presenza di cavità di origine carsica nella formazione delle dolomie.

In data 24/08/2021 è stata realizzata la prospezione geofisica integrativa ad opera della ditta Geoservice S.R.L., articolata in:

- Esecuzione di n° 1 stendimenti di sismica con tecnica MASW (M1)
- Esecuzione di n°1 stendimento di sismica a rifrazione in onde P
- Esecuzione di n° 1 stendimenti di geoelettrica.

Rilievo topografico tramite GPS differenziale STONEX S70G (geofoni, punti di shot) e restituzione dei profili altimetrici da impiegare nella sezione sismica.

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.

Stendimento	Metodo di indagine geofisico	Orientamento	Lunghezza(m)
M1	MASW	SE-NW	69,0
R1	Sismica a rifrazione in onde P	SE-NW	69,0
T1	Geoelettrica	SE-NW	93,0

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

### 13.1. 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 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 M.A.S.W. di tipo attivo, ossia misura del comportamento dei terreni a seguito di un'energizzazione.



Figura 47 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.

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.

### 13.2. SISMICA A RIFRAZIONE - TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

In ambito d'indagini indirette l'esplorazione geofisica la sismica a rifrazione risulta tra le metodologie più affermate e meglio sperimentate. Il metodo si basa sugli effetti di rifrazione del segnale sismico in corrispondenza dell'interfaccia tra un mezzo soprastante a velocità sismica minore rispetto ad uno strato sottostante al primo con velocità sismica maggiore.

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione/sparo), in corrispondenza di una molteplicità di ricevitori (geofoni) disposti allineati sulla superficie topografica.

Varie metodologie di interpretazione si sono susseguite nel tempo, passando dalle valutazioni di spessori e velocità in funzione del tempo all'intercetta fino a giungere alle più classiche interpretazioni mediante il General Reciprocal Method di Palmer '72.

Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni e il grado di addensamento e/o la compattezza dei materiali da queste attraversati.

Le profondità raggiunte sono al massimo la metà della distanza compresa tra lo shot esterno e l'ultimo geofono della stesa sismica sviluppata. È comunque generalmente considerato che la profondità esplorata non superi 1/3 dello sviluppo geometrico sopradescritto.

La capacità risolutiva in termini di spessore degli strati sismici viene ad essere valutato in circa il 25/30% della distanza geofonica.

Nel caso in esame, in funzione della lunghezza degli stendimenti sono state eseguite 9 energizzazioni-shot al fine di meglio descrivere la geometria degli orizzonti rifrattori lungo l'intera base sismica come meglio specificato nello schema di seguito rappresentato.

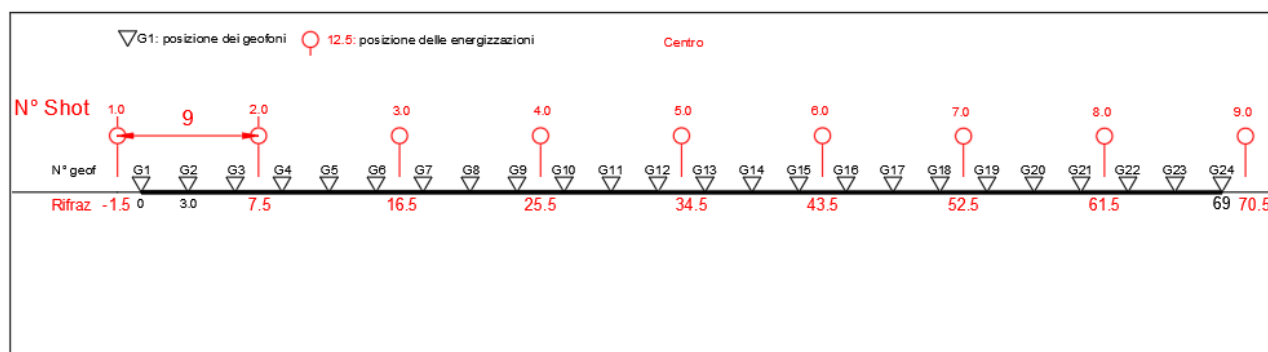


Figura 48 14.1 Sismica a Rifrazione - Tecnica e parametri utilizzati

Attraverso l'elaborazione tomografica dei dati acquisiti è possibile ricostruire l'andamento stratigrafico, nel senso di spessori elastomogenei, del substrato indagato. Tale ricostruzione permette di migliorare la caratterizzazione dei primi 15-20 m di profondità degli ammassi rocciosi investigati, fornendo importanti informazioni sul loro stato di fratturazione e di alterazione, e sulle loro caratteristiche geotecniche propedeutiche allo studio di instabilità potenziale dei versanti direttamente connessi al layout di progetto.

Per l'indagine eseguita è stata impiegata una strumentazione di acquisizione modello DoReMi a 24 bit, prodotto dalla SARA electronicsinstruments, con frequenza di campionamento 5000 Hz per ognuno dei canali registrati, ciascuno attrezzato con geofoni verticali e orizzontali della SARA electronics con frequenza propria di 10 Hz. Il numero di canali è risultato pari a n° 24 per tutti gli stendimenti. Per l'energizzazione delle onde P è stata utilizzata una mazza battente da 10 kg impattante verticalmente su piastra di battuta in duralluminio, diametro 18 cm, spessore 4 cm, peso 2 kg.

La quota relativa di ciascun geofono-shot è stata rilevata tramite GPS differenziale STONEX S70G in modo da poter ricostruire la morfologia del terreno e utilizzarla in fase di elaborazione dei dati acquisiti.



Figura 49 Localizzazione stendimento M1/R1 e T1



### 13.3. TOMOGRAFIA ELETTRICA - TECNICA E PARAMETRI UTILIZZATI

Lo scopo dei metodi geofisici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure opportunamente effettuate in superficie. Il metodo utilizzato in questa indagine ricade fra i metodi geoelettrici "attivi", cioè quelli che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno, con l'intento di misurare la resistività apparente degli strati attraversati dalla corrente elettrica. La tecnica tomografica si compone di uno stendimento costituito nel caso specifico da un massimo di 32 elettrodi posti ad un'interdistanza costante l'uno dall'altro, che vengono gestiti automaticamente dallo strumento di misura e commutati alternativamente come elettrodi di corrente e di misura di differenza di potenziale (d.d.p.).

La metodologia permette l'acquisizione di una considerevole quantità di dati sulla resistività "apparente", rappresentativi sia delle variazioni laterali, che verticali lungo il profilo così da generare una Tomografia Elettrica lungo una linea sul terreno. L'utilizzo appropriato dei programmi d'inversione consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del parametro fisico. La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante, poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia, e tutte le anomalie locali generate da strutture localizzate come cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti, etc.

La profondità d'esplorazione è variabile secondo il dispositivo e della risoluzione richiesta; mediamente è pari a circa 1/5 della lunghezza dello stendimento. Per ciascun stendimento sono state impiegate tre geometrie di acquisizione, come di seguito specificato:

- Quadripolo di Wenner
- Quadripolo di Wenner Schlumberger
- Quadripolo Dipolo-Dipolo

Ogni metodo utilizzato ha delle caratteristiche proprie e come tali tende meglio a rappresentare specifiche strutture presenti nel sottosuolo. In particolare:

- Il quadripolo di Wenner (di seguito W) presenta caratteristiche per il quale risulta maggiormente idoneo nell'investigazione di strutture orizzontali (quali quelle sedimentarie o laviche).
- Il quadripolo di Wenner-Schlumberger (di seguito WS) risulta essere un buon compromesso per l'investigazione sia di strutture orizzontali che verticali (faglie, dicchi, cavità),
- Il quadripolo Dipolo-Dipolo (di seguito DD) è prevalentemente idoneo nell'investigazione di strutture verticale (faglie, dicchi, cavità), mentre risulta essere poco adatto in presenza di strutture orizzontali, quali quelle sedimentarie.

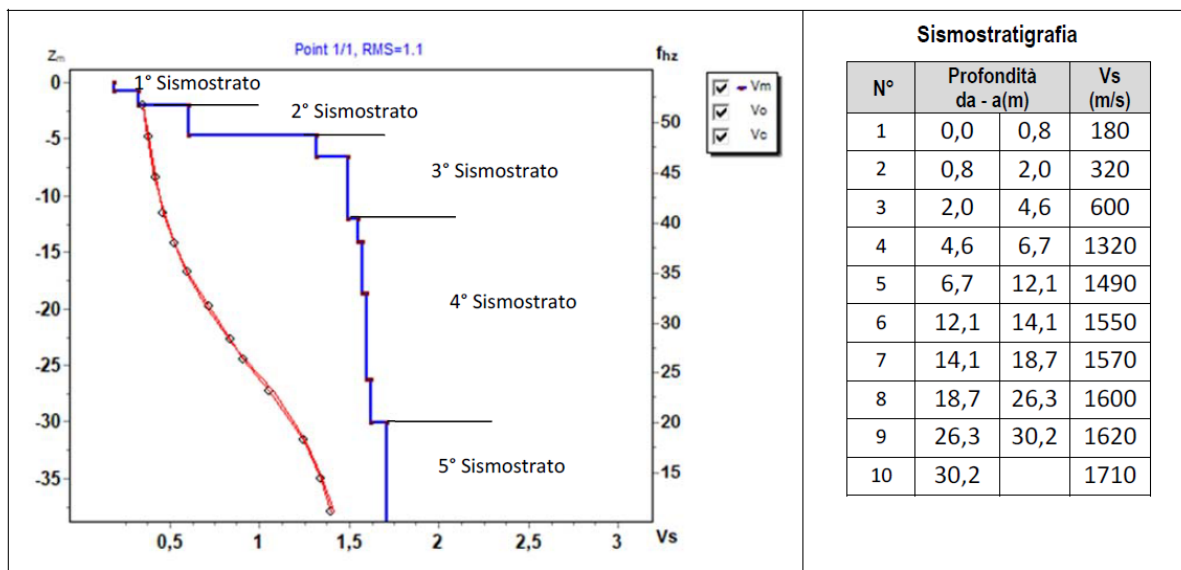
## 13.4. RISULTATI DELLE INDAGINI

## 13.4.1. 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 Vs 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 Vs.

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0 – 2,0	1° sismostrato con Vs tra <b>180 e 320 m/s</b> , terre da poco a mediamente addensate
2,0 – 4,6	2° sismostrato con Vs di <b>600 m/s</b> , Roccia fratturata
4,6 – 12,1	3° sismostrato con Vs tra <b>1320 e 1490 m/s</b> , Substrato roccioso debolmente fratturato
12,1 – 30,2	4° sismostrato con Vs tra <b>1550 e 1620 m/s</b> , Substrato roccioso sano
>30,2	5° sismostrato con Vs di <b>1710 m/s</b> , Substrato roccioso sano

## MASW M1 - PROFILO Vs



La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Esaminato il profilo delle Vs si pone come profondità del substrato **4,6 m** (Vs>800 m/s)

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a **4,6 m** di profondità dal p.c. è pari a: **Vs eq = 4,6/0,0124=371 m/s**.

Ciò consente di classificare il terreno come **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.

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 $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico Ed	Modulo di Young statico Ed	Modulo di taglio $G_0$	Modulo di comprimibilità o di Bulk - K
			[Kg/m <sup>3</sup> ]	[m/s]	[m/s]		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0-2,0	terre	1.600	500	250	0,33	265	32	98	265
2	2,0-4,6	10%	1.800	1.200	600	0,33	1.726	173	647	1.726
3	4,6-12,1	15%	2.000	2.810	1.405	0,33	10.533	1.580	3.952	10.533
4	12,-30,2	20%	2.100	3.170	1.585	0,33	14.073	2.815	5.276	14.073
5	>30,2	30%	2.200	3.420	1.710	0,33	17.152	5.146	6.433	17.152

Figura 50 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati tramite misure sismiche

#### 13.4.2. RIFRAZIONE R1 E TOMOGRAFIA ELETTRICA T1 – ELABORAZIONI RISULTATI

Nella sezione di sismica a rifrazione R1 è possibile distinguere i seguenti sismostrati

Stendimento R1	ONDE P	
Sismostrati	Profondità da pc (m)	Velocità in m/s
A: Unità delle terre di copertura (facilmente rippabili)	Da 0,0 a 0,5/2,5	400-800
B: Unità delle rocce fratturate (rippabili)	Da 0,5/2,5 a 3,5/8,0	800-1600
C: Unità delle rocce da poco fratturate a sane (rippabili con difficoltà)	Da 3,5/8,0 a 10,0/14,0	1600-2400
D: Unità delle rocce sane (non rippabili)	Da 6,0/12,0 a 20,0/26,0	2400-4400

Dall'esame della sezione si riconoscono 4 unità sismostratigrafiche principali caratterizzate da velocità crescente delle onde P all'aumentare della profondità, con un range che varia dai 400 m/s ai 4400 m/s.

Il sismostrato A caratterizzato dalle terre di copertura (facilmente rippabile) presenta spessori molto ridotti (tra 0,5 e 2,5 metri da p.c) e un andamento quasi parallelo al piano campagna.

Il sismostrato B caratterizzato da rocce fratturate (rippabili) presenta delle variazioni di spessore maggiori rispetto al primo, infatti si osservano spessori maggiori nella parte sinistra della sezione e si rileva fino a profondità comprese tra 3,5 e 8,0 m dal p.c.

Il sismostrato C composto da rocce poco fratturate e sane (rippabili con difficoltà) si osserva invece fino a profondità comprese tra 10,0 e 14,0 m di profondità dal p.c.



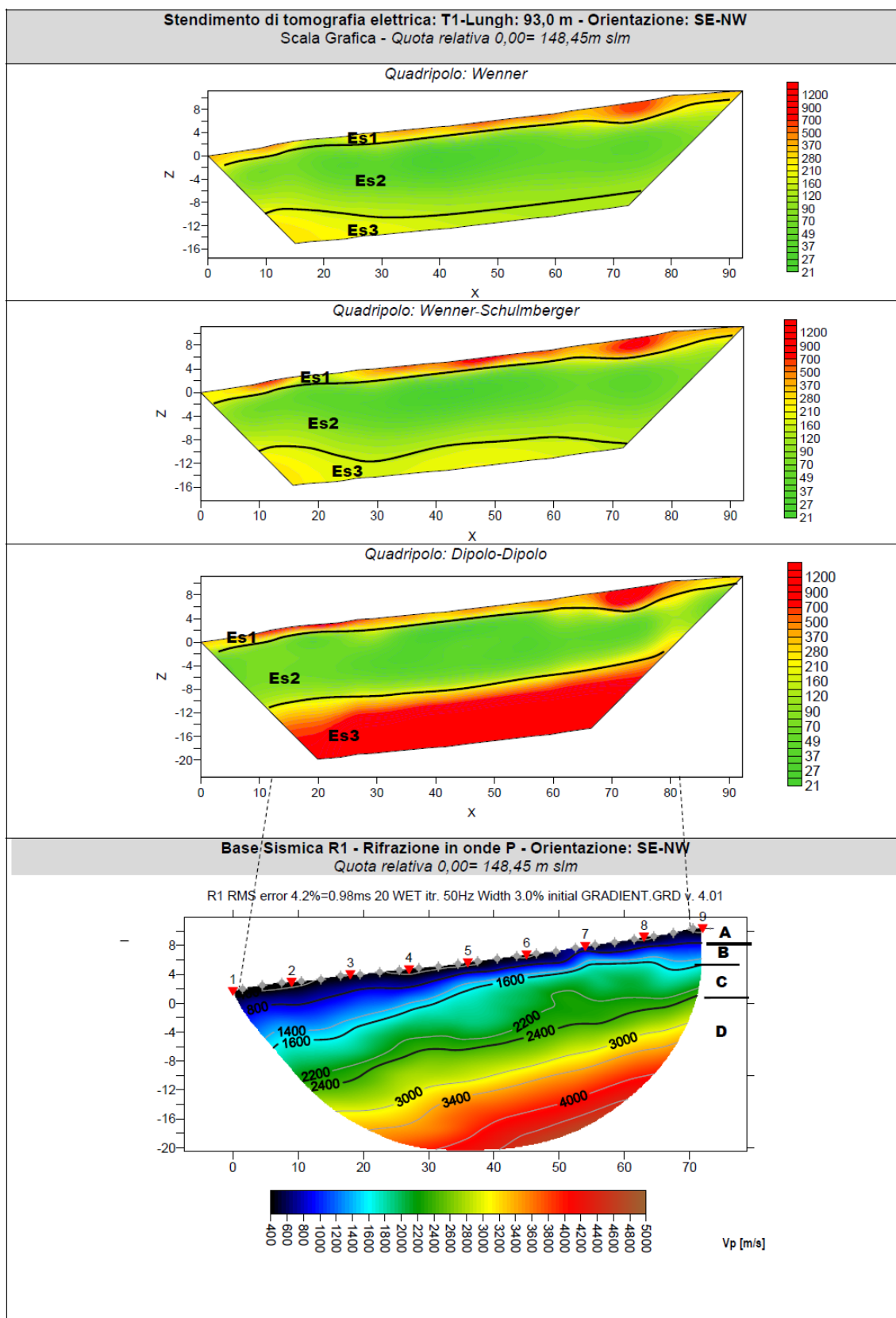
Il sismostrato D rappresenta invece un substrato lapideo non rippabile caratterizzato da velocità alte e si riscontra fino alla massima profondità di indagine, ovvero 20,0/26,0 m dal p.c. Dall'osservazione della sezione sismica si può notare un aumento abbastanza graduale delle Vp con leggere variazioni di equidistanza generate dalla maggiore o minore densità del materiale roccioso.

In termini di grado di rippabilità si evidenzia che a partire da profondità comprese tra 3,5 e 8,0 m dal p.c i terreni risultano già difficilmente rippabili, mentre a profondità comprese tra 10,0 e 14,0 m dal p.c si riscontra la presenza di materiale non rippabile.

La sezione di tomografia elettrica T1, realizzata con le tre differenti geometrie di acquisizione, mette in luce la presenza di un primo elettrostrato (ES1) di spessore pari a circa 2 m riconducibile alla coltre di terreni superficiali caratterizzati da resistività media, con valori tra 600 e 1000  $\Omega \cdot m$ ; segue un secondo elettrostrato (Es2) caratterizzato da valori bassi di resistività (tra 20 e 200  $\Omega \cdot m$ ) riconducibile alla presenza del substrato roccioso fratturato. Segue un terzo elettrostrato (Es3) caratterizzato dai valori più alti (tra 200 e 1200  $\Omega \cdot m$ ) riconducibile ai materiali rocciosi con un grado di fratturazione più basso. Tale elettrostrato è maggiormente distinguibile nell'acquisizione Dipolo-Dipolo.

Il confronto con il grafico della sismica a rifrazione mette in luce che fino alla profondità di circa 12,0m dal piano campagna si riscontrano materiali rocciosi fratturati i quali giacciono sotto una copertura di terre e rocce intensamente fratturate dallo spessore di 2,0 m circa.

Lungo l'allineamento in cui sono state realizzate le indagini, salvo una stratificazione di litotipi caratterizzati da velocità crescenti con la profondità, **non si riscontrano anomalie riconducibili a cavità/vuoti o valori critici (v. bassissima velocità)** tali da consigliare un approfondimento delle indagini.



## 14.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:

**LITOTIPO A** (0,00-2,00) – terre poco addensate, suolo/cappellaccio di alterazione dei calcari

**LITOTIPO B** (2,00 – 4,60) – Calcari fratturati

**LITOTIPO C** (4,60 – 12,10) – Calcari debolmente fratturati

**LITOTIPO D** (12,1 – 30,2) – Substrato roccioso sano (CALCARI)

CAMPANEDDA IBRIDO		Campanedda - MODELLO GEOLOGICO			
Dati Parametri Resistenza					
Tipo di Terreno		Litotipo A	Litotipo B	Litotipo C	Litotipo D
Descrizione					
Peso di volume	[kg/mc]	1600	1800	2000	2100
Peso di volume saturo	[kg/mc]	1700	1900	2000	2100
Angolo di attrito interno	[°]	25	29,06	36,83	45,58
Coesione	[kg/cm <sup>2</sup> ]	0	0.75	0.47	2,7
Dati Parametri Deformabilità					
Modulo elastico	[kg/cm <sup>2</sup> ]	32	173	1580	2815
Coefficiente di Poisson	[]	0,33	0.33	0.33	0.33
Modulo di taglio (G)	[kg/cm <sup>2</sup> ]	98	647	3952	5276
Velocità onde di taglio	[m/sec]	250	600	1405	1585



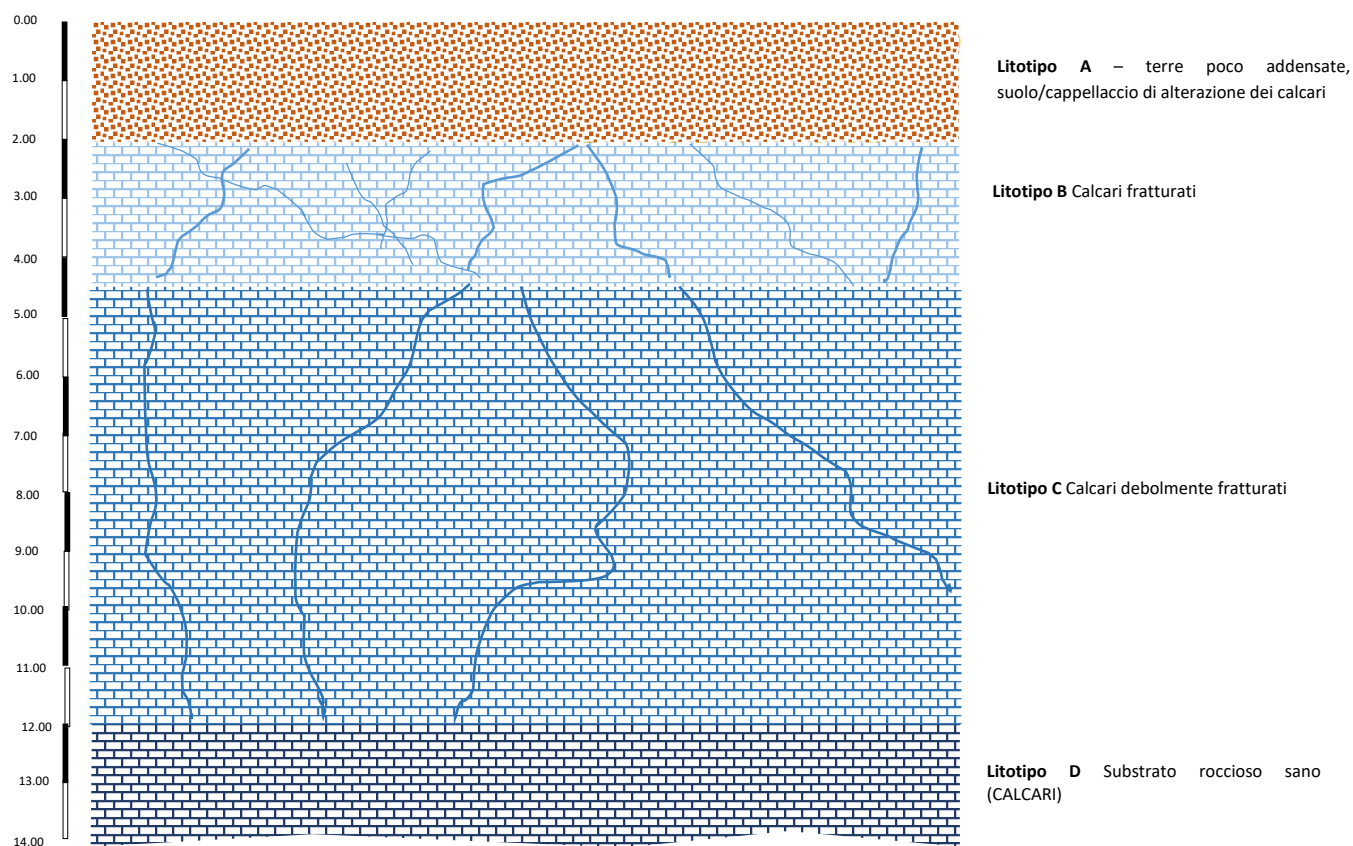


Figura 51 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018)

## 15. 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, nei primi due metri circa, da **terre poco addensate**, seguono poi, dai 2m ai 4m circa, **terre mediamente addensate** e dai 4m ai 6m **terre molto addensate/roccia tenera**, costituiti da un'importante aliquota di materiale ghiaioso e da materiale argilloso, mentre al di sotto dei 6m metri di profondità è caratterizzata dalla presenza di **roccia in posto**.

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. 35)

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.

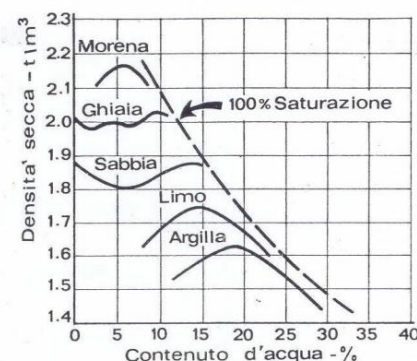


Figura 52 Curva di compattazione da prove di laboratorio in terreni incoerenti

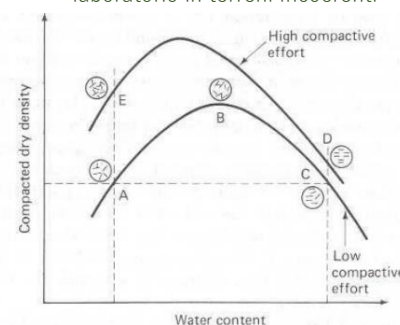


Figura 53 Curva di compattazione in terreni coesivi

L'eccessiva quantità d'acqua porterebbe l'effetto contrario, aumenterebbe l'indice dei vuoti con riduzione della densità (fig. 36)

Per quanto concerne le caratteristiche geotecniche dei materiali interessati dalle opere fondanti dei tracker, in base agli esiti dell'indagine geofisica 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.

Da 0.0m a 2.0m:

$$\gamma_d = 1600 \text{ kg/mc}; \gamma_{sat} = 1700 \text{ kg/mc}; c = 0 \text{ KPa}, \phi = 25^\circ$$

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.

## 16.FATTIBILITA' IDROGEOLOGICA

A seguito di un'attenta analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area significativa al progetto affrontate nei paragrafi precedenti, vengono rese note una serie di considerazioni riguardanti l'interazione dell'opera con le dinamiche relative all'idrografia superficiale e sotterranea.

L'eventuale presenza di un'importante componente argillosa costituente l'orizzonte superficiale può limitare localmente il drenaggio delle acque. La presenza di locali depressioni può favorire l'accumulo momentaneo di acque piovane durante gli eventi piovosi più intensi.

Si suggerisce un'opportuna regimazione delle acque superficiali sia in fase di realizzazione delle opere che in fase di esercizio.

La profondità di imposta degli elementi di ancoraggio dei pannelli al suolo è tale da non interferire con la dinamica di circolazione sotterranea più profonda.



## 17. 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.

**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:

**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:** non sono previste specifiche misure di mitigazione, l'impatto rimane inalterato tuttavia sempre compatibile. Esso si riduce solo per le attività di produzione degli inerti in ragione della temporaneità dei depositi di stoccaggio.

##### Asportazione di suolo:

**senza mitigazione:** su tale aspetto della componente suolo, le attività connesse alla realizzazione del piano o di eventuali piste producono impatto da moderato a compatibile in quanto la realizzazione delle opere, comporta una effettiva asportazione di terreno.

**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 alte affini carenti in tale componente. L'impatto si riduce a compatibile o non significativo.

#### Perdita di substrato protettivo:

**senza mitigazione:** analogamente a quanto espresso per l'aspetto precedente, le attività connesse alla realizzazione del piano producono impatto da moderato a compatibile in quanto l'esecuzione delle opere, comporta una effettiva perdita di substrato protettivo.

**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 asportazione e/o altre affini carenti in tale componente. L'impatto si riduce a compatibile a non significativo.

### 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.

## **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