



**IMPIANTO FOTOVOLTAICO CAPOTERRA**

**COMUNE DI CAPOTERRA**

PROPONENTE



EDISON RINNOVABILI spa  
Foro Buonaparte, 31  
20121 Milano MI

**VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE**

CODICE ELABORATO

OGGETTO:  
Relazione geotecnica

**PD  
R03**

COORDINAMENTO

**GRUPPO DI LAVORO S.I.A.**



Studio Tecnico Dott. Ing Bruno Manca

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori  
Dott. Giulio Casu  
Dott.ssa Ing. Silvia Exana  
Dott.ssa Ing. Ilaria Giovagnorio  
Dott. Ing Bruno Manca  
Dott.ssa Ing. Alessandra Scalas

REDATTORE

Dott.ssa Geol. Cosima Atzori

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE
00	Settembre 2022	Prima emissione

FORMATO  
ISO A4 - 297 x 210

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. STUDI ED INDAGINI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE.....</b>	<b>4</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DELL'OPERA.....</b>	<b>6</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
5.1. <i>Descrizione del contesto geologico dell'area vasta oggetto di intervento.....</i>	<i>8</i>
5.2. <i>Situazione geologica e litostratigrafica dell'area interessata dall'intervento.....</i>	<i>12</i>
5.3. <i>Caratteri geostrutturali, geometria e caratteristiche delle superfici di discontinuità.....</i>	<i>12</i>
<b>6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>13</b>
6.1. <i>Schema della circolazione idrica superficiale.....</i>	<i>13</i>
6.2. <i>Schema della circolazione idrica sotterranea .....</i>	<i>14</i>
6.3. <i>Dissesti in atto o potenziali che possono interferire con l'opera e loro tendenza evolutiva .....</i>	<i>15</i>
<b>7. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO .....</b>	<b>15</b>
<b>8. CONDIZIONI RAPPRESENTATIVE DEGLI STATI TENSIONALI ATTUALI E MODELLO     GEOTECNICO DEL SITO.....</b>	<b>17</b>
<b>9. PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>18</b>
<b>10. ANALISI E SISMICITA' STORICA.....</b>	<b>19</b>
10.1. <i>Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento .....</i>	<i>19</i>
<b>11. VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI: IDENTIFICAZIONE DEI RELATIVI STATI     LIMITE .....</b>	<b>22</b>
<b>12. VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI .....</b>	<b>23</b>



### Indice delle figure

Figura 3.1 – Inquadramento topografico, Fonte RAS DBMP, 2016 .....	4
Figura 3.2 Localizzazione lotto - in rosso l'area oggetto di studio .....	6
Figura 5.1 Sezione D-D' .....	9
Figura 5.2 Stralcio della Carta Geologica del foglio n°566 PULA e schema geologico-strutturale del basso Campidano .....	9
Figura 5.3 - Inquadramento geologico del percorso del cavidotto al punto di connessione .....	11
Figura 6.1 Bacini idrografici nel territorio comunale di Capoterra .....	13
Figura 6.2 Stralcio della carta geologica e idrogeologica del Piano di Caratterizzazione dell'agglomerato industriale di Macchiareddu .....	14
Figura 7.1 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018) .....	16
Figura 9.1 – Ubicazione delle indagini .....	18
Figura 10.1 - Parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito .....	22



## 1. PREMESSA

Il proponente **EDISON EDF Group** intende realizzare un impianto fotovoltaico in località **"Sant'Angelo"** nella Zona Industriale del **Comune di Capoterra**, 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. TZRC5M72H41B354F e P.I.V.A. 03191600927, l'incarico professionale per la redazione della Relazione Geotecnica, 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.

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 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)

## 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, nel foglio n°234 e n°565 in scala 1:50.000.
- 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

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE

Il Comune di Capoterra è situato nella parte meridionale della Sardegna. Precedentemente parte della Provincia di Cagliari, dal 2017 è comune della Città Metropolitana di Cagliari. Il territorio comunale si sviluppa nella parte occidentale del Golfo di Cagliari e confina con i comuni di Assemini a Nord ed Ovest, Sarroch a Sud, Uta a Nord e Cagliari ad Est. Le principali vie di comunicazione che interessano il centro sono la Strada Provinciale n. 195, la Strada Consortile dell'agglomerato industriale di Macchiareddu e la S.P. 91.

Il territorio è delimitato dal Golfo di Cagliari (nel tratto compreso tra Cala d'Orrì e Ponte Maramura, mentre il settore Ovest del territorio è delimitato da una cintura montuosa la cui vetta principale è Monte Is Pauceris Mannus (720 m. s.l.m.).

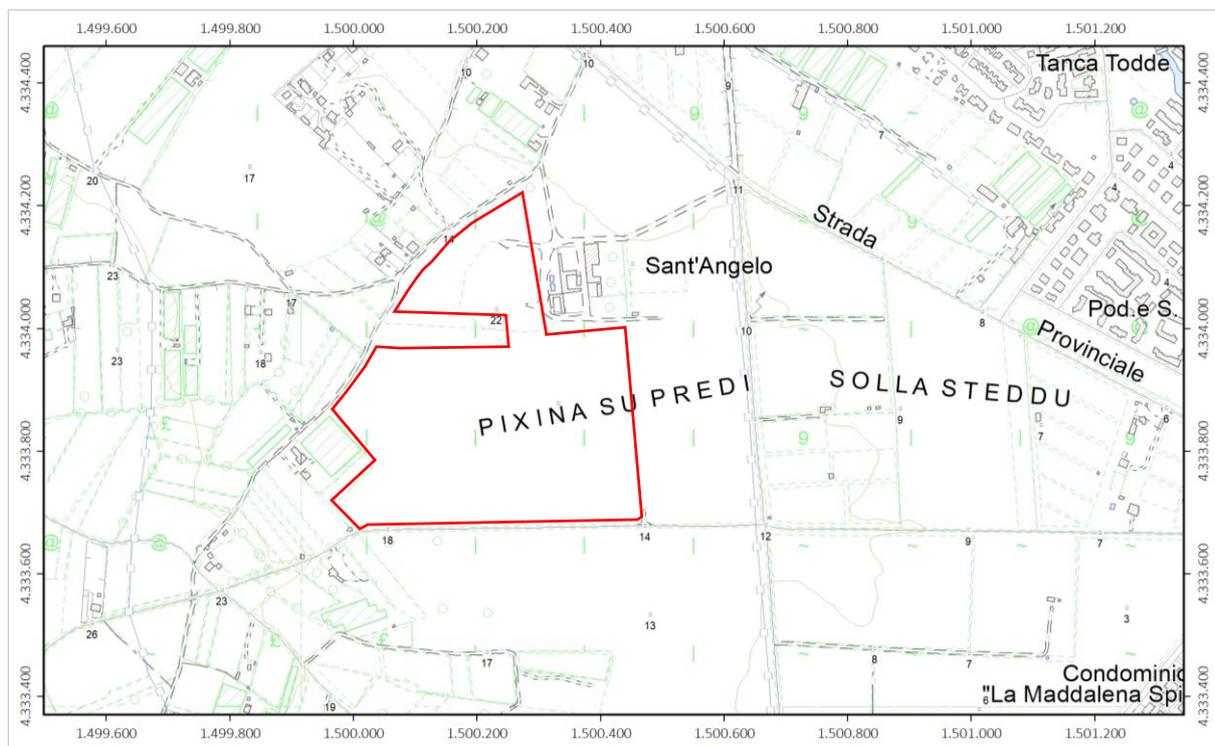


Figura 3.1 – Inquadramento topografico, Fonte RAS DBMP, 2016

L'abitato di Capoterra dista circa 17 km da Cagliari e si sviluppa tra le colline più alte della fascia montana della Riserva di Monte Arcosu e la zona pianeggiante del braccio occidentale del Golfo degli Angeli. Il comune è stato protagonista nel recente passato di eventi idrogeologici importanti, che hanno indotto le amministrazioni ad effettuare importanti lavori pubblici, soprattutto sulla regimazione dei corsi d'acqua.

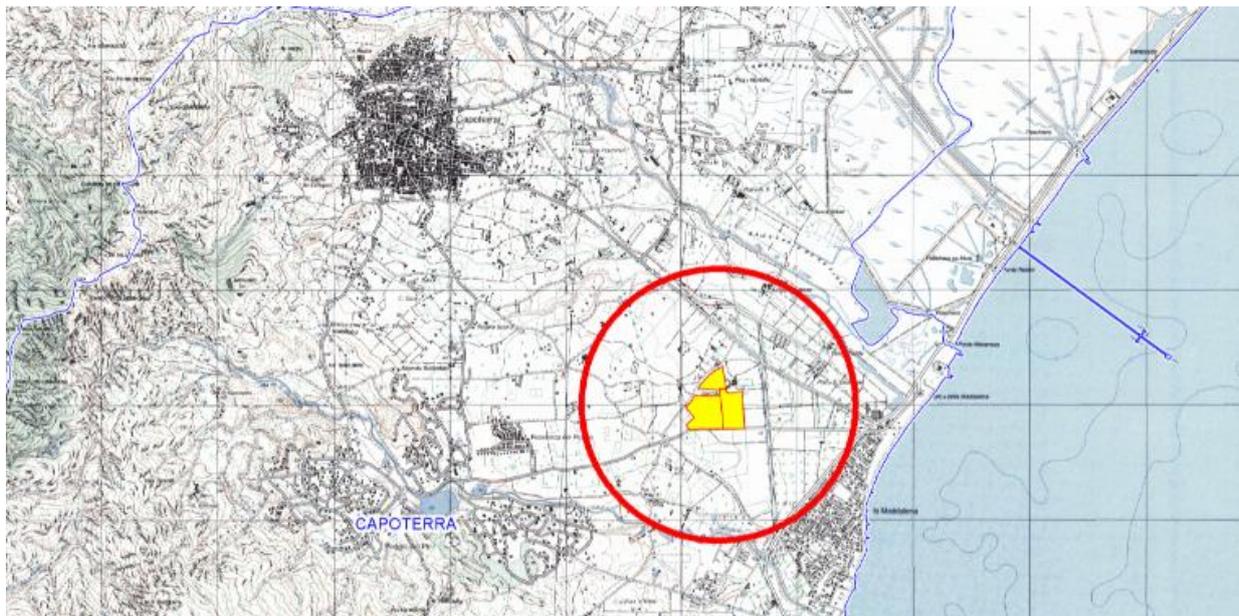




Figura 3.2 Localizzazione lotto - in rosso l'area oggetto di studio

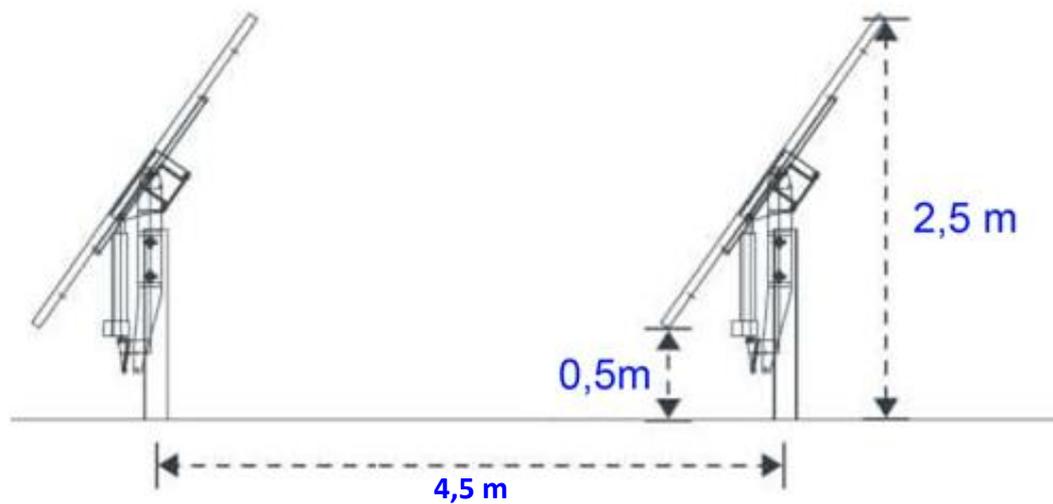
Il terreno sul quale verrà realizzato il progetto ricade interamente nel Comune di Capoterra ed è situato nella località Sant'Angelo.

L'inquadramento cartografico di riferimento è il seguente:

- Cartografia ufficiale dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. Serie 25 **Fg. 565 (Pula)**
- Carta Tecnica Regionale della Sardegna – scala 1:10000 – **sez. 565040 (Capoterra)**.

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

Il progetto prevede l'installazione di un parco fotovoltaico con pannelli del tipo ad inseguimento su un'area di circa 17 ha. I pannelli sono montati su un palo dell'altezza fuori terra di 1.5 è prevista una profondità di infissione di circa 1,50m, la larghezza del palo è 101mm x 108mm mentre l'interasse tra i pali di fondazione sarà di 4,5 m.



Per ulteriori specifiche si rimanda agli elaborati tecnici di progetto.

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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

L'obiettivo dell'analisi dell'assetto geologico è quella di caratterizzare geologicamente e geotecnicamente l'area ove verranno installate i pannelli e le infrastrutture di servizio e quella geomorfologicamente significativa, con particolare riferimento alle condizioni del piano di posa delle fondazioni, agli scavi ed ai riporti necessari per la realizzazione della rete viaria e del cavidotto di connessione 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;

La geologia di questo settore della piana di Capoterra è caratterizzata principalmente dalla presenza di rocce paleozoiche e coperture quaternarie derivanti dalla loro alterazione. I termini paleozoici appartengono al complesso metamorfico ed intrusivo ricollegabile al ciclo orogenico ercinico.

Le litologie del basamento ercinico sono molto eterogenee, comprendendo in massima parte rocce terrigene di varia età (dal Cambriano al Siluriano) interessate da un metamorfismo di basso e bassissimo grado. Si tratta in prevalenza di filladi, metarenarie, quarziti, conglomerati, etc. che, dopo le deformazioni orogenetiche, hanno subito un metamorfismo di contatto, a tratti anche molto spinto, appartenenti alle falde esterne ed alla zona esterna (Iglesiente – Sulcis) rappresentate dalle Formazioni di Genna Muxerru (MUX), Pala Manna (PMN) e dalle Arenarie di San Vito (SVI).

Le conoidi alluvionali affiorano estesamente attorno all'abitato di Capoterra e si presentano, dal punto di vista morfologico, terrazzate. La potenza di queste conoidi può essere valutata intorno ai 10 metri di spessore. Dal punto di vista litologico sono costituiti da massi, ciottoli-ghiaie-sabbie-argille arrossati, mediamente compatti, composti da rocce paleozoiche (calcari, granitoidi, quarziti, lamprofiri, metarenarie)

Le rocce intrusive sono invece appartenenti all'Unità intrusiva di Villacidro (VLD) la quale presenta diverse facies. A Capoterra e, a ovest del punto d'indagine affiora la facies Punta Peis de Pruna (VLD<sub>b</sub>).

La località Sant'Angelo è interessata da depositi pleistocenici ascrivibili al Subsistema di Portoscuso (PVM<sub>2A</sub>) nella carta Geologica d'Italia 1:200000, facente parte del Sistema di Portovesme (PVM) mentre la più recente interpretazione di tali depositi, come anche si evince dalla carta geologica del PUC, li classifica come depositi alluvionali terrazzati olocenici. Le conoidi alluvionali depositate in quest'area pianeggiante del comune, provenienti dall'erosione delle valli che incidevano il versante costiero, hanno portato alla messa in posto di detriti di versante e brecce a clasti mediamente grossolani a spigoli angolosi

Sono inoltre presenti delle ghiaie di origine alluvionale terrazzate da medie a grossolane e, all'interno del lotto in studio è possibile trovare, sporadicamente, depositi antropici costituenti materiale di riporto.

Il quaternario recente è presente in depositi di genesi alluvionale e colluviale, per lo più concentrati nelle incisioni recenti sui depositi pleistocenici e al di sopra di questi.

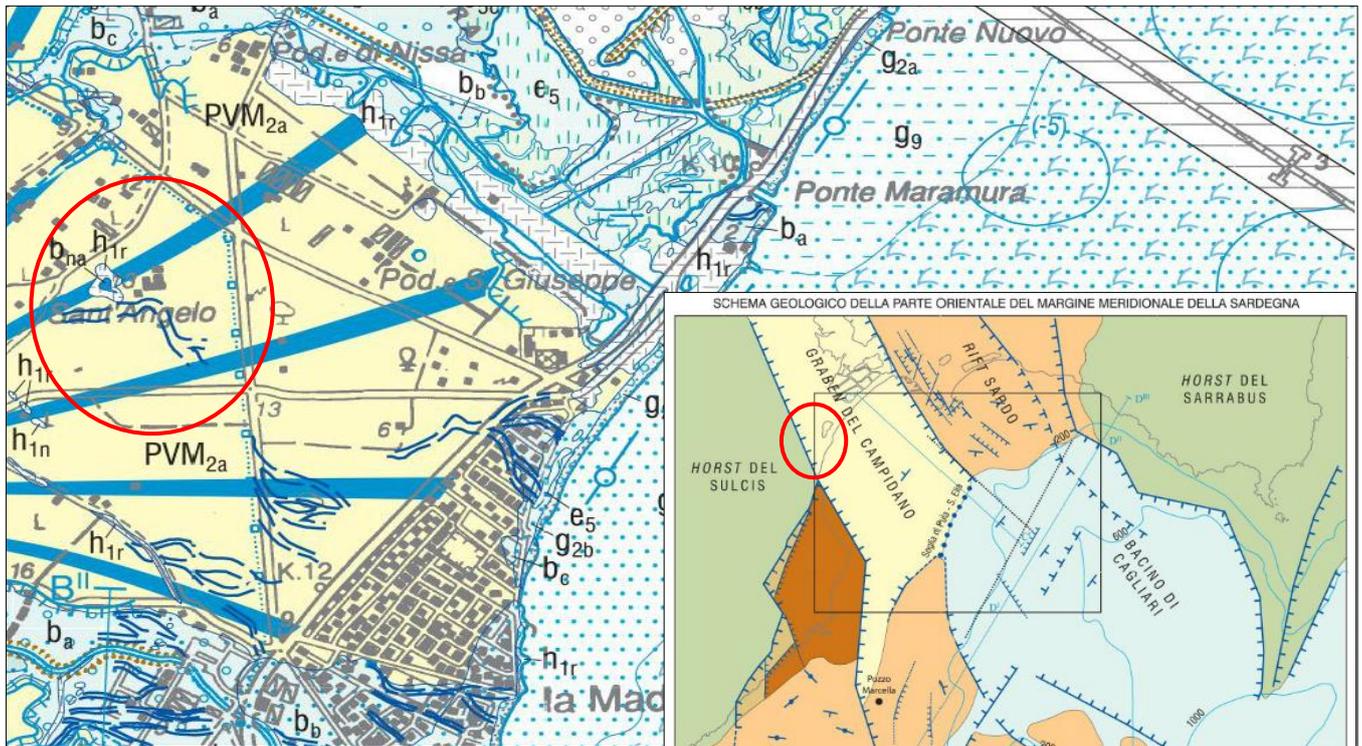
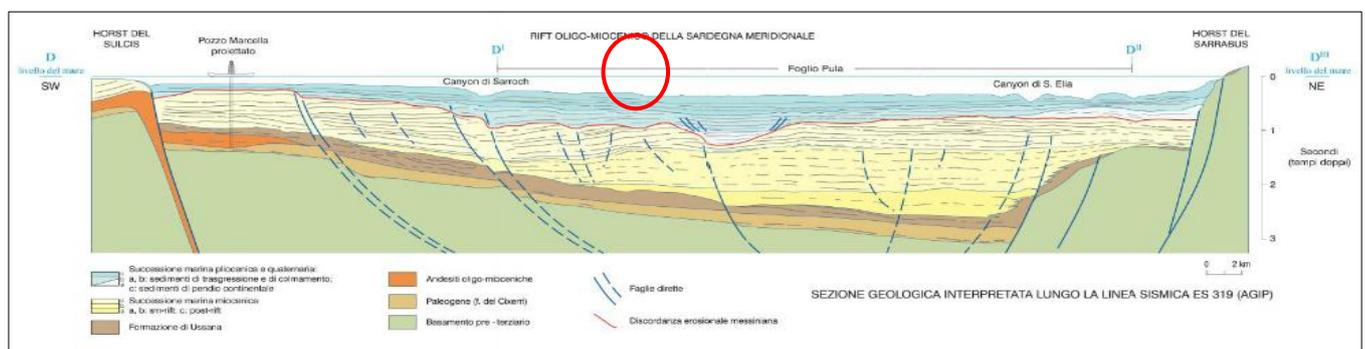


Figura 5.2 Stralci della Carta Geologica del foglio n°566 PULA e schema geologico-strutturale del basso Campidano

Figura 5.1 Sezione D-D'







Trattandosi di sedimenti relativamente recenti, lo stato di alterazione non è marcato, ed è essenzialmente rappresentato dal grado di ossidazione dei minerali costituenti i depositi stessi.

La sovrapposizione dei vari orizzonti sedimentari determina un progressivo costipamento per carico litostatico man mano che aumenta la profondità. Questo fattore insieme ai caratteri litotecnici dei terreni e alla presenza o meno di circolazione idrica sotterranea ne determina la suscettibilità al deterioramento o degradabilità. Su versanti esposti si avranno fenomeni di erosione differenziale a scapito delle litologie più recenti e meno cementate.

La successione stratigrafica delle formazioni che interessano l'area (dal Cenozoico al Quaternario) è stata oggetto di numerosi studi specialistici, a cui si fa esplicito riferimento anche nelle Note Illustrative alla carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, foglio 565 "Pula" (Servizio Geologico d'Italia, realizzato dalla Regione Autonoma della Sardegna), utilizzate come base di conoscenze per la stesura della presente relazione.

Nell'area vasta affiorano le seguenti litologie:

**hr1** - Depositi antropici. Materiali di riporto e aree bonificate. OLOCENE

**bnA** - Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie. OLOCENE

**bnB** - Depositi alluvionali terrazzati. Sabbie con subordinati limi ed argille. OLOCENE

**bnC** - Depositi alluvionali terrazzati. Limi ed argille. OLOCENE

**PVMa** – Depositi di conoide (glacis di accumulo) e depositi alluvionali. PLEISTOCENE

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

L'area di intervento sorgerà sui depositi pleistocenici di glacis di accumulo costituiti da ciottoli di natura poligenica (metamorfiti paleozoiche, graniti) di dimensioni variabili da decimetrici a centimetrici e sabbie da medie a fini in matrice limoso argillosa, mediamente compatti, in parte ferrettizzati. La falda si trova ad una quota media di circa 1m da piano campagna. Tale valore deriva da informazioni bibliografiche e andrà confermato in sede di progettazione definitiva.

Il percorso del cavidotto necessario alla connessione dell'impianto con la sottostazione denominata Sarroch segue per buona parte il tracciato della nuova S.S.195, trasversalmente ai depositi di conoide alluvionale antichi PVMa) e recenti (bnA).

## 5.3. 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).

## 6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 6.1. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE

L'area in studio ricade all'interno del bacino idrografico del rio Santa Lucia, corso d'acqua a regime torrentizio che nasce nei monti del Sulcis dalla confluenza del Rio Gutturu Mannu e Gutturreddu e sfocia nello stagno di Capoterra, impostato principalmente sulle litologie metamorfico scistose del paleozoico nella sua parte iniziale per poi inserirsi nei depositi alluvionali pleistocenici e olocenici. L'idrografia superficiale è rappresentata da incisioni fluviali e da diversi corsi d'acqua che, dai rilievi occidentali, convergono verso i settori orientali e meridionale fino al mare.

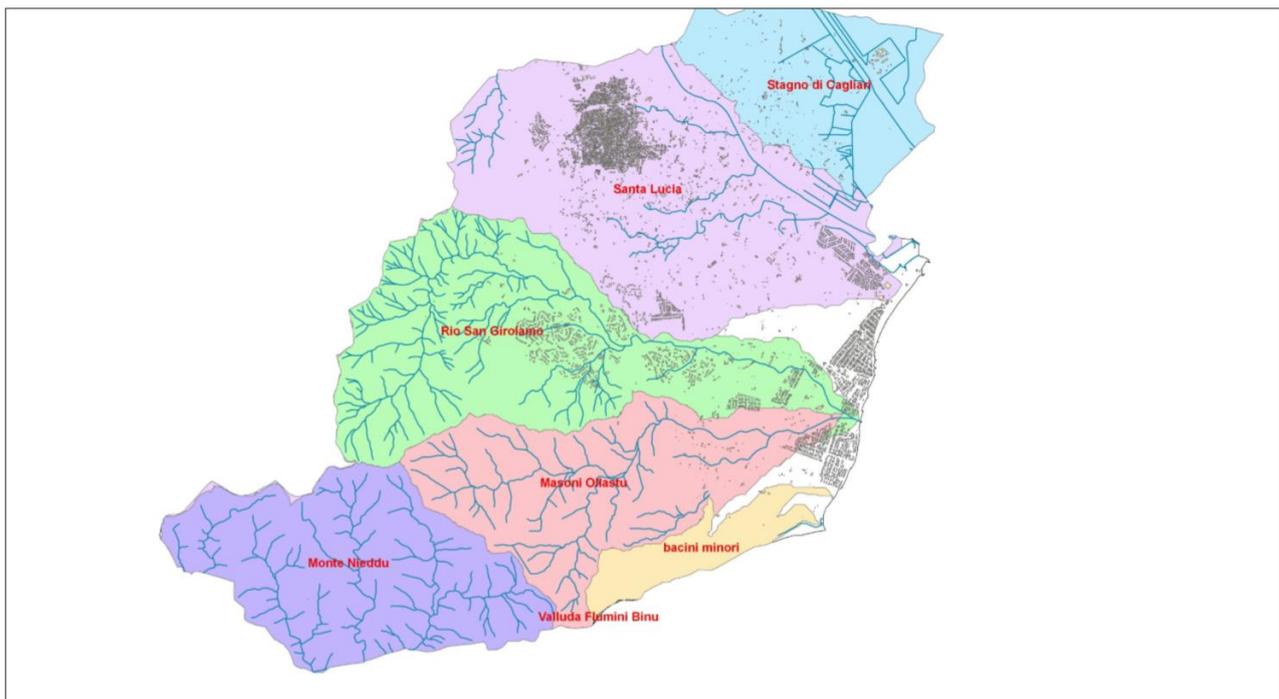


Figura 6.1 Bacini idrografici nel territorio comunale di Capoterra

I corsi d'acqua che attraversano l'abitato sono Rio Baccu Tinghinu, Rio Liori e il Rio S'Acqua e Tomasu. Questi presentano una lunghezza dell'asta fluviale considerevole, un alveo ristretto nella parte montana e portate totali annue modeste e molto variabili in funzione del regime pluviometrico della zona. I corsi d'acqua minori presentano invece un alveo non sempre ben definito a causa del regime estremamente variabile delle portate e sono infatti percorsi dalle acque solo in occasione di piogge intense.

L'area in esame non si trova in una zona di compluvio e la circolazione delle acque superficiali avviene per ruscellamento a lama d'acqua. La circolazione sotterranea avviene all'interno dei depositi più grossolani e l'alternanza di questi con livelli più argillosi determina la formazione di falde sovrapposte notoriamente sfruttate per l'emungimento attraverso pozzi.

## 6.2. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

L'Unità idrogeologica delle Alluvioni plio-quadernarie, costituita dalla formazione di PVM, è composta da conglomerati e breccie a clasti da medi a grossi con permeabilità per porosità complessiva media-bassa e, localmente, medio-alta in livelli a matrice grossolana.

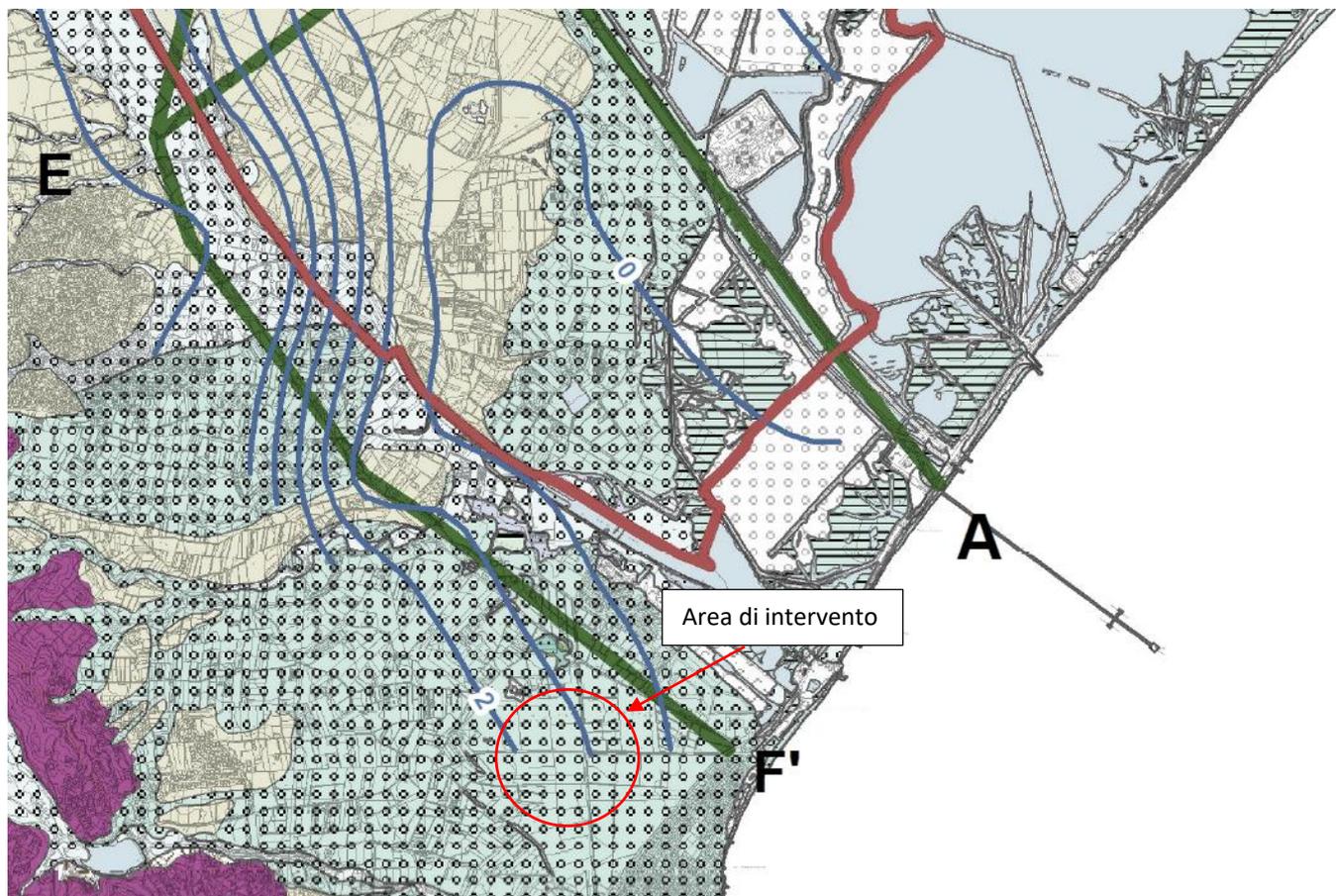


Figura 6.2 Stralcio della carta geologica e idrogeologica del Piano di Caratterizzazione dell'agglomerato industriale di Macchiareddu

I dati estrapolati dall'archivio Nazionale Delle Indagini Del Sottosuolo (L.464/1984) relativi a una perforazione (Codice: 156391) con profondità di 78 m per uso idrico adiacente al lotto, mettono in evidenza un'alternanza di strati di ghiaie e argille, successione deposizionale associata prevalentemente a meccanismi di deposito torrentizio.

per quanto riguarda le informazioni relative al livello di falda, si è fatto riferimento, alle indagini che sono state svolte per il piano di Caratterizzazione Ambientale dell'Agglomerato Industriale di Macchiareddu, che comprende anche l'area interessata dal presente studio e dal quale emerge che la soggiacenza della falda è di circa 1 m dal piano campagna.

### 6.3. 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, con particolare riferimento all'impianto, 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.

## 7. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

L'obiettivo dello studio è stato quello di caratterizzare il tratto interessato dall'intervento con particolare riferimento alle condizioni fisico-meccaniche dei litotipi interessati in relazione a stabilità dei fronti di scavo, quota ed interessamento della falda, possibilità di riutilizzo dei materiali scavati.

La modellazione geologica è stata frutto quindi di:

- Definizione dell'assetto geologico-strutturale e idrogeologico di area vasta e dell'area geomorfologicamente significativa;
- Definizione dell'assetto stratigrafico dell'area di sedime delle nuove opere.

Dall'esame dei dati di letteratura e da rilievi in sito si propone di seguito il modello geologico preliminare soggetto a conferma a seguito di specifiche indagini geognostiche che verranno di seguito riportate.

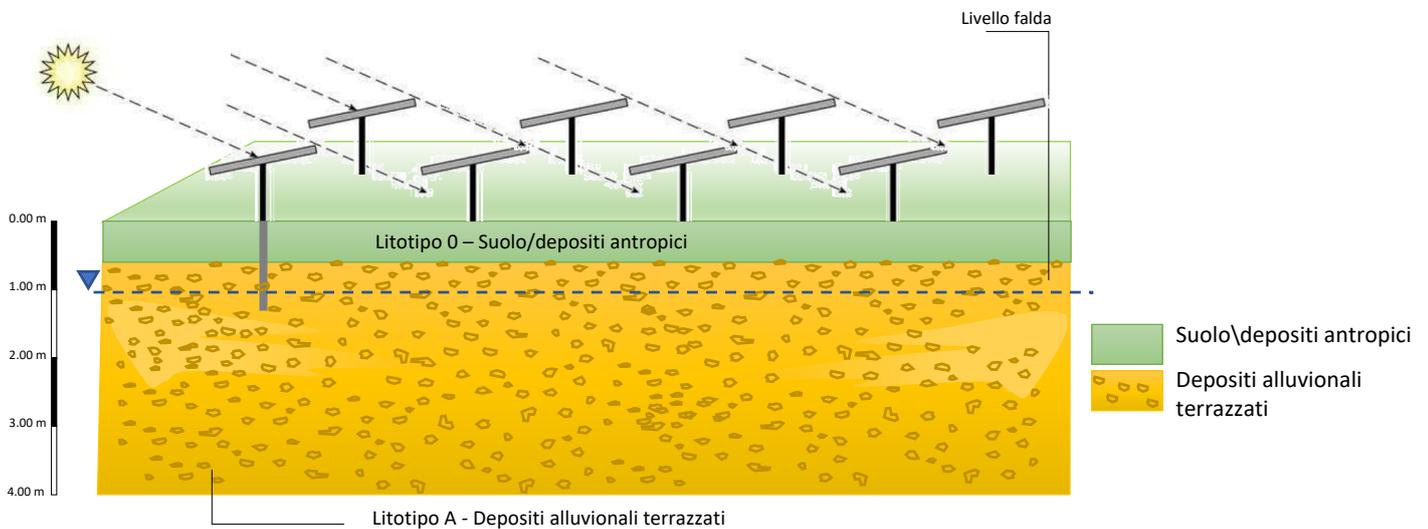


Figura 7.1 Modello geologico del sito (6.2.1 NTC 2018)

Sulla base di quanto emerso dai rilievi 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.

Da 0,00m – a circa 0.50/1.00m da p.c.: suolo più o meno evoluto o depositi antropici - **LITOTIPO 0**

Da 0.50/1.00m – depositi da ghiaioso sabbiosi a limoso argillosi di origine alluvionale, mediamente compatti - **LITOTIPO A**

La falda si attesta mediamente a una profondità di circa 1m da piano campagna.

## 8. CONDIZIONI RAPPRESENTATIVE DEGLI STATI TENSIONALI ATTUALI E MODELLO GEOTECNICO DEL SITO

Il modello geologico del sito, definisce le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche nonché i rapporti geometrici tra le formazioni che definiscono l'assetto geologico-strutturale del terreno di sedime dell'opera in progetto.

La stratigrafia riportata e base per le seguenti considerazioni di tipo geotecnico è fondata su dati derivati da altri studi che interessano la medesima litologia e sono sufficientemente vicini al sito di interesse da essere considerati affidabili, nonché da studi diretti dalla sottoscritta sulle litologie attraversate dalla circonvallazione di Capoterra (medesima formazione).

La variabilità deposizionale di questi terreni dovuti alla natura alluvionale e in assenza di indagini dirette, obbliga a considerare due potenziali condizioni stratigrafiche e geotecniche.

1. **Litologie costituite prevalentemente da ghiaie e sabbie in matrice sabbioso-limoso generalmente consolidate** - si considerano cautelativamente i seguenti parametri geotecnici

Peso di volume naturale: = 20 - 21kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno: = 32° - 36°

Coesione efficace: c = 0.1 - 0.2 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico: Eel = 350 - 450kg/cm<sup>2</sup>

2. **Litologie costituite prevalentemente da limi e argille in giacitura lentiforme sabbioso-limoso generalmente da consolidata a poco consolidata** e in generale con tendenza al peggioramento delle caratteristiche geotecniche in presenza d'acqua - si considerano cautelativamente i seguenti parametri geotecnici:

Peso di volume naturale: = 17 - 18kN/m<sup>3</sup>

Angolo attrito interno: = 18° - 22°

Coesione efficace: c = 1.0 - 1.5 kg/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico: Eel = 60 - 100kg/cm<sup>2</sup>

La falda si attesta mediamente a una profondità di circa 1m da piano campagna. Se per la tipologia 1 la presenza della falda possa essere in qualche modo trascurabile anche se comunque da non sottovalutare, nel secondo caso la suscettività delle argille all'acqua è tale da mutare significativamente le caratteristiche geotecniche, pertanto si suggerisce, in questa fase e in attesa di specifiche indagini sul campo, di effettuare la progettazione delle strutture utilizzando questi parametri, maggiormente cautelativi.

## 9. PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di definire con accuratezza i parametri geotecnici di sito si propone il seguente piano di indagini geognostiche la cui ubicazione è riportata in fig. 9.1 da eseguire prima della fase progettuale esecutiva:

- Nr. 3 **Pozzetti Stratigrafici** per la definizione dei rapporti stratigrafici delle facies litologiche della profondità non inferiore a 2,5m da p.c.;
- Nr. 1 **Prova MASW** per la stima del VS30;
- **Caratterizzazione delle terre in laboratorio** – prelievo di campioni a quote a discrezione della DL per la stima dei parametri geotecnici analisi granulometrica, limiti di Atterberg, peso di volume, contenuto d'acqua naturale, prova edometrica.

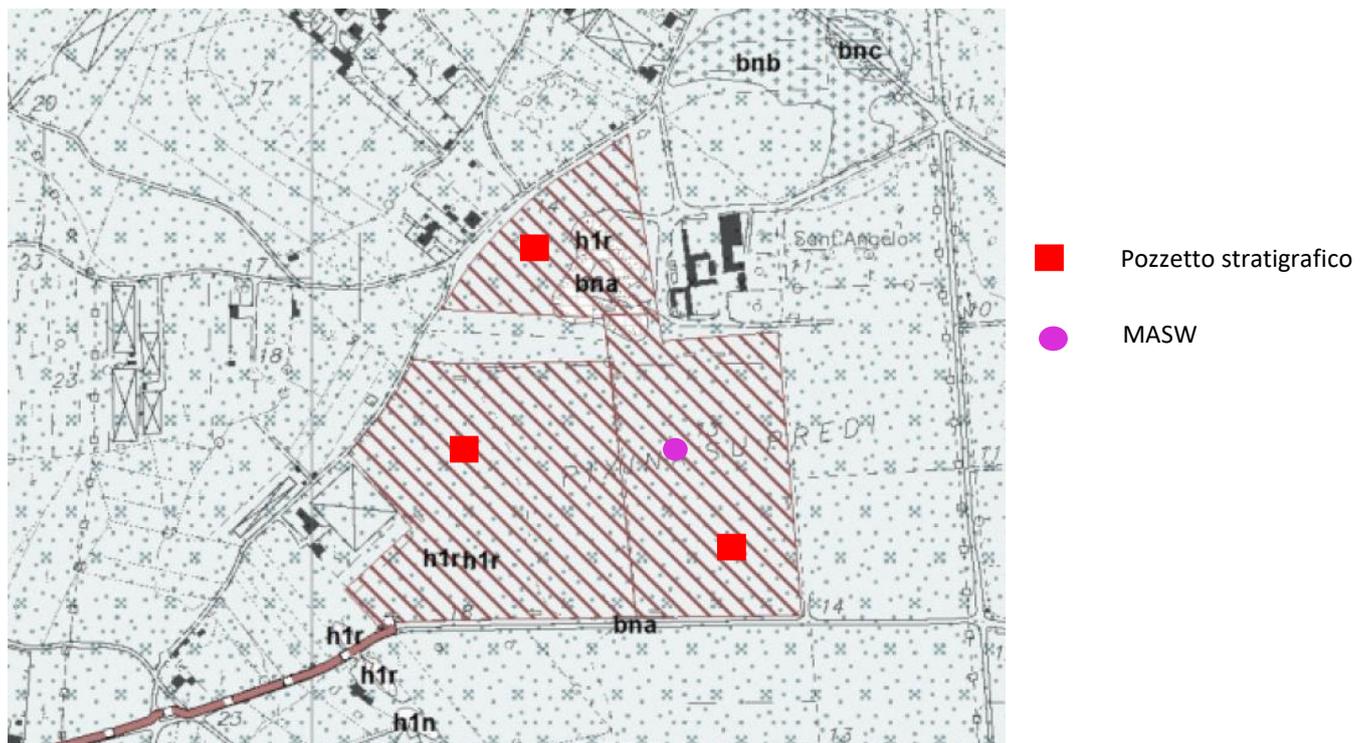


Figura 9.1 – Ubicazione delle indagini

## 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:

Ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo 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.

### 9.1. 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  $C_U = 2$ .

**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 VS 30, valutata entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Tale parametro andrà stimato direttamente in sito mediante l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica o di un profilo MASW.

Categorie di sottosuolo: ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3.

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

Litotipi	Vp [m/s] min-max	Vs [m/s] min-max
<b>TERRENI E ACQUA</b>		
Alluvioni	400 - 2000	200 - 800
Sabbia asciutta	200 - 1000	80 - 400
Sabbia satura (in funzione anche del grado di saturazione)	600 - 2300	250 - 450
Sabbia siltosa	600 - 1900	200 - 600
Sabbia e ghiaia	300 - 1800	300 - 600
Limo	650 - 1250	240 - 480
Argilla	1000 - 2500	300 - 600
Argilla sabbiosa	600 - 2500	200 - 450
Acqua	1450 - 1500	0
<b>ROCCE SEDIMENTARIE</b>		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	1500 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calcare	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcare fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 4500	600 - 1.500
<b>ROCCE IGNEE</b>		
Basalto	1800 - 5000	1000 - 3000
Basalto fratturato	950 - 1350	480 - 700
Granitoidi	1600 - 5000	900 - 3000
Granitoidi fratturati	1000 - 1750	500 - 900
Piroclastite coerente	750 - 2500	350 - 1100
Piroclastite incoerente	350 - 1000	160 - 450

Per questa tipologia di substrato, dai dati di letteratura inerenti la tipologia litologica di queste aree e salvo diverso esito da prove dirette in sito si stima che essi appartengano alla categoria C.

**Tabella 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo*

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

	$T_R$ [anni]	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$F_0$ [...]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.183	2.610	0.273
SLD	50	0.231	2.670	0.296
SLV	475	0.490	2.880	0.340
SLC	975	0.591	2.980	0.372

Figura 9.2 - 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):**

## 10. Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite

Le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto  $Rd/Ed$ . Le verifiche devono essere effettuate utilizzando l'**Approccio 1** con riferimento alla **Combinazione 2** dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC.

[...] Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$Einst,d \leq Estb,d$$

dove  $Einst,d$  è il valore di progetto dell'azione instabilizzante,  $Estb,d$  è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori  $\gamma F$  riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.I.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

**Tab. 2.6.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

*Nell'Approccio 2 si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni ( $\gamma_F$ ), per la resistenza dei materiali ( $\gamma_M$ ) e, eventualmente, per la resistenza globale ( $\gamma_R$ ). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1.*

[...]

## 11. VERIFICA DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI

A seguito di esecuzione del piano di indagine indicato si potrà procedere al definitivo dimensionamento dei pali di ancoraggio dei pannelli seguendo quanto indicato al cap.6.4.3. delle NTC 2018, per questa tipologia di opere di fondazione.

Il progetto di una fondazione su pali deve comprendere la scelta del tipo di palo e delle relative tecnologie e modalità di esecuzione, il dimensionamento dei pali e delle relative strutture di collegamento, tenendo conto degli effetti di gruppo tanto nelle verifiche SLU quanto nelle verifiche SLE.

Le indagini geotecniche, oltre a soddisfare i requisiti riportati al § 6.2.2, devono essere dirette anche ad accertare l'effettiva realizzabilità e l'idoneità del tipo di palo in relazione alle caratteristiche dei terreni e del regime delle pressioni interstiziali.

In generale, le verifiche dovrebbero essere condotte a partire dai risultati di analisi di interazione tra il terreno e la fondazione costituita dai pali e dalla struttura di collegamento (fondazione mista a platea su pali) che portino alla determinazione dell'aliquota dell'azione di progetto trasferita al terreno direttamente dalla struttura di collegamento e di quella trasmessa dai pali.

Le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la

condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;

- collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
- stabilità globale;

La verifica dell'opera fondante inoltre sarà condotta considerando:

- La resistenza dei terreni a breve termine quindi in **condizioni non drenate**;
- Le diverse possibili condizioni stagionali in cui potrebbe essere eseguito il lavoro ovvero **in presenza o in assenza di falda**;

Per quanto concerne la verifica agli stati limite di esercizio SLE, se pertinenti verranno presi in considerazione i seguenti stati limite di esercizio.

- eccessivi cedimenti o sollevamenti;
- eccessivi spostamenti trasversali.

**Dott.ssa Geol. Cosima Atzori**

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA SARDEGNA - Sezione A n°656