



**IMPIANTO FOTOVOLTAICO "FV UTA"**

**COMUNE DI UTA**

PROPONENTE

**CVA.**

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE  
SOLARE NEL COMUNE DI UTA  
PROGETTO DEFINITIVO**

CODICE ELABORATO

**PD.R.21**

OGGETTO:  
Relazione Geologica

COORDINAMENTO

**energia viva**  
**bia**

**BIA srl**  
P.IVA 03983480926  
cod. destinatario KRRH6B9  
+ 39 347 596 5654  
energhiabia@gmail.com  
energhiabia@pec.it  
piazza dell'Annunziata n. 7  
09123 Cagliari (CA) | Sardegna

GRUPPO DI LAVORO S.I.A.

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori  
Dott. Giulio Casu  
Dott. Agr. Federico Corona  
Fad System Srl  
Dott.ssa Ing. Silvia Exana  
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorlo  
Dott. Giorgio Lai  
Dott. Federico Loddo  
Dott. Giovanni Lovigu  
Dott. Ing Bruno Manca  
Dott. Nat. Maurizio Medda  
Ing. Giuseppe Pipitone  
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas  
Dott. Nat. Fabio Schirru  
Dott. Archeol. Matteo Tatti  
Federica Zaccheddu

REDATTORE

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

00	gennaio 2024	Prima emissione
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE

**INDICE**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
1.1. <i>Quadro normativo .....</i>	<i>4</i>
<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>13</b>
5.1. <i>Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento .....</i>	<i>13</i>
5.2. <i>SITUAZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA INTERESSATA DALL'INTERVENTO ...</i>	<i>19</i>
<b>6. CARATTERI GEOSTRUTTURALI, GEOMETRIA E CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI DI DISCONTINUITÀ.....</b>	<b>19</b>
<b>7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>19</b>
7.1. <i>Analisi dell'area geomorfologicamente significativa al progetto.....</i>	<i>20</i>
<b>8. INQUADRAMENTO CLIMATICO.....</b>	<b>21</b>
8.1. <i>Precipitazioni .....</i>	<i>22</i>
8.2. <i>Temperature.....</i>	<i>22</i>
<b>9. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>25</b>
9.1. <i>Schema della circolazione idrica superficiale .....</i>	<i>25</i>
9.1. <i>Schema della circolazione idrica sotterranea .....</i>	<i>26</i>
9.2. <i>Dissesti in atto o potenziali che possono interferire con l'opera e loro tendenza evolutiva .....</i>	<i>29</i>
<b>10. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO .....</b>	<b>30</b>
<b>11. USO DEL SUOLO .....</b>	<b>31</b>
<b>12. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>33</b>
12.1. <i>M.A.S.W. – Tecnica e parametri utilizzati.....</i>	<i>34</i>
12.2. <i>M.A.S.W. – Elaborazione risultati.....</i>	<i>36</i>
12.2.1. <i>Base sismica M1 .....</i>	<i>36</i>
<b>13. ANALISI E SISMICITA' STORICA .....</b>	<b>38</b>
13.1. <i>Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento .....</i>	<i>39</i>
<b>14. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI .....</b>	<b>42</b>
14.1. <i>Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) .....</i>	<i>43</i>
14.2. <i>Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF).....</i>	<i>44</i>
<b>15. MODELLO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO .....</b>	<b>46</b>
<b>16. FATTIBILITA' GEOLOGICA - GEOTECNICA.....</b>	<b>47</b>

<b>17. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEL PIANO SULLE COMPONENTI AMBIENTALI SUOLO, SOTTOSUOLO E ACQUE .....</b>	<b>50</b>
<b>18. CARATTERIZZAZIONE DELLE TERRE E DELLE ROCCE DA SCAVO .....</b>	<b>52</b>
18.1. Piano di riutilizzo delle terre e rocce provenienti dallo scavo e da eseguire in fase di progettazione esecutiva e comunque prima dell'inizio dei lavori .....	53
18.1.1. Materiale riutilizzato in sito .....	53
18.2. Piano di Riutilizzo: criteri generali.....	53



### Indice delle figure

Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto .....	6
Figura 2 Inquadramento topografico, CTR 1:10.000 .....	7
Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25 .....	8
Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS) .....	9
Figura 5 schema di funzionamento del sistema ad inseguimento .....	11
Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna.....	14
Figura 7 Schema Tettonico dell'area vasta di studio (Fg.556 Assemini, Porgetto CARG) – in rosso l'area di interessa al progetto .....	16
Figura 8 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (Fg.556 Assemini, Porgetto CARG) .....	16
Figura 9 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 556 "Assemini" .....	17
Figura 10 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse.....	18
Figura 11 paesaggio dell'area di studio – Loc. Planemesu .....	20
Figura 12 andamento medio mensile delle precipitazioni nella Stazione di Sestu (CA).....	22
Figura 13 andamento medio mensile delle temperature massime .....	23
Figura 14 Diagramma ombrotermico (Bagnouls- Gausson) per il settore di Uta .....	23
Figura 15 Suddivisione dei bacini idrografici sardi. ....	25
Figura 16 Carta dell'idrografia superficiale e interferenze con gli elementi di progetto.....	26
Figura 17 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 556 "Assemini" .....	28
Figura 18 Carta delle permeabilità dei substrati .....	29
Figura 19 Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS).....	31
Figura 20 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo, (Fonte RAS, Comune di Uta) .....	32
Figura 21 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m .....	34

Figura 22 Localizzazione stendimento nell'area vasta .....	35
Figura 23 Particolare dell'ubicazione dello stendimento M1 .....	36
Figura 24 Sismostratigrafia e calcolo della Vs equivalente.....	40
Figura 25 Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito .....	41
Figura 26 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Idraulica Hi (fonte RAS).....	42
Figura 27 Inquadramento PGRA (fonte RAS) .....	44
Figura 28 Inquadramento PSFF (fonte RAS) .....	45
Figura 29 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018) .....	46
Figura 30 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati mediante misure sismiche .....	47
Figura 31 Curva di compattazione da prove di laboratorio in terreni incoerenti .....	48
Figura 32 Curva di compattazione in terreni coerenti.....	48

380

## 1. PREMESSA

Il proponente **CVA EOS S.r.l.** intende realizzare un impianto fotovoltaico in località **“Planemesu”** nel territorio comunale di **Uta** e denominato **“FV UTA”** 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. TZRCSM72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l’incarico professionale per la redazione della **Relazione Geologica**, la cui stesura ottempera quanto previsto dal D.M. del 17/01/2018 recante le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito NTC2018), 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 attuali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione in applicazione della Legge 02.02.1974 n°64.
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24.09.1988 – Istruzioni pe l’applicazione del D.M. LL.PP.11.03.1988.
- Raccomandazioni, programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, 1975 – Associazione Geotecnica Italiana.
- D.M. Infrastrutture 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. (6.2.1 – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito, 6.4.2 Fondazioni superficiali)
- D.lgs. n. 152/2006 Norme in materia ambientale
- DPR 59/2013 Regolamento recante la disciplina dell'autorizzazione unica ambientale e la semplificazione di adempimenti amministrativi in materia ambientale gravanti sulle piccole e medie imprese e sugli impianti non soggetti ad autorizzazione integrata ambientale
- Dgls 50/2016 Codice dei contratti pubblici
- Deliberazione n. 6/16 del 14 febbraio 2014- Direttive in materia di autorizzazione unica ambientale. Raccordo tra la L.R. n. 3/2008, art.1, commi 16-32 e il D.P.R. n. 59/2013.

## 2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO

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

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

I dati a disposizione sono stati integrati con le informazioni derivanti dai sopralluoghi effettuati dalla scrivente in sito e dagli esiti della campagna di indagini geofisiche realizzata in data 12.07.2023 oltre che da lavori analoghi nei pressi della zona di interesse.

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

L'area di progetto ricade nell'agro del territorio comunale di **Uta**, a Ovest della zona Industriale CACIP, in località "**Planemesu**". Il territorio è pianeggiante debolmente collinare, ad una quota media di circa 40m slmm.



Figura 1 Inquadramento geografico dell'area di progetto

Le coordinate geografiche Gauss-Boaga del centroide ipotetico di riferimento della porzione di impianto

**1 496 547 E – 4 339 850 N**

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 foglio **556 II "Assemini"**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – **sez. 556160 "Azienda Agricola Planemesu"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:50000 – foglio **556 "Assemini"**
- Carta Geologica d'Italia – scala 1:100000 – foglio **226 "Cagliari"**

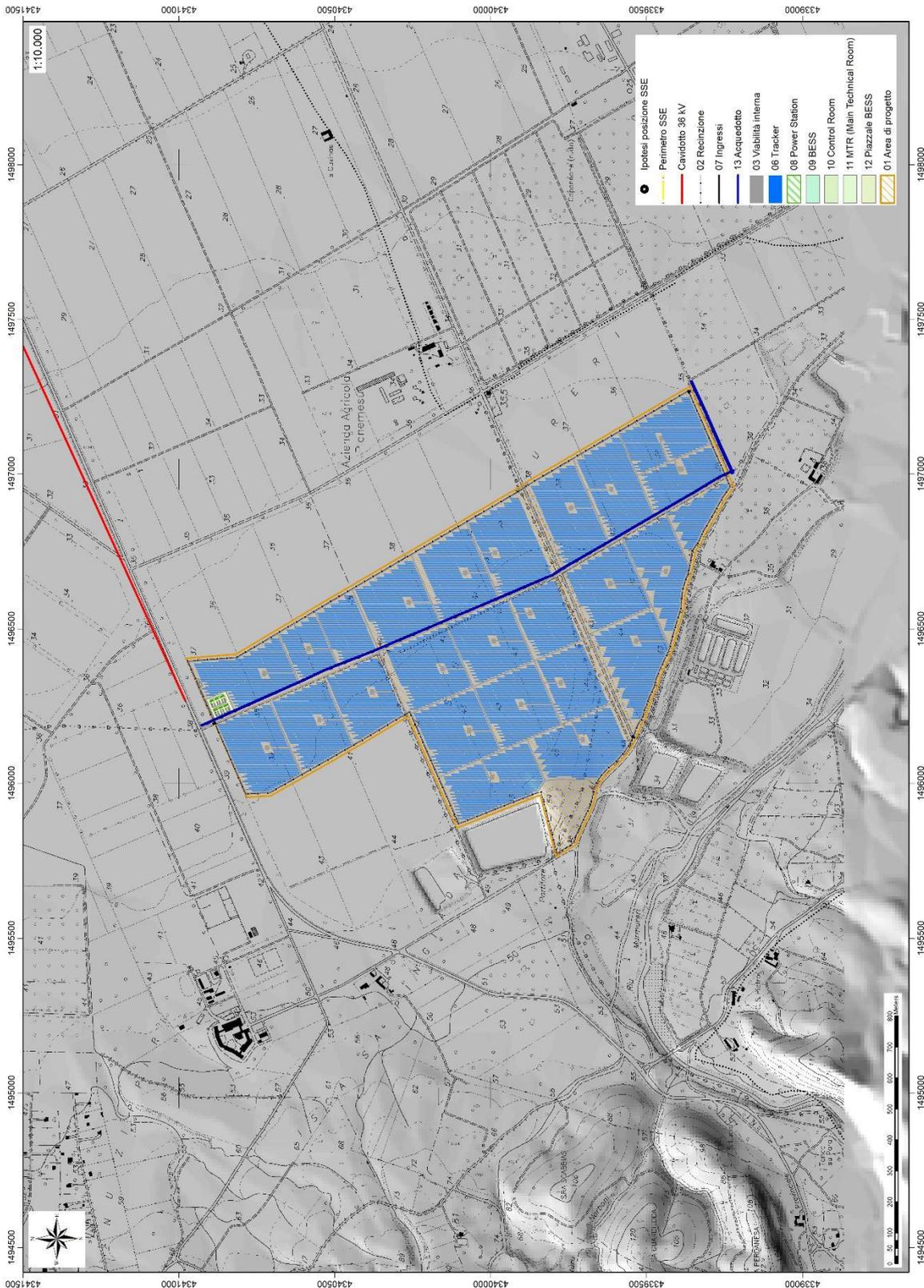


Figura 2 Inquadramento topografico, CTR 1:10.000

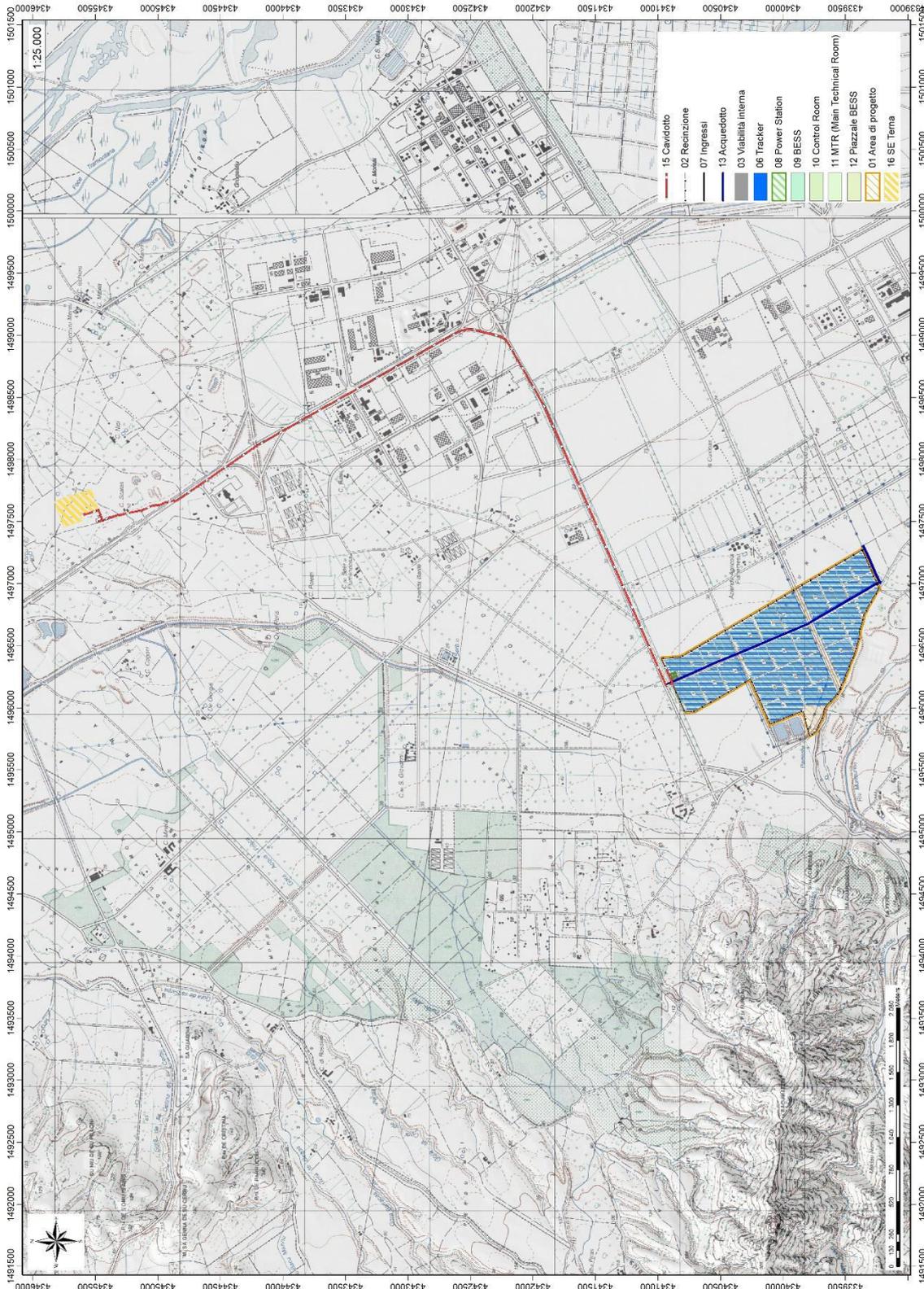


Figura 3 Inquadramento topografico IGM Serie 25

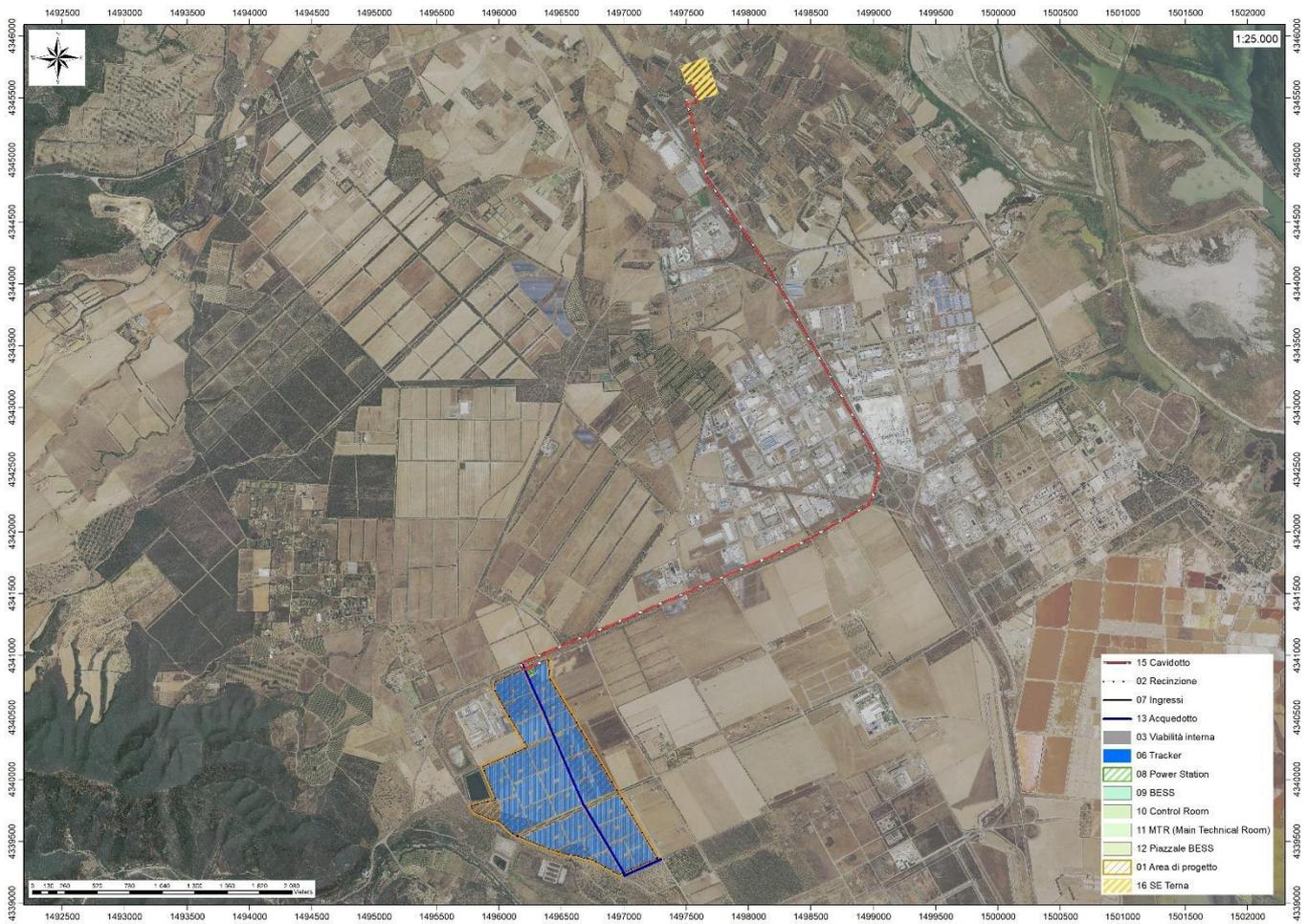


Figura 4 Localizzazione area di progetto (Fonte RAS)

## 4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra su strutture ad inseguimento monoassiale, composto da n. 23 campi di potenza variabile da 3,75 MWp a 4,59 MWp; si tratta di un impianto di complessivi 98,55 MWp (potenza in immissione pari a 75,00 MW) collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna in media tensione (30kV). Presso l'impianto verranno realizzate le cabine di campo (Power Station), la Control Room e la Cabina principale di impianto (Main Technical Room) MTR. Dalla MTR si dipartono le linee di alta tensione a 36 kV per il collegamento in antenna fino alla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "UTA - Villasor".

I moduli verranno installati su apposite strutture in acciaio zincato del tipo ad inseguimento monoassiale, gravanti su pali infissi nel terreno a profondità variabile.

L'impianto fotovoltaico in oggetto è composto complessivamente da 157.680 moduli fotovoltaici del tipo N-type in silicio monocristallino, collegati in serie da 24 moduli tra loro così da formare gruppi di moduli denominati stringhe, le cui correnti vengono raccolte da string box, collegati ad inverter centralizzati presso le Power Station, in numero totale pari a 426. L'impianto fotovoltaico nel suo complesso sarà quindi suddiviso in 23 aree di potenza variabile; ciascuna di queste a sua volta è formato da un variabile numero di stringhe.

Le stringhe di ogni sottocampo verranno attestate a gruppi che variano da 15 a 16 presso gli String Box, dove avviene il parallelo delle stringhe e il monitoraggio dei dati elettrici.

L'altezza delle strutture, misurata al mozzo di rotazione, sarà di circa 1,50 m dal suolo. La profondità di infissione dei profilati in acciaio di sostegno è stimabile in circa 1,50 metri.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da moduli fotovoltaici posizionati su strutture ad inseguimento monoassiale, ancorate a terra attraverso apposite fondazioni, e connessi elettricamente in stringhe serie/parallelo su inverter centralizzati in bassa tensione.

Le strutture ad inseguimento monoassiale avranno asse di rotazione lungo la direttrice Nord – Sud; tali strutture permettono al piano dei pannelli di seguire la rotazione del sole E-O.

Le strutture sono suddivise in 2 tipologie, tutte di larghezza complessiva pari a 2,465 m (ovvero la larghezza del modulo) e lunghezza variabile in funzione del numero di moduli come a seguire esplicitato:

- strutture mono-stringa da 24 pannelli – lunghezza complessiva pari a circa 28,156 m, costituita da 2 campate complessive da 12 moduli;
- strutture da 48 pannelli (2 stringhe) – lunghezza complessiva pari a circa 55,852 m, costituita da 2 campate complessive ciascuna da 24 moduli;
- strutture da 72 pannelli (3 stringhe) – lunghezza complessiva pari a circa 84,028 m, costituita da 3 campate complessive ciascuna da 24 moduli.

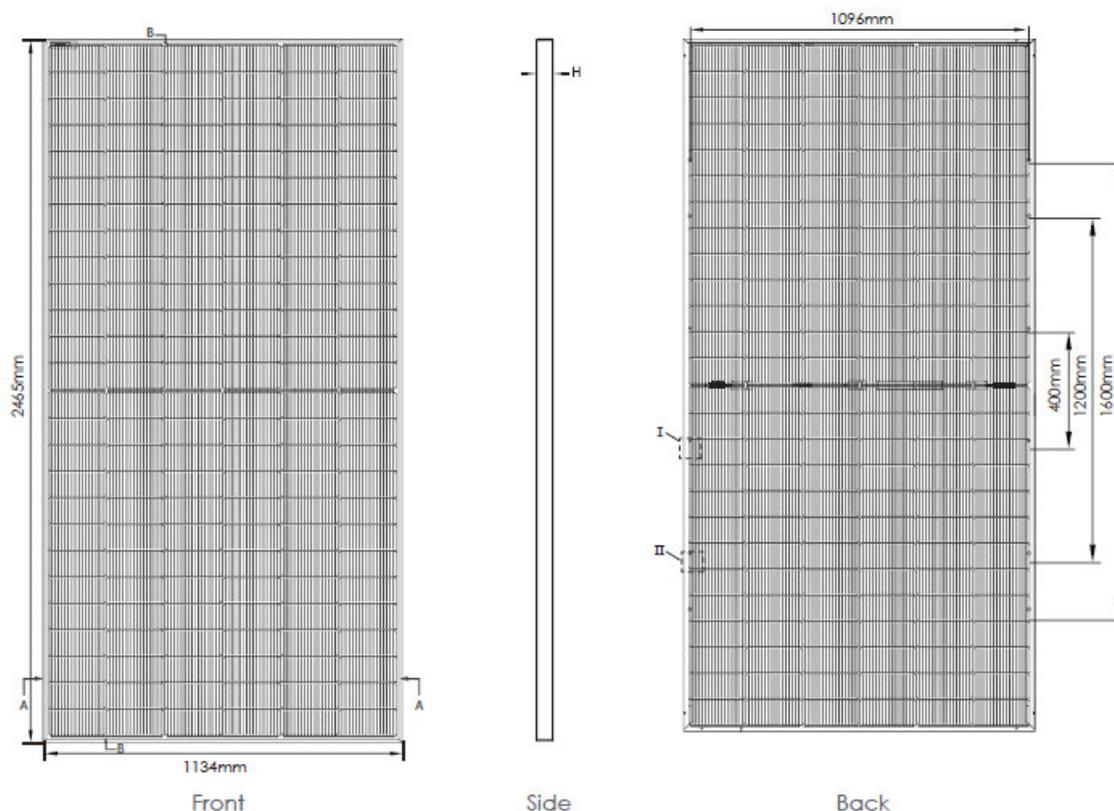
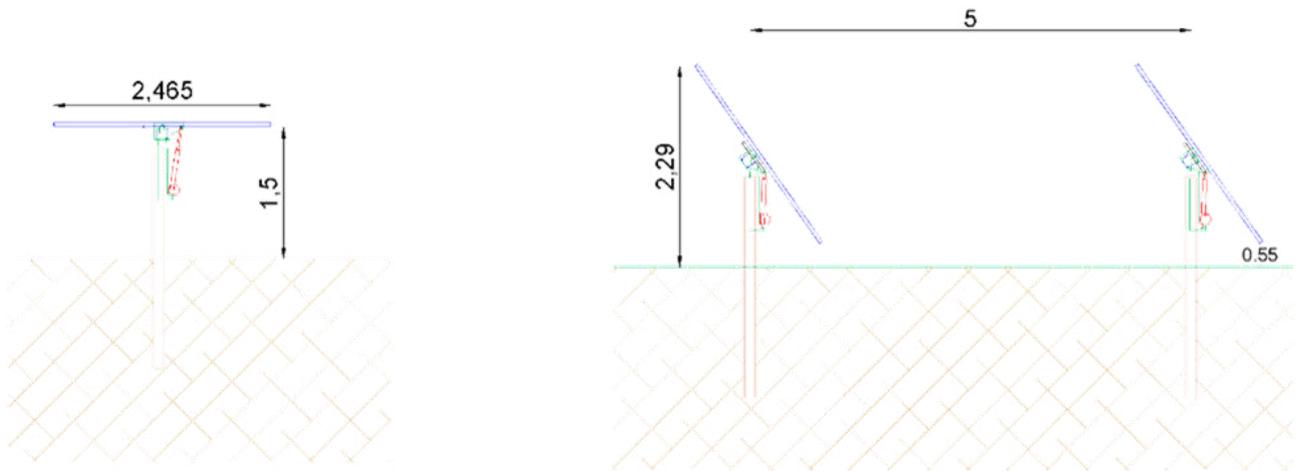


Figura 5 schema di funzionamento del sistema ad inseguimento

I pannelli sono collegati a dei profilati ad omega trasversali alla struttura, che a loro volta sono connessi mediante un corrente longitudinale con sezione quadrata. Grazie a questo sistema la parte mobile è in grado di ruotare intorno ad un asse orizzontale posto ad una altezza pari a circa 1,50 m fuori terra, con un angolo di rotazione di +/- 55°, sfruttando così al meglio l'assorbimento dell'energia solare. Il corrente che governa il moto della struttura è sostenuto da pilastri cui è collegato mediante delle cerniere con asse parallelo al tubolare. Nella cerniera centrale trova collocazione una ghiera metallica che, collegata ad un motore ad azionamento remoto, regola l'inclinazione del piano dei pannelli.

Per maggiori informazioni si rimanda alla tavola strutturale.

La struttura potrà all'occorrenza anche essere realizzata in modo da accostare un numero diverso di pannelli. Anche in queste configurazioni la struttura rimarrà del tutto simile a quella modulare, a meno della lunghezza, e presenterà la medesima sezione.



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'avanfossa si trovano le zone dette: Assiale (Sardegna NE) – a Falde interne (Sardegna centrale) - a Falde esterne (Sardegna SW).

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

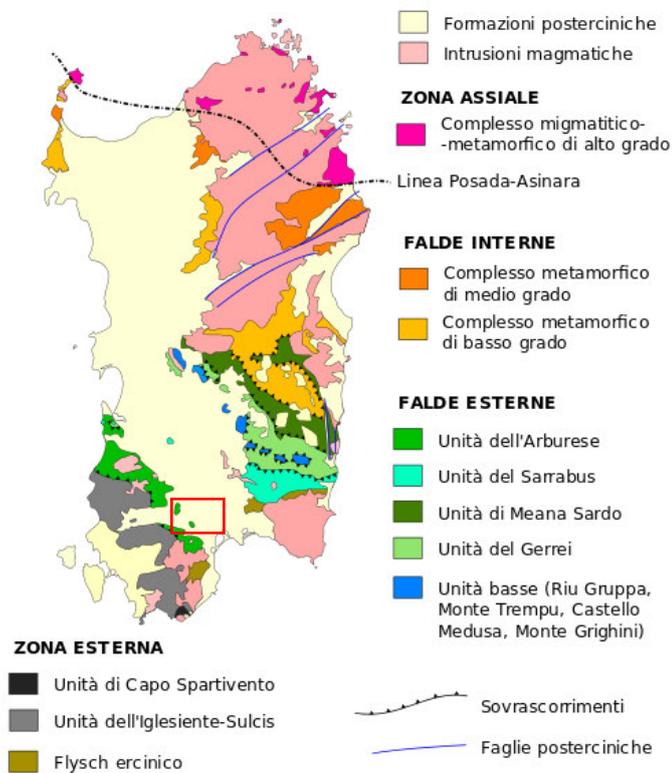


Figura 6 Schema tettonico-strutturale della Sardegna

Il settore di interesse all'installazione dell'impianto fotovoltaico si trova nella zona cosiddetta a Falde esterne, caratterizzata da fenomeni di medio e basso metamorfismo, localizzata nell'area geografica della Sulcis-Iglesiente.

L'area vasta è costituita principalmente da unità di età paleozoica di origine sedimentaria, e da depositi recenti rappresentati dai prodotti di disfacimento della roccia madre e dei suoi derivati che vanno a colmare le vallecole e/o i piccoli impluvi presenti. I rilievi a monte dei bacini idrografici che interessano la zona di studio fanno riferimento a litologie paleozoiche costituite da ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie medio-fini, metasiltiti con laminazioni piano-parallele, ondulate ed incrociate, e metasiltiti micacee di colore grigio. Intercalazioni di metamicroconglomerati poligenici dell'Unità tettonica dell'Arburese.

L'area di interesse è ubicata nella porzione sud-occidentale del Graben del Campidano, sede di sedimentazione di tipo trasgressivo marino durante il Miocene ed il Pliocene. Durante il Pleistocene, in ambiente freddo e arido con il livello del mare più basso di quello attuale ed un evidente energia erosiva dei corsi d'acqua, si deposita una grande conoide alluvionale che si estende fino alle principali linee di deflusso al centro del Campidano di Cagliari, avente origine dallo smantellamento delle rocce paleozoiche e costituita da ghiaie conglomeratiche a spigoli subangolosi e subarrotondati, in matrice sabbioso-argilloso,

successivamente terrazzate. Si riscontrano spesso in lenti e livelli di sabbie grossolane intercalati a livelli ghiaiosi, interdigitati e in eteropia di facies orizzontale e verticale. Si tratta di terreni sovraconsolidati, da mediamente consistenti a molto consistenti, all'interno dei quali sono interstratificate lenti di sabbie grossolane e ghiaie, talora ben cementate a formare veri e propri conglomerati.

Successivamente, nel Quaternario, in ambiente caldo umido, l'area è stata ricoperta da materiali di origine sedimentaria trasportati in massima parte dai corsi d'acqua e costituiti principalmente da conglomerati, sabbie e argille più o meno compatti, disposti in terrazzi e conoidi. Si tratta anche in questo caso di un complesso di termini alluvionali con rapporti di eteropia di facies, talvolta poco distinguibili da quelli di età più antica, che determinano frequenti quanto graduali variazioni granulometriche sia in senso verticale, sia orizzontale. Infine, la successione stratigrafica si conclude con la presenza di alluvioni recenti di natura esclusivamente sedimentaria.

Al di sopra questo complesso, in affioramento si ritrova ovunque una coltre pedogenizzata che può raggiungere anche spessori importanti. In tutta la zona, in ragione della sovrapposizione stratigrafica di terreni costituiti da formazioni ciottoloso/ghiaioso permeabili e livelli marnoso argillosi impermeabili, e della presenza quindi di più acquiferi sovrapposti, si è sviluppata nel tempo la pratica dell'escavazione di pozzi di varia profondità per l'approvvigionamento idrico delle colture orticole, che rappresentano la più importante attività economica per la zona.

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

**e5** - Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE

**bn**a - Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

**PVM2a** - Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.

**SVI** - ARENARIE DI SAN VITO. Alternanze irregolari, da decimetriche a metriche, di metarenarie medio-fini, metasiltiti con laminazioni piano-parallele, ondulate ed incrociate, e metasiltiti micacee di colore grigio. Intercalazioni di metamicroconglomerati poligenici. (CAMBRIANO- ORDOVICIANO inf.)

## SCHEMA TETTONICO

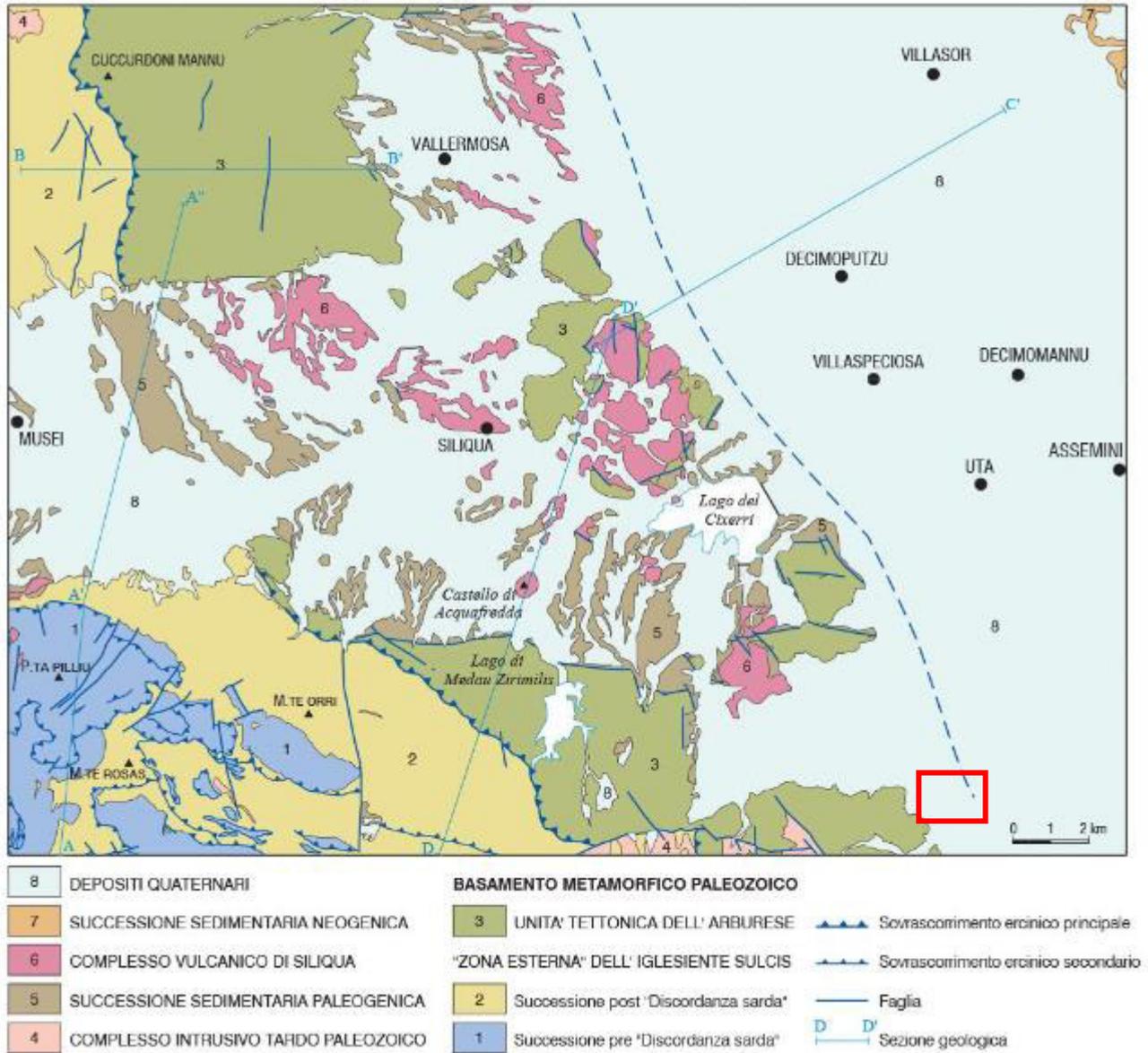


Figura 7 Schema Tettonico dell'area vasta di studio (Fg.556 Assemini, Porgetto CARG) – in rosso l'area di interesse al progetto

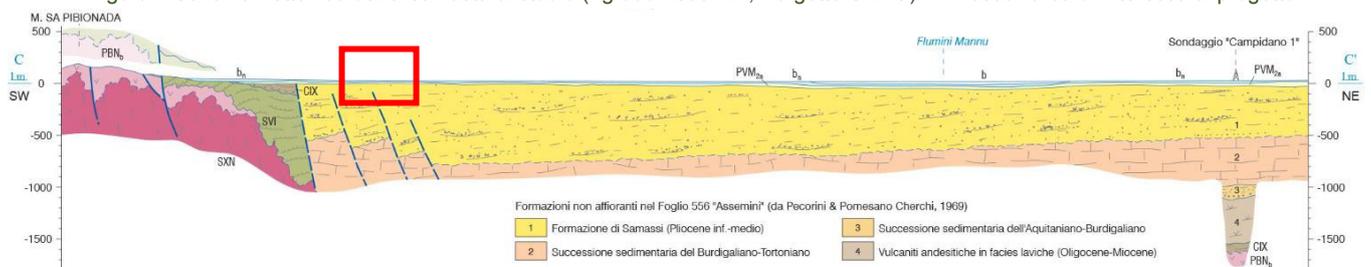


Figura 8 Sezione geologica rappresentativa dell'area vasta (Fg.556 Assemini, Porgetto CARG)

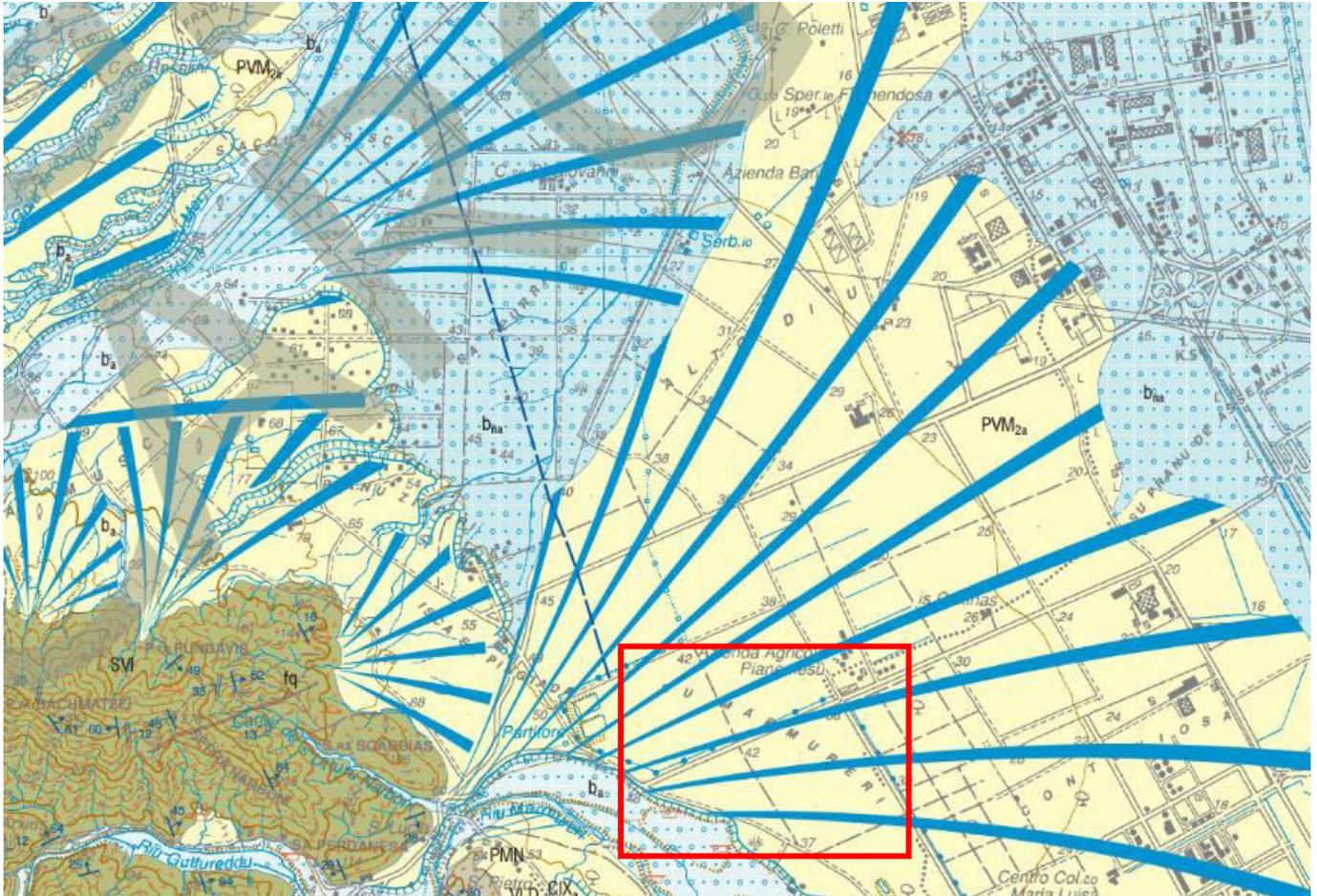


Figura 9 Stralcio Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 foglio 556 "Assemini"

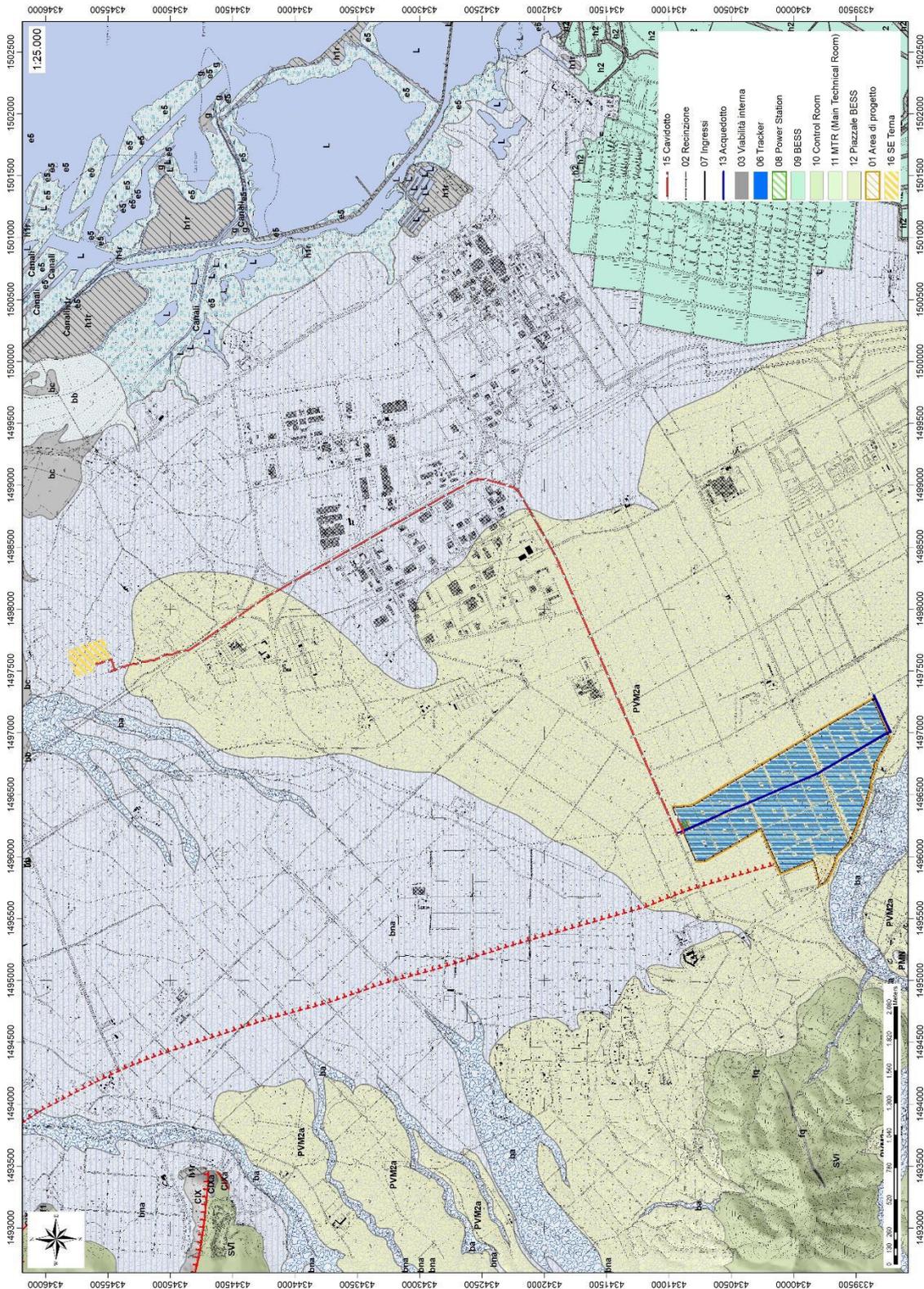


Figura 10 Stralcio della Carta Geologica dell'area di interesse

## 5.2. SITUAZIONE GEOLOGICA E LITOSTRATIGRAFICA DELL'AREA INTERESSATA DALL'INTERVENTO

L'area di intervento sorgerà su depositi alluvionali pleistocenici costituiti da depositi alluvionali antichi rappresentati **ghiaie ciottolose in matrice sabbioso-argillosa** – da sciolti a mediamente addensati, ferrettizzati. La falda si trova ad una quota media di circa 8-9 m da piano campagna. Tale valore deriva da informazioni bibliografiche e andrà confermato in sede di progettazione esecutiva.

## 6. CARATTERI GEOSTRUTTURALI, GEOMETRIA E CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI DI DISCONTINUITÀ

I depositi alluvionali interessati dall'intervento di progetto non presentano per loro natura genetica fratturazione primaria o secondaria.

Si tratta di depositi ancora definibili come mediamente cementati nei livelli più antichi e quindi più profondi, conseguentemente le superfici di discontinuità rilevabili sono quelle di natura strettamente deposizionale legate al processo di sedimentazione e alla granulometria (alternanze più o meno marcate di strati da grossolani - ciottoli, ghiaie - a più sottili - sabbie, subordinatamente limi e argille).

Non sono evidenti tracce di lineazioni tettoniche evidentemente obliterate dalle coperture recenti.

## 7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'impianto fotovoltaico verrà posizionato a est del complesso metarenaceo delle Arenarie di San Vito che affiorano nei rilievi di Serra Narboni (200m), Serra Scabbias (106m), in località S'Isca Pinginada e SU Marmureri.

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

Dal punto di vista morfologico, il territorio che da Uta si estende verso Decimomannu, San Sperate, è caratterizzato da estrema regolarità superficiale e da un intenso grado di utilizzazione agricola, favorita dalla fertilità del suolo e dalla presenza di numerosi corsi d'acqua anche a carattere stagionale, tributari dello stagno di Santa Gilla.

I materiali più recenti, olocenici recenti ed attuali, rappresentati da depositi detritici di pendio in prossimità dei rilievi, nella piana sono costituiti dai depositi alluvionali del Rio Cixerri e del Flumini Mannu

e da depositi marini e palustri che si interdigitano in maniera complessa e discontinua, in relazione ai ripetuti fenomeni alluvionali e di erosione.

I vari steps erosionali legati alle fasi glaciali e interglaciali dell'Olocene, producono terrazzamenti di diverso ordine determinano la locale rottura di planarità tipica della valle alluvionale. Proprio sul lato ovest del lotto è presente un terrazzamento da erosione generato dal deflusso del Rio Marmureri che, raggiunta la piana, prende il nome di Rio Santa Lucia e che trova il suo recettore finale nello stagno di Capoterra.

La rottura di pendio tra i rilievi e la piana alluvionale viene ammorbidita dalla geometria della conoide pliestocenica definendo un profilo di versante meno aspro.



Figura 11 paesaggio dell'area di studio – Loc. Planemesu

### 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 dominata dalle dinamiche di natura alluvionale e di versante che hanno prodotto le forme tipiche che caratterizzano e in parte obliterano i bordi del Graben campidanese.

## 8. 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'analisi climatologica del territorio di Cagliari è stata condotta attraverso lo studio delle variabili pluviometriche registrate nella stazione Sestu ubicata nel territorio urbano ad una quota di 48m slmm ritenuta rappresentativa per l'area in questione.

### 8.1. PRECIPITAZIONI

L'analisi delle condizioni pluviometriche è stata eseguita utilizzando i dati rilevati dal nell'ultimo trentennio 1981 – 2010 dalla Agenzia regionale per la protezione dell'Ambiente ARPAS. Partendo da questi dati, è stato possibile calcolare il valore medio annuale delle precipitazioni che raggiunge i 404,7 mm. L'andamento medio delle precipitazioni evidenzia che i mesi più piovosi risultano rispettivamente Novembre e Dicembre con 67,2 mm, 56,5mm.

Luglio è il mese meno piovoso, con 1,3 mm di pioggia.

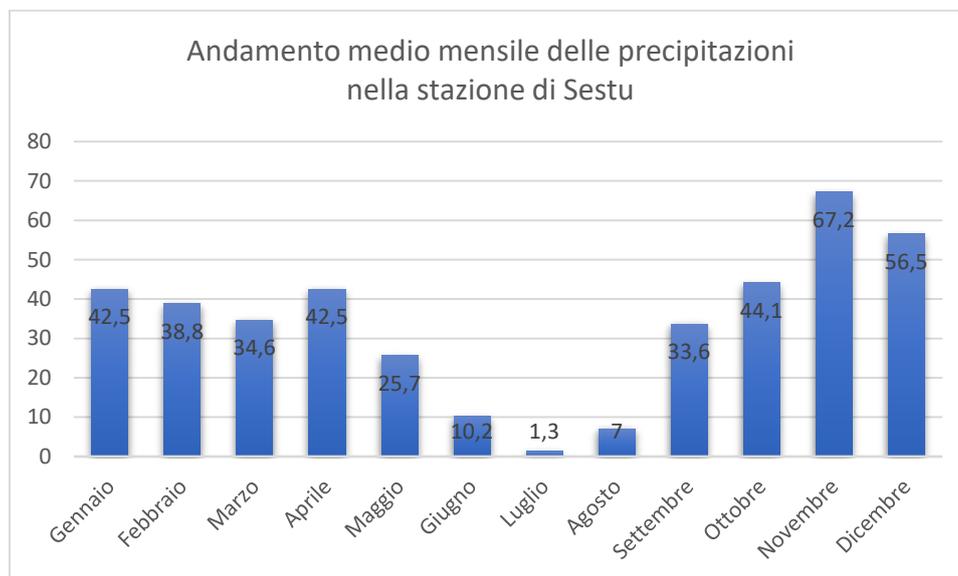


Figura 12 andamento medio mensile delle precipitazioni nella Stazione di Sestu (CA)

### 8.2. TEMPERATURE

Per lo studio delle condizioni termiche della zona sono stati utilizzati i dati relativi alla temperatura media mensile rapportata solo ad un quinquennio di osservazioni e riferita alla stazione termometrica di Cagliari. Il massimo valore della temperatura media si registra nei mesi di Luglio e Agosto rispettivamente con 30,9°C e 31,1°C.

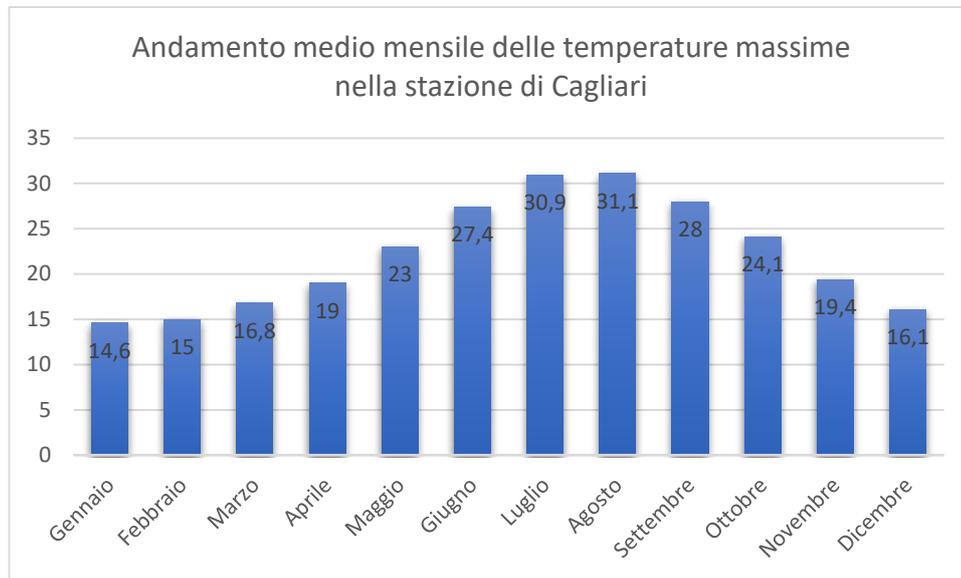


Figura 13 andamento medio mensile delle temperature massime

Il diagramma ombrotermico elaborato per l'area di Cagliari 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 31 °C, si hanno i valori di piovosità inferiori, mentre nei mesi invernali, dove le temperature medie mensili sono pari a 14°C, si raggiungono le piovosità più elevate.

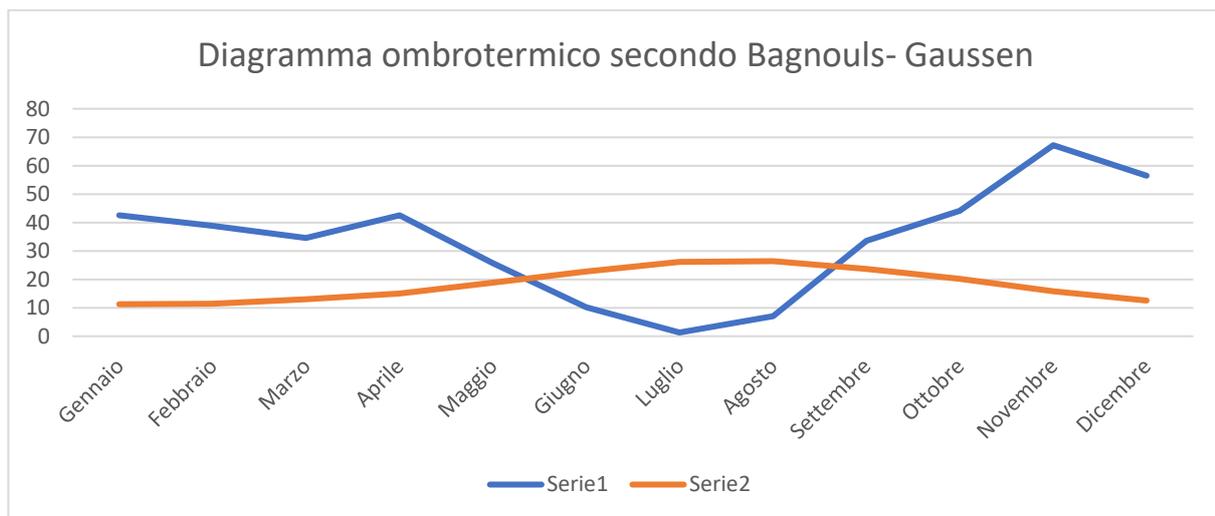


Figura 14 Diagramma ombrotermico (Bagnouls- Gausson) per il settore di Uta

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.

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 (18 °C), non scende mai sotto agli 5 °C, e per quattro mesi (Giugno-Settembre) supera i 28 °C, e le precipitazioni sono superiori ai 650 mm annui.

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.

## 9. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 9.1. 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° 7 “Flumendosa-Campidano-Cixerri”, che si estende per una superficie di 5.960Km<sup>2</sup>, pari al 25% del territorio regionale. I bacini idrografici di maggior estensione sono costituiti dal Flumendosa, dal Flumini Mannu, dal Cixerri, dal Picocca e dal Corr’e Pruna; numerosi bacini minori risultano compresi tra questi e la costa, come per il caso del Rio Santa Lucia.

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 metamorfiche sono spesso caratterizzate dalla presenza di sistemi di giunti e discontinuità, spesso visibili ad occhio nudo, che influenzano la circolazione idrica superficiale che si presenta diversamente articolata in funzione dell’aliquota d’acqua di infiltrazione.

I corsi d’acqua principali presenti nell’area sono: il Rio Cixerri che scorre a nord dell’impianto e il Rio Santa Lucia invece prossimo a est dell’impianto in località Su Marmureri.

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.

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.

Sono presenti diversi corsi d’acqua lungo tutta l’area di interesse, e i relativi affluenti. Dall’esame della cartografia IGM al 25.000, dal reticolo ufficiale non si riscontrano interferenze con le opere in progetto.



Figura 15 Suddivisione dei bacini idrografici sardi.

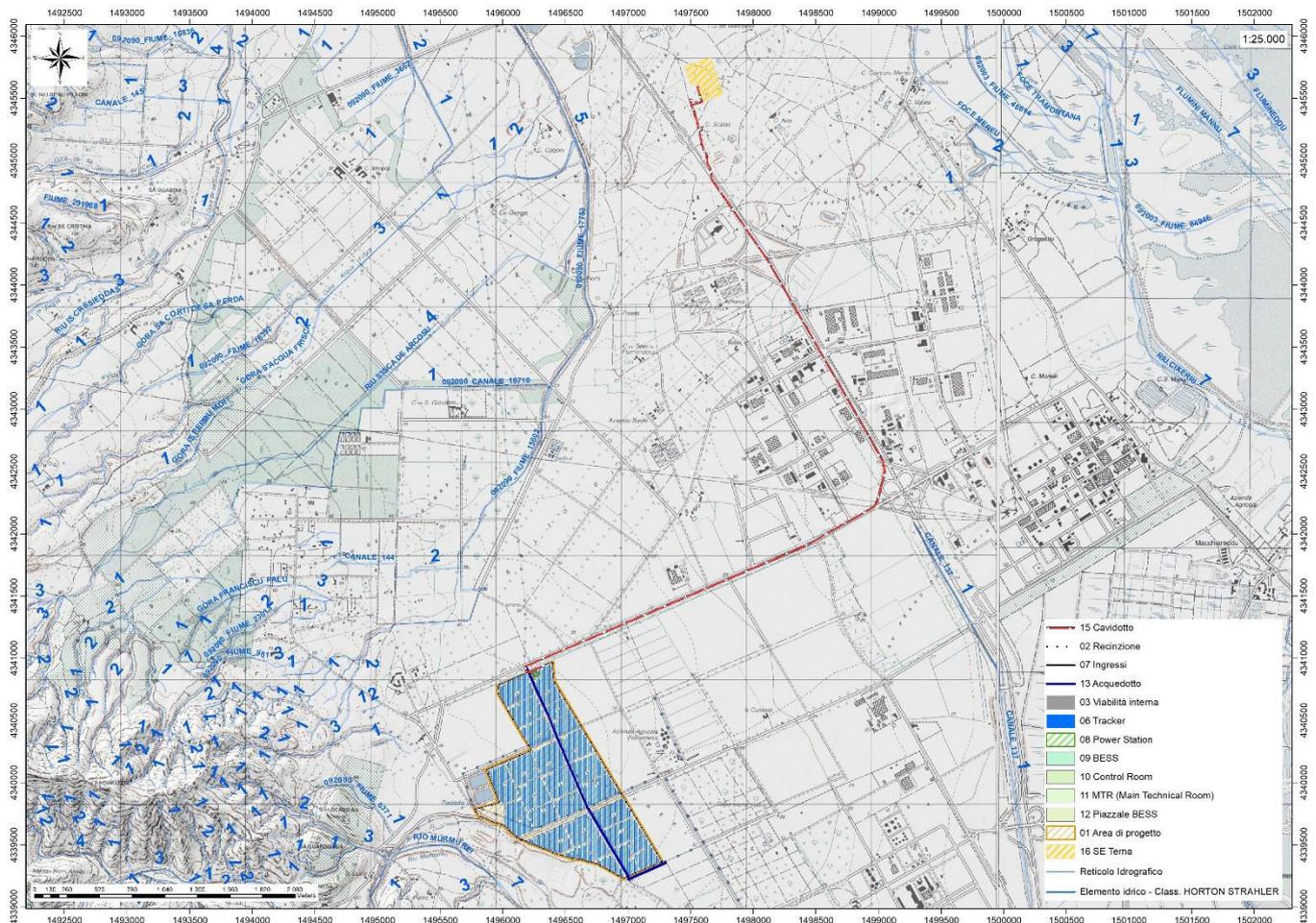


Figura 16 Carta dell'idrografia superficiale e interferenze con gli elementi di progetto

### 9.1. 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 Paleozoico, al Terziario 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 prevalentemente ghiaioso-sabbiose su cui verranno installati i pannelli fotovoltaici in progetto, per via della loro composizione chimica e della loro struttura, sono favorevoli alla ritenzione delle acque, e possiedono permeabilità medio-alta per porosità.

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

Maggiore è la presenza di fratture e la porosità del mezzo, maggiore è la possibilità che l'acqua prosegua il suo percorso in profondità.

Da un punto di vista idrogeologico le formazioni dell'area di studio possono essere divise in tre gruppi principali:

- **Basamento Paleozoico.** Affiora nella parte occidentale dell'area vasta, ed è costituito da rocce massive e scistose semipermeabili per fratturazione, da rocce impermeabili, e da rocce permeabili. Complessivamente la permeabilità del basamento metamorfico è scarsa, con Coefficienti di Permeabilità variabili tra  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$ .

- **Coperture pleistoceniche.** Tali coperture sono costituite da litotipi a permeabilità medio-alta dovuta alla porosità delle ghiaie conglomeratiche sabbioso-argillose.

- **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 medio-alta per porosità (MAP)** per quanto attiene ai depositi pleistocenici e **alta per porosità (AP)** per i depositi quaternari, come è possibile vedere dalla Carta delle permeabilità resa disponibile Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna.

Dalla carta dei sistemi idrogeologici del foglio 556 "Cagliari", si possono osservare le isopieze relative al complesso di acquiferi che interessano l'area vasta, le quali presentano direzioni di deflusso da nord-ovest verso sud-est.

I valori di coefficienti di permeabilità per queste aree sono stati misurati nell'area SW di Assemini tra **1,7 e  $3,3 \times 10^{-4}$  m/s** (Fonte Progetto CARG)

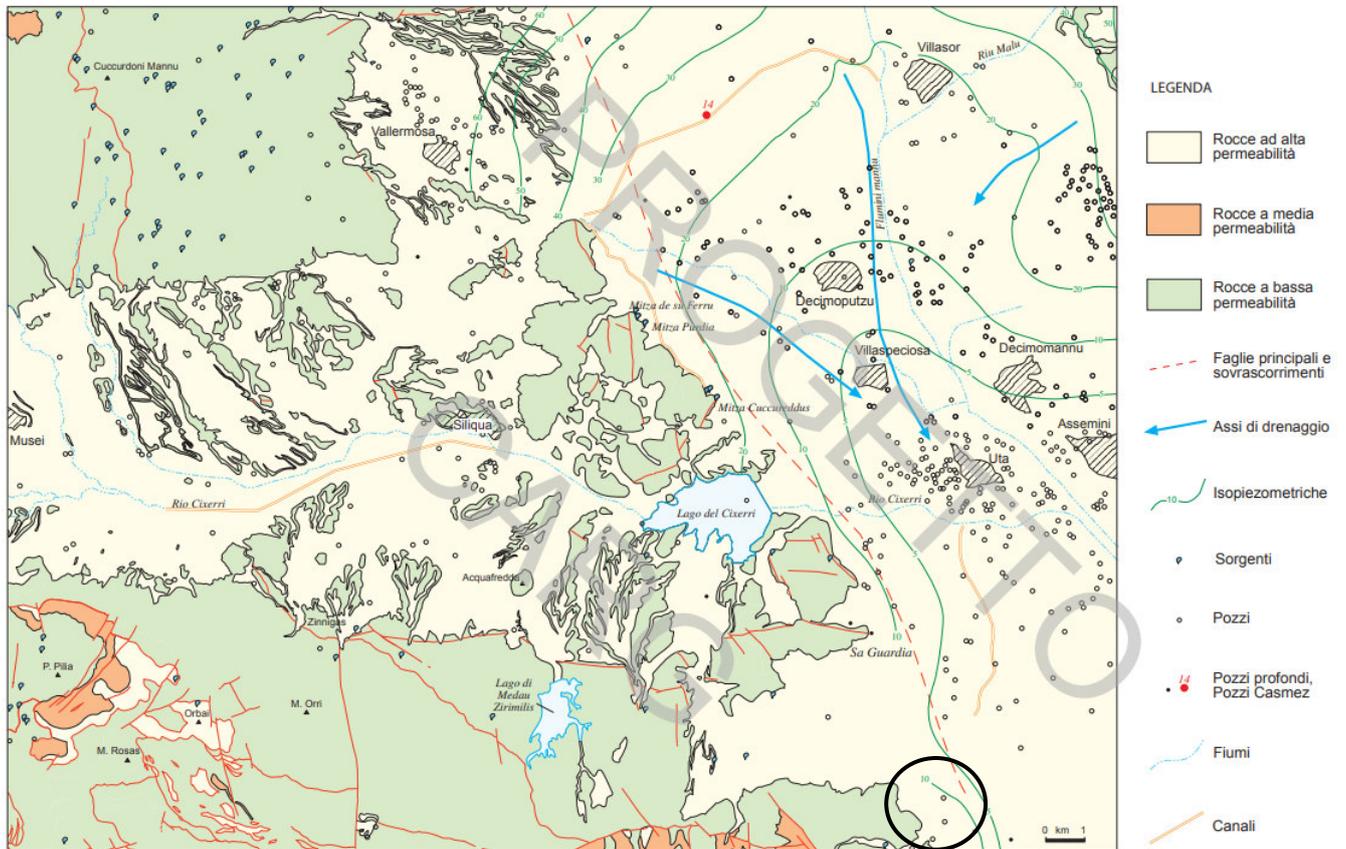


Figura 17 Sistemi idrogeologici dell'area occidentale del foglio 556 "Assemini"

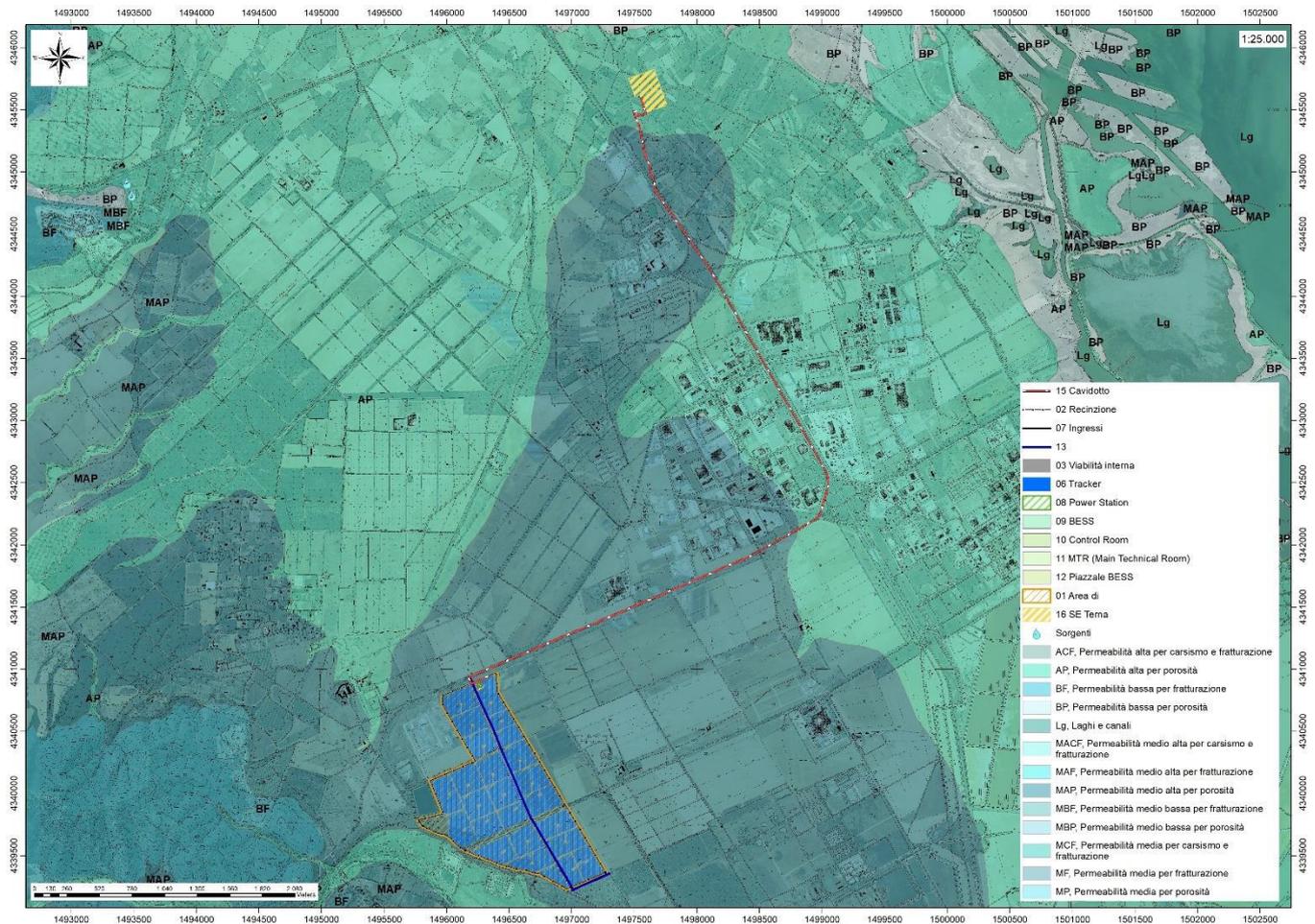


Figura 18 Carta delle permeabilità dei substrati

**9.2. 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.

## 10. 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

Le peculiarità pedologiche dell'area vasta di Uta risiedono prevalentemente nella presenza di suoli profondi ad evoluzione molto spinta e subordinatamente, in suoli debolmente sviluppati o di origine recente, con una scarsa differenziazione degli orizzonti. Questi ultimi, appartenenti alle fasi tardive del Pleistocene ed all'Olocene, si trovano per lo più localizzati in corrispondenza delle aree peristagnali e perlagunari e nei pressi dei corsi d'acqua, laddove la continua deposizione e rimaneggiamento dei sedimenti non favoriscono l'assimilazione degli stessi ad un orizzonte pedogenetico.

L'area di progetto su cui verranno installati i pannelli ricade nei paesaggi su

- **“Alluvioni e su arenarie eoliche cementate del Pleistocene.”** con Profili A-Bt-C, A-Btg-Cg e subordinatamente A-C, profondi, da FS a FSA in superficie, da FSA ad A in profondità, da permeabili a poco permeabili, da subacidi ad acidi, da saturi a desaturati.; cui sono associati suoli dell'unità **I1** della Carta dei Suoli della Sardegna.

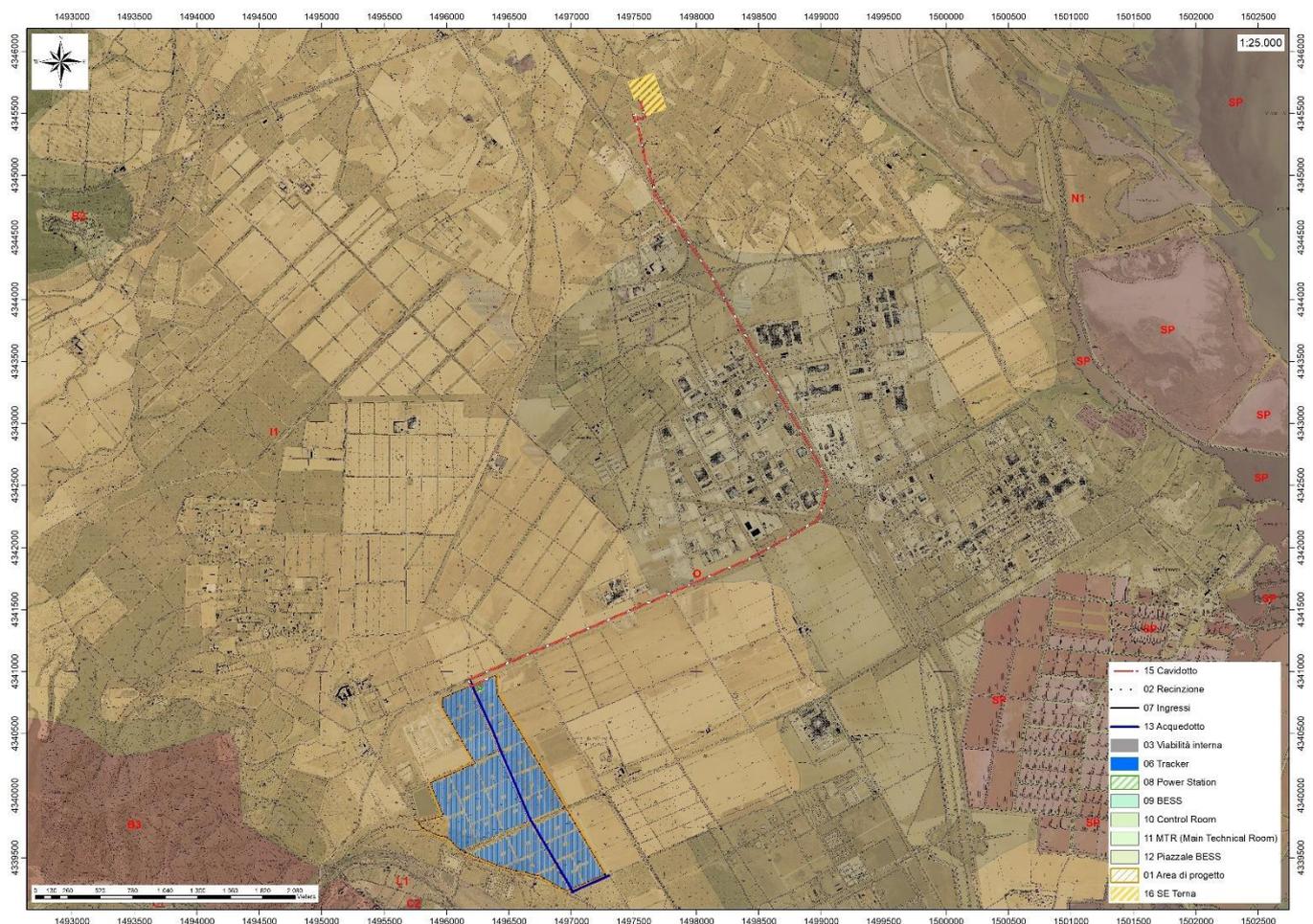


Figura 19 Stralcio della Carta dei Suoli della Sardegna (Fonte RAS)

## 11.USO DEL SUOLO

Dalla Carta dell'Uso del Suolo, resa disponibile dalla Regione Sardegna, si evince che l'ambito di progetto dell'Impianto agrovoltaico si inserisce in un contesto in cui il suolo ricade nella categoria 2121.

- 2121 SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO

Nella tavola dell'Uso del suolo del Comun e di Uta queste aree sono classificate **ZONA E1.2a - Area caratterizzata da produzione agricola tipica e specializzata in ambito di trasformazione di grado "2a"**,

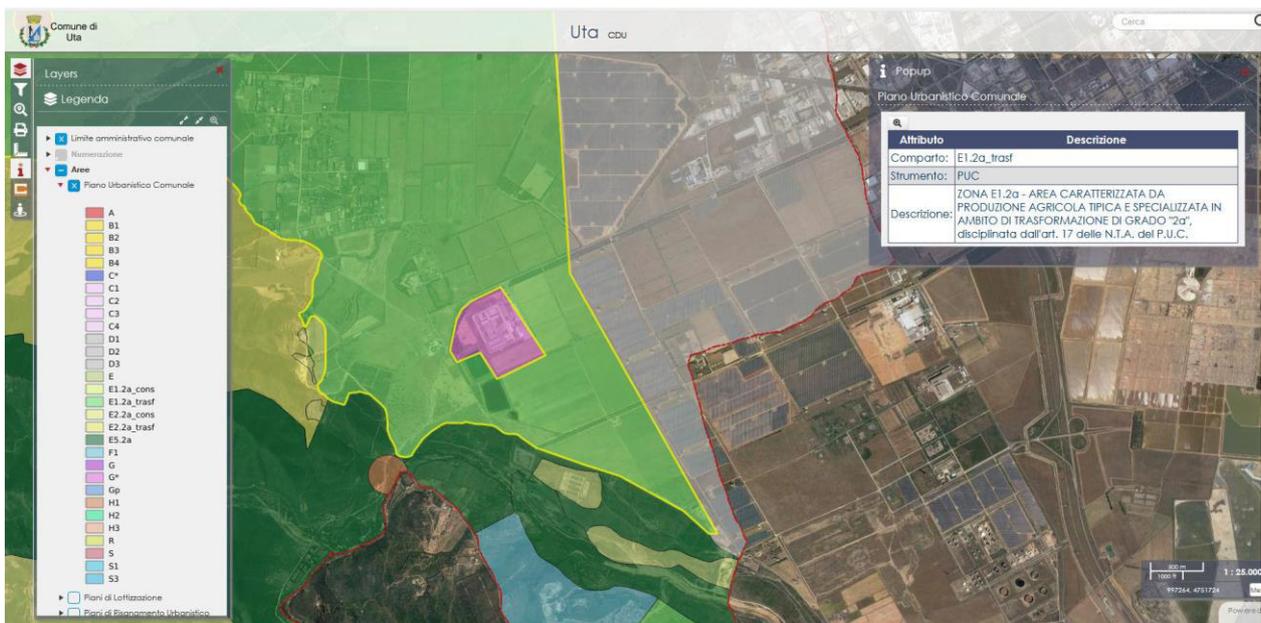
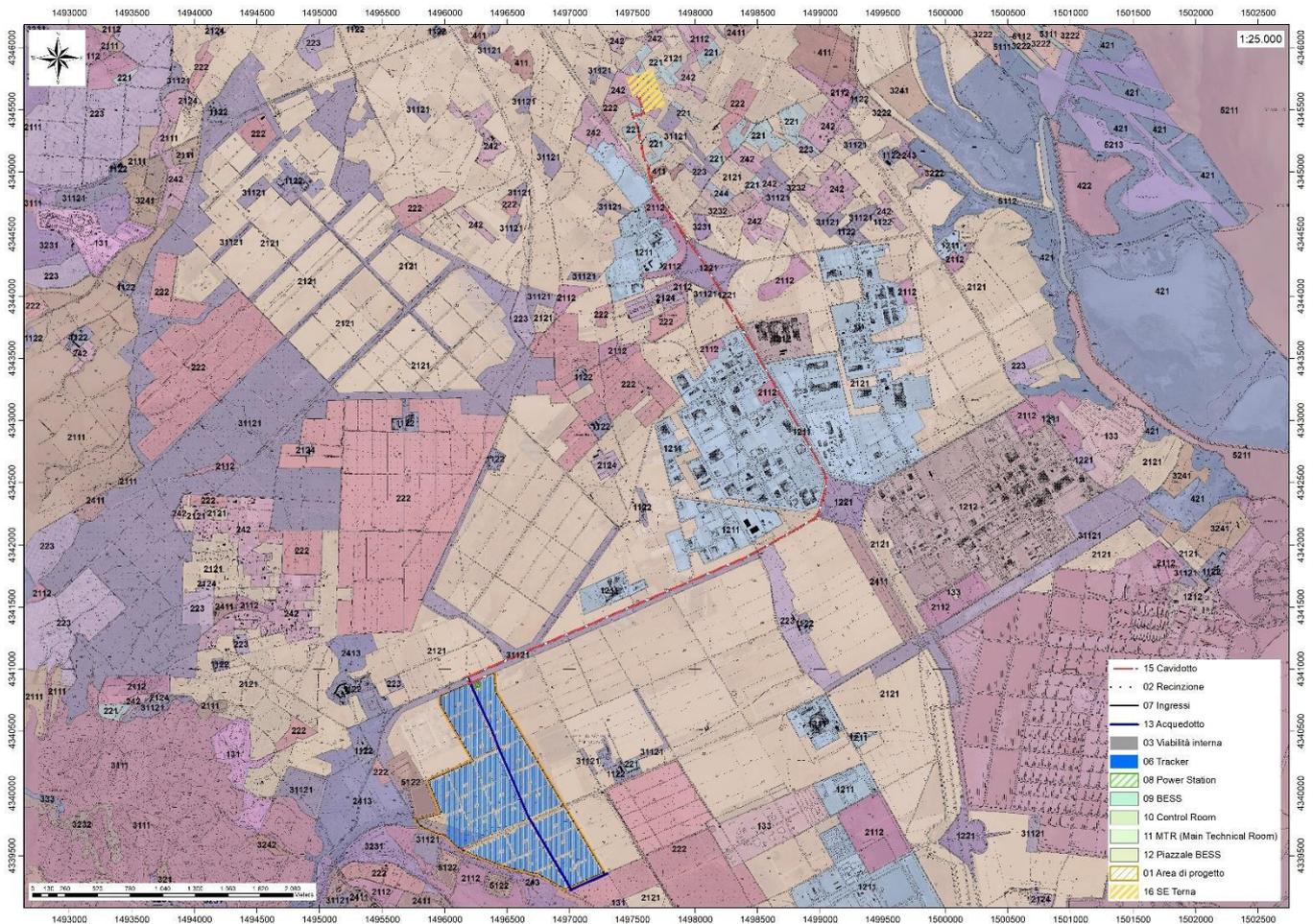


Figura 20 Stralcio della Carta dell'Uso del Suolo, (Fonte RAS, Comune di Uta)

## 12.INDAGINI GEOGNOSTICHE

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

L'obiettivo delle indagini realizzate è stato:

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

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

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

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

In data 12/07/2023 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).

Elaborazione dei dati tramite analisi delle prospezioni acquisite in campagna, applicazione filtri, e restituzione grafica delle sezioni sismiche con l'impiego del software specialistici.

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

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

N° progr.	Tipologia di indagine	Sigla Stendimento	Direzione	Intervallo Geofoni [m]	Lunghezza [m]
1	MASW	M1	SE-NO	2,0	46

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

### 12.1. 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 21 Schema geometrico di acquisizione dei dati per gli stendimenti di lunghezza L = 46,0 m

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

una stratificazione piano parallela al piano topografico. Al fine di svolgere al meglio la campagna geofisica M.A.S.W., è utile che lo sviluppo lineare della base sismica sia limitata in lunghezza secondo i siti.

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

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



Figura 22 Localizzazione stendimento nell'area vasta



Figura 23 Particolare dell'ubicazione dello stendimento M1

## 12.2. M.A.S.W. – ELABORAZIONE RISULTATI

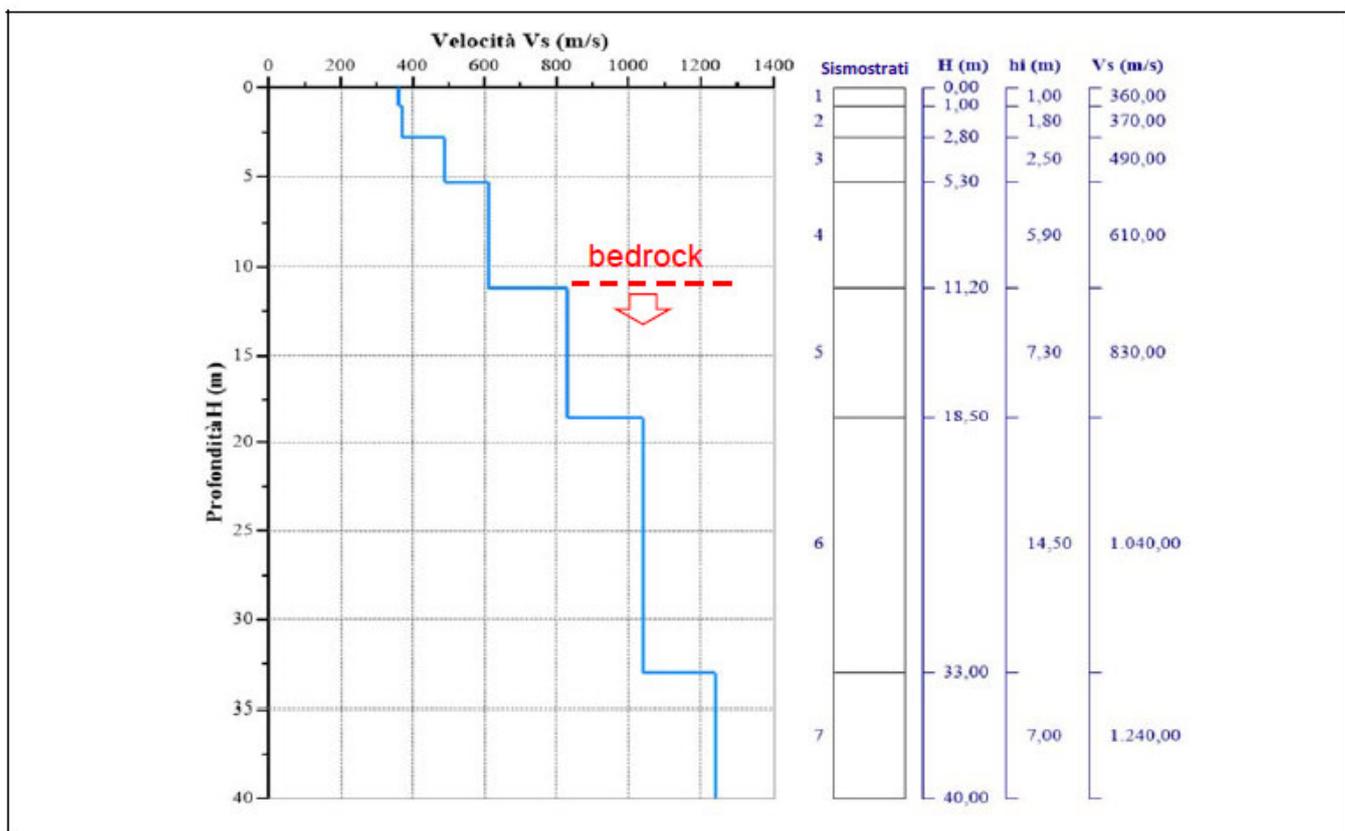
L'indagine sismica con tecnica MASW ha permesso di ottenere il profilo medio di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  della sezione M1, dal quale si possono distinguere i sismostrati di seguito indicati. Si ricorda che si tratta di un profilo medio della velocità di taglio  $V_s$ .

### 12.2.1. BASE SISMICA M1

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

Profondità [m sotto il pc]	Descrizione
0,0 – 1,0	1° sismostrato con Vs di 360 m/s Terre mediamente addensate
1,0 – 2,8	2° sismostrato con Vs di 370 m/s Terre mediamente addensate
2,8 – 5,3	3° sismostrato con Vs di 490 m/s Terre addensate
5,3 – 11,2	4° sismostrato con Vs di 610 m/s Terre molto addensate
11,2 – 18,5	5° sismostrato con Vs di 830 m/s Substrato roccioso intensamente fratturato
18,5 – 33,0	6° sismostrato con Vs di 1040 m/s Substrato roccioso da fratturato a sano
33,0 – 40,0	7° sismostrato con Vs di 1240 m/s Substrato roccioso sano

MASW M1-PROFILO Vs



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

Sismo strato	Prof/ zona	CT*	Densità $\gamma$	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]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 – 1,0	terre	1.800	720	360	0,33	618	75	235	618
2	1,0 – 2,8	terre	2.000	740	370	0,33	726	87	275	726
3	2,8 – 5,3	terre	2.100	980	490	0,33	1.344	162	500	1.344
4	5,3 – 11,2	12%	2.200	1.220	610	0,33	2.187	262	814	2.187
5	11,2 – 18,5	15%	2.350	1.660	830	0,33	4.315	647	1.618	4.315
6	18,5 – 33,0	22%	2.400	2.080	1040	0,33	6.924	1.523	2.599	6.924
7	33,0 – 40,0	25%	2.450	2.480	1240	0,33	10.042	2.511	3.766	10.042

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

## 13.ANALISI E SISMICITA' STORICA

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

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

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$A_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$TC^*$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.1

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

13.1. 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**.

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

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

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

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

$$V_R = V_N \times C_U$$

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

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

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

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

Amplificazione stratigrafica e topografica: Nel caso di pendii con inclinazione maggiore di  $15^\circ$  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.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

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

Per tale scopo, in accordo agli approcci semplificati proposti dal D.M. 17/01/2018 - Tab. 3.2.II (Figura 5.4) la determinazione del parametro delle onde di taglio VS30 è stato stimato mediante misura delle velocità sismiche attraverso l'esecuzione 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, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione con:

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,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.

**Sismostratigrafia e calcolo Vs eq**

Nr.	Profondità (m)	Spessori (m)	Vs (m/s)	Hcalc (m)	hi calc (m)	Hi/Vs (s)
1	1,00	1,00	360,00	1,00	1,00	0,00278
2	2,80	1,80	370,00	2,80	1,80	0,00486
3	5,30	2,50	490,00	5,30	2,50	0,00510
4	11,20	5,90	610,00	11,20	5,90	0,00967
5	18,50	7,30	830,00	18,50	7,30	
6	33,00	14,50	1040,00	30,00	11,50	
7	40,00	7,00	1240,00	0,00	0,00	

Figura 24 Sismostratigrafia e calcolo della Vs equivalente

Esaminato il profilo delle Vs per lo stendimento M1 si pone l'eventuale presenza del substrato a profondità **11,20 m** (Vs >800m/s).

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata per il substrato posto a profondità 11,20m di profondità dal p.c. è pari a:

$$V_s eq = 11,20/0,0224=499,62 \text{ m/s}$$

Ciò consente di classificare il terreno come **Categoria B: tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

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

In base ai dati di localizzazione, tipologia dell'opera e classe d'uso si quindi sono calcolati i parametri sismici relativi alle verifiche SLO, SLD, SLV e SLC:

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	$T_c^*$ [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 25 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;

Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

T\*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Stati limite ultimi

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):**

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):**

## 14. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUI TERRENI

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

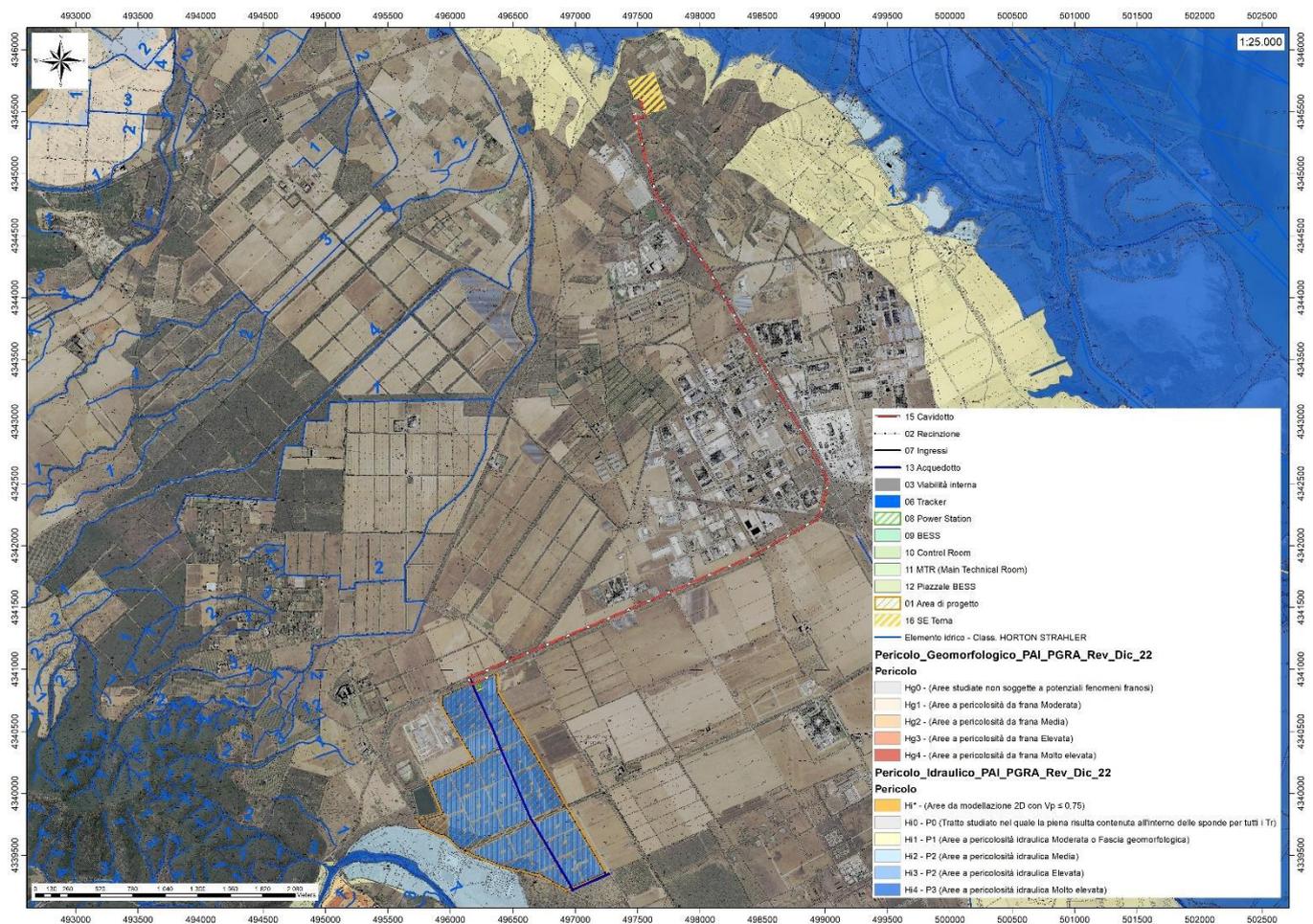


Figura 26 Inquadramento PAI, Carta della Pericolosità Idraulica Hi (fonte RAS)

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

L'area di impianto non è interessata da aree a pericolosità idraulica. Il cavidotto nel suo sviluppo non attraversa aree a pericolosità idraulica o da frana e comunque correrà interrato ad una profondità maggiore di 1m da piano campagna e pertanto non interferirà con il normale deflusso delle acque.

Dai sopralluoghi effettuati in sito non si ha evidenza per quest'area di fenomeni franosi in atto o potenziali. La dinamica geomorfologica di versante è naturalmente presente ma senza manifestazioni importanti. Il cavidotto nel suo sviluppo attraversa aree a pericolosità idraulica Hg1.

**L'area di impianto non è compresa in aree caratterizzate da Pericolosità Idraulica e Pericolosità Geomorfologica.**

#### 14.1. 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 impianto non è compresa nelle perimetrazioni del PGRA.**

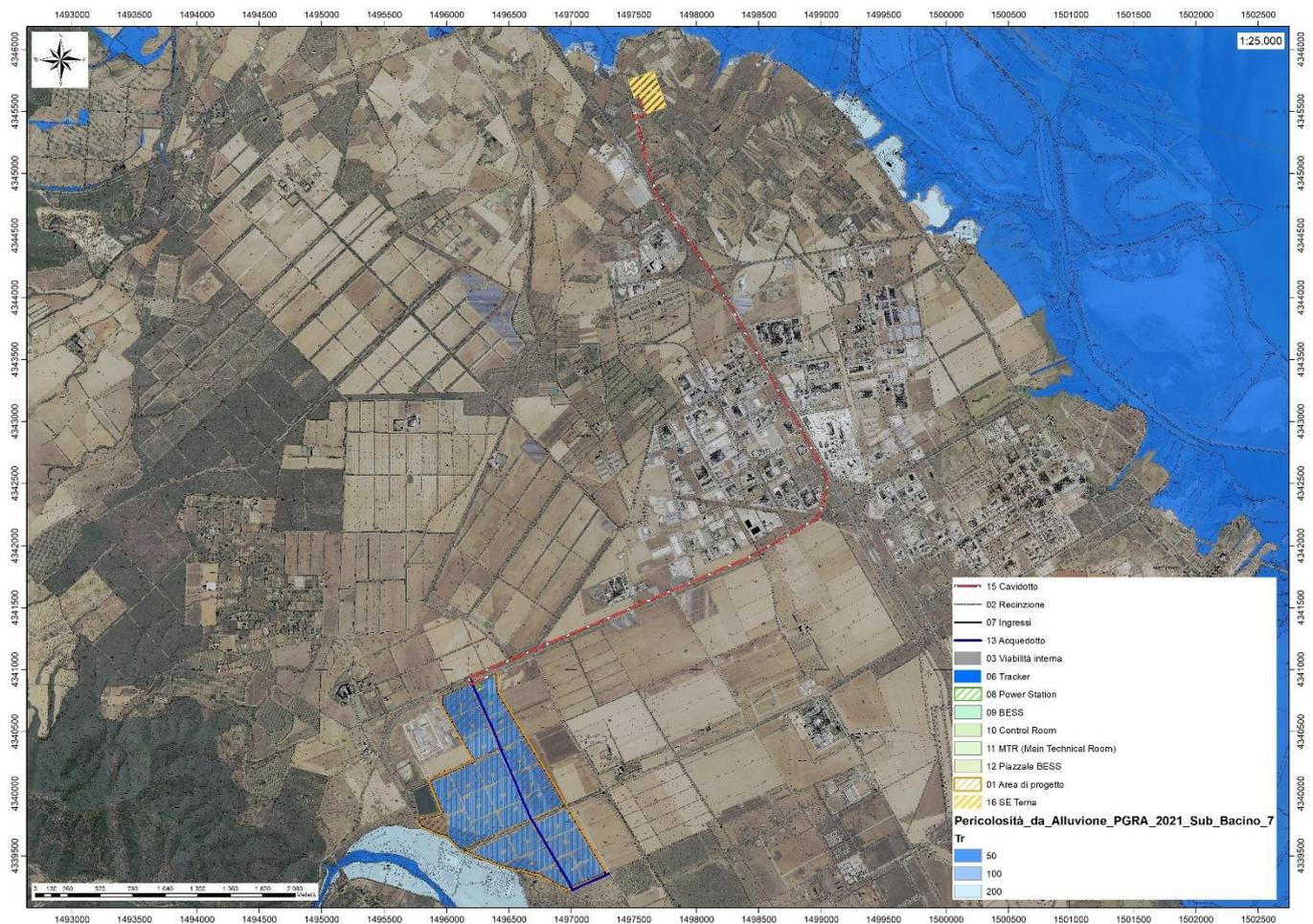


Figura 27 Inquadramento PGRA (fonte RAS)

## 14.2. 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.



Figura 28 Inquadramento PSFF (fonte RAS)

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

## 15. MODELLO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO

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

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

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

0,00m – 2,80m – **Litotipo 0** Suolo/coltri colluviali-eluviali da poco addensati a mediamente addensati

da 2,80 in poi – **Litotipo A** Litofacies nel Subsistema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie. PLEISTOCENE SUP.

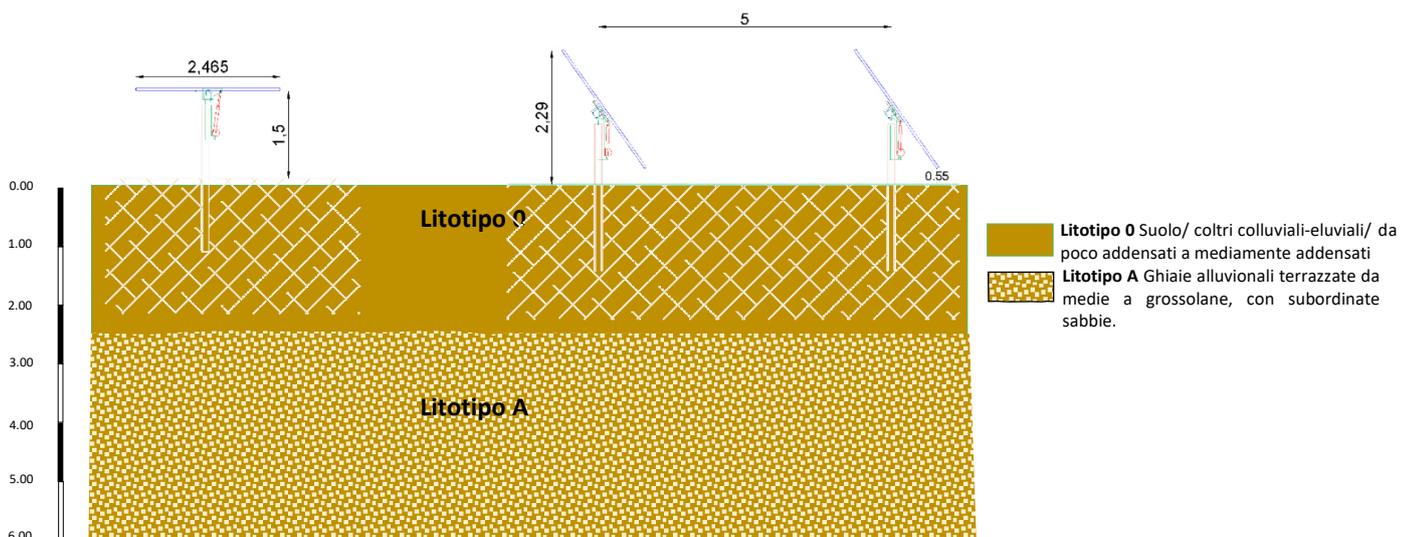


Figura 29 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018)

Di seguito si riportano i parametri di deformazione dinamici e statici calcolati sulla base delle velocità sismiche rilevate. È consigliabile in fase esecutiva confermare questi valori mediante indagini dirette (penetrometrie dinamiche o analisi di laboratorio su campioni di carota derivanti da pozzetti o sondaggi)

Sismostrato	Prof/zona	CT*	Densità $\gamma$	Vp	Vs	Coefficiente di Poisson $\nu$	Modulo di Young dinamico o 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]	[adim]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	0,0 – 1,0	terre	1.800	720	360	0,33	618	75	235	618
2	1,0 – 2,8	terre	2.000	740	370	0,33	726	87	275	726
3	2,8 – 5,3	terre	2.100	980	490	0,33	1.344	162	500	1.344
4	5,3 – 11,2	12%	2.200	1.220	610	0,33	2.187	262	814	2.187
5	11,2 – 18,5	15%	2.350	1.660	830	0,33	4.315	647	1.618	4.315
6	18,5 – 33,0	22%	2.400	2.080	1040	0,33	6.924	1.523	2.599	6.924
7	33,0 – 40,0	25%	2.450	2.480	1240	0,33	10.042	2.511	3.766	10.042

\*CT: coefficiente di trasformazione (per la roccia)

Figura 30 Parametri di deformazione dinamici e statici dei terreni determinati mediante misure sismiche

## 16.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 quattro metri circa, da **Ghiaie subordinatamente conglomeratiche alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie**. È sempre presente un' aliquota di materiale argilloso, il tutto prevalentemente sciolto o debolmente consolidato, mentre al di sotto dei **2,80 metri** di profondità è caratterizzata dalla presenza di **terre molto addensate**.

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. 31)

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

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

L'eccessiva quantità d'acqua porterebbe l'effetto contrario, aumenterebbe l'indice dei vuoti con riduzione della densità (fig. 32)

Per quanto concerne le caratteristiche geotecniche dei materiali interessati dalle basi fondanti, i parametri che si possono considerare cautelativi in base agli esiti delle indagini preliminari eseguiti sulla formazione interessata. In fase di progettazione esecutiva gli stessi dovranno essere confermati con ulteriori indagini dirette.

Considerando la stratigrafia con valenza ai fini strutturali da 0,00m a 2,80m si assume quanto segue facendo riferimento a velocità Vs di 370m/sec alle quali corrisponde un Nspt = 70 secondo lo schema riportato in figura, si è utilizzata l'espressione di Imai Tonouchi per il calcolo della Nspt.

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

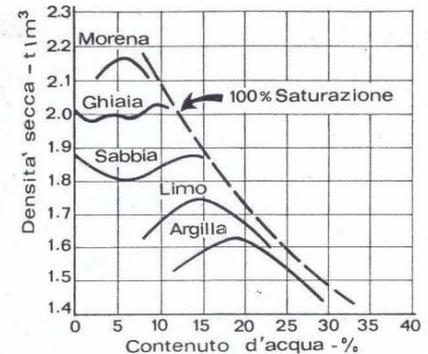


Figura 31 Curva di compattazione da prove di laboratorio in terreni incoerenti

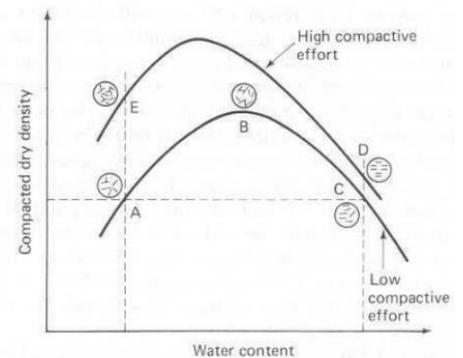
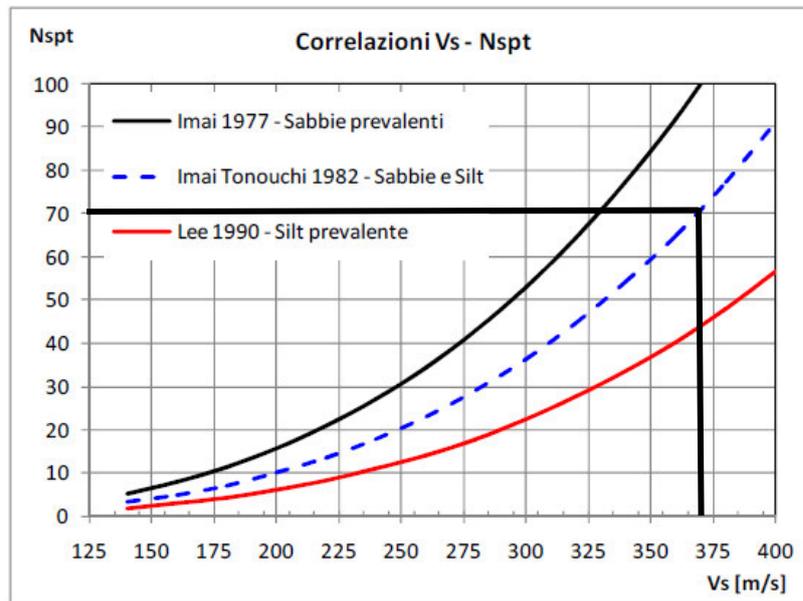


Figura 32 Curva di compattazione in terreni coerenti



Da 0.0m a 2,80m:

$\gamma_d = 2000 \text{ kg/mc}$ ;  $Y_{sat} = 2100 \text{ kg/mc}$ ;  $c_u = 0 \text{ KPa}$ ,  $\phi = 28^\circ\text{-}34^\circ$

Da 2.80m a 6.00m:

$\gamma_d = 2100 \text{ kg/mc}$ ;  $Y_{sat} = 2200 \text{ kg/mc}$ ;  $c_u = 0 \text{ KPa}$ ,  $\phi = 34^\circ\text{-}38^\circ$

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

## 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.

## 18.CARATTERIZZAZIONE DELLE TERRE E DELLE ROCCE DA SCAVO

Il DPR n. 120 del 13/06/2017 stabilisce la nuova disciplina sulla gestione delle terre e rocce da scavo ed è in vigore dal 22/08/2017.

Il regolamento riunisce in un unico testo le regole sul riutilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti abrogando sia il DM 161/2012 sia l'art. 41bis del D.L. 69/2013 convertito in L. 98/2013.

Regolamenta inoltre l'utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti (art. 185 c.1, lett. c) e le terre e rocce provenienti dai siti oggetto di bonifica e introduce infine un apposito regime per il deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti.

L'art. 4 del DPR 120/2017 stabilisce i requisiti generali affinché le terre e rocce da scavo possano essere sottoposte al regime dei sottoprodotti. Si rimanda quindi alla normativa vigente in merito alla caratterizzazione dei materiali ed eventuale redazione di un Piano di Utilizzo delle Terre e Rocce da scavo.

Per tutti i cantieri con produzione di TRS da riutilizzare inferiori a 6.000 m<sup>3</sup> (Capo III), compresi quelli che riguardano opere sottoposte a VIA o ad AIA, e per i siti di grandi dimensioni, superiori a 6000 m<sup>3</sup>, non sottoposti a VIA o AIA (Capo IV) è prevista una procedura semplificata, simile a quella dell'articolo 41 bis del Decreto-legge n. 69/2013, attraverso autocertificazione. Il DPR 120/2017 prevede infatti che il proponente o il produttore attesti il rispetto dei requisiti di cui all'articolo 4 (classificazione delle TRS come sottoprodotti e non rifiuti) mediante una autocertificazione (dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà, ai sensi del DPR 445/2000) da presentare all'ARPA territorialmente competente e al Comune del luogo di produzione (all'Autorità competente nel caso di cantieri di grandi dimensioni) utilizzando i moduli previsti dagli Allegati 6-7-8 del DPR.

Il "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo" del 2017, in attuazione dell'articolo 184-bis del decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152, stabilisce i requisiti generali da soddisfare affinché le terre e rocce da scavo generate in cantieri di piccole dimensioni, in cantieri di grandi dimensioni e in cantieri di grandi dimensioni non sottoposti a VIA e AIA, siano qualificati come sottoprodotti e non come rifiuti, nonché le disposizioni comuni ad esse applicabili

## 18.1. PIANO DI RIUTILIZZO DELLE TERRE E ROCCE PROVENIENTI DALLO SCAVO E DA ESEGUIRE IN FASE DI PROGETTAZIONE ESECUTIVA E COMUNQUE PRIMA DELL'INIZIO DEI LAVORI

### 18.1.1. MATERIALE RIUTILIZZATO IN SITO

L'attuale quadro normativo include nel processo di gestione come sottoprodotti quelle terre da scavo non contaminate che vengono riutilizzate allo stato naturale, nell'ambito dei lavori di costruzione, direttamente nel luogo dove sono state generate.

Infatti, con il Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014 n. 164, sono state adottate le disposizioni di riordino e di semplificazione della disciplina inerente la gestione delle terre e rocce da scavo, con particolare riferimento:

a) alla gestione delle terre e rocce da scavo qualificate come sottoprodotti, ai sensi dell'articolo 184-bis, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, provenienti da cantieri di piccole dimensioni, di grandi dimensioni e di grandi dimensioni non assoggettati a VIA o ad AIA, compresi quelli finalizzati alla costruzione o alla manutenzione di reti ed infrastrutture;

b) alla disciplina del deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate rifiuti;

c) all'utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti;

d) alla gestione delle terre e rocce da scavo nei siti oggetto di bonifica.

Relativamente al progetto in esame, dunque, il Regolamento si applica nelle seguenti circostanze:

- per il terreno vegetale rimosso tramite scotico dalle aree di cantiere e dalla viabilità in progetto, il quale sarà accantonato in specifiche porzioni delle stesse al fine di essere riportato a fine lavori;

- per le terre scavate nell'ambito dei lavori di posa del cavidotto di connessione che vengono accantonate a fianco della medesima opera e quindi impiegate per la copertura od il ripristino dell'area.

Le caratteristiche delle terre da impiegare per il ripristino delle aree occupate da cantieri, piste di cantiere, aree di stoccaggio ed altre aree funzionali ai lavori di costruzione, dipendono dalla destinazione d'uso finale delle stesse aree.

In generale si prevede comunque il riutilizzo di terre da scavo e proveniente dallo scotico superficiale, da adoperare per rinterri e riempimenti e copertura vegetale (spessore di suolo derivante dallo scotico).

## 18.2. PIANO DI RIUTILIZZO: CRITERI GENERALI

Le terre e rocce da scavo sono utilizzabili per rinterri, riempimenti, rimodellazioni, miglioramenti fondiari o viari oppure per altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali, per rilevati, per sottofondi e, nel corso di processi di produzione industriale, in sostituzione dei materiali di cava:

- se la concentrazione di inquinanti rientra nei limiti di cui alla colonna A della Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, in qualsiasi sito a prescindere dalla sua destinazione;

- se la concentrazione di inquinanti è compresa fra i limiti di cui alle colonne A e B, in siti a destinazione produttiva (commerciale e industriale).

Pertanto, il Piano di Riutilizzo, da predisporre in **fase di progettazione esecutiva** e comunque **prima dell'inizio dei lavori** sarà redatto ai sensi dell'allegato 5 del DPR 120/2017

**Dott.ssa Geol. Cosima Atzori**

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA - Sezione A n°656